

UDK: 674:628.161.2

Problematika formaldehida v odpadnih vodah lesne industrije

Problem of Waste Effluents in Wood Industry - the Possibilities of Biological Treatment

Tadeja MUCK*

Izvleček

Lesna industrija ni velik onesnaževalec voda, a s tem se ni tolažiti. Odpadne vode lesne industrije pogosto vsebujejo zelo visoke vrednosti nevarne in strupene substance - formaldehida, zato je nujno potrebno, da pričnemo s podrobnimi analizami odpadnih voda in z raziskavami o možnostih čiščenja.

Statistične analize so pokazale, da se lesna industrija še vse premalo zaveda, kako hitro lahko porušimo ekološko ravnotežje v naravi, saj so vrednosti o količini čiščenih odpadnih voda v lesni industriji izjemno nizke.

Tako smo v seminarju podali nekaj smernic in možnosti odstranjevanja formaldehida iz odpadnih voda s poudarkom na sekundarnem postopku čiščenja - biološkem čiščenju odpadnih voda. Biološko čiščenje je lahko anaerobno ali aerobno, zato smo predstavili oba postopka. Večji poudarek in podrobnejši opis je podan za aerobni postopek biološkega čiščenja, na katerem sem opravila svoje raziskave v praktičnem delu diplomske naloge.

Ključne besede: onesnažene vode, odpadne vode, formaldehid, biološko čiščenje

UVOD

Dandanes redko katera voda, bodisi reke, potoki, jezera, pa tudi morja še ohranjajo svojo nekdanjo neoporečnost oziroma čistost. Vzroki onesnaževanja voda so najpogosteje velike količine odpadnih snovi iz industrije, kmetijstva, komunalnega onesnaženja in vrste drugih človekovih dejavnosti. Posledice takšne človekove malomarnosti so velikokrat tudi katastrofalne, tako je človekovo zdravje vse bolj ogroženo.

Varstvo okolja je veda, ki se v zad-

njem času vse bolj uveljavlja, saj bomo le s strokovnim pristopom lahko uspešno očistili sedaj onesnažene vode. Seveda pa so ekologi sami brez sodelovanja ljudi (iz industrije, kmetijstva idr.) nemočni. Le če se bo dvignila splošna zavest vseh ljudi, bomo lahko ohranili naše vode in s tem naše zdravje.

LESNA INDUSTRIJA KOT ONESNAŽEVALEC VODA

Lesna industrija sicer ni poznana kot nevaren onesnaževalec, vendar pa obseg proizvodnje lahko močno stopnjuje učinke na okolje. Predvsem spornje je formaldehid v odpadnih vodah

Abstract

Wood industry does not pollute waters to a great extend, nevertheless we must be aware that the problem still exists. Waste effluents in wood industry contain very high portion of dangerous and toxic substance - formaldehyde. That is why it is inevitably vital to start with detailed analysis of waste effluents and with studies of possibilities of decontamination.

Statistical analysis are showing that wood industry are not well aware of the fact how quickly the ecological balance can be destroyed, since the quantities of treated waste effluents are extremely low.

During the seminar some guidelines on how to extract formaldehyde from waste effluents were issued with the stress on secundar method of treatment - biological treatment of waste effluents. Biological treatment can be both, aerobic or anaerobic. During the seminar both methods were introduced with the emphasis on the aerobic procedure, which I was researching in the experimental part of my diploma work.

Keywords: *pollute waters, effluents, formaldehyde, biological treatment*

lesne industrije. Lesno industrijo navadno delimo na primarno in končno proizvodnjo. Vsaka veja uporablja različne materiale, zato so tudi učinki na okolje zelo različni.

MESTA NASTAJANJA ODPADNIH VODA V LESNI INDUSTRIJI

Kakovost vode najlažje spoznamo, če poznamo vir, kjer odpadna voda nastaja. Pomembnejša mesta, kjer nastane odpadna voda v lesni industriji, so navedena v preglednici 1.

Celotno odpadno vodo lahko razdelimo na dve skupini; to sta:

* voda, ki nastane neposredno ob

* dipl. ing., Oddelek za lesarstvo, Biotehniška fakulteta, Ljubljana, Rožna dolina, C. VIII/34

Preglednica 1. Mesta nastanka in vrsta odpadne vode (5)

| MESTO NASTANKA ODPADNE VODE | VRSTA ODPADNE VODE |
|--------------------------------------|---|
| * SUŠENJE LESA | kisla odpadna voda |
| * LAKIRANJE, LUŽENJE | odpadna voda lakirnih kabin |
| * FURNIRANJE, LEPLJENJE | odpadna voda pri čiščenju orodij, strojev |
| * VZDRŽEVANJE STROJEV, ORODJA | odpadna olja, masti |
| * HIDROTERMIČNA OBDELAVA, PARJENJE | kisla odpadna voda |
| * KONDENZATNA VODA (KOMPRESORJI) | voda, olja |
| * SKLADIŠČENJE HLODOVINE | deževnica, voda za navlaženje, namakanje |
| * ATMOSFERSE VODE | voda, nečistoče |
| * ČIŠČENJE V PROIZVODNJI IN PISARNAH | odpadna voda |
| * OSEBNE POTREBE IN HIGIENA | odpadna voda, fekalna voda |

Preglednica 2. Preskrba lesne industrije z vodo v letu 1996 (8)

| | LASTNA PRESKRBA | | | | | VODOVODNI SISTEMI | |
|-------------------------------------|-----------------|------------|--------|----------|------------|-------------------|---------------|
| | SKUPAJ | PODTALNICE | IZVIRI | VODOTOKI | DRUGI VIRI | SKUPAJ | JAVNI VODOVOD |
| Proizvodnja žaganega lesa in plošč | 96 | 62 | - | 34 | - | 467 | 257 |
| Proizvodnja končnih lesnih izdelkov | 178 | 14 | 85 | 79 | - | 1364 | 1363 |

* količine v 1000 m³

Preglednica 3. Uporaba vode v lesni industriji v letu 1996 (8)

| | SVEŽA VODA | | | VODA V RECIRKULACIJI | | VNIVOČ UPORABLJENA VODA | |
|-------------------------------------|------------|--------------------|---------------|----------------------|----------------------|-------------------------|------------------------------------|
| | SKUPAJ | TEHNOLOŠKI VODA | PITNA VODA | SKUPAJ | DODANA SVEŽA VODA | SKUPAJ | OD TEGA PO PREČIŠČ. HLAJENJU |
| Proizvodnja žaganega lesa in plošč | 603 | 280 | 323 | - | - | - | - |
| Proizvodnja končnih lesnih izdelkov | 1502 | 406 | 1096 | 5 | 1 | - | - |

* količine v 1000 m³

Preglednica 4. Uporaba vode v lesni industriji po namenu v letu 1996 (8)

| | SKUPAJ | UPORABLJENA VODA | | | PORABLJENA VODA V TEHNOLOŠKI PROCESU | |
|-------------------------------------|--------|---------------------------------|--------------------------|---------------------|--|----|
| | | ZA TEHNOLOŠKI PROCES proizv. | ZA SANITARNE HLAJENJE | ZA OSTALE NAMENE | | |
| Proizvodnja žaganega lesa in plošč | 603 | 286 | 46 | 200 | 71 | 53 |
| Proizvodnja končnih lesnih izdelkov | 1502 | 540 | 211 | 651 | 100 | 41 |

* količine v 1.000 m³

proizvodnem procesu in
* druga odpadna voda.

STATISTIČNI PODATKI

Za lažjo in nazornejšo predstavo smo navedli nekaj osnovnih statističnih podatkov, ki obsegajo podatke o:

- * preskrbi vode,
- * uporabi vode,
- * izpustu odpadne vode in
- * prečiščevanju odpadne vode v lesni industriji.

Navedene so vrednosti posebej za proizvodnjo žaganega lesa in plošč

ter posebej za proizvodnjo končnih lesnih izdelkov.

Preskrba industrije z vodo

Lesna industrija se preskrbuje z 2,8 % vode iz vodovodnih sistemov glede na celotno industrijo brez elektrogospodarstva.

Iz podatkov v preglednici 2 lahko razberemo, da se lesna industrija oskrbuje predvsem z vodo iz vodovodnih sistemov, in sicer pretežno z vodo iz javnih vodotokov. Pri proizvodnji končnih lesnih izdelkov je oskrba z vodo približno trikrat večja kot pa pri proizvodnji žaganega lesa in plošč.

Uporaba vode v industriji

Vode v recirkulacijskem krogu skorajda ni.

Glede na uporabljeno vodo, ki jo porabi celotna industrija brez elektrogospodarstva, uporabi lesna industrija 1,8 % vode.

Preglednica 3 kaže na to, da lesna industrija uporablja le svežo vodo, od katere večji delež je pitna voda.

Uporaba vode v industriji po namenu

Navedene vrednosti v preglednici 4 kažejo, da se največ vode porabi pri proizvodnji končnih lesnih izdelkov in da je poraba približno trikrat večja kot pri proizvodnji žaganega lesa in plošč.

Če primerjamo količino vode, ki se porabi za sanitarne namene glede na skupno uporabljeno vodo, vidimo, da lesna industrija ni velik potrošnik vode.

Izpust odpadne vode v industriji

Iz podatkov v preglednici 5 je razvidno, da večina odpadne vode odteče v kanalizacijo, manjši del v površinske vode in najmanj neposredno v zemljo.

Prečiščevanje odpadne vode v industriji

Prečiščevanje odpadne vode v lesni industriji ni zadovoljivo. V pregledni-

Preglednica 5. Izpust odpadne vode lesne industrije v letu 1996 (8)

| | V ZEMLJO | V KANALIZACIJO | V POVRŠINSKE VODE | SKUPAJ |
|-------------------------------------|----------|----------------|-------------------|--------|
| Proizvodnja žaganega lesa in plošč | 9 | 383 | 130 | 522 |
| Proizvodnja končnih lesnih izdelkov | 41 | 1198 | 217 | 1456 |

* količine v 1.000 m³

Preglednica 6. Nekombinirano prečiščevanje odpadne vode lesne industrije v letu 1996 (8)

| | NEKOMBINIRANO PREČIŠČEVANJE | | | SKUPAJ |
|-------------------------------------|-----------------------------|---------|----------|--------|
| | MEHANSKO | KEMIČNO | BIOLOŠKO | |
| Proizvodnja žaganega lesa in plošč | 62 | - | 25 | 87 |
| Proizvodnja končnih lesnih izdelkov | 230 | 10 | 5 | 245 |

* količine v 1.000 m³

ci 6 lahko razberemo, da v lesni industriji uporabljajo predvsem postopke mehanskega čiščenja, kar pa ne odstrani substanc, topljivih v vodi.

Še slabši so rezultati analiz pri ugotavljanju uporabe kombiniranih postopkov čiščenja. Te vrednosti so zanimljivo nizke (glej preglednico 7).

Toksičnost formaldehida

Formaldehid spada med kemikalije, pri katerih se negativne posledice pokažejo šele po določenem času. Na uporabi formaldehida temeljijo ogromne količine različnih izdelkov. S tovrstnimi izdelki pa pride v stik velik del populacije.

Preglednica 7. Kombinirano prečiščevanje odpadne vode lesne industrije v letu 1996 (8)

| | KOMBINIRANO PREČIŠČEVANJE | | | | SKUPAJ |
|-------------------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------|--------|
| | MEHANSKO/ KEMIČNO | MEHANSKO/ BIOLOŠKO | KEMIČNO/ BIOLOŠKO | MEHANSKO/ KEMIČNO/ BIOLOŠKO | |
| Proizvodnja žaganega lesa in plošč | - | - | - | - | - |
| Proizvodnja končnih lesnih izdelkov | 4 | 7 | - | - | 11 |

* količine v 1.000 m³

PROBLEMATIKA FORMALDEHIDA V ODPADNIH VODAH LESNE INDUSTRIJE

Formaldehid je najenostavnejši aldehyd. Je strupen, brezbarven plin ostrega vonja. Uporablja se v industriji plastičnih mas, barv, tekstila, kože, papirja, za dezinfekcijo v farmacevtski industriji idr.

V lesni industriji se uporablja predvsem pri izdelavi ivernih in vlaknenih plošč ter pri lepljenju z lepili, ki vsebujejo formaldehid.

Raziskave so pokazale, da je formaldehid alergen, posebno za občutljivejši ljudi, prav tako pa tudi kancerogen.

Pri uporabi formaldehida za poskuse na živalih so pri živalih, ki so bile izpostavljene formaldehidu, opazili raka. Posledice delovanja formaldehida na človeka pa so se pokazale kot draženje sluznice in pa nastajanje nosnega tumorja.

Negativni vpliv formaldehida na človeka prikazuje preglednica 8.

Preglednica 8. Vpliv formaldehida na človeka (3)

| UČINEK FORMALDEHIDA | STOPNJA IZPOSTAVLJENOSTI (ppm) |
|--|--------------------------------|
| Prag vonja | 0,05 - 0,1 |
| Prag draženja oči, nosu in grla | 0,2 - 1,6 |
| Močno draženje zgornjih dihalnih poti, kašljanje, solzenje, povečano nelagodje | 3,0 - 6,0 |
| Takojšnja naduha, opekline v nosu in grlu, močno kašljanje in solzenje | 10 - 20 |
| Odmiranje sluznice, napad grla, pljučni edem | > 50 |

Zaradi strupenosti formaldehida, morajo odpadne vode ob izpustu v vodotoke ali kanalizacijo ustrezati predpisom o mejnih koncentracijah formaldehida, ki so predstavljene v preglednici 9.

Preglednica 9. Mejne koncentracije formaldehida v odpadnih vodah RS (4)

| ODPADNE VODE | MEJNA KONCENTRACIJA (mg/l) |
|--|----------------------------|
| Odpadne vode, ki odtekajo v vodotok | 1 |
| Odpadne vode, ki odtekajo v kanalizacijo | 5 |

Onesnaženje odpadnih voda s formaldehidom nastane v industriji predvsem ob pranju strojev, pripomočkov ter trakov za nanašanje lepila. To se navadno zgodi ob koncu delavnika, tako se srečamo s konicami večjih koncentracij formaldehida v odpadnih vodah. Na to moramo biti pozorni predvsem pri vzorčenju odpadnih voda.

Kot smo videli v zgornji preglednici, večina lesnih tovarn čisti odpadno vodo le mehansko. Ta vrsta čiščenja iz vode ne odstrani formaldehida, saj je le-ta v vodi raztopljen, temveč le po usedanju koagulirane delce lepila.

Iz dosedaj opravljenih ekoloških analiz je razvidno, da ima večina lesnih obratov odpadno vodo speljano v kanalizacijo, nekatere pa neposredno v vodotoke.

Pri raziskavah, ki so bile opravljene v letu 1994, je bilo ob analizi odpadne vode lesne industrije ugotovljeno, da so bile koncentracije formaldehida v

lesnih obratih, ki imajo vodo speljano v kanalizacijo, mnogokrat tudi 10 - krat presežene.

Še bolj skrb vzbujajoči so rezultati za vodo, ki je speljana neposredno v vodotoke. Izmerjene koncentracije so bile 10 do 30-krat presežene (10).

Za ugotavljanje strupenosti industrijske odpadne vode je zelo priporočljivo, da se uporabljajo biološki testi strupenosti, ki so osnovani na uporabi različno občutljivih vodnih organizmov.

Na osnovi testov strupenosti z uporabo vodnih organizmov iz različnih skupin strupenosti je bila raziskana tudi strupenost čistega fenola in formaldehida ter odpadne vode, ki je vsebovala fenol in formaldehid (11).

Pri raziskavi strupenosti fenola in formaldehida so uporabili naslednje testne organizme:

* mešana kultura bakterij,

Preglednica 10. Kemijska analiza industrijske odpadne vode

| PARAMETRI | ODPADNA VODA |
|----------------------------|--------------|
| pH | 7,8 |
| KPK (mg/L) | 216 |
| BPKS (mg/L) | 150 |
| NKjeh (mg/L) | <0,5 |
| totalni P (mg/L) | 0,03 |
| totalne soli, 105°C (mg/L) | 287 |
| fiksne soli, 550°C (mg/L) | 212 |
| fenol (mg/L) | 70 |
| formaldehid (mg/L) | 22,5 |

* enocelične zelene alge (*Scenedesmus quadricauda*),

* crustacij (*Daphnia pulex*) in

* ribe (*Oncorhynchus mykiss*).

Rezultati kemijske analize industrijske odpadne vode, ki je vsebovala fenol in formaldehid, so podani v preglednici 10.

Najprej so pri raziskavi ugotavljali, kakšna je strupenost samega fenola oziroma formaldehida. Rezultati so podani v pre-

glednici 11 kot učinkovite oziroma letalne koncentracije fenola oziroma formaldehida po določenih časih.

EC-efektivne koncentracije so tiste, pri katerih je organizem prizadet, a ni nujno, da pogine, medtem ko je LC-letalna koncentracija tista, pri kateri organizem pogine.

Rezultati testov strupenosti, podani v preglednicah 11 in 12 (osnovanih na različnih testnih organizmih), na čisti fenol, formaldehid in odpadno vodo, ki je vsebovala fenol oziroma formaldehid, so pokazali visoko občutljivost *Daphnia pulex* in *Oncorhynchus mykiss* na formaldehid in manjšo občutljivost *Scenedesmus quadricauda* in mešane kulture bakterij.

Formaldehid je pokazal večjo strupenost kot fenol za mešane kulture bakterij, *Scenedesmus quadricauda* in *Daphnia pulex*.

Strupenost industrijske odpadne vode na testirane vodne organizme je v glavnem posledica vsebnosti formaldehida, medtem ko je za *Oncorhynchus mykiss* usodna vsebnost fenola v odpadni vodi.

Določanje koncentracije formaldehida

Standardno predpisane metode za določanje koncentracije formaldehida v odpadni vodi ni.

Obstaja pa veliko število priporočenih metod.

Priporočene metode so naslednje:

Preglednica 11. Strupenost fenola in formaldehida na testne organizme

| Testni organizmi | Fenol (mg/L) | Formaldehid (mg/L) |
|--------------------------------|--------------|--------------------|
| Mešana kultura bakterij | | |
| 120h EC ₁₀ | 283 | 14,7 |
| 120h EC ₅₀ | 510 | 34,1 |
| 120h EC ₉₀ | 921 | 78,9 |
| <i>Scenedesmus quadricauda</i> | | |
| 24h EC ₁₀ | 184 | 3,6 |
| 24h EC ₅₀ | 403 | 14,7 |
| 24h EC ₉₀ | 882 | 60,3 |
| <i>Daphnia pulex</i> | | |
| 48h EC ₁₀ | 4,1 | 1,9 |
| 48h EC ₅₀ | 25,0 | 5,8 |
| 48h EC ₉₀ | 150,0 | 16,8 |
| <i>Oncorhynchus mykiss</i> | | |
| 48h LC ₁₀ | 10,3 | 29,3 |
| 48h LC ₅₀ | 13,1 | 50,0 |
| 48h LC ₉₀ | 16,6 | 87,0 |

Preglednica 12. Strupenost industrijske odpadne vode na testne organizme

| TESTNI ORGANIZMI | KONCENTRACIJA ODPADNE VODE (%) | FENOL (mg/L) | FORMALDEHID (mg/L) |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------|--------------------|
| Mešana kultura bakterij | | | |
| 120h EC ₃₅ | 100 | 70 | 22,5 |
| <i>Scenedesmus quadricauda</i> | | | |
| 24h EC ₁₀ | 27,0 | 18,9 | 6,1 |
| 24h EC ₅₀ | 57,5 | 40,3 | 12,9 |
| 24h EC ₉₀ | - | - | - |
| <i>Daphnia pulex</i> | | | |
| 48h EC ₁₀ | 2,9 | 2,0 | 0,7 |
| 48h EC ₅₀ | 17,2 | 12,0 | 3,9 |
| 48h EC ₉₀ | 100,0 | 70,0 | 22,5 |
| <i>Oncorhynchus mykiss</i> | | | |
| 48h LC ₁₀ | 12,5 | 8,8 | 2,8 |
| 48h LC ₅₀ | 18,5 | 12,9 | 4,2 |
| 48h LC ₉₀ | 27,2 | 19,0 | 6,1 |

FOTOMETRIČNE

Acetilacetonska metoda
Metoda s kromotropno kislino
Sulfit - pararozanilinska metoda
MBTH metoda
Metoda s fenilhidrazinijevim kloridom

TITRACIJSKE

Jodometrična metoda
Metoda s hidroksiaminhidrokloridom

KROMATOGRFSKE

Plinska kromatografija
HPLC
Tankoplastna kromatografija

GRAVIMETRIČNE

Metoda z dimetilcikloheksandionom (DIMEDON)

POLAROGRAFSKE

Z redukcijo na kapilarni živosrebrni elektrodi

Težave, ki nastopijo pri določanju koncentracije formaldehida v odpadnih vodah

Prvi problem določanja koncentracije formaldehida se pojavi zato, ker ni predpisane standardne metode za določevanje.

Drugi problem pa nastane že pri samem vzorčenju. Že prej je bilo omejeno, da se pri onesnaževanju odpadne vode s formaldehidom srečamo z izrazitimi časovnimi konicami.

Če bi želeli delati kakršnekoli sklepe ali primerjave, bi morali imeti resnično reprezentativne vzorce. Do takšnih vzorcev bi najlažje prišli z avtomatskim vzorčevalnikom, koncentracijo formaldehida pa bi morali določati po vedno enaki, najprimernejši metodi.

Pri raziskavah, ki so bile opravljene v letu 1994 v okviru praktičnega dela pri diplomski nalogi, se je pri določevanju koncentracije formaldehida po različnih metodah najbolje obnesla spektrofotometrična metoda določanja formaldehida s kromotropno kislino.

Poleg spektrofotometrične metode so uporabili še:

- * jodometrično metodo,
- * Merckoquant formaldehid test in
- * Aquamerck formaldehid test.

Tudi vse druge naštetje metode, ki so bile testirane, so se pokazale kot dokaj zanesljive, če so bile resnično natančno izvedene in če se je določala koncentracija direktno na filtratu in ne na destilatu vzorca (10).

Odstranjevanje formaldehida iz odpadnih voda

Vsebnost formaldehida v odpadnih vodah lesne industrije bi najlažje znižali, če bi uporabili lepila, ki bi vsebovala nižje vsebnosti formaldehida. Seveda se to ne mora zgoditi čez noč, saj so lepila na osnovi formaldehida cenovno in glede na kvaliteto zelo dobra.

Preučiti bi morali tudi možnosti recikliranja odpadnih lepil.

Zavzemati bi se morali za čim večja zmanjšanja količin odpadnih voda, ker pa to ni še povsem tehnološko izvedljivo, se zatekamo k drugačnim rešitvam.

Fizikalne metode čiščenja

Do sedaj fizikalne metode čiščenja še niso dale ustreznih rezultatov.

Poskus destilacije odpadne vode je pokazal, da je ta način odstranjevanja formaldehida ustrezen le za vode, ki vsebujejo več kot 2 % formaldehida.

Kemične metode čiščenja

Obstajajo različni procesi, kot so kloriranje, ozoniranje ali katalitična oksidacija. Ti postopki potekajo v reaktorju pri tlaku 40 barov in temperaturi 200 °C, a so predragi za industrijsko uporabo, poleg tega pa oksidacija poteče le 80 % do 90 in so praktično neuporabni.

Poskusi čiščenja odpadne vode so potekali tudi z apneno vodo, kjer je šlo za pretvorbo formaldehida v nestrupene ketoze ali aldoze. Ta proces kondenzacije mora potekati pri povišani temperaturi, da je hitrost primer-

na. Uspešnost procesa se je pokazala le pri odpadnih vodah, ki so vsebovale do 0,5 % formaldehida. Slaba stran tega procesa pa je bilo tudi obarvanje odpadne vode, katerega intenziteta se je povečevala z večanjem vsebnosti formaldehida.

Čiščenje odpadnih voda z vodikovim peroksidom

Čiščenje odpadnih voda z vodikovim peroksidom se je pokazalo kot uspešno. Postopek je uporaben tako za zelo nizke koncentracije kot tudi za zelo visoke (0,01 % do 10 %). Reakcija poteka v alkalnem mediju, zato dodamo NaOH, in pri povišani temperaturi.

Fentonove reakcije

Kombinacija vodikovega peroksida z železovimi solmi deluje kot izredno uspešno oksidacijsko sredstvo. Močno oksidirajoče delovanje se nanaša na vmesno tvorbo OH-radikalov, ki veliko lažje razgradijo organske spojine, kot pa jih vodikov peroksid sam.

Najboljši rezultati so bili dobljeni, če je reakcija potekala v kislem mediju pri pH vredosti 2 do 4 in je bil porabljen ves formaldehid.

Optimalni dodatek vodikovega peroksida je potrebno določiti s predhodnimi laboratorijskimi poskusi.

Produkti, ki nastanejo pri Fentonovih reakcijah so mešanice organskih spojin, ki so biološko lažje razgradljive v primerjavi z neobdelano odpadno vodo.

Biološke metode čiščenja

Opadne vode, ki vsebujejo formaldehid, bi lahko zelo dobro čistili tudi z aerobnimi ali anaerobnimi postopki biološkega čiščenja. Podrobnejša predstavitev sledi v nadaljevanju.

MOŽNOSTI ČIŠČENJA ODPADNIH VODA LESNE INDUSTRIJE S POUDBARKOM NA BIOLOŠKEM ČIŠČENJU Z AKTIVNIM BLATOM

Iz podatkov, ki so navedeni v preglednicah 6 in 7, vidimo, da do sedaj

čistijo izredno nizke količine odpadnih voda lesne industrije. Tako smo v nadaljevanju želeli predstaviti nekaj možnosti za kombinirano čiščenje odpadnih voda.

Predlagane možnosti kombiniranega čiščenja so naslednje:

- * MEHANSKO/KEMIČNO/BIOLOŠKO (aerobno) ČIŠČENJE,
- * MEHANSKO/BIOLOŠKO (anaerobno/aerobno) ČIŠČENJE,
- * MEHANSKO/BIOLOŠKO (aerobno) ČIŠČENJE.

Kot primarno čiščenje nastopa že uveljavljeno mehansko čiščenje. Pri mehanskem čiščenju z različnimi postopki odstranjujemo iz odpadne vode predvsem koagulirane delce topila in druge netopne snovi. Raztopljene snovi, med katere spada tudi izredno strupen formaldehid, pa ostajajo v vodi. Zato moramo izvesti sekundarne metode čiščenja odpadne vode.

Sekundarno čiščenje je lahko kemično čiščenje npr. s Fentonovo reakcijo, kjer po oksidaciji dobimo kot produkte lažje razgradljive organske spojine. Dobljeni produkt oziroma odpadno vodo pa lahko dokončno očistimo s terciarnim čiščenjem, in sicer z biološkim čiščenjem.

Vmesno stopnjo kemijskega čiščenja lahko nadomestimo tudi z biološkim čiščenjem, ki lahko poteka po anaerobnem postopku, to je brez kisika, ali pa po aerobnem postopku, s kisikom.

Kot sekundarno čiščenje se vse bolj uporablja tudi kombinacija anaerobnega in aerobnega čiščenja. Ta postopek čiščenja se vse bolj uporablja za odpadne vode, ki vsebujejo večje koncentracije strupenih snovi.

Če koncentracije strupenih snovi niso previsoke, lahko po mehanskem čiščenju kot sekundarno čiščenje uporabimo kar aerobno biološko čiščenje.

Znižanje koncentracije strupenih snovi lahko dosežemo tudi z razredčenjem tehnološke odpadne vode s komunalno odpadno vodo. Tako se lahko dimenzionira skupna čistilna naprava.

Oblike sekundarnega čiščenja

Biolško čiščenje

Aerobno biološko čiščenje

Biološko čiščenje s kulturo mikroorganizmov, ki jo imenujemo aktivno blato, je v biološki čistilni napravi umetno povečano samočiščenje, ki dejansko poteka v naravi.

Mikroorganizmi, ki so v površinskih vodah, so tudi v biološki čistilni napravi, le da je njihova koncentracija mnogo večja. Pri tem sodelujejo predvsem bakterije in pa spremljajoča združba. Ta združba se hrani z bakterijami in z organskim drobirjem. Bakterije, spremljajočo združbo in neraztopljene organske in anorganske snovi imenujemo s skupnim imenom aktivno blato (12).

Odpadna voda po opravljenem primarnem čiščenju (mehansko čiščenje) vstopi v proces sekundarnega čiščenja. To je biološko čiščenje, ki je lahko anaerobno ali aerobno.

Aerobno biološko čiščenje poteka v reaktorju, ki je sestavljen iz prezračevalnika in sekundarnega usedalnika.

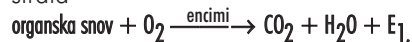
Heterotrofni organizmi ob kisiku porabljajo organske snovi (nečistoče) kot vir ogljika in energije za sintezo novih

celic. Nekateri heterotrofi so sposobni pri pomanjkanju kisika izkoristiti kisik iz nitratov in nitritov (denitrifikacija) za oksidacijo substrata in sintezo novih celic. Bakterije so v aerobnih pogojih sposobne pretvoriti dušik iz amoniaka v nitritni in nitratni dušik. Ta proces se imenuje nitrifikacija.

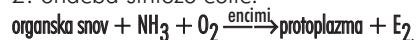
Nitrifikacija je zaporeden proces, v katerem je amonij oksidiran v nitrit z nitrificacijskimi organizmi (nitrosomonas) in nato nitrit v nitrat pod vplivom nitrificacijskih organizmov (nitrobacter) (1).

Aerobno čiščenje lahko opišemo s tremi enačbami; to so:

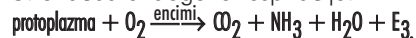
1. enačba neposredne oksidacije substrata



2. enačba sinteze celic:

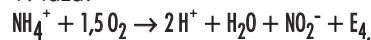


3. enačba endogene respiracije:

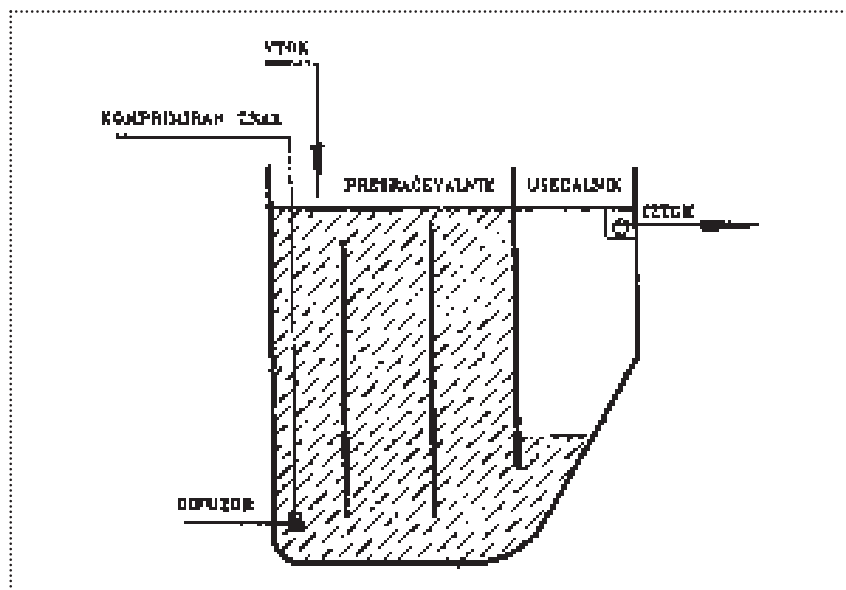
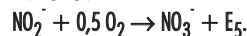


Nitrifikacija je zaporeden proces in poteka v dveh fazah:

1. faza:



2. faza:



Slika 1. Laboratorijski model biološke čistilne naprave

Oznake E_1, \dots, E_5 , pomenijo energijo, proizvedeno v sistemu. Zgornji dve enačbi lahko zapišemo tudi kot eno samo:



Biološko čiščenje z aktivnim blatom je primer katalitske reakcije.

Na procese aerobnega biološkega čiščenja vplivajo zunanji dejavniki, kot so (7):

- * temperatura,
- * pH in
- * strupenost.

Vpliv temperature

Biološko čiščenje odpadnih voda lahko opravljamo v enem od treh temperaturnih režimov; to so:

- * mezofilno temperaturno območje od 4 do 39 °C,
- * termofilno temperaturno območje nad 55 °C in
- * temperaturno območje pod 4 °C.

Zaradi ekonomičnosti in geografskih razlogov večina čistilnih procesov poteka v mezofilnem temperaturnem območju. Pri višjih temperaturah je aktivnost mikroorganizmov večja.

Vpliv pH vrednosti

Za delovanje večine tehnoloških procesov čiščenja velja, da je pH območje relativno ozko in znaša med pH 5 in pH 9, optimalne vrednosti pa se gibljejo med pH 6,5 in pH 8,5.

Vedno je nujno potrebna kontrola pH vrednosti vtoka na biološko čistilno napravo in pH vrednost iztoka, saj lahko sprememba pH vrednosti zavre procese razgradnje.

Strupenost in adaptacija mikroorganizmov

Veliko snovi strupeno vpliva na biološke oksidacijske procese. Posledica je lahko delna ali popolna inhibicija delovanja mikroorganizmov, odvisno od vrste snovi in koncentracije. V nekaterih primerih se lahko mikroorganizmi adaptirajo na strupenost. Ta adaptacija je lahko posledica nevtra-

lizacije strupenih snovi zaradi biološke aktivnosti mikroorganizmov ali pa selektivne rasti kulture mikroorganizmov, ki jih pri presnovi strupene snovi ne motijo.

Strupenost je v bioloških oksidacijskih sistemih posledica:

- * organskih snovi, ki so v visokih koncentracijah strupene, v nizkih koncentracijah pa biološko razgradljive (fenol, formaldehid),
- * težkih kovin, ki so že v nizkih koncentracijah strupene za biološko blato in
- * anorganskih snovi in amoniaka, ki so počasi razgradljive pri visokih koncentracijah in zato zavirajo procese.

Vpliv strupenosti se lahko minimizira z uporabo popolnega mešalnega sistema, pri katerem je vtok razredčen, in so mikroorganizmi le v stiku z izstopno koncentracijo. Tako so lahko odpadne vode z nizko vsebnostjo strupenih snovi uspešno čiščene.

Takšen način z razredčitvijo vtoka s komunalno vodo lahko izredno dobro

izkoristimo tudi pri odpadnih vodah lesne industrije.

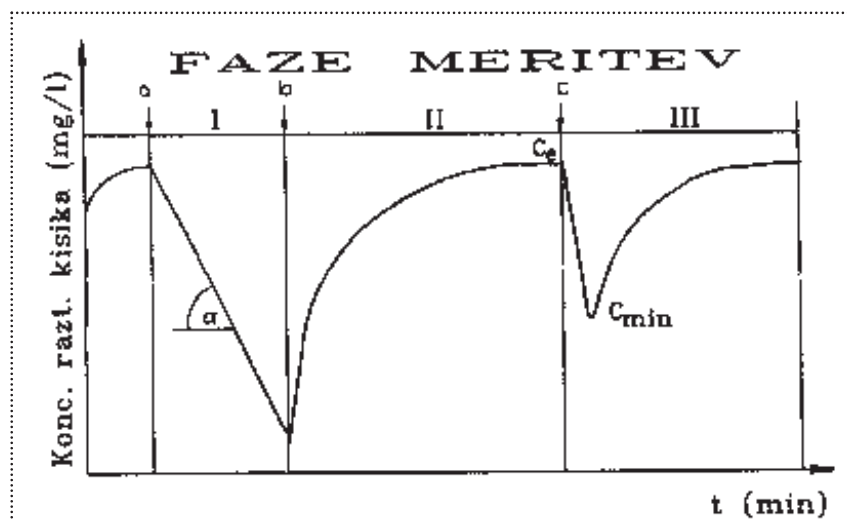
Težke kovine v nizkih koncentracijah so strupene za biološko blato. Adaptacija blata na kovine zviša mejo strupenosti. Dokler je adaptacijski proces toleriran zaradi težkih kovin, se bo kovina skoncentrirala v blatu s kompleksiranjem v celičnih stenah.

Visoke koncentracije anorganskih snovi niso toksične, zniža pa se hitrost (kinetika) reakcije (čiščenja). Biološko blato je lahko adaptirano na visoke koncentracije soli (tudi do 5 % soli).

Respirometrija aktivnega blata

Respirometrija oziroma dihanje aktivnega blata je eden najpomembnejših podatkov delovanja bioloških čistilnih naprav. Z respirometričnimi analizami lahko spremljamo predvsem vpliv odpadne vode na dihanje in aktivnost blata. Tako lahko dobimo podatke o adaptaciji blata na vtok, o snovi v vtoku, obremenitvi blata itd.

Biološko čiščenje temelji na dejavnosti



Slika 2. Odvisnost koncentracije raztopljenega kisika od časa.

- * a - prenehanje s prepračevanjem,
- * b - ponovno prepračevanje,
- * c - dodatek substrata,
- * C_e - ravnovesna koncentracija raztopljenega kisika (mg/l),
- * C_{min} - minimalna koncentracija raztopljenega kisika (mg/l),
- * I. faza - endogena hitrost porabe kisika,
- * II. faza - srednji koeficient prenosa kisika,
- * III. faza - izračuni iz respirograma.

mikroorganizmov, ki razgrajujejo organske snovi. Mikroorganizmi se hranijo, rastejo in razmnožujejo z raztopljenimi in koloidno razgradljivimi organskimi snovmi, ki so v odpadni vodi. Ta proces poteka v aerobnih pogojih, to je ob zadostni količini kisika v prezračevalnem bazenu.

Kisik je potreben za:

- * Endogeno dihanje - pomeni potreben kisik za lastno dihanje blata, torej za vzdrževanje življenja.
- * Eksogeno dihanje - pomeni tisti del porabljenega kisika, ki je potreben za razgradnjo odpadne vode v suspenziji aktivnega blata.

Spremembe v koncentraciji organskih snovi v vtoku na biološko čistilno napravo povzročajo nihanje v porabi kisika. To dihanje se odraža v povečanju ali zmanjšanju deleža eksogenega dihanja, medtem ko na endogeno dihanje te spremembe ne vplivajo (12).

Povečanje koncentracije substrata oziroma odpadne vode omogoča življenje večji koncentraciji bakterij, zato se poveča njihova lastna biomasa. Posledica dodatka blata je povečana respiracijska aktivnost. To pomeni, da iste bakterije porabijo več kisika zaradi večje koncentracije substrata (9).

Ena izmed metod, s katero vrednotimo porabo kisika v prezračevalniku biološke čistilne naprave in jo v praksi pogosto uporabljamo, je respirometrična metoda z odprtim respirometrom (6).

Odprt respirometer omogoča hitro merjenje hitrosti porabe kisika. Aktivno blato mešamo z magnetnim mešalom in prezračujemo s kisikom ter merimo koncentracijo kisika.

Endogena hitrost porabe kisika I.faza

Po dosegu ravnotežne koncentracije raztopljenega kisika prenehamo s prezračevanjem. Koncentracija raztopljenega kisika začne padati zaradi lastnega (endogenega) dihanja aktivnega blata.

Izračun:

$$r_i = tg\alpha =$$

Specifično endogeno hitrost porabe kisika pa izračunamo:

$$R_i = r_i \times C =$$

- * r_i - endogena hitrost porabe kisika (mg/L.min)
- * C - koncentracija raztopljenega kisika (mg/L)
- * R_i - specifična endogena hitrost porabe kisika (g/g.dan)
- * X - koncentracija aktivnega blata (g/L)

Srednji koeficient prenosa kisika II. faza

Po dosegu vrednosti raztopljenega kisika 0,5 mg O₂/L pričnemo s ponovnim prezračevanjem. Dobimo krivuljo, na podlagi katere lahko izračunamo srednji koeficient prenosa kisika. Krivuljo logaritmiramo in dobimo:

$$|tg\alpha| = K_L a - \text{srednji koeficient prenosa kisika}$$

Izračuni iz respirograma III. faza

Tretji del krivulje imenujemo respirogram. Po dosegu ravnotežne koncentracije kisika uvedemo med prezračevanjem v suspenzijo aktivnega blata določen volumen substrata. Iz podatkov, ki jih dobimo v tretji fazi, lahko izračunamo:

- * maksimalni padeč koncentracije raztopljenega kisika:

$$\Delta C_{max} = C_e - C_{min}$$

- * maksimalno eksogeno hitrost porabe kisika:

$$r_e = K_L a \times \Delta C_{max}$$

- * specifično maksimalno eksogeno hitrost porabe kisika:

$$R_e = r_e \times 1.44 / X$$

- * izračun specifične celotne maksimalne hitrosti porabe kisika:

$$R_f = R_i + R_e$$

Tako lahko povzamemo, da bi bila respirometrična analiza prva v nizu raziskav, ki bi bile potrebne za konstrukcijo učinkovite biološke čistilne naprave za čiščenje odpadnih voda lesne industrije, ki vsebujejo formaldehid.

Vpliv dodatka aktivnega oglja na procese biološkega čiščenja

Aktivno oglje poznamo predvsem kot odlično adsorpcijsko sredstvo, pridobljeno z pooglenitvijo lesa, šote, premoga itd., z izredno specifično površino.

V zadnjem času se dodaja aktivno oglje tudi v procese čiščenja z aktivnim blatom za povečanje učinkovitosti procesa.

Prednosti dodajanja oglja v biološke procese so naslednje:

- * manjše razlike v kvaliteti iztoka,
- * možnost odstranjevanja nerazgradljivih organskih snovi,
- * delna odstranitev obarvanosti,
- * zmanjšanje zaviranja razgradnje pri čiščenju industrijskih odpadnih voda in
- * odstranjevanje težje razgradljivih polutantov.

Procesi z aktivnim ogljem tudi izboljšajo sposobnosti biološkega čiščenja glede na vrednosti kemijske in bio-

Preglednica 13. Dodatek aktivnega oglja omogoča uspešno odstranjevanje organskega ogljika in težkih kovin

| | sestava odpadne vode (mg/L) | | | | | |
|-----------------------|-----------------------------|-----|-----|------|-------|------|
| | BPK | TOC | TSS | Cu | Cr | Ni |
| VTOK | 320 | 245 | 70 | 0,41 | 0,09 | 0,52 |
| biološko čiščenje | 3 | 81 | 50 | 0,36 | 0,06 | 0,35 |
| + 50 mg/L akt. oglja | 4 | 68 | 41 | 0,30 | 0,05 | 0,31 |
| + 100 mg/L akt. oglja | 3 | 53 | 36 | 0,18 | 0,04 | 0,27 |
| + 250 mg/L akt. oglja | 2 | 29 | 34 | 0,07 | 0,02 | 0,24 |
| + 500mg/L akt. oglja | 2 | 17 | 40 | 0,04 | <0,02 | 0,23 |

loške potrebe po kisiku in znižajo stroške obratovanja.

V nekaterih industrijskih odpadnih vodah je nitrifikacija inhibirana ob strupenih snoveh. Uporaba aktivnega oglja pa zmanjša ali celo zavre to inhibicijo.

Zaradi zmanjšanja biološke strupenosti ali zaviranja kot posledice dodatka aktivnega oglja, dosežemo dodatno biološko razgradnjo. Prav tako lahko dosežemo razgradnjo navadno nerazgradljivih substanc zaradi podaljšanja časa izpostavitve biomase adsorpciji na aktivnem oglju. Veliko industrijskih odpadkov vsebuje komponente, ki jih je težko ali celo nemogoče odstraniti z navadnimi biološkimi postopki čiščenja. (2)

Nekaj podatkov objavljenih raziskav o vplivih aktivnega oglja na procese čiščenja odpadnih vod

POMEN OKRAJŠAV:

- * BPK - biološka potreba po kisiku (mg/L),
- * TOC - celotni organski ogljik (mg/L),
- * TSS - celotne suspendirane soli (mg/L).

Tudi pri odpadnih vodah lesne industrije bi z dodatkom aktivnega oglja lahko zmanjšali vsebnost formaldehida. Seveda pa bi bilo potrebno opraviti respirometrične meritve in tako ugotoviti učinkovitost in ekonomičnost, saj vemo, da je aktivno oglje zelo drago.

Anaerobno biološko čiščenje

Za konec pa sledi še kratka predstavitev anaerobnega biološkega čiščenja, ki se v zadnjem času vse bolj uveljavlja. Gre za anaerobni razkroj organske snovi do zmesi metana in ogljikovega dioksida - torej za nastanek bioplina.

Anaerobni metanogeni razkroj organske snovi je izjemno pomemben sestavni del kroženja ogljika v naravnih ekosistemih. To je najbolj razširjen anaerobni biotehnološki proces, ki ga trenutno kroti človek. Njegova upora-

ba sega od stabilizacije aktivnega mulja na bioloških komunalnih čistilnih napravah, pridobivanja energije iz odpadne ali načrtno gojene biomase do prvostopenjskega čiščenja z organskim onesnaženjem obremenjenih industrijskih odpadkov. Tako kot pri aerobnem procesu tudi tu dosežemo maksimalno učinkovitost mikroorganizmov v optimalnih razmerah okolja zanje. Najpomembnejša dejavnika sta temperatura in pH vrednost.

Ugodno temperaturno območje za delovanje mikroorganizmov je nekje med 0 °C in 75 °C. V tem območju obstajata dva temperaturna optima, eden v mezofilnem območju pri temperaturi 35 °C in drugi v termofilnem območju pri temperaturi 60 °C.

Anaerobno biološko čiščenje oziroma metanogena fermentacija velja za stabilen in učinkovit proces tudi ob toksičnih substancah, če smo dosegli ustrezno adaptacijo in preprečili enkratne koncentrirane obremenitve (shock load).

Velika prednost anaerobnih procesov je njihova stabilnost, kadar niso obremenjeni, torej mirujejo. Ponoven dotok substrata, tudi po letu prekinitve, vrne že v nekaj dneh polno aktivnost procesa.

Najnovejše raziskave, ki so bile narejene na analizi čiščenja odpadnih voda z anaerobnimi biološkimi čistilnimi napravami so pokazale izredno učinkovitost. Gre za posebno vrsto reaktorjev - Expanded Granular Sludge Bed. V takšnem reaktorju ob ustreznih razmerah zraste granulirano blato. Ni potrebno dodajati materialov za pospeševanje rasti. Ta proces se je izkazal kot izredno uspešen pri čiščenju odpadnih voda, ki so vsebovale strupene substance v visokih koncentracijah.

Naredili so poskus čiščenja odpadne vode kemijske industrije, kjer so proizvajali prav formaldehid iz metanola in kjer je bila zato odpadna voda onesnažena s tema dvema substancama. Koncentracija formaldehida v odpadni vodi je bila 10 g/l, metanola pa 20 g/l. Anaerobni postopek se je pokazal

kot izredno uspešen, saj so rezultati čiščenja pokazali, da sta bili obe komponenti iz sistema odstranjeni 98 % (13).

SKLEP

Lesna industrija ni velik onesnaževalec voda, vendar pa je sporen predvsem formaldehid v odpadnih vodah.

Glede na statistične analize, ki so bile opravljene v letu 1997, lahko rečemo, da je lesna industrija zmeren porabnik vode. Po podatkih o količini čiščenja odpadnih voda pa so količinske vrednosti zanemarljivo nizke. Večinoma se uporablja le primarni postopek čiščenja-mehanski postopki, kar pa ne zadostuje.

Kombiniranih postopkov čiščenja lesna industrija skorajda ne uporablja. Tako smo navedli nekaj možnosti za odstranjevanje formaldehida in pa možnosti kombiniranega čiščenja odpadnih voda lesne industrije.

Velik poudarek in podrobnejši opis smo podali za sekundarni postopek čiščenja, in sicer za aerobno biološko čiščenje, saj je to najbolj okolju prijazen proces, ki bi ga lahko s pridom uporabili tudi pri čiščenju odpadnih voda lesne industrije.

LITERATURA

- 1 ABRAM, V./DOLAR-BERGANT, J./DUHOVNIK, J./KREGAR, M./LIKAR, M./SCHAUER, P./SPANRING, J./SUHADOLC-KASTELIC, T./ŠMALC, A. Kemija, Cankarjeva založba, Ljubljana, 1988, 255 s.
- 2 ECKENFELDER, W. Industrial water pollution control, McGraw-Hill Book Co., Singapore, 1989
- 3 GERHARTZ, W./YAMAMOTO, Y. S./ELVERS, B./ROUNSAVILLE, J. F./SHULZ, G. Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Weinheim, Basel, Cambridge, New York, VCM Publishers, 1998, s. 619-647
- 4 Pravilnik o maksimalno dovoljenih

- koncentracijah škodljivih in nevarnih snovi v odpadnih vodah. Uradni list SRS, 42 (1985) 18, s. 1071
- 5 PRODINGER, K. Staub. Abfallwirtschaft. Unteres Bayerland, Karl Prodingen Technisches Büro, 1993
- 6 ROŠ, M./DULAR, M./FARKAS, P. A. An improved method using respirometry for the design of activated sludge aeration systems. Water Res., 22(1988)12, s. 1483-1489
- 7 ROŠ, M. Respirometry of Activated Sludge. Technomic Publishing Company, Lancaster, USA, 1993
- 8 Statistični letopis RS 1997. Ljubljana, Zavod RS za statistiko, 1997, 657 s.
- 9 SUSCHA, J./FERREIRA, E. Activated sludge respirometric measurements. Water Res., 20(1986)2, s. 137-144
- 10 ŠOLAR, T. Metode določanja formaldehida v odpadnih vodah lesne industrije. Diplomsko naloga. Ljubljana, BF, Oddelek za lesarstvo, 1994, 44s.
- 11 TIŠLER, T./ZAGORC-KONČAN, J. Comparative assessment of toxicity of phenol, formaldehyde and industrial wastewater to aquatic organisms. Water, Air and Soil Pollution, 1997, s. 315-322
- 12 ZAGORC-KONČAN, J./DULAR, M./ROŠ, M./KORDIŠ, M. Vaje iz ekološke tehnologije, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Oddelek za kemijo in kemijsko tehnologijo, Ljubljana, 1994, 50 s.
- 13 ZOUTBERG, G. R./BEEN, P. The biobed EGSB (Expanded granular sludge bed) system covers shortcomings of the upflow anaerobic sludge blanket reactor in the chemical industry. Wat. Sci. Tech. 35(1997)10, s. 183-188

KRATKE vesti

INTERNET - NAJKRAJŠA POT DO KUPCA BREZ POSREDNIKOV

Zveza lesarjev Slovenije je organizirala 26.1.1999 posvet o internetu. Na posvetu je bila prikazana praktična uporaba interneta z vidika posameznika, kako lahko sami postavimo domačo stran, kakšno je njeno vzdrževanje, uporaba elektronske pošte za trgovanje in povezava z domačo stranjo, elektronski plačilni promet, vključevanje v svetovne baze podatkov, reklamiranje na znanih spletnih straneh in ocena stroškov postavitve domače strani in v poslovanju. Predlagane so bile rešitve za izboljšanje komunikacij znotraj podjetja ter podjetja s svojimi dobavitelji in kupci. Možnosti uporabe in razvoj sta predstavila: Aljoša DOMIJAN, dipl. ing., direktor Gambit Trade, računalništvo in informatika d.o.o. in član odbora za informatiko pri GZS ter doc. dr. Tom LEVANIČ, profesor na Biotehniški fakulteti, Oddelek za lesarstvo. V Sloveniji še ni pomembnejših trgovin za prodajo prek interneta, poleg tega pa tudi linijske povezave še niso dovolj kvalitetne. Kljub temu je pomembno, da se podjetja predstavljajo na domačih straneh in pričnejo s poslovnim komu-

niciranjem. Prednosti interneta bodo najbolj izkoristili prvi uporabniki, njegova uporaba pa bo postala nujna v poslovanju.

C.M.

BIONIKA V SLUŽBI ZNANOSTI IN TEHNIKE

Bionika je preučevanje funkcij živih organizmov, oziroma je bionika veda o odkrivanju naravnih skrivnostih - spoznanj, da bi jih po odkritju uporabljali v sožitju z naravo in človekom na tehničnem področju.

Nekaj povzetih misli s konference, ki sta jo organizirala Zveza inženirjev in tehnikov Slovenije in Ministrstvo za okolje in prostor v sodelovanju z Zvezo društev za varstvo okolja, novembra 1998 v Ljubljani. Dr. Dušan Mlinšek je v svojem predavanju opozoril na odnos človeka do narave. Njegove misli povzemamo v naslednji skrajšani obliki:

- * narava je najpopolnejši tehnolog,
- * gozd je oblika ohranjanja življenja,
- * človeška civilizacija in etika morata biti v sožitju,
- * prav tako tudi ekonomija in ekologija,
- * narava in njeni ekosistemi so vzornik za človekovo družbo,
- * v naravnih ekosistemih ni odpadka,

vse se reciklira,

- * zemlja ne more biti odpadek,
- * maksimiranje (hektarskega donosa v kmetijstvu) je kopija v naravi kaotičnih razmer,
- * v okolici Ljubljane nimamo gozdov, ampak gozdišča in smetišča, ki morajo še prerasti v gozd,
- * v naravi so naravni mehanizmi, da se ohrani ustvarjeno,
- * narava je nepredvidljiva, bolj je motena, večji so vanjo posegi, večja je nepredvidljivost,
- * vegetacija oblikuje vodni režim,
- * globalizacija je v izhodišču ekološki pojem; ko pride ciklon iznad Atlantika v Slovenijo, lokalni vplivi spreminjajo njegovo moč globalnega vpliva; če je prostor ekološko ohranjen, je moč lokalizacije velika, lahko bi rekli, da sta moč in ideje na lokalni ravni, v centrali je birokracija; zatrete lokalne vplive je velika napaka,
- * sedanja informatika je kot ladja, ki drvi v ledeno goro; v ozadju ima kup tehničnih dezinformacij,
- * zadnji čas je, da naučimo ljudi opazovati naravo,
- * Zemlja je še vedno sposobna "zanositi", toda tega ne zlorabljammo,
- * upanje je v gozdu, ki ga bo oblikovala narava.

C.M.