

Matko Bupić *

Luko Milić **

ISSN (0469-6255)
(115-126)

BRODSKI UREĐAJ ZA OBRADU FEKALNIH VODA S OSVRTOM NA POSTUPKE OZRAČIVANJA I BISTRENJA

SHIP'S SEWAGE TREATMENT UNIT CONSIDERING VENTING AND CLARIFICATION PROCEDURES

UDK 629.1.061:66.042.6
Pregledni članak
Review

Sažetak

U prvom dijelu rada opisane su vrste otpadnih voda i posebno brodskih otpadnih voda. Definirani su pokazatelji svojstava kućanskih, odnosno sanitarnih otpadnih voda, kojoj vrsti pripadaju i fekalne otpadne vode. Također su nabrojani postupci i operacije koje se koriste u obradi otpadnih voda. Uz opis načina rada općenitog brodskog uređaja za obradu fekalnih voda, prikazan je uređaj Hammworthy Super Trident ST4A, kakav je ugrađen npr. na m/b "Petka" dubrovačke "Atlantske plovidbe". Postupak ozračivanja, koji se provodi radi stvaranja aerobnih uvjeta, te postupak bistrenja, kao karakteristični procesi inženjerstva disperznih sustava, detaljno su opisani i teorijski objašnjeni. Prikazani su postupci dimenzioniranja osnovnih elemenata brodskog uređaja za obradu fekalnih voda, uz kritički osvrt na praktičnu inženjersku primjenljivost pojedinih izraza za dimenzioniranje. U završnom dijelu rada izneseno je stanje na planu ekoloških propisa i osnovni podaci propisanih ekoloških standarda, koji se odnose na kvalitetu obrađene otpadne vode koja se ispušta u more.

Summary

The first part deals with the types of waste waters especially the ship's ones. The characteristic indicators of domestic i.e. sanitary waste waters, the type they belong to and fecal waste waters have been defined. The procedures and operations used in waste waters treatment have also been listed. In addition to

the method of operation of general ship's sewage treatment unit, Hammworthy Super Trident sewage treatment unit (the same one is fitted on m/v "Petka" of "Atlantska plovidba" - Dubrovnik) has been presented. The venting procedure to carry out aerobic conditions and clarification procedure, as characteristic processes of engineering disperssive systems, have been analysed and theoretically explained. There have been presented dimensioning processes of basic unit elements for sewage treatment with a review of practical engineering application of certain expressions on dimensioning. The final part deals with the situation of eco-regulations and the basic data of regulated eco standards related to the quality of treated waste water which passes into the sea.

1. Uvod Introduction

Brodski uređaj za obradu fekalnih voda predstavlja zanimljiv uređaj procesne tehnike čija se funkcionalnost zasniva na više različitih procesa iz područja inženjerstva disperznih sustava. Fekalna otpadna voda, kao dvofazni grubodisperzni sustav, podvrgava se aerobnoj razgradnji, filtriranju, sedimentiranju i dezinficiranju, nakon čega se s visokim stupnjem čistoće ispušta iz broda u more.

Brodski uređaj za obradu fekalnih voda zanimljiv je i s ekološkog aspekta. Sve strože propisani ekološki standardi zahtijevaju ugradnju ovakvih uređaja na sve nove i postojeće brodove i njihovo besprijekorno funkcioniranje.

* Matko Bupić, dipl. ing.

** dr. sci. Luko Milić, dipl. ing.
Veleučilište u Dubrovniku, Dubrovnik

2. Pojam i vrste otpadnih voda *The idea and types of waste waters*

Pod pojmom **otpadnih voda** podrazumijevaju se upotrijebljene vode u naseljima i industriji, kojima su fizikalna, kemijska i biološka svojstva tako promijenjena da se bez prerade ne mogu iskoristiti u poljoprivredi, a ni u druge svrhe, pa ni onda kad nije potrebna čista voda. Svojstva otpadnih voda razlikuju se prema porijeklu, pa se mogu svrstati u kućanske, industrijske i poljoprivredne otpadne vode.

Kućanske otpadne vode nastaju u seoskim i gradskim naseljima. To su vode iskorištene u kućanstvima, ugostiteljstvu, zdravstvu, školstvu, uslužnim i drugim neproizvodnim djelatnostima. Otpadne vode iz turističkih naselja istih su svojstava kao i kućanske otpadne vode. Temeljno svojstvo kućanskih otpadnih voda je njihova biološka razgradljivost. Kućanske otpadne vode sadrže organske tvari koje se počinju razgrađivati čim dospiju u vodu, pa se prema stupnju biološke razgradnje razlikuju:

a) svježe otpadne vode u kojima biološka razgradnja još nije uznapredovala; koncentracija otopljenog kisika nije bitno manja od one u vodi iz vodovoda;

b) odstajale vode koje ne sadrže kisik, jer je potrošen za biološku razgradnju otpadne tvari;

c) trule (septičke) vode u kojima je biološka razgradnja toliko uznapredovala da se odvija anaerobno, a uspostavljena je ravnoteža između razgrađivača i organskih tvari.

Za definiranje svojstava kućanskih otpadnih voda najčešće se upotrebljavaju sljedeći pokazatelji:

1. biokemijska potrošnja kisika (BPK);
2. količina suspendirane tvari;
3. sadržaj mikroorganizama fekalnoga porijekla.

Biokemijska potrošnja kisika (BPK) je ukupna količina kisika potrebna za razgradnju organskih tvari. Najčešće se koristi BPK₅ vrijednost, petodnevna biokemijska potrošnja kisika, koja se dobije mjerenjem količine apsorbiranoga kisika u jednoj litri uzorka kućanske otpadne vode na 20°C, nakon što je razrijeđena određenom količinom kisikom bogate vode odstajala pet dana.

Količina suspendirane tvari u otpadnoj vodi mjeri se filtriranjem uzorka kroz prethodno izvaganu azbestnu pločicu, koja se potom osuši i ponovo izvaže. Suspendirane čestice obično su nevidljive, a s vremenom mogu prouzročiti zamuljivanje.

U kućanskim otpadnim vodama ima mnogo mikroorganizama, naročito bakterija i virusa. Budući da je sve patogene mikroorganizme teško utvrditi u otpadnoj vodi, kao indikatori služe **koliformne bakterije**. Koliform je obitelj bakterija koje žive u čovječjim crijevima. Broj koliformnih bakterija (b.c.) lako je odrediti laboratorijskim testovima, na temelju čega se može utvrditi koliko je fekalnoga otpada prisutno u kućanskoj otpadnoj vodi. U tablici 1. prikazano je dnevno opterećenje otpadnom tvari kućanskih otpadnih voda po stanovniku, [5].

Tablica 1. Dnevno opterećenje otpadnom tvari kućanskih otpadnih voda po stanovniku
Table 1. Daily load by domestic waste waters sewage per person

BPK ₅	Količina suspendirane tvari	b.c.
60 - 100 g	70 - 120 g	2,5·10 ¹⁰ -2,5·10 ¹²

Industrijske otpadne vode nastaju upotrebom vode u tehnološkim postupcima i proizvodnji energije. Upotrijebljene vode u sanitarnim uređajima u industriji istih su svojstava kao i kućanske otpadne vode. Industrijske otpadne vode mogu se svrstati u dvije temeljne grupe:

a) biološki razgradljive ili kompatibilne, koje se smiju miješati s kućanskim otpadnim vodama;

b) biološki nerazgradljive ili inkompatibilne, koje se ne smiju miješati s kućanskim otpadnim vodama bez prethodnog čišćenja.

Poljoprivredne otpadne vode su procjedne i površinske vode sa zemljišta na kojem se primjenjuju agrotehnički postupci.

Problem **otpadnih voda na brodu** specifične je naravi, kako zbog raznovrsnosti i količine nastalih otpadnih voda, tako i zbog načina njihovih zbrinjavanja, diktiranih sve strožim ekološkim propisima. Otpadne vode koje nastaju na brodu mogu se podijeliti na:

- a) sanitarne otpadne vode;
- b) kaljužne otpadne vode.

Sanitarne otpadne vode po svom porijeklu i sastavu zapravo su kućanske otpadne vode, a radi efikasnije obrade i zbrinjavanja dalje se dijele na:

♦ **fekalnu otpadnu vodu** ili crnu vodu, koju čine:

1. izljevi i ostali otpaci iz svih vrsta zahoda (nužnika), pisoara i zahodskih školjki;
2. izljevi iz umivaonika, kada i ostalih uređaja medicinskih prostorija (ambulantni, bolnica, itd.);
3. izljevi iz prostorija u kojima se nalaze žive životinje;
4. druge otpadne vode, ako se miješaju s navedenim izljevim;

♦ **otpadnu vodu od pranja** iz domaćinskih i stambenih prostorija ili sivu vodu, koju čine:

1. otpadne vode iz umivaonika, tuševa, kada i izljeva osim fekalnih otpadnih voda;
2. otpadne vode iz praonica;
3. otpadne vode od pranja namirnica, izljevi iz kuhinjskih strojeva i iz prostorija gdje se drži, priprema i služi hrana.

Kaljužne otpadne vode spadaju u kategoriju industrijskih otpadnih voda, a nastaju skupljanjem vode s visokim sadržajem ulja u prostoru strojeva i kotlova, skupljanjem mješavine ulja i morske vode, kao i taloga goriva, u tankovima koji se koriste naizmjenice za

balastnu vodu i za gorivo, te pranjem tankerskih skladišta.

Pod pojmom **fekalija** (lat. *faex*: izmet, blato) ili ekskremenata podrazumijevaju se ljudske i životinjske izmetine. Sastoje se od neprobavljenih dijelova hrane, oljuštenih stanica crijevne sluznice (epitela) i uginulih crijevnih bakterija. Fekalije prosječno sadržavaju 65-85% vode; oblik im je karakterističan za pojedine životinjske vrste, boja raznolika, a potječe uglavnom od sterkobilina, miris od indola i skatola, a količina ovisi o vrsti hrane (kod biljne ishrane fekalije su obilnije). Mogu se upotrebljavati kao gnojiva.

3. Postupci obrade otpadnih voda *Procedures of waste waters treatment*

Obrada (čišćenje) otpadnih voda podrazumijeva postupak smanjenja onečišćivača do onih količina ili koncentracija s kojima pročišćene otpadne vode ispuštene u prirodne vodne sustave postaju neopasne za život i ljudsko zdravlje i ne uzrokuju neželjene promjene u okolišu.

Obrada otpadnih voda obuhvaća niz operacija i postupaka kojima se iz vode uklanjaju tvari koje plivaju, suspenzije, koloidi i otopljene tvari, odnosno tvari koje mijenjaju svojstva otpadne vode. Postupci obrade otpadnih voda mogu se svrstati u četiri grupe postupaka, i to:

1. Mehanički postupci:

- a) izdvajanje na rešetkama (rešetanje);
- b) usitnjavanje (dezintegracija);
- c) izjednačavanje (egalizacija);

2. Fizikalno-kemijski postupci:

- a) taloženje (sedimentacija);
- b) isplivavanje (flotacija);
- c) zgrušavanje (koagulacija);
- d) pahuljičanje (flokulacija);
- e) cijedenje (filtracija);
- f) centrifugiranje;
- g) adsorpcija;
- h) ionska izmjena;
- i) membranski postupci;
- j) kemijsko obaranje (kemijska precipitacija);
- k) neutralizacija;
- l) oksidacija i redukcija;
- m) dezinfekcija;

3. Biološki postupci:

- a) aerobna gradnja i razgradnja stanica;
- b) anaerobno kiselo vrenje i metanska razgradnja;
- c) bakteriološka oksidacija i redukcija;

4. Toplinski postupci:

- a) isparavanje;
- b) toplinska obrada mulja;
- c) toplinsko smanjenje obujma mulja (sušenje, spaljivanje i piroliza).

Nakon obrade, otpadne vode se ispuštaju u vodotoke, jezera, more ili na zemljište. Uvjeti ispuštanja otpadnih voda ovise i o svojstvima otpadne vode i o svojstvima prijamnika. Pri ispuštanju otpadnih voda moraju se primjenjivati određeni kriteriji, odnosno propisani standardi kojima se zaštićuju ekološki sustavi od nepoželjnih promjena. Jedna grupa ovih standarda odnosi se na prijamnike, a druga grupa na ispuštene vode.

4. Brodski uređaj za obradu fekalnih voda *Ship's sewage treatment unit*

Međunarodna pomorska organizacija (International Maritime Organisation, IMO) svojom Konvencijom MARPOL 73/78, Prilog IV. i pripadnim rezolucijama koje se odnose na sprječavanje onečišćenja mora otpadnim vodama s brodova, propisuje uvjete pod kojima se brodske sanitarne otpadne vode mogu ispuštati u more. Odredbe Konvencije MARPOL 73/78, Prilog IV., primjenjivat će se na sve nove brodove, a na postojeće brodove obvezno tek 10 godina nakon stupanja na snagu konvencije. Konvencijom je propisano koje i kakve uređaje brod treba imati da bi se sanitarne otpadne vode mogle ispuštati u more, ili ispuštati u more samo u dopuštenim područjima, ili na brodu skupljati pa izbacivati na kopno.

Sukladno prethodnom, u cilju sprječavanja onečišćenja mora fekalnim vodama, brodovi trebaju imati jedan od sljedećih uređaja:

1. uređaj za biokemijsku obradu fekalnih voda, koji po potrebi može imati sabirni spremnik;

2. uređaj za usitnjavanje i dezinfekciju fekalnih voda, sa sabirnim spremnikom za prikupljanje i naknadno ispuštanje u more samo u određenim dopuštenim područjima;

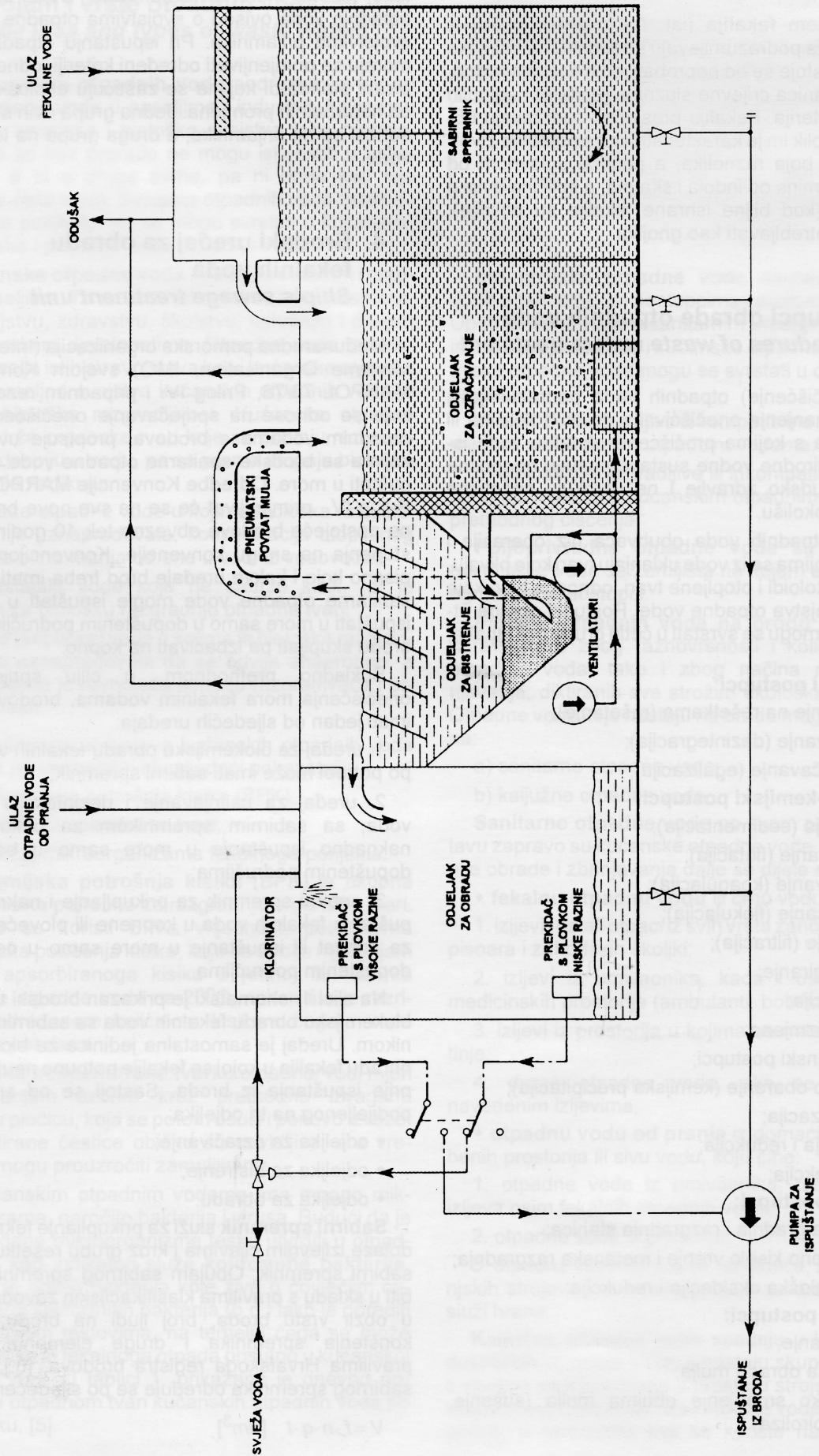
3. sabirni spremnik za prikupljanje i naknadno ispuštanje fekalnih voda u kopnene ili ploveće uređaje za prihvata ili ispuštanje u more samo u određenim dopuštenim područjima.

Na slici 1. shematski je prikazan brodski uređaj za biokemijsku obradu fekalnih voda sa sabirnim spremnikom. Uređaj je samostalna jedinica za biokemijsku obradu fekalija u kojoj se fekalije potpuno neutraliziraju prije ispuštanja iz broda. Sastoji se od spremnika podijeljenog na tri odjeljka:

- ♦ odjeljka za ozračivanje;
- ♦ odjeljka za bistrenje;
- ♦ odjeljka za obradu.

Sabirni spremnik služi za prikupljanje fekalija, koje dolaze izljevnim cijevima i kroz grubu rešetku ulaze u sabirni spremnik. Obujam sabirnog spremnika treba biti u skladu s pravilima klasifikacijskih zavoda, uzevši u obzir vrstu broda, broj ljudi na brodu, vrijeme korištenja spremnika i druge elemente. Prema pravilima Hrvatskoga registra brodova, [6.], obujam sabirnog spremnika određuje se po sljedećem izrazu:

$$V = f \cdot n \cdot q \cdot t \quad [dm^3] \quad (1)$$



Slika 1. Brodski uređaj za biokemijsku obradu fekalnih voda sa sabirnim spremnikom
 Figure 1. Ship's biochemical sewage treatment unit with collecting tank

gdje je:

- f koeficijent uvjeta korištenja, koji iznosi:
 = 1 za brodove neograničenog i ograničenog područja plovidbe, ako putovanje traje dulje od 8 sati;
 = 0,3 - 0,5 ... za putničke brodove, ako putovanje traje 2 do 4 sata;
 = 0,1 za putničke brodove ako putovanje traje do 2 sata;
- n ... broj ljudi na brodu;
- q ... količina sanitarnih otpadnih voda u litrama po jednom čovjeku na brodu, na dan, koja iznosi:
 = 50 l ako je predviđeno prikupljanje samo fekalnih otpadnih voda;
 = 200 - 350 l ako je predviđeno prikupljanje i otpadnih voda od pranja iz domaćinskih i stambenih prostorija;
- t vrijeme u danima boravka broda u luci i/ili u području gdje je ispuštanje zabranjeno, a iznosi:
 = 3 - 5 dana za tankere neograničenog područja plovidbe;
 = 3 - 10 dana za brodove neograničenog područja plovidbe;
 = 3 dana za ostale brodove;
 = 2 dana za brodove koji imaju uređaje za biokemijsku obradu fekalnih voda.

Pravilima klasifikacijskih zavoda određuje se struktura, konstrukcija i način smještaja sabirnog spremnika, kao i način signalizacije razine u spremniku i način izvedbe odušnika. Sve ove mjere imaju za cilj spriječavanje nekontroliranog ispuštanja u more sanitarnih otpadnih voda.

Iz sabirnoga spremnika prikupljene fekalne vode prelijevaju se u odjeljak za ozračivanje uređaja za biokemijsku obradu fekalnih voda. Pravila Hrvatskoga registra brodova, [6.], određuju potrebni kapacitet uređaja za biokemijsku obradu fekalnih voda po sljedećem izrazu:

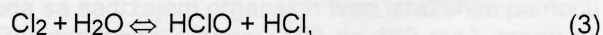
$$Q = n \cdot q \quad [l/\text{dan}] \quad (2)$$

gdje n i q imaju isto značenje kao u izrazu (1).

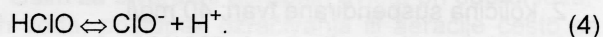
U odjeljku za ozračivanje fekalije se razgrađuju pomoću aerobnih bakterija, koje dolaze s fekalijama i razmnožavaju se u samoj fekaliji dodavanjem kisika. Potrebni kisik dovodi se s atmosferskim zrakom, koji se uvodi pomoću rotacijskog kompresora kroz izvjestan broj kuglastih rasprskaca smještenih na dnu odjeljka za ozračivanje. Ugljični dioksid koji ispuštaju fekalije, zajedno s viškom zraka, ispušta se kroz odušak na pokrovu odjeljka. Skupljeni se mulj iz odjeljka za bistrenje pneumatskim putem vraća u odjeljak za ozračivanje na dodatnu obradu aerobnom razgradnjom. Fekalna voda, obrađena biološkim postupkom aerobne razgradnje u odjeljku za ozračivanje, prolaskom kroz filter odlazi u odjeljak za bistrenje.

Odjeljak za bistrenje služi da se fekalije umire i istalože. Istaložena se muljna masa vraća se u odjeljak za ozračivanje, gdje se dodatno aerobno razgrađuje, a izbistrena tekućina prelijeva se u odjeljak za obradu. U odjeljku za bistrenje odvija se, dakle, postupak razdvajanja faza taloženjem (sedimentacijom) u skladu sa zakonima mehanike fluida, i to praktički bez utjecaja faznih prijelaza (isparavanja, kondenzacije). S obzirom da je korisni proizvod ovog postupka izbistrena tekućina, prostor u kojem se on odvija nazvan je odjeljkom za bistrenje, izbistrivačem ili klarifikatorom. I odjeljak za bistrenje opremljen je odušnikom na svom pokrovu.

U odjeljku za obradu obrađuje se tekućina otopinom klora, preko klorinatora, nakon čega se obrađena tekućina ispušta pumpom za ispuštanje izvan broda. Radom ove pumpe upravlja se preko prekidača s plovkom visoke razine i prekidača s plovkom niske razine. Kada prikadač za nisku razinu zaustavi rad pumpe, istodobno se otvara magnetski ventil, preko kojeg se dovodi svježa voda u klorinator - kutiju u kojoj se nalaze tablete klora. Tako nastaje hipokloritna kiselina:



koja slabo disocira uz pojavu hipokloritnog iona:



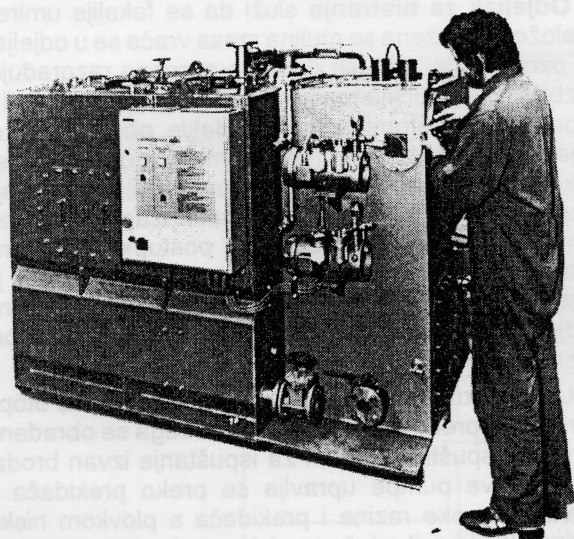
Hipokloritna kiselina i hipokloritni klor zajedno čine tzv. slobodni raspoloživi klor, koji se uvodi u odjeljak za obradu i koji je vrlo baktericidan. Nakon određenog vremenskog perioda zatvara se magnetski ventil i prekida se dovođenje svježe vode u klorinator. Otopina koja se do tada pripremila i uvela u odjeljak za obradu, dovoljna je za obradu cijele količine tekućine koja se nalazi u odjeljku do plovka visoke razine. Obradom otopinom klora postiže se dezinfekcija tekućine, tj. smanjivanje koncentracije štetnih mikroorganizama do granice koja je propisana ekološkim standardima.

Opisani uređaj može se koristiti i za obradu otpadne vode od pranja iz domaćinskih i stambenih prostorija ili sive vode, na način da se takva vrsta sanitarne otpadne vode uvodi izravno u odjeljak za obradu, gdje se tretira klorom, bez prethodne obrade ozračivanjem i bistrenjem.

Engleska tvrtka **Hamworthy Pumps & Compressors Limited** jedan je od najpoznatijih svjetskih proizvođača brodskih uređaja za biokemijsku obradu fekalnih voda. Na slici 2. prikazan je uređaj **Hamworthy Super Trident**, modelne oznake ST4A, kakav je ugrađen npr. na *m/b "Petka"* dubrovačke "Atlantske plovidbe". Uz manje modifikacije, uređaj radi na prethodno opisani način.

Osnovni podaci brodskog uređaja za biokemijsku obradu fekalnih voda **Hamworthy Super Trident ST4A**:

- kapacitet: 3000 l fekalnih voda / dan
- gabariti (bez sabirnog spremnika):
1900 x 1400 x 1750 mm
- ukupna masa: 4960 kg
- stupanj čistoće obrađene fekalne vode:



Slika 2. Brodski uređaj za biokemijsku obradu fekalnih voda Hamworthy Super Trident
Figure 2. Ship's biochemical sewage treatment unit Hamworthy Super Trident

1. BPK₅: 40 mg/l
 2. količina suspendirane tvari: 40 mg/l
 3. koliformne bakterije (b.c.): 200/100 ml
- ispunjava zahtjeve: IMO - MARPOL 73/78, HRB, US Coast Guard, Canadian Coast Guard, Japanese Ministry of Transport, itd.

Kanadska obalna straža propisuje u Velikim jezerima i dodatni sterilizator na principu ultraljubičastog zračenja, koji se ugrađuje prije ispusta sanitarne vode iz broda. Sterilizator ugrađen na *m/b "Petka"* jest **Multus - Katadyn J1SA**. Ultraljubičasto zračenje isijavaju dvije kvarcne lampe sa živinim parama sljedećih karakteristika:

- snaga: 60 W
- jakost struje: 400/500 mA
- valna dužina: 253,7 nm.

5. Postupak ozračivanja Venting procedure

Biološkim postupcima obrade otpadnih voda ostvaruje se pretvorba raspršene i otopljene organske tvari u stanično tkivo (biomasu), plinove i nerazgradljivi ostatak. Mikroorganizmi razgrađuju mrtvu organsku tvar upotrebljavajući je kao hranu za gradnju vlastitih stanica, a stanična masa se taloženjem odvajava od vode. Prema prilikama u staništu i prema količini otopljenoga kisika u vodi moguće su tri vrste bioloških procesa:

- a) aerobna gradnja i razgradnja stanica;
- b) anaerobno kiselo vrenje i metanska razgradnja;
- c) bakteriološka oksidacija i redukcija.

Kad u otpadnoj vodi postoji dovoljna količina otopljenog kisika, odnosno kad postoje **aerobni uvjeti**,

tada mikroorganizmi upotrebljavaju organsku tvar kao hranu za gradnju novih stanica. Kisik se troši za energetske procese. Istodobno mikroorganizmi razgrađuju vlastite stanice uz ponovnu potrošnju kisika. Aerobnim procesima proizvodi se višak žive i mrtve organske i anorganske tvari, koja se naziva viškom mulja. Aerobni uvjeti ostvaruju se upravo u odjeljku za ozračivanje brodskog uređaja za biokemijsku obradu fekalnih voda, uvođenjem atmosferskoga zraka u samu masu fekalne vode rasprskalicama na dnu odjeljka, što se naziva **ozračivanje** ili **aeracija**.

Suprotno aerobnoj razgradnji, anaerobna razgradnja nastaje kad u vodi nema otopljenog kisika. Anaerobni proces odvija se u dvije faze. U prvoj, kiseloj ili tekućoj fazi, mikroorganizmi, tj. bakterije kiselog vrenja, razgrađuju organsku tvar do organskih kiselina koje su hrana za metanske bakterije u drugoj fazi razgradnje, metanskoj ili plinovitoj fazi. Tijekom anaerobne razgradnje organske tvari nastaje mnogo manje novih stanica nego tijekom aerobne razgradnje.

Procesi oksidacije i redukcije pomoću mikroorganizama omogućuju oksidaciju željeza i mangana, oksidaciju sumpornih spojeva, te oksidaciju i redukciju dušikovih spojeva.

Razvoj mikroorganizama u otpadnoj vodi proporcionalan je koncentraciji hranjive tvari. Umnožavanje mikroorganizama odvija se prema reakciji prvoga reda, [5.]:

$$\frac{dx}{dt} = K \cdot x$$

gdje je:

- x* masa suhe organske tvari u jedinici obujma;
- K* specifični rast u jedinici vremena;
- t* vrijeme.

Utjecaj hranjivih tvari, odnosno ograničenje rasta mikroorganizama može se izraziti Monodovom jednadžbom, koja je na slici 3. prikazana i dijagramski, [5.]:

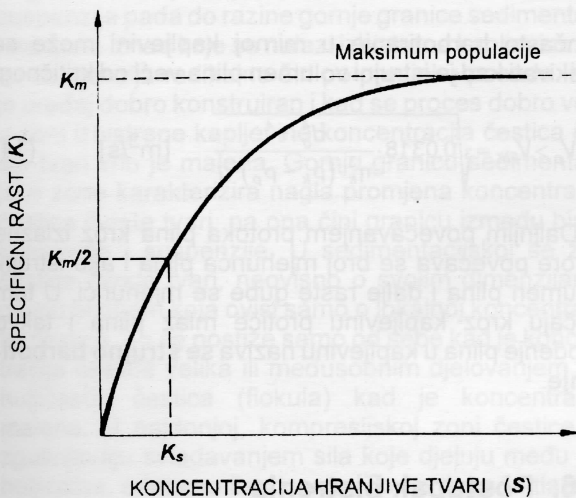
$$K = K_m \cdot \frac{S}{K_s + S} \quad (6)$$

gdje je:

- S* koncentracija hranjive tvari u vodi (masa hrane u jedinici obujma);
- K_m* ... maksimalni specifični rast u jedinici vremena;
- K_s* koncentracija hranjive tvari na polovici maksimalnog specifičnog rasta.

Iz dijagrama na slici 3. vidljivo je da uz male koncentracije organske tvari u vodi postoji velika mogućnost razgradnje, dok je djelatnost mikroorganizama ograničena kad je u vodi vrlo velika koncentracija organske tvari.

Na temelju empirijskih istraživanja utvrđeni su pokazatelji za dimenzioniranje uređaja za biološki proces aerobne razgradnje, tj. odjeljka za ozračivanje, kao i potrebne količine kisika za odvijanje tog procesa. Opterećenje muljem je omjer između mase hranjivih



Slika 3. Ovisnost rasta mikroorganizama o koncentraciji hranjive tvari

Figure 3. Dependence of the micro-organism's growth on the concentration of nutritious matter

tvari i mase mikroorganizama u odjeljku za ozračivanje. Taj se omjer dobiva iz izraza:

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0}{\vartheta \cdot x} \quad (7)$$

gdje je:

- F/M ... dnevno opterećenje muljem;
 S_0 masa hranjive tvari u otpadnoj vodi u dotoku izražena pomoću BPK, g/m^3 ;
 ϑ trajanje zadržavanja u odjeljku u danima;
 x masa suhe organske tvari u odjeljku, g/m^3 .

U aerobnim procesima mikroorganizmi upotrebljavaju otopljeni kisik u vodi za razgradnju organske tvari, te za gradnju i razgradnju stanica. Dnevna količina kisika potrebna za gradnju i razgradnju stanica iznosi po jedinici obujma odjeljka:

$$O = a \cdot \frac{S_0 - S}{\vartheta} + b \cdot x \quad [g/m^3, \text{ dan}] \quad (8)$$

gdje je:

- a koeficijent ovisan o organskom opterećenju;
 b koeficijent za razgradnju stanica;
 S masa hranjive tvari u otpadnoj vodi na izlazu iz odjeljka, g/m^3 ;
 S_0, ϑ, x odgovara oznakama u izrazu (7).

Kao i svi biokemijski procesi, tako i procesi biološkoga čišćenja ovise o temperaturi, i njezinim se povećanjem ubrzavaju. Pa ipak, kad je u pitanju aerobni postupak s aktivnim muljem, kao u slučaju brodskega uređaja za obradu fekalija, povećanje temperature praktički nema bitnoga utjecaja na ubrzanje postupka. Iz tog se razloga odjeljak za ozračivanje posebno i ne zagrijava.

Masa mikroorganizama raspršenih u spremniku, koji u aerobnim uvjetima mogu razgraditi organsku tvar, naziva se **aktivni mulj**. Osim aerobnog postupka s aktivnim muljem, koji se primjenjuje u brodskim uređajima za obradu fekalnih voda, postoji niz drugih aerobnih postupaka, čiji nazivi potječu od uređaja u kojima se odvijaju, kao što su: ozračena laguna, aerobna laguna, stabilizacija mulja, prokapnik, okretni biološki nosač ili biodisk i gruba pješčana cjediljka.

Aerobni postupak s aktivnim muljem odvija se tako da se otpadna voda uvodi u spremnik u koji se dodaje zrak ili kisik, uz istodobno miješanje sadržaja spremnika, čime se ubrzava dodir pahuljica hranjive tvari i mikroorganizama. Otpadna voda s mješavinom otpadne tvari i mikroorganizama bistri se u naknadnom klarifikatoru. Dio istaloženih pahuljica (aktivni mulj) vraća se u spremnik za ozračivanje, kako bi se povećala koncentracija mikroorganizama, a ostatak (višak mulja) odvodi se na obradu mulja. Ovakav tipični postupak gotovo se u cjelosti primjenjuje u brodskim uređajima za obradu fekalnih voda.

Učinak aerobnog postupka s aktivnim muljem ovisi o opterećenju muljem. Pri obradi sanitarnih otpadnih voda sa sadržajem organskih tvari izraženim pomoću BPK vrijednosti u iznosu 150 do 350 mg/l , mogu se postići učinci navedeni u tablici 2., [5].

Osim za stvaranje aerobnih uvjeta pri obradi fekalnih voda, postupak ozračivanja ili aeracije često se primjenjuje u području vodoopskrbe pri obradi vode za piće. Tako se aeracija primjenjuje za uklanjanje viška sumporovodika koji vodi daje neugodan okus, zatim ugljičnog dioksida koji vodu čini korozivnom, te kisika u vodi koja je prezasićena kisikom, jer višak kisika uzrokuje teškoće u ostalim postupcima čišćenja. Isto tako, aeracijom je moguće u vodu unositi kisik iz atmosfere, da bi se oksidacijom iona željeza i mangana, nitrifikacijom amonijaka i povećanjem količine otopljenog kisika poboljšao okus vode. Ozračivanje pri obradi vode za piće provodi se kaskadnim i površinskim aeratorima.

Aeracija za stvaranje aerobnih uvjeta u odjeljku za ozračivanje brodskega uređaja za obradu fekalnih voda, kao što je već rečeno, provodi se pomoću kuglastih rasprskavača smještenih na dnu odjeljka, sa strane, radi lakšega održavanja. Uvođenjem atmosferskoga zraka u samu masu fekalne vode, uvodi se i potrebni kisik. Za dobavu atmosferskoga zraka uređaj je opremljen dvama rotacijskim kompresorima, od kojih jedan radi, a drugi je u pričuvi. Minimalni tlak zraka

Tablica 2. Srednje vrijednosti smanjenja organske tvari aerobnim postupkom s aktivnim muljem
 Table 2. Mean values of reduction of organic matter by aerobic procedure with active sludge

Omjer mase hranjivih tvari i mikroorganizama, (F/M)	Smanjenje organskih tvari %
0,05	95
0,10	93
0,50	90
1,00	82 - 87
2,00	75 - 82

P_p koji je potreban za stvaranje mjehurića na otvorima rasprskaca, koji osigurava rotacijski kompresor, određuje se po sljedećem izrazu:

$$P_p \geq P_k + \frac{4 \cdot \tau}{d_o} \quad [\text{Pa}] \quad (9)$$

gdje je:

P_k ... tlak u kapljevinī (fekalnoj vodi) na razini uvođenja plina (zraka), Pa;

τ ... površinska napetost između mjehurića zraka i vode, koja kod 20°C iznosi:

$$= 0,0726 \text{ N/m};$$

povećanjem temperature ova vrijednost se smanjuje;

d_o ... veličina promjera otvora rasprskaca, koja se kreće u granicama:

$$= 0,002 - 0,008 \text{ m},$$

dok istrujni specifični protok zraka iznosi:

$$= \text{cca } 0,007 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s} \text{ ... pri slabom miješanju};$$

$$= \text{cca } 0,017 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s} \text{ ... pri intenzivnom miješanju}.$$

Kod **slobodnog barbotiranja**, što je naziv za istrujavanje plina iz otvora rasprskaca bez međusobnog dodirivanja mjehurića, uz njihovo relativno pravilno kretanje, stvaraju se na otvorima rasprskaca mjehurići plina koji polagano rastu, a kad pojedini mjehurić postigne promjer d_p dolazi do njegovoga otkidanja od otvora. Veličina promjera mjehurića plina d_p u trenutku njegovoga otkidanja od otvora promjera d_o , ovisi o sili uzgona:

$$F_{uzg} = \frac{1}{6} \cdot d_p^3 \cdot \Pi \cdot (\rho_k - \rho_p) \cdot g \quad [\text{N}] \quad (10)$$

i sili površinske napetosti:

$$F_{pn} = d_o \cdot \Pi \cdot \tau \quad [\text{N}] \quad (11)$$

gdje je:

ρ_k ... specifična masa (gustoća) fekalne vode, tj. kapljevine u općem slučaju, kg/m^3 ;

ρ_p ... specifična masa (gustoća) zraka, tj. plina u općem slučaju, kg/m^3 .

Izjednačavanjem tih sila dolazi se do jednadžbe koja definira veličinu promjera mjehurića plina d_p u trenutku otkidanja od otvora u mirnoj kapljevinī:

$$d_p = k \cdot \sqrt[3]{\frac{6 \cdot d_o \cdot \tau}{(\rho_k - \rho_p) \cdot g}} \quad [\text{m}] \quad (12)$$

gdje je:

k ... iskustveni koeficijent, čija je vrijednost 0,84 - 1,02.

Kod **lančastog barbotiranja** mjehurići se nepravilno kreću, uz međusobno dodirivanje, a promjer d_p mjehurića u trenutku otkidanja od otvora ovisi prvenstveno o istrujnom volumenu plina V_p , m^3/s i o promjeru otvora d_o :

$$d_p = \sqrt[4]{\frac{108 \cdot V_p \cdot \eta_k}{\Pi \cdot (\rho_k - \rho_p) \cdot g}} \quad [\text{m}] \quad (13)$$

gdje je: η_k ... dinamička žilavost kapljevine, Ns/m^2 .

Lančasto barbotiranje u mirnoj kapljevinī može se očekivati kad je istrujni volumen plina veći od kritičnog:

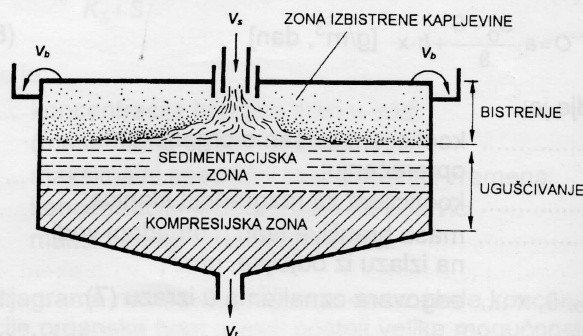
$$V_p > V_{krit} = \sqrt[3]{0,0318 \cdot \frac{d_o^4 \cdot \tau^4}{\eta_k^3 \cdot (\rho_k - \rho_p) \cdot g}} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (14)$$

Daljnijim povećavanjem protoka plina kroz izlazne otvore povećava se broj mjehurića plina i ako istrujni volumen plina i dalje raste gube se mjehurići. U tom slučaju kroz kapljevinī protiče mlaz plina i takvo uvođenje plina u kapljevinī naziva se **strujno barbotiranje**.

6. Postupak bistrenja Clarification procedure

Postupak bistrenja, koji se odvija u odjeljku za bistrenje brodskog uređaja za obradu fekalnih voda, predstavlja postupak razdvajanja faza taloženjem ili sedimentacijom. **Sedimentacija** se može definirati kao razdvajanje rjeđe kapljevine suspenzije neke čvrste tvari (mulja ili rijetkog mulja) na kapljevinī i gušću smjesu (gusti mulj ili sediment) s većim udjelom čvrste tvari zbog razlike gustoća u polju neke sile. Obično se takvo razdvajanje provodi u gravitacijskom polju. Korisni proizvodi sedimentacije mogu biti izbistrena kapljevinī, sediment ili oboje. Kad je proizvod kapljevinī, kao u slučaju brodskog uređaja za obradu fekalnih voda, govori se o **bistrenju** ili **klarifikaciji**; a kad je sediment, o **ugušćivanju**. Sedimentacija je vjerojatno bila poznata već u pretpovijesno doba, jer se već tada bistrila voda za piće.

Tijekom postupka sedimentacije iz suspenzije se odjeljuju čestice čvrste tvari djelovanjem gravitacijske (ili centrifugalne) sile, stvarajući sloj mulja koji se, kao i izbistrena kapljevinī, kontinuirano ili diskontinuirano odvodi. U cilindrični uređaj za sedimentaciju, shematski prikazan slikom 4., uvodi se suspenzija. Budući da



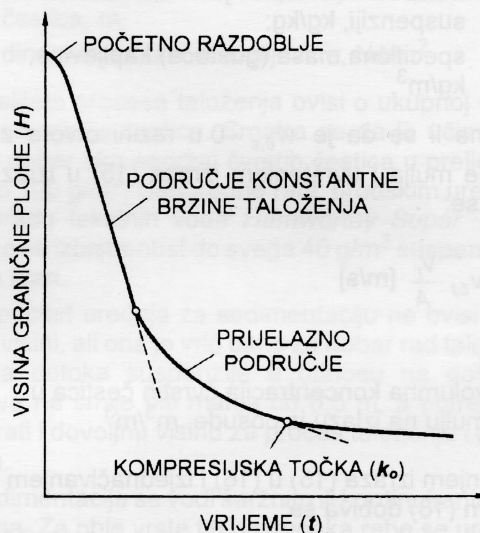
Slika 4. Mehaniizam sedimentacije
(V_s - volumni protok suspenzije, V_b - volumni protok izbistrene kapljevine, V_t - volumni protok gustog mulja)

Figure 4. Sedimentation mechanism
(V_s - volume flow of suspension, V_b - volume flow of clarified liquid, V_t - volume flow of thick sludge)

je gustoća suspenzije veća od izbistrene kapljevine, suspenzija pada do razine gornje granice sedimentacijske zone iznad koje se nalazi izbistrena kapljevine. Tu se suspenzija radikalno širi po presjeku posude. Kad je uređaj dobro konstruiran i kad se proces dobro vodi, u zoni izbistrene kapljevine koncentracija čestica čvrste tvari vrlo je malena. Gornju granicu sedimentacijske zone karakterizira nagla promjena koncentracije čestica čvrste tvari, pa ona čini granicu između bistrine kapljevine i suspenzije. U sedimentacijskoj se zoni čestice čvrste tvari, neovisno o svojim dimenzijama, gibaju brzinom koja ovisi samo o lokalnoj koncentraciji tih čestica. To se postiže samo od sebe kad je koncentracija čestica velika ili međusobnim djelovanjem pahuljičastih čestica (flokula) kad je koncentracija malena. U najdonjoj, kompresijskoj zoni čestice se zgušnjavaju svladavanjem sila koje djeluju među pahuljicama, odnosno česticama. To se događa tlačnim djelovanjem gornjih slojeva istaloženih čestica. Između sedimentacijske i kompresijske zone nalazi se pahuljičasta, prijelazna zona. Prijelazne zone nema, a ni znatnijeg zgušnjavanja u kompresijskoj zoni, kad ne postoji pahuljičasto djelovanje među česticama čvrste tvari. Tada čestice koje se talože dopijevaju neposredno u gusti mulj koji se ne može znatnije zbiti. Najčešće se sedimentacija odvija u pahuljičastim uvjetima, pa se često suspenziji dodaju sredstva za pahuljičanje ili flokuliranje, kako bi se povećala brzina taloženja i kapljevine bolje izbistrala. Dodavanjem polimera kao sredstva za pahuljičanje bitno se ubrzava proces sedimentacije. Uporabom tih sredstava, međutim, dobiva se mulj s manjom koncentracijom čvrstih čestica.

Teorijsko određivanje brzine taloženja povezano je s velikim teškoćama, pa se zbog toga brzina taloženja određuje eksperimentalno. To se provodi u cilindričnoj posudi koja, da bi se eliminirao utjecaj stijenki, mora imati promjer veći od 50 mm. Eksperimentalna se suspenzija nalije u cilindričnu posudu uz dodatak, ako je potrebno, sredstva za pahuljičanje, pa se nekoliko puta obrne da bi se dobro izmiješala. Eksperiment se nastavlja promatranjem faza taloženja. Vrlo se brzo pojavljuje izrazita granična ploha između gornje, bistrine zone i donje, sedimentacijske zone. Položaj te granične plohe kao funkcije vremena u jednom primjeru prikazan je dijagramom na slici 5, [8.]. Ako, međutim, u suspenziji postoje krupnije čestice, one razbijaju plastičnu strukturu sedimentacijske zone i brzo padaju na dno posude. Iznad toga se sloja izlučivanjem čestica iz sedimentacijske zone, u kompresijskoj zoni taloži gusti mulj. Koncentracija je čvrstih čestica najveća na dnu kompresijske zone i ona se smanjuje prema njezinu vrhu. Ta se koncentracija s vremenom sve više povećava. S napredovanjem sedimentacije postaje sedimentacijska zona sve manjom, dok konačno ne ostanu samo bistra zona i kompresijska zona. Položaj granične plohe između tih dviju zona naziva se kompresijska točka (k_0). Nakon toga sediment postaje sve gušći dok se položaj te granične plohe ne prestane mijenjati.

U prikazanom je primjeru (slika 5.) sniženje visine granične plohe u početnom razdoblju usporeno zbog preuređivanja pahuljičaste strukture. To se pojavljuje pri sedimentaciji suspenzija manje koncentracije. Nakon početnog razdoblja razina granične plohe



Slika 5. Krivulja taloženja
Figure 5. Sedimentation curve

smanjuje se konstantnom brzinom (linearni dio krivulje). Kad se radi o gustom mulju, odmah se pojavljuje kompresijska zona ili barem prijelazna zona.

Kad se promatra kontinuirana stacionarna sedimentacija, treba znati da se gibanje čvrstih čestica u svakoj točki sedimentacijske zone sastoji od dviju komponenti, od kojih se jedna može karakterizirati relativnom brzinom $w_{\check{c},s}$, m/s čvrstih čestica s obzirom na kapljevinu u suspenziji, a druga brzinom u_s suspenzije u sedimentacijskoj zoni:

$$u_s = \frac{V_t}{A} \text{ [m/s]} \quad (15)$$

gdje je:

V_t ... volumni protok mulja, m^3/s ;
 A ... površina presjeka posude, m^2 .

Suspenzija se giba brzinom u_s zbog kontinuiranog odvođenja mulja kroz otvor na dnu posude.

Volumni protok R čvrstih čestica po presjeku posude može se odrediti izrazom:

$$R = \frac{V_{\check{c}}}{A} = v_{\check{c},s} \cdot (w_{\check{c},s} + u_s) \text{ [m/s]} \quad (16)$$

gdje je:

$V_{\check{c}}$... volumni protok čvrstih čestica, m^3/s ;
 $v_{\check{c},s}$... volumna koncentracija čvrstih čestica u suspenziji, m^3/m^3 ,

dok je maseni protok Q čvrstih čestica po presjeku posude određen izrazom:

$$Q = \frac{M_{\check{c}}}{A \cdot \rho_k} = c_{\check{c},s} \cdot (w_{\check{c},s} + u_s) \text{ [m/s]} \quad (17)$$

gdje je:

$M_{\check{c}}$... maseni protok čvrstih čestica, kg/s ;

- $c_{\check{c},s}$... masena koncentracija čvrstih čestica u suspenziji, kg/kg;
 ρ_k ... specifična masa (gustoća) kapljevine, kg/m³.

Uzme li se da je $w_{\check{c},s} = 0$ u razini otvora za odvođenje mulja i uvrštenjem izraza (15) u izraz (16), dobije se:

$$R = v_{\check{c},t} \cdot \frac{V_t}{A} \quad [\text{m/s}] \quad (18)$$

gdje je:

$v_{\check{c},t}$... volumna koncentracija čvrstih čestica u mulju na izlazu iz posude, m³/m³.

Uvrštenjem izraza (15) u (16) i izjednačivanjem s izrazom (18) dobiva se:

$$\frac{A}{V_{\check{c}}} = \frac{1}{w_{\check{c},s}} \cdot \left(\frac{1}{V_{\check{c},s}} - \frac{1}{V_{\check{c},t}} \right) \quad [\text{s/m}] \quad (19)$$

Analogno prethodnom, uz $w_{\check{c},s} = 0$, dobiva se:

$$Q = c_{\check{c},t} \cdot \frac{V_t}{A} \quad [\text{m/s}] \quad (20)$$

gdje je:

$c_{\check{c},t}$... masena koncentracija čvrstih čestica u mulju na izlazu iz posude, kg/kg, pa se pomoću izraza (15), (17) i (20) dobije:

$$\frac{A \cdot \rho_k}{M_{\check{c}}} = \frac{1}{w_{\check{c},s}} \cdot \left(\frac{1}{c_{\check{c},s}} - \frac{1}{c_{\check{c},t}} \right) \quad [\text{s/m}] \quad (21)$$

Posljednji izraz predstavlja polazište za dimenzioniranje uređaja za sedimentaciju, pa se u tu svrhu izraz (21) piše u obliku:

$$Q = \frac{M_{\check{c}}}{A \cdot \rho_k} = \frac{w_{\check{c},s}}{\frac{1}{c_{\check{c},s}} - \frac{1}{c_{\check{c},t}}} \quad [\text{m/s}] \quad (22)$$

U sedimentacijskom procesu postoji neka razina koncentracije koja određuje učinak cijeloga procesa. Ta se kritična razina koncentracije može odrediti pomoću niza ispitivanja šaržnog procesa. Za to se upotrebljava dovoljna količina suspenzije koja se ispituje. Iz nje se sedimentacijom najprije odijeli voda i gusti mulj, te se od njih miješanjem prave suspenzije različitih koncentracija čvrstih čestica. Uz pretpostavku da je u zoni sedimentacije relativna brzina $w_{\check{c},s}$ funkcija samo lokalne koncentracije čvrstih čestica, smije se brzine taloženja pri diskontinuiranoj sedimentaciji primijeniti i na kontinuirane procese. Smije se, dakle, pretpostaviti da se i u kontinuiranom procesu pojavljuje skok koncentracije koji odgovara graničnoj plohi između bistre i sedimentacijske zone i koja se s obzirom na kapljevину giba relativnom brzinom $w_{\check{c},s}$. Na slici 6, [8.], dijagramski je prikazan maseni protok Q čvrstih čestica po presjeku posude za sedimentaciju u ovisnosti o njihovoj koncentraciji $c_{\check{c},s}$. Vrijednosti ordinata određene su pokusima i izračunate pomoću

izraza (17). Taj se maseni protok Q čvrstih čestica sastoji od dva dijela: od protoka Q_{tal} uzrokovanog taloženjem i protoka Q_{odv} zbog kontinuiranog odvođenja mulja.

Pomoću dijagrama na slici 6. može se odrediti kritična koncentracija čvrstih čestica $c_{\check{c},s,krit}$ i pripadni joj kritični maseni protok Q_{krit} po presjeku posude. Kad je sedimentacijski uređaj opterećen masenim protokom $Q > Q_{krit}$ stvara se kritična zona koja stalno raste dok čvrste čestice ne prodru u preljev što je predviđen za odvod izbistrene kapljevine. Kad je, međutim, $Q < Q_{krit}$ neće se pojaviti kritična zona. Budući da se sedimentacija uvijek projektira tako da se računa s određenom rezervom, kritična se zona u normalnom pogonu ne pojavljuje.

Kad se odredi vrijednost Q_{krit} može se odrediti potrebna površina poprečnog presjeka sedimentacijske posude, pomoću izraza:

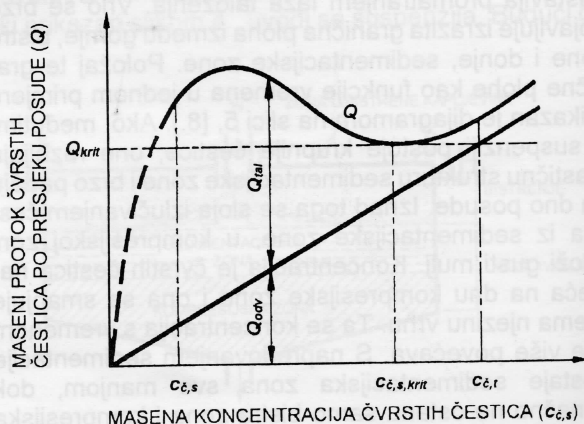
$$A = k \cdot \frac{M_{\check{c}}}{Q_{krit} \cdot \rho_k} \quad [\text{m}^2] \quad (23)$$

gdje je:

k ... iskustveni koeficijent, koji povećava površinu taložnika utvrđenu prikazanim teorijskim postupkom, kojemu je vrijednost 1,2 - 1,3.

Dobiveni izraz (23), kojim se prema [8.] vrši dimenzioniranje uređaja za sedimentaciju, premda naizgled vrlo jednostavan, pretpostavlja eksperimentalni postupak određivanja vrijednosti Q_{krit} što ga čini nepraktičnim za opće inženjerske primjene.

U stručnoj literaturi mogu se naći i drukčiji izrazi za dimenzioniranje površine poprečnoga presjeka sedimentacijske posude, koji se zasnivaju na teorijskim putem određenoj brzini taloženja. Za praktične inženjerske primjene osobito je prikladan izraz prema [1.], koji napisan u svoja tri različita oblika glasi:



Slika 6. Maseni protok čvrstih čestica po presjeku posude (Q) kao funkcija masene koncentracije čvrstih čestica ($c_{\check{c},s}$)
 Figure 6. Mass flow of solid particles per container's cross section (Q) as the function of mass concentration of solid particles ($c_{\check{c},s}$)

$$A = 1,33 \cdot \left(\frac{1}{m_{\check{c},s}} - \frac{1}{m_{\check{c},t}} \right) \cdot \frac{M_s \cdot m_{\check{c},s}}{\rho_b \cdot w'_{t\check{c}}(x)} \quad [m^2] \quad (24a)$$

$$A = 1,33 \cdot \frac{M_b}{\rho_b \cdot w'_{t\check{c}}(x)} \quad [m^2] \quad (24b)$$

$$A = 1,33 \cdot \frac{V_b}{w'_{t\check{c}}(x)} \quad [m^2] \quad (24c)$$

gdje je:

- $m_{\check{c},s}$ maseni udio čvrstih čestica u suspenziji, kg/kg;
 $m_{\check{c},t}$ maseni udio čvrstih čestica u mulju na izlazu iz posude, kg/kg;
 M_s maseni protok dovedene suspenzije, kg/s;
 ρ_b specifična masa (gustoća) izbistrene kapljevine, kg/m³;
 $w'_{t\check{c}}(x)$ brzina ometanog taloženja čestica, m/s;
 M_b maseni protok izbistrene kapljevine, kg/s;
 V_b volumni protok izbistrene kapljevine, m³/s.

Brzina $w'_{t\check{c}}(x)$ u izrazima (24a), (24b) i (24c) definira se za neku graničnu veličinu $x_{gr} = d_{\check{c}} = d_{ek}$ čestica u dotočnoj suspenziji, tako da ta brzina bude jednaka ili veća od brzine w_v vertikalnog strujanja tekućine u taložniku. Navedeni odnos brzina taloženja i vertikalnog strujanja tekućine $w'_{t\check{c}}(x) \geq w_v$ teorijski je uvjet da se istalože sve čestice iste gustoće, jednake ili veće od $x = x_{gr}$. U praktičnoj primjeni za orijentacijsku procjenu brzine $w'_{t\check{c}}(x)$ može se koristiti jednostavni izraz:

$$w'_{t\check{c}}(x) \approx \varepsilon \cdot w_{t\check{c}} \quad (25)$$

s tim da se brzina neometanog taloženja čestica u mirnoj kapljevine za laminarno gibanje, tj. za Stokesovo područje, određuje prema izrazu:

$$w_{t\check{c}} = (w_{t\check{c}})_{St} = \frac{1}{18} \cdot \left(\frac{\rho_{\check{c}}}{\rho_k} - 1 \right) \cdot \frac{g \cdot d_{\check{c}}^2 \cdot \rho_k}{\eta_k} \quad (26)$$

uz uvjet da se u tom izrazu ρ_k i η_k supstituiraju na sljedeći način:

$$\rho_k \rightarrow \rho_s = \rho_{\check{c}} \cdot (1 - \varepsilon) + \rho_k \cdot \varepsilon \quad (27)$$

$$\eta_k \rightarrow \eta_s = \frac{\eta_k \cdot (1 - \varepsilon)}{0,123 \cdot \varepsilon^3} \quad \text{za } \varepsilon \leq 0,7 \quad (28a)$$

$$\eta_k \rightarrow \eta_s = \eta_k \cdot 10^{1,82(1-\varepsilon)} \quad \text{za } \varepsilon > 0,7 \quad (28b)$$

gdje je:

- ε poroznost suspenzije, m³/m³;
 $\rho_{\check{c}}$... specifična masa (gustoća) čvrstih čestica, kg/m³;
 ρ_k ... specifična masa (gustoća) kapljevine, kg/m³;

$d_{\check{c}}$... promjer, tj. ekvivalentni promjer čvrstih čestica, m;

η_k ... dinamička žilavost kapljevine, Ns/m².

Kvaliteta procesa taloženja ovisi o ukupnoj efikasnosti odvajanja čestica. Smatra se da je učinak bistrenja dobar ako sadržaj čvrstih čestica u preljevu ne prelazi 100 g/m³. Usporedbe radi, brodskim uređajem za obradu fekalnih voda *Hamworthy Super Trident* postiže se izbistrenost do svega 40 g/m³ suspendirane čvrste tvari.

Kapacitet uređaja za sedimentaciju ne ovisi o njegovoj visini, ali ona je vrlo bitna za dobar rad taložnika. Dubina dotoka suspenzije u odnosu na donji rub preljeva ne smije biti manja od 0,5 m, a potrebno je osigurati i dovoljnu visinu za proces taloženja i prihvat taloga.

Sedimentacija se vodi šaržnim ili kontinuiranim postupcima. Za obje vrste tih postupaka rabe se uređaji s posudama zvan **taložnici** ili **sedimentatori**. Ovisno o tome promatra li se postupak kao bistrenje ili ugušćivanje, za uređaje se koriste nazivi **izbistrivači** ili **klarifikator**, odnosno **ugušćivači**.

7. Ekološki propisi Eco-regulations

Međunarodna Konvencija o sprječavanju zagađivanja mora s brodova iz 1973., preinačena s pripojenim Protokolom iz 1978. i izmjenama i dopunama sadržanim u MEPC rezolucijama do danas, poznata pod nazivom MARPOL 73/78, najambiciozniji je međunarodni pothvat na planu zaštite mora od onečišćenja. Konvencija regulira zaštitu mora kroz pet priloga, i to:

Prilog I. Sprječavanje zagađivanja uljem;

Prilog II. Sprječavanje zagađivanja štetnim tekućim tvarima koje se prevoze morem u razlivenom stanju;

Prilog III. Sprječavanje zagađivanja štetnim tvarima koje se prevoze morem u pakovanom obliku;

Prilog IV. Sprječavanje zagađivanja sanitarnim otpadnim vodama;

Prilog V. Sprječavanje zagađivanja smećem.

Odredbi Konvencije MARPOL 73/78, koje se odnose na sprječavanje zagađivanja mora sanitarnim otpadnim vodama s brodova, sadržane u Prilogu IV., jedini su dio Konvencije koji još nije stupio na snagu. Uvjet za to je da ih prihvati najmanje 15 zemalja čija trgovačka flota čini najmanje 50% tonaže svjetske trgovačke flote.

MARPOL 73/78, Prilog IV. zabranjuje ispuštanje fekalnih voda u more unutar 4 Nm od najbliže obale, osim ako imaju odobren plan obrade fekalnih voda. Između 4 i 12 Nm od kopna, prije ispuštanja u more, fekalije trebaju biti usitnjene i dezinficirane.

Iako MARPOL 73/78, Prilog IV još nije stupio na snagu, mnoge države imaju svoje nacionalne ekološke standarde, zasnovane na odredbama Konvencije MARPOL 73/78, Prilog IV, poput Hrvatske npr. ili još i strože, poput Kanade npr. Podaci o zahtjevanom stupnju čistoće fekalne vode obrađene u uređaju za

biokemijsku obradu prije njezinog ispuštanja iz broda prikazani su u tablici 3.

Tablica 3. Zahtjevani stupanj čistoće fekalne vode obrađene u uređaju za biokemijsku obradu prije njezinog ispuštanja iz broda

Table 3. The purification requirement of faecal water treated in the biochemical treatment unit prior to being let flow out of the ship

	BPK ₅ mg/l	Količina suspendirane tvari mg/l	Koliformne bakterije (b.c.) /100 ml	Slobodni raspoloživi klor mg/l
IMO	50	50 (100)*	250	5
HRB	50	50 (100)*	250	5
USGC	100	150	200	-
CCG	50	50	200	0,5 - 1

IMO - Međunarodna pomorska organizacija (International Maritime Organisation) - Konvencija MARPOL 73/78, Prilog IV.

HRB - Hrvatski registar brodova

USGC - Američka obalna straža (US Coast Guard)

CCG - Kanadska obalna straža (Canadian Coast Guard)

* 50 mg/l ako se uređaj ispituje na kopnu, 100 mg/l ako se uređaj ispituje na brodu

8. Zaključak Conclusion

U radu je prikazan način rada brodskog uređaja za biokemijsku obradu fekalnih voda, ponajprije s aspekta različitih procesa iz područja inženjerstva disperznih sustava, kojima se podvrgava otpadna fekalna voda sa svrhom njezinoga pročišćavanja prije ispuštanja u more. Iz toga razloga brodski uređaj za obradu fekalnih voda nije obrađivan s aspekta rukovanja, održavanja, pražnjenja i čišćenja.

Na temelju iznesenih činjenica može se uočiti velika važnost ovog i sličnih uređaja za zaštitu od onečišćenja mora i okoliša uopće. Razvojem brodar-

stva i povećanjem svjetske trgovačke flote povećavaju se i opasnosti od nekontroliranoga onečišćenja mora i priobalja. Iako se borba protiv onečišćenja mora tiče:

- ♦ svih ljudi koji vole more,
- ♦ svih ljudi koji žive od mora,
- ♦ svih ljudi koji plovo morima,
- ♦ svih ljudi koji su vlasnici i korisnici pomorskih brodova,
- ♦ svih ljudi koji su članovi vlada zainteresiranih zemalja,

naročita je odgovornost na inženjerima strojarstva, koji konstruiraju i/ili odabiru uređaje ovakve vrste i njima rukuju.

Literatura References

- [1.] V. Koharić, MEHANIČKE OPERACIJE, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1994.
- [2.] V. Ozretić, BRODSKI POMOĆNI STROJEVI I UREĐAJI, Split Ship Management, Split, 1996.
- [3.] E. Souchotte, D. W. Smith, MARINE AUXILIARY MACHINERY, Newnes - Butterworths, Southampton, 1975.
- [4.] HAMWORTHY SUPER TRIDENT SEWAGE TREATMENT UNIT, Hamworthy Engineering Limited, Poole, Publication No. PCH 1339
- [5.] S. Tedeschi, OTPADNE VODE, Tehnička enciklopedija 10, str. 64-90, Leksikografski zavod, Zagreb, 1986.
- [6.] PRAVILA ZA TEHNIČKI NADZOR POMORSKIH BRODOVA, DIO 22. - SPREČAVANJE ZAGAĐIVANJA, Hrvatski registar brodova, Split, 1994.
- [7.] REGULATIONS FOR THE PREVENTION OF POLLUTION BY SEWAGE FROM SHIP, IMO, MARPOL 73/78, Annex IV
- [8.] Ž. Viličić, SEDIMENTACIJA, Tehnička enciklopedija 12, str. 45-51, Leksikografski zavod, Zagreb, 1992.
- [9.] A. F. van Nieuwenhuijzen, A. R. Mels, . . . IDENTIFICATION AND EVALUATION OF WASTEWATER TREATMENT SCENARIOS, BASED ON PHYSICAL-CHEMICAL PRETREATMENT, Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Department Sanitary Engineering, Delft, 1998.

Rukopis primljen: 2. 9. 1998.