



RIHMAOPAS

**Käsikirja rihmamaisten
bakteerien
tunnistamiseksi ja niiden
aiheuttamien ongelmien
torjumiseksi**

Iina Hakala

Johanna Myllymäki

Risto Saarinen



RIHMAOPAS

**Käsikirja rihmamaisten
bakteerien
tunnistamiseksi ja niiden
aiheuttamien ongelmien
torjumiseksi**

Iina Hakala

Johanna Myllymäki

Risto Saarinen

RIHMAOPAS

Käsikirja rihmamaisten bakteerien tunnistamiseksi ja niiden aiheuttamien ongelmien torjumiseksi

Iina Hakala, Johanna Myllymäki, Risto Saarinen

Tämän käsikirjan syntymiseen ovat vaikuttaneet lukuisat henkilöt ja tahot, joista osa on mainittu myöhemmin. Kaikille näille haluamme osoittaa lämpimät kiitokset. Erityisesti mielessämme on henkilöitä, jotka vuosien varrella ovat esimerkillään innostaneet työskentelemään oikean ja käytännönläheisen tiedon saattamiseksi puhdistamoiden käyttäjille.

SISÄLLYSLUETTELO

A. PROJEKTIN KUVAUS JA ONGELMAKENTTÄ (Risto Saarinen)

Esipuhe	1
1. Työn tavoite	2
2. Työn toteutus	2
3. Johtopäätökset	3
4. Toiminta rihmamaisten bakteerien välttämiseksi	4
5. Aktiivilieteprosessin kuvaus	5
6. Prosessiparametrit	6
7. Ongelmien esiintyminen	7
7.1 Paisuntaliete	7
7.2 Vaahto ilmastusaltaassa	7

B. RIHMAMAISTEN BAKTEERIEN TUNNISTAMINEN JA KASVUOLOSUHTEET (Iina Hakala)

1. Aktiivilietteen mikroskopointi	1
1.1 Yleistä	1
1.2 Mikroskoopin rakenne	1
1.3 Preparaatin valmistus	3
1.4 Mikroskopointi	4
2. Värjäykset	6
2.1 Gram-värjäys	6
2.2 Neisser-värjäys	8
2.3 S-testi (Rikin hapettumistesti)	9
3. Rihmamaisten bakteerien tunnistaminen	11
4. Rihmamaisten bakteerien määrän arviointi	14

5. Rihmamaiset bakteerit	14
5.1 <i>Sphaerotilus natans</i>	14
5.2 Tyyppi 1701	15
5.3 Tyyppi 021N	16
5.4 <i>Thiothrix</i>	17
5.5 Tyyppi 0041	17
5.6 Tyyppi 0675	18
5.7 <i>Haliscomenobacter hydrossis</i>	19
5.8 Tyyppi 0961	19
5.9 <i>Nocardia</i>	20
5.10 <i>Microthrix parvicella</i>	21
5.11 Tyyppi 0092	22
5.12 <i>Nostocoida limicola</i>	22
5.13 Mut rihmat	23
6. Erilaisia rihmamaisten bakteerien aiheuttamia paisuntalietteitä	24
6.1 ”Aerobinen” paisuntaliete (aerobic bulking)	24
6.2 Aktinomykeettien aiheuttama vaahtoaminen	25
6.3 Alhaisen lietekuorman aiheuttama paisunta ja vaahtoaminen (low F/M bulking and foaming)	25
6.4 Sulfideja hapettavien bakteerien aiheuttama paisuntaliete	26
7. Toimenpiteet paisuntalietteen hallitsemiseksi	27
7.1 Spesifiset menetelmät	27
7.1.1 Flokkibakteereja suosivat prosessiratkaisut	28
7.1.1.1 Substraatin saannin tehostaminen	28

7.1.1.2 Ravinteiden saannin tehostaminen	28
7.1.1.3 Hapen saannin tehostaminen	29
7.1.2. Selektorit - erityisratkaisu flokkibakteerien suosimiseksi	30
7.1.2.1 Selektorin mitoitus	33
7.1.2.2. Tilanteita joissa selektorit eivät ole tehokkaita	36
7.1.2.3 Kineettisen ja metabolisen selektion vertailu	36
7.2 Epäspesifiset menetelmät	37
7.2.1 Klooraus	37
7.2.2 Vetyperoksidilla hapettaminen	39
7.2.3 Polymeerin lisäys	40
7.2.4 Epäorgaanisten koagulanttien käyttö	40
7.2.5 Mikrobi- ja entsyymivalmisteet	40
7.2.6 Otsonointi	40

C. PUHDISTAMOESIMERKIT (Johanna Myllymäki, Iina Hakala)

1. Turun keskuspuhdistamo	1
1.1 Puhdistamon toiminta	1
1.2 Lietteen seuranta	2
1.3 Muutostyöt	7
2. Rajamäen jätevedenpuhdistamo	8
2.1 Puhdistamon toiminta	8
2.2 Lietteen seuranta	10
2.3 Muutokset	12

3. Metsä-Serla Oy Kyron kartonkitehtaan jätevedenpuhdistamo	13
3.1 Puhdistamon toiminta	13
3.2 Lietteen seuranta	15
3.3 Muutossuositukset	17
4. Karjaa-Pinjaisten jätevedenpuhdistamo	17
4.1 Puhdistamon toiminta	18
4.2 Lietteen seuranta	19
4.3 Muutokset	20

D. LIITTEET

Liite 1	Kuvaliite
Liite 2	Rihmamaisten bakteerien tunnistamiskaavio
Liite 3	Rihmamaisten bakteerien tunnistamistaulukko
Liite 4	Turun keskuspuhdistamon puhdistustulokset
Liite 5	Rajamäen jätevedenpuhdistamon puhdistustulokset
Liite 6	Kyron jätevedenpuhdistamon puhdistustulokset
Liite 7	Karjaa-Pinjaisten jätevedenpuhdistamon puhdistustulokset
Liite 8	Kirjallisuusviitteet
Liite 9	Sanasto

Esipuhe

Rihmamaiset bakteerit aiheuttavat aktiivilieteprosessiin perustuvassa puhdistamossa vaikeuksia puhdistamon käyttäjälle. Vaikeudet esiintyvät ajoittain, minkä vuoksi ei ole kovin helppoa päästä selville niistä tekijöistä, jotka ovat edistäneet rihmojen kasvua. Ongelmien selvittämistä hankaloittaa lisäksi se, että tieto ja osaaminen rihmamaisista bakteereista eivät ole kovin laajaa maassamme.

Turun keskuspuhdistamon rihmaongelma oli käynnistäjänä tälle tutkimukselle. Puhdistamolla paisuntaliete aiheutti usein ohituksia mitoituskuormitusta pienemmillä virtaamilla. Ongelman kausiluonteisuuden vuoksi siihen ei puututtu ennen kuin se alkoi toistua vuodesta toiseen. Tällöin käynnistettiin projekti, jossa tunnistettiin ongelman aiheuttavat rihmamaiset bakteerit sekä selvitettiin niiden kasvuolosuhteita kirjallisuuden perusteella. Lisäksi aloitettiin säännöllisesti ja systemaattisesti tutkia aktiivilietteen flokin rakennetta ja alkueläimien esiintymistä. Lopullisena tavoitteena oli löytää syy rihmamaisten bakteerien esiintymiselle ja ehkäistä niiden kasvu.

Turun projekti onnistui hyvin ja tavoitteet saavutettiin. Projektin pohjalta laaditun kirjallisen, suomenkielisen materiaalin myönteinen vastaanotto kannusti jatkamaan työtä.

1. Työn tavoite

Rohkaistuneina Turun keskuspuhdistamolla saavutetuista tuloksista ja runsaasta kirjallisesta aineistosta päätimme laajentaa rihmamaisten bakteerien tutkimista useammalle puhdistamolle. Tarkoituksena oli tuottaa entistä järjestelmällisempää suomenkielistä aineistoa puhdistamoiden käyttäjien, suunnittelijoiden ja tarkkailijoiden sekä muiden puhdistamoasiantuntijoiden käyttöön.

Kenttätutkimusten ja niiden perusteella tehtyjen muutosten avulla tavoitteena oli osoittaa malli niistä toimenpiteistä, joilla päästään rihmamaisten bakteerien aiheuttamista ongelmista.

Työn tekijät ovat tietoisia niistä vaikeuksista, joita maailmalla edelleen kohdataan pyrittäessä eroon rihmamaaisista bakteereista. Katsoimme kuitenkin, että kotimaisen asiantuntemuksen kasvattaminen tässä aktiivilieteprosessin erityisongelmassa on tarpeen.

2. Työn toteutus

Tämä tutkimustyö toteutettiin yhteistyöprojektina, jossa olivat mukana Turun keskuspuhdistamo, Nurmijärven Rajamäen puhdistamo, Kyro Oy:n puhdistamo Kyröskoskella ja Karjaan Pinjaisten puhdistamo sekä Maa ja vesitekniikan tuki ry, jonka myöntämällä apurahalla projektiin palkattiin tutkija.

Taustatyönä toteutetussa Turun keskuspuhdistamoa koskeneessa projektissa tutkijana toimi insinööri Iina Hakala. Nyt valmistuneessa työssä tutkijana on toiminut insinöörioppilas Johanna Myllymäki, joka on työhön liittyen tehnyt insinööriyön. Hän on tutkinut Rajamäen, Kyron ja Karjaan puhdistamoiden aktiivilieteprosesseja. Lisäksi Turun keskuspuhdistamon tutkimista on jatkettu. Aktiivilietteiden tutkimisessa ja muussa laboratoriotyössä Turun keskuspuhdistamolla ovat avustaneet laborantit Pirkko Huikko, Annele Väärti ja Sari Lund. Tutkimuksen vastuullisena johtajana on toiminut diplomi-insinööri Risto Saarinen.

Aktiivilietteiden tutkiminen on tehty Turun keskuspuhdistamon laboratoriossa. Puhdistamotarkkailutietojen ja puhdistamokäyntien avulla on selvitetty prosessiolosuhteita. Työssä ovat avustaneet puhdistamoiden henkilökunta sekä tarkkailutyötä vesiensuojeluyhdistyksissä suorittavat henkilöt.

3. Johtopäätökset

Tämä rihmaprojekti sai alkunsa tarpeesta selvittää paisuntalietteen aiheuttamien vakavien toimintahäiriöiden todelliset syyt. “Apteekin hyllyltä” ei ollut saatavissa lääkkeitä. Aluksi “henkimaaailman hommilta” vaikuttanut paisuntalieteilmiö alkoi selkiintyä ulkomaisen kirjallisuuden avulla. Kun lisäksi käytännön selvitystyö eteni, paisuntalieteongelmista eroon pääsy ei enää tuntunut olevan onnen kauppaa. Tämä synnytti ajatuksen systemaattisen suomenkielisen tiedon luomiseksi.

Turussa pitkään säännöllisinä jaksoina esiintynyt paisuntaliete oli aluksi iso haaste. Työn alkuvaiheessa asetettiin tavoitteeksi mikroskopoinnin ottaminen osaksi normaalia käytötarkkailurutiinia. Lisäksi haluttiin kerätä aihetta käsittelevästä kirjallisuudesta suomenkielinen “katsaus”. Tutkimustyön aikana pystyttiin identifioimaan rihmat, jotka ajoittain esiintyessään aiheuttivat paisuntalietteen muodostumisen. Lopulta paikallisia olosuhteita selvittämällä pääteltiin, mitkä toimenpiteet todennäköisimmin johtaisivat tilanteen paraneamiseen.

Kootun aineiston ja Turun onnistuneen esimerkin pohjalta päätettiin laajentaa hanketta ottamalla tarkasteluun useampia kohteita ja syventämällä kirjallisuustietoutta. Hankkeen rahoituksessa ja tutkijaresursseissa sattuneiden muutosten vuoksi projekti supistui, mutta tavoitteesta ei tingitty. Tärkeänä pidettiin suomalaisen osaamisen laajentamista. Keinona tähän pidettiin puhdistamoiden käyttäjille, suunnittelijoille ja tarkkailijoille suunnatun oppaan laatimista. Nyt pidät tätä opasta käsissäsi. Tämä tavoite siis saavutettiin.

Kirjallista aineistoa rihmoista ja niiden aiheuttamasta paisuntalietteestä ja vaahtoamisesta on runsaasti. Projektissa haluttiin kuitenkin osoittaa arkisessa työssä toimiva lähestymistapa selvittämällä puhdistamoesimerkein, miten on edettävä. Projektiin pyrittiin saamaan puhdistamoita, joilla ongelma on vaikeuttanut normaalia toimintaa. Pulmana oli rihmojen ajoittainen esiintyminen. Joidenkin “selvien” rihmakohteiden jääminen projektin ulkopuolelle johtui siitä, että rihmoja ei (valitettavasti ?) esiintynyt silloin, kun tutkimus oli käynnissä. Valitut kohteet edustivat kuitenkin hyvin rihmaongelmien kirjoa.

Tämän julkaisun esimerkkihankkeista käy ilmi rihmaongelmien monipuolisuus sekä ongelmien ratkaisun vaikeus. Turun ja Karjaan rihmapulmat ovat prosessimuutosten jälkeen taakse jäänyttä elämää ja ratkaisu löytyi tässä oppaassa esitetyn menettelyketjun avulla. Rajamäen puhdistamon toiminta parani projektin kuluessa, koska kuormituksessa tapahtui merkittävä muutos teollisuusasiakkaan parannettua esikäsittelyään. Toimenpide muutti olosuhteita puhdistamalla ja muutokset pystyttiin hyvin toteamaan ja dokumentoimaan. Kyröskoskella rihmojen tunnistaminen onnistui ja todennäköisiä syitä löydettiin. Ongelmien lopullinen syy-seurausketju jää kuitenkin odottamaan ratkaisuaan, koska rihmatyyppi vaihtelee ja ongelmien esiintyminen on jaksottaista eikä riittäviin prosessitutkimuksiin ollut mahdollisuuksia. Tässäkin tapauksessa rihmoista eroon pääsemiseksi esitetty menettelyketju (tarkkailu - rihmojen tunnistaminen - olosuhteiden selvittäminen - muutokset) on kuitenkin käyttökelpoinen.

Seuraavaksi on vuorossa tiedon muuttaminen käytännön osaamiseksi.

4. Toiminta rihmamaisten bakteerien välttämiseksi

Toimintamalli lähtee siitä, että tietyn bakteerilajin osuus aktiivilietteessä johtuu sen kasvuolosuhteista; ravinnosta ja muista ympäristöolosuhteista. On vältettävä olosuhteita, jotka suosivat rihmamaisia bakteereita.

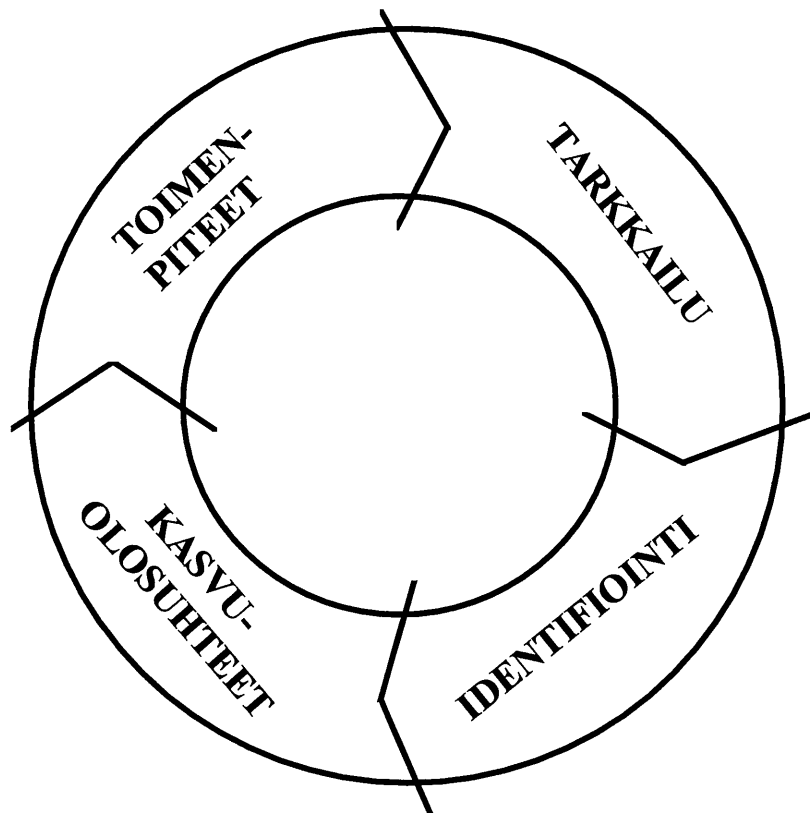
Malli perustuu rihmamaisen bakteerin tunnistamiseen, sen kasvua suosivien olosuhteiden selvittämiseen kirjallisuustietojen avulla, puhdistamo-olosuhteiden selvittämiseen ja viimein muutostoimenpiteisiin joko puhdistamalla tai kuormituslähteessä.

Ensimmäisenä vaiheena on bakteerien tunnistaminen eli identifiointi. Siihen löytyy riittävästi perustutkimustietoa kansainvälisestä kirjallisuudesta. Tämä tieto on esitetty tässä teoksessa sillä tarkkuudella, että tunnistaminen voidaan tehdä kohtuullisin toimin suomalaiseseen puhdistamotarkkailurutiiniin sovittaen.

Seuraavassa vaiheessa selvitetään kirjallisuustietoihin nojaten identifioidun bakteerin tyypilliset kasvuolosuhteet. Tässä teoksessa esitetään yleisimpien rihmamaisina kasvustoina esiintyvien bakteerien kasvuolosuhteet. Lisäksi esitetään kirjallisuusviitteitä, joiden avulla lukija voi edetä löytääkseen tarkempia olosuhdekuvauksia.

Puhdistamon kuormitus- ja käyttötarkkailutulosten avulla selvitetään, vallitsevatko puhdistamalla edellä selvitettyt, rihmamaisia bakteereja suosivat olosuhteet. Tätä selvitystyötä saatetaan joutua jatkamaan tarkennetulla seurannalla.

Viimeisenä vaiheena pyritään tekemään toimenpide tai toimenpiteet kasvuolosuhteiden muuttamiseksi. Sitten seurataan tilanteen kehittymistä.



5. Aktiivilieteprosessin kuvaus

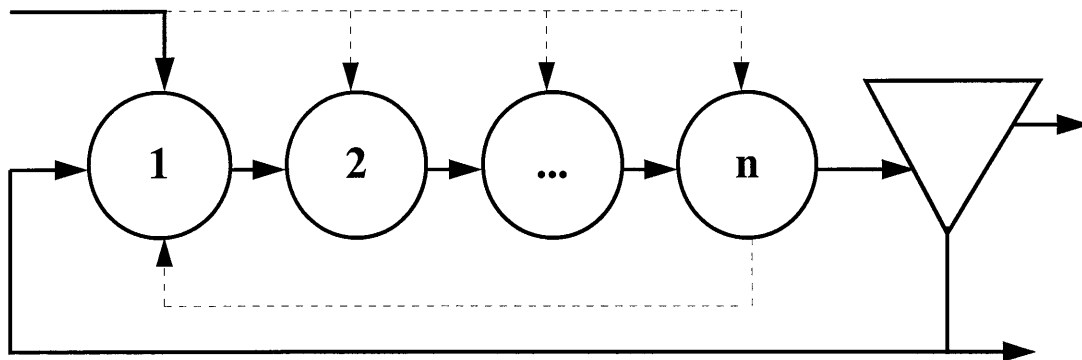
Aktiivilieteprosessin toiminta perustuu mikrobien, lähinnä bakteerien, kykyyn käyttää jäteveden lika-aineita ravinnokseen hapellisissa ja mahdollisesti hapettomissa (anaerobisissa tai anoksisissa) oloissa sekä toisaalta niiden taipumukseen muodostaa laskeutumiskelpoisia flokkeja.

Aktiivilieteprosessin käyttäytymisen ratkaisevat ilmastusaltaassa vallitsevat olosuhteet sekä jäteveden laatu. Niiden pohjalta systeemiin valikoituva mikrobilajisto määrää flokin rakenteen ja siten sen kyvyn erottua (yleensä) gravitaatioon perustuvassa selkeytyksessä.

Aktiiviliete erottuu selkeytsaltaassa lietteen ja veden tiheyseron vaikutuksesta. Pintajännitys hidastaa flokin laskeutumista.

Selkeytsaltaasta aktiiviliete palautetaan ilmastukseen. Selkeytymisen yhteydessä tapahtuva sakeutuminen vähentää palautustarvetta ja pienentää siten ilmastusaltaan hydraulista kuormitusta pidentäen reaktioaikaa.

Lietteen kasvua vastaava osuus poistetaan ylijäämalietteenä joko suoraan ilmastusaltaasta tai palautuslietevirrasta. Ylijäämalietteen mukana systeemistä poistuu mikrobeja samassa suhteessa kuin niitä on lietteessäkin. Tämän vuoksi hitaasti kasvavat mikrobit "huuhtoutuvat" systeemistä ennen kuin niiden osuus on noussut merkittäväksi.



6. Prosessiparametrit

Aktiivilietteen mikrobilajiston valikoitumiseen vaikuttavat keskeisimmin seuraavassa kuvatut prosessiparametrit.

Lieteikä kuvaa biomassan keskimääräistä viipymää prosessissa. Siihen vaikutetaan ylijäämalietteen poistolla. Prosessin säädössä vakiolieteiän mukainen ajotapa on tavallinen.

Lietekuorma on orgaanisen aineen massavirta aikayksikössä biomassan määrää kohti. Lietekuormasta käytetään lyhennettä F/M (Food / Mass). Siihen voidaan vaikuttaa

vähentämällä orgaanista kuormaa esisaostuksella. Ilmastusaltaan lietemäärä ja sitä säätelevä ylijäämälietteen poisto vaikuttavat myös lietekuorman suuruuteen.

Lietepitoisuus ilmastusaltaassa ei sellaisenaan kuvaa aktiivisten mikrobien pitoisuutta, mutta sitä käytetään määrityksen nopeuden ja helppouden takia. Lietepitoisuuteen vaikutetaan ylijäämälietteen poistolla. Vakiolietepitoisuutta tavoitteleva ajotapa on vaihtoehtoinen vakiolieteikään pyrkivälle ajotavalle.

Viipymääajat prosessin eri vaiheissa (ks. kuva edellä, vaiheet 1...n ja selkeytys) yhdessä **reaktionopeuksien** kanssa vaikuttavat siihen, mitkä mikrobit saavat kilpailuedun ja kasvattavat osuuttaan aktiivilietteessä. Viipymääajat riippuvat vaiheiden (osastojen) tilavuuksista ja virtaamista. Lähinnä palautus- ja kierrätysvirtaamia voidaan säätää.

Happipitoisuus prosessin eri vaiheissa suosii toisia mikrobeja toisten kustannuksella. Happipitoisuutta voidaan usein säätää joustavasti.

Jäteveden koostumus eli eri aineiden pitoisuudet ja pitoisuussuhteet toimii myös mikrobivalikoiman säätelijänä. Jäteveden koostumukseen ei tavallisesti voida kovin paljon vaikuttaa.

Yllä kuvatut parametrit ovat sellaisia, että suunnittelu vaikuttaa niihin voimakkaasti, mutta käyttötoimenpiteet yhdessä kuormituksen kanssa ratkaisevat lopulta niiden suuruuden. Näiden parametrien tunteminen auttaa rihmamaisten bakteerien kasvuolosuhteiden arvioinnissa. Siksi puhdistamotarkkailuun tulisi sisällyttää näiden tekijöiden seuranta.

Seuraavassa esitetyt parametrit ovat seurausta prosessiolosuhteista. Niiden avulla käyttäjä voi todeta tapahtuneen, mutta ne eivät (joitain poikkeuksia lukuun ottamatta) ole varsinaisia säädettäviä tekijöitä.

Näkösyyvyys kuvaa jälkiselkeytysaltaan veden kirkkautta tai osoittaa lietepatjan pinnan.

Lietepatjan korkeus ei mittauksena ole kovin yleinen, mutta kuvaa hyvin lietteen laskeutuvuutta eri virtaamatilanteissa.

1/2 tunnin laskeuma-arvo antaa arvion lietteen laskeutumisesta selkeytysaltaassa. Erityisesti on huomattava, että korkea laskeuma-arvo voi johtua joko suuresta lietepitoisuudesta tai huonosti laskeutuvasta aktiivilietteestä. Mikäli 1/2 tunnin laskeuma-arvo on korkea (yli 500 ml/l) on hyvä käyttää laimennettua näytettä. Tällöin laskenta täytyy korjata laimennussuhteella.

Lieteindeksi kuvaa edellistä paremmin lietteen laskeutuvuutta. Sen lyhenne on **SVI** (Sludge Volume Index). Lieteindeksi lasketaan jakamalla 1/2 tunnin laskeuma-arvo lietepitoisuudella, jolloin yksiköksi saadaan ml/g. Näin se kuvaa sitä tilavuutta, jonka lietemassa vie 1/2 tunnin laskeutumisen jälkeen. Kun laskeuma-arvo tai lietepitoisuus on korkea, lieteindeksin käyttökelpoisuus seurantaparametrinä on heikko.

Lähtevän veden kiintoainepitoisuus kertoo, onko selkeytysaika ollut riittävä lietteen laskeutumisominaisuuksiin nähden.

7. Ongelmien esiintyminen

7.1 Paisuntaliete

Aktiivilieteprosessin viimeisenä yksikköprosessina selkeytys ratkaisee lopulta puhdistustuloksen. Lieteflokin laskeutumisominaisuuksien heikentyessä puhdistamolta poistuvan veden kiintoainepitoisuus kasvaa. Selkeytystulos heikkenee dramaattisesti, kun "lietepatja karkaa". Tällöin vesistökuormituksen hetkellisen kasvun lisäksi ongelmaksi muodostuu prosessissa olevan lietemäärän lasku ja palautuminen normaalitasolle saattaa kestää päivä- tai viikkokausia.

Selkeytyksen kannalta pallomainen flokin rakenne on edullisin. Pintajännitys ja virtausvastus kasvavat ja laskeutumisominaisuudet heikkenevät pinta-ala/tilavuussuhteen kasvaessa. Tämän vuoksi paljon rihmamaisia bakteereja sisältävä, "repaleinen" tai "rättimäinen" flokki laskeutuu hitaasti verrattuna "hyvään" flokkiin. Pahimmillaan runsaasti rihmoja sisältävä flokki on kuin lankavyvyhti.

Paisuntalietteestä puhutaan, kun lieteindeksi on yli 200 ml/g. Saksalaisen ATV-standardin selkeyttämömitoitus perustuu lieteindeksiin max. 180 ml/g. Puhdistamomitoitus yleensäkin lähtee siitä ajatuksesta, että liete on "normaalia". Tämän vuoksi paisuntaliete aiheuttaa ongelmia jälkiselkeyttämön toiminnassa. Tämä johtaa "ylimääräisiin" ohituksiin aktiivilieteprosessin toiminnan turvaamiseksi tai vähintään selkeyttämöstä lähtevän veden pitoisuuksien voimakasta kasvua.

7.2 Vaahto ilmastusaltaassa

Toisena rihmamaisten bakteerien aiheuttamana ongelmana on ilmastusaltaassa esiintyvä vaahto. On huomattava, että tässä on kyse eri ilmiöstä, kuin lietteen pintautuessa selkeytysaltaassa. Silloin on yleensä kyse nitrifikaation jälkeisen denitrifikaation tapahtumisesta selkeytyksessä, jolloin vapautuva typpikaasu flotatoi lietettä.

Ilmastusaltaassa runsaasti rihmoja sisältävä flokki flotatoituu helposti, koska ilmakuplien vapautuminen vaikeutuu tavanomaiseen flokkiin verrattuna. Vaahto on puhdistamon hoidon kannalta kiusallista. Pitemmälle edetessään ilmiö saattaa heikentää puhdistustulosta. Vaahto sotkee paikkoja ja hankaloittaa huolto- ja hoitotyötä

1. Aktiivilietteen mikroskopointi

1.1 Yleistä

Aktiiviliete voi sisältää taudinaiheuttajabakteereita, joten olisi suositeltavaa käyttää käsitteitä aktiivilietettä käsiteltäessä.

Aktiiviliete säilyy hyväkuntoisena muutamia tunteja näytteenoton jälkeen, joten näytettä kannattaa tarkastella mikroskoopilla mahdollisimman pian näytteenoton jälkeen. Jos preparaatteja ei pystytä tekemään heti näytteenoton jälkeen, näytettä kannattaa säilyttää jääkaapissa.

Nestemäiset preparaatit kuivuvat nopeasti, joten kannattaa tehdä vain yksi preparatti kerrallaan.

Nestepreparaatti voidaan valmistaa joko laskeuttamattomasta tai laskeutetusta aktiivilietteestä.

Laskeuttamattomasta lietteestä saadaan yleensä ohut preparatti, ja mikroskoopissa nähtävä kuva on realistinen. Todellinen flokin koko ja muoto nähdään, sekä rihmamaisten mikro-organismien määrä.

Laskeutetusta aktiivilietteestä saadaan yleensä paksumpi preparatti, josta on helpompi laskea ja arvioida alkueläimien määriä.

1.2 Mikroskoopin rakenne

Kuvassa 1. esitetyn mikroskoopin (Olympus BX-40) osia ovat :

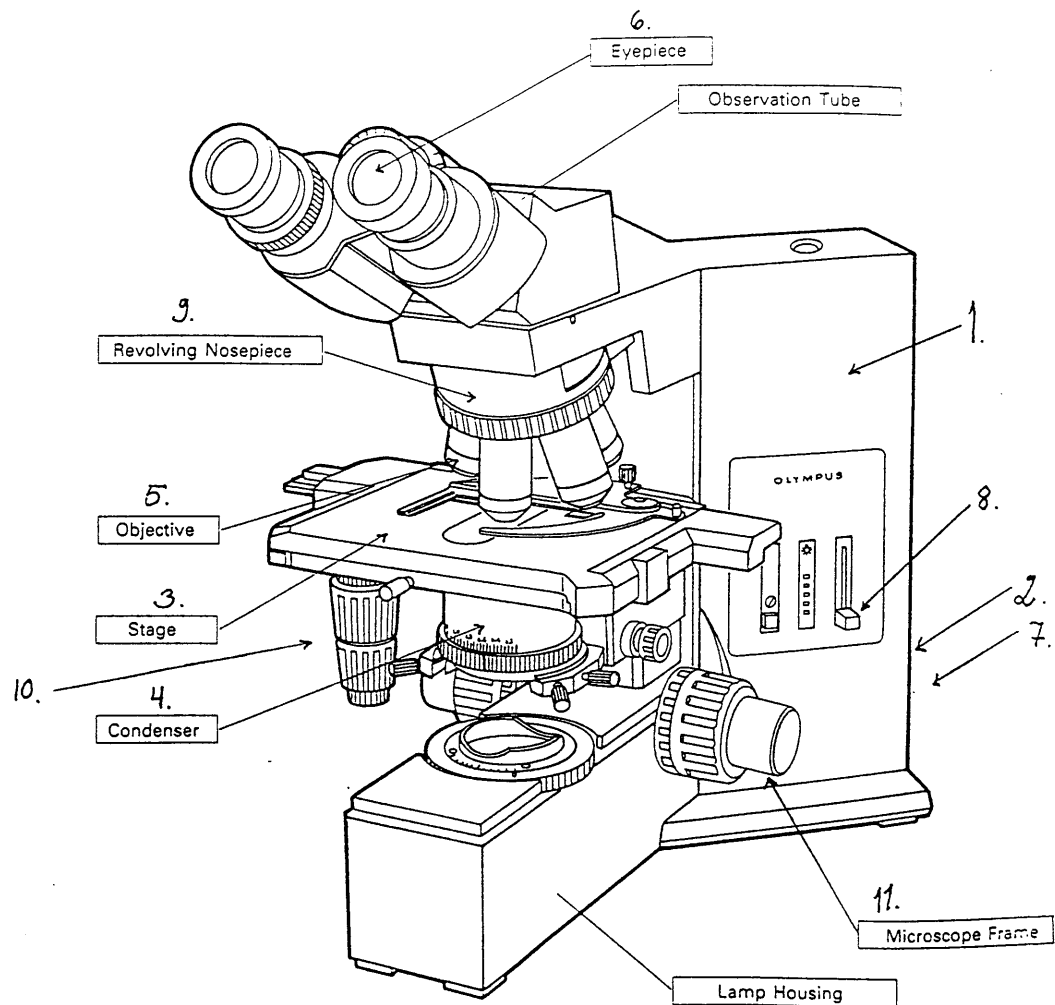
1. Runko, joka liittää mikroskoopin muut rakenneosat yhteen.
2. Valaisin, kiinteä sisäänrakennettu lamppu.
3. Esinepöytä (objektipöytä), objektilasia pystytään siirtämään pöydällä olevalla ristisiirtolaitteella.
4. Kondensori, joka on valoa kokoava ja käsittelevä linssisysteemi. Erilaiset valaistusjärjestelmät säätyvät kondensorin avulla:
 - Kirkas kenttä (0)
 - Faasikontrasti (Ph 1, Ph 2, Ph 3)
 - Pimeä kenttä (DF)

(Faasikiikko puuttuu kuvan mikroskoopista)

5. Objektivit, objektiivi tuottaa suurennetun kuvan kohteesta (4x, 10x, 20x, 40x ja 100x objektiivisuurennokset)
6. Okulaarit, linssisysteemi joka suurentaa mikroskoopin sisälle muodostuneen kuvan (okulaarissa yleensä 10 - 20x suurennos)

Lisäksi:

7. Valokatkaisija
8. Valon voimakkuuden säätö
9. Objektivirevolveri
10. Ristisiirtolaite
11. Kuvan tarkkuuden säätö



Kuva 1.

Mikroskoopin osat

Mikroskopoitaessa kannattaa huomioida erityisesti seuraavat asiat, jolloin mikroskoopin käyttöikä pitenee.

- Mikroskooppi kannattaa käyttää säännöllisesti huollettavana
- Pölyn pääsy rungon sisään tulee estää suojaamalla mikroskooppi huolellisesti suojahupulla.
- Lampun kestoikää pidentää valonvoimakkuuden säätäminen nolnaan aina ennen kuin valo laitetaan päälle ja pois.
- 100x (oil) objektisuurennosta käytettäessä pitää käyttää immersioöljyä. Pisara erityistä immersioöljyä tipautetaan objektilasille ja objektiivin upotetaan öljyyn. Ilman öljyä kunnollista 100x (oikeasti 1000x suurennos, kun okulaarin suurennos otetaan huomioon) suurennosta ei saada aikaan.
- Immersioöljy on aina pyyhittävä linseistä käytön jälkeen linssipaperilla. Immersioöljyä saa kuitenkin käyttää VAIN silloin kun objektiivissa on merkintä siitä, esim: oil!,
- Okulaarit ovat erityisen alttiita likaantumiselle (ripsiväri, pöly yms. okulaarissa oleva lika näkyy okulaaria pyöritettäessä), lika puhdistetaan erityisellä nukkaamattomalla linssi-paperilla.

Mikroskoopin kokonaissuurennos on objektiivin ja okulaarin yhteistulos. Esimerkiksi 20x suurentavalla objektiivilla ja 10x suurentavalla okulaarilla kokonaissuurennos on $20 \times 10 = 200$ -kertainen ja samoin 40x objektiivilla kokonaissuurennos on 400-kertainen.

1.3 Preparaatin valmistus

Laskeuttamaton aktiivilietepreparaatti:

Aktiiviliete sekoitetaan tasalaatuisiksi lasisauvalla tms.

Lietenäytteestä otetaan pieni pisara pasteur-pipetillä tai ohuella lasisauvalla puhtaalle objektilasille. Näytepisaran päälle painetaan varovasti puhdas peitinlasi.

Laskeutettu aktiivilietepreparaatti:

Aktiivilietenäytettä laskeutetaan noin 10 minuttia, jonka jälkeen astian pohjalta voidaan pipetoida näytepisara. Toinen vaihtoehto on kaataa kirkas suodos pois astasta ja ottaa jäljelle jääneestä lietteestä näytepisara esimerkiksi pipetillä tai lasisauvalla. Jos nestettä säilytetään kauan ennen mikroskopointia, kannattaa kirkas osa kaataa pois vasta juuri ennen preparaatin valmistusta

Preparaattia valmistettaessa on nestepisaran oltava sopivan kokoinen. Liian pieni pisara ei peitä kokonaan peitinlasin alla olevaa aluetta ja liian suuri pisara pursuaa peitinlasin alta. Jos nestettä on liikaa, ylimäärä voidaan poistaa painamalla imupaperi varovasti peitinlasille.

Preparaatin on oltava sopivan paksuinen, liian paksusta preparaattista ei pystytä erottamaan mitään, koska objektilasilla on liikaa biomassaa. Liian laihassa preparaattissa on taas liian vähän biomassaa, eikä siinä ole oikeastaan mitään mikroskoipoitavaa. Hyvin laiha liete kannattaakin aina laskeuttaa, jotta preparaattista saadaan sopiva ja aivan paksua lietettä ei taas kannata laskeuttaa liikaa, jotta preparaattista saadaan sopiva. Käytäntö opettaa nopeasti parhaimman käytännön preparaatin teossa.

1.4 Mikroskopointi

Mikroskopoitaessa käytäntö vaihtelee hieman mikroskoopin tyypistä ja varustuksesta riippuen, mutta seuraavassa on esitetty yleistetty käytäntö aktiivilietteen mikroskopointiin. Paras mikroskooppi aktiivilietteen mikroskopointiin on faasikontrastimikroskooppi. Faasikontrastin avulla saadaan näkyvästä kuvasta paremmin erottumaan kaikkein pienimmätkin yksityiskohdat, jotka muuten voisivat hukkaa voimakkaaseen taustavaloon.

Mikroskopointia aloitettaessa ensimmäiseksi poistetaan suojahuppu mikroskoopin päältä ja laitetaan valokatkaisijasta valo mikroskooppiin . Preparaatti asetetaan objektipöydälle ristisiirtolaitteeseen. Okulaari säädetään silmäterien välin mukaiseksi niin, että okulaareista katsominen ei rasita silmiä. Valitaan sopiva objektiivi ja tarkennetaan kuva teräväksi . Mikroskoopissa näkyvää kuvaa tarkennetaan yleensä mikroskoopissa alhaalla olevista säätimistä, (säätimet yleensä kummallakin puolella) suuremmasta/uloimmasta säätimestä saadaan karkea- ja pienemmästä hienosäätö.

Rihmojen määrän arvioinnissa kannattaa käyttää ph 1 faasia (jos mikroskoopissa on faasikontrasti) ja 40x suurennosta. Objektiivirevolverista valitaan 4x suurentava objektiivi ja kondensorikiekosta se faasikiekko, joka on merkitty objektiivin kylkeen (esim:ph1). Tarvittaessa lisätään valon voimakkuutta

Rihmamaisten bakteerien tunnistamisessa 1000-kertainen suurennos voi olla joissain tapauksissa välttämätön. Tällöin objektiivirevolverista valitaan 100 kertaa suurentava objektiivi ja kondensorikiekosta se faasikiekko, joka on merkitty objektiivin kylkeen (esim: ph3). 100 kertaa suurentavan objektiivin kanssa pitää yleensä käyttää immersioöljyä. Pieni tippa immersioöljyä tipautetaan preparaatin peitinlasin päälle ja objektiivin kärki upotetaan öljytippaan. Kuvaa tarkennetaan hienosäädöllä niin että objektiivin pää pysyy öljyssä. Tarvittaessa lisätään valon voimakkuutta.

Jos halutaan käyttää kirkasta kenttää näytteen mikroskopointiin tai mikroskoopissa ei ole faasikontrastia, kannattaa käyttää apuna yleensä kondensorin alla olevaa himmennintä, jolloin näkyvään kuvaan saadaan tummuutta ja terävyyttä lisää.

Näytettä mikroskopoidessa objektilasia pystytään liikuttelemaan ylös, alas, oikealle ja vasemmalle ristisiirtolaitteella niin, ettei katsetta tarvitse irroittaa okulaareista ja näyte nähdään koko ajan. Näin pystytään seuraamaan esimerkiksi näytteessä liikkuvia rihmoja tai vaikkapa liikkuvia alkueläimiä .

Mikroskopoinnin jälkeen preparaatti poistetaan ristisiirtolaitteesta. Jos on käytetty immersioöljyä, on tärkeää puhdistaa objektiivit. Puhdistaminen pitää tehdä nukkaamattomalla linssipaperilla. Objektilasit ja peitinlasit voi haluttaessa säästää ja pestä varovaisesti pesuaineella.

Mikroskopoinnin jälkeen mikroskoopin valonvoimakkuus kannattaa laittaa mahdollisimman pieneksi ennen valovirran katkaisua, näin pidennetään lampun käyttöikä. Lopuksi mikroskooppi suojataan pölyltä suojahupulla.

2. Värjäykset

Erilaiset värjäysmenetelmät ovat välttämättömiä bakteereja identifioidessa. Eri bakteerit värjäytyvät eri lailla niiden ominaisuuksista riippuen.

Rihmojen tunnistamisessa käytetään pääasiassa kahta värjäysmenetelmää, Gram- ja Neisser-värjäystä. Muita värjäysmenetelmiä ovat mm. S-testi, joka ilmaisee sulfiitin hapettumisen solunsisäisiksi rikkijyväsiksi. Tutkittaessa, onko rihmalla ns. kuorta vai ei, voi 0,1 % kristalliviolettiliuoksella saada mahdollisen kuoren paremmin näkyviin.

2.1 Gram - värjäys

Gram - värjäyksessä tietyt bakteerilajit värjäytyvät Gram-positiivisiksi ja toiset Gram-negatiivisiksi, koska niiden soluseinien kemialliset koostumukset eroavat toisistaan. Joillain rihmamaisilla bakteereilla Gram-värjäyksen tulos voi olla vaihteleva. Tämä johtuu yleensä rihman sijainnista tai mikro-organismien fysiologisesta tilasta.

Gram värjäyksen uudet reagenssit tulee valmistaa aina 3 - 6 kuukauden välein.

Liuokset:

Liuos 1.

A- ja B-liuokset valmistetaan erikseen ja ne yhdistetään valmiina.

A:

2 g Kristalliviolettia

20 ml Etanolia (95 %)

B:

0,8 g Ammoniumoksaattia

80 ml Tislattua vettä

Liuos 2.

1 g Jodia

2 g Kaliumjodidia

300 ml Tislattua vettä

Värjäävä liuos:

95 % Etanolia

Liuos 3.

10 ml Safraniinia (2,5 % liuos, 95 % etanolissa)

100 ml Tislattua vettä

Värjäys:

1. Lietenäytteestä valmistetaan ohut preparaatti ja sen annetaan kuivua (preparaattia ei saa kuivata lämmittämällä).
2. Preparaatille tipautetaan liuosta 1 niin, että preparaatti on liuoksen peitossa. Liuoksen annetaan vaikuttaa 1 minuutti.
3. Preparaattia huuhdellaan vedellä 1 sekunti.
4. Preparaatille tipautetaan liuosta 2 niin, että preparaatti on liuoksen peitossa. Liuoksen annetaan vaikuttaa 1 minuutti.
5. Preparaatti huuhdellaan hyvin vedellä.
6. Preparaatille tiputetaan 95 % etanolia pisara pisaralta 25 sekunnin ajan. Etanolia ei saa laittaa liikaa, koska silloin näyte ylivärjäytyy. Preparaatti kuivataan varovasti imupaperilla.
7. Preparaatille tipautetaan liuosta 3 niin, että preparaatti on liuoksen peitossa. Liuoksen annetaan vaikuttaa 1 minuutti.
8. Preparaatti huuhdotaan hyvin vedellä ja kuivataan varovasti imupaperilla.
9. Värjäytyminen näkyy parhaiten, kun näytettä tarkastellaan mikroskoopilla 1000x suurennoksella (öljyimmissio) kirkkaalla kentällä.

Sini-violetti = Gram-positiivinen

Punainen = Gram-negatiivinen

(ks. kuvaliitteen kuvat 1 ja 2)

2.2 Neisser - värjäys

Neisser-värjäys värjää bakteerisolujen sisältä tietyt yhdisteet (esim: polyfosfaattijyvät), jotka reagoivat metyleenisinisen kanssa.

Neisser värjäyksen uudet reagenssit tulee valmistaa 3 - 6 kuukauden välein.

Liuokset:

Liuos 1.

Liuokset A ja B pitää valmistaa ja säilyttää erikseen.

Liuos A:

0,1 g	Metyleenisinistä
5 ml	Etanolia, 95 %
5 ml	Jäätikkää
100 ml	Tislattua vettä

Liuos B:

3,3 ml	Kristalliviolettiä (10 % liuos 95 % etanolissa)
6,7 ml	Etanolia 95 %
100 ml	Tislattua vettä

Liuokset sekoitetaan ennen värjäyksiä tilavuuksien suhteessa 2 osaa A:ta ja 1 osa B:tä.

Liuos 2.

33,3 ml	Bismarckin ruskeaa, $C_{18}H_{18}N_8$ (1 % liuos vedessä)
66,7 ml	Tislattua vettä

Värjäys:

1. Lietenäytteestä valmistetaan ohut preparaatti ja sen annetaan kuivua (preparaattia ei saa kuivata lämmittämällä).
2. Preparaatille tipautetaan liuosta 1 niin, että preparaatti on liuoksen peitossa. Liuoksen annetaan vaikuttaa 30 sekuntia.
3. Preparaattia huuhdellaan vedellä 1 sekunti.
4. Preparaatille tipautetaan liuosta 2 niin, että preparaatti on liuoksen peitossa. Liuoksen annetaan vaikuttaa 1 minuutti.

5. Preparaatti huuhdotaan hyvin vedellä ja kuivataan varovasti imupaperilla.
 6. Värjäytyminen näkyy parhaiten, kun näytettä tarkastellaan mikroskoopissa 1000x suurennoksella (öljyimmissio) kirkkaalla kentällä.
- Sini-violetti = Neisser-positiivinen (joko koko solu tai solunsisäiset jyvät)
Keltaisenruskea = Neisser-negatiivinen.
(ks. kuvaliitteen kuvat 3 ja 4)

2.3 S - testi (Rikin hapettumistesti)

Testi A.

Reagenssi:

Natriumsulfiittiliuos ($\text{Na}_2\text{S} \times 9 \text{H}_2\text{O}$) 1,0 g/l. Liuos tulee valmistaa vähintään kerran viikossa.

Värjäys:

1. Objektilasin päällä sekoitetaan 1 pisara sekoitettua aktiivilietettä ja 1 pisara natriumsulfiitti liuosta.
2. Seoksen annetaan seistä avoimena 10 - 20 minuuttia.
3. Objektilasin päällä olevan seoksen päälle painetaan varovasti peitinlasi ja peitinlasin alta pursuava ylimääräinen neste pyyhitään pois imupaperilla.
4. Värjäyksen tulos näkyy parhaiten, jos näytettä tarkastellaan mikroskoopissa 1000x suurennoksella faasikontrastilla.
Positiivinen S - testi näkyy hyvin valoa taittavina keltaisina solunsisäisinä jyväsinä (rikkijyväsinä).

Tämä testi voi tietyissä olosuhteissa antaa vaihtelevia tuloksia (längnäolevan hapen ja rikin pitoisuuksista riippuen). Vaihtoehtoinen S - testi on testi B.

Testi B:

Reagenssi:

Natriumtiosulfaattiliuos ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 5 \text{H}_2\text{O}$) 1 g/100 ml. Reagenssi tulee valmistaa kerran viikossa.

Värjäys:

1. Aktiivilietenäytteen annetaan laskeutua ja laskeutetusta näytteestä siirretään pinnalta 20 ml kirkastetta 100 ml:n Erlenmeyer-pulloon.
2. Siirretyn kirkasteen joukkoon lisätään 1 - 2 ml sekoitettua aktiivilietettä.
3. Samaan pulloon lisätään myös 1 ml natriumtiosulfaattiliuosta.
4. Erlenmeyer-pulloa sekoitetaan ravistelijassa yön yli huoneenlämmössä.
5. Yön yli sekoitetusta näytteestä tehdään preparaatti. Testin tuloksen näkee parhaiten, jos preparaattia tarkastelee mikroskoopissa 1000x suurennoksella ja faasikontrastilla kuten testissä A.

3. Rihmamaisten bakteerien tunnistaminen

Jos paisuntaliete aiheutuu rihmamaisten bakteerien liiallisesta esiintymisestä, on tärkeää tietää, mitä rihmoja lietteessä esiintyy. Kun aktiivilietteessä esiintyvien rihmojen ominaisuudet tiedetään, on mahdollista etsiä sopivia keinoja rihmojen kasvun hillitsemiseksi. Paisuntalietteessä voi esiintyä useita eri rihmoja samaan aikaan. Yleensä kuitenkin yksi rihmatyyppi on vallitseva (dominoiva) ja muita rihmoja voi olla lietteessä vähemmän.

Rihmamaisia bakteereja ei nykypäiviin saakka ole tunnettu kovin hyvin. Tämä johtuu siitä, että niitä on vaikea kasvattaa puhtasviljelminä ja niiden morfologia voi vaihdella kasvuolosuhteiden mukaan. Joillain rihmamaisilla bakteereilla, esim. *Sphaerotilus natans* ja *Haliscomenobacter hydrossis*, on oikea latinankielinen lajinimi, mutta monien rihmojen taksonominen sijainti on vielä epäselvä. Tämän epäselvyyden vuoksi nämä rihmat on nimetty tyypeiksi, esim: tyyppi 0092, tyyppi 0041 jne.

Rihmojen tunnistaminen eli identifiointi tapahtuu niiden rakenteen (ulkonäön), värjäytymisen ja kasvutavan mukaan, tällöin mikroskooppi on välttämätön apuväline. Rihmoja mikroskopoidaan 100x, 400x sekä 1000x suurennoksilla.

Mikroskopoidessa rihmojen rakenne näkyy paremmin jos käytetään faasikontrastia. Mikroskoopin tavallinen hyvin kirkas valo voi häivyttää joitain heikosti erottuvia yksityiskohtia tai hyvin ohuita rihmatyyppisiä (esim. *Haliscomenobacter hydrossis*).

Rihman rakenteesta, sijainnista ja värjäytymisestä huomioidaan seuraavat asiat.

* Rikkijyväset;

Rihmassa on tai ei ole keltaisia rikkijyväsiä. Rikkijyväsiä esiintyy rihmoissa, jotka pystyvät käyttämään substraattina rikkiyhdisteitä. Rikkijyväset nähdään mikroskoopissa keltaisina pilkkuina solujen sisällä, mutta ne voidaan saada esiin myös rikkitestillä (S-test), joka on esitetty kohdassa 2.3. Esimerkiksi *Thiothrix* ja *Beggiatoa* voivat sisältää rikkijyväsiä.

* Värjäytyminen;

Rihmamaisten bakteerien värjäytymisominaisuuksia tarkastellaan yleisimmin Gram- ja Neisser- värjäysten avulla (menetelmät esitetty kohdassa 2). Bakteerisolut värjäytyvät soluseinän rakenteen perusteella joko Gram-positiiviseksi tai Gram- negatiiviseksi. Jotkut solut ja rihmaketjut voivat värjäytyä ns. Gram-vaihtelevasti eli osittain Gram-positiivisiksi sekä osittain Gram-negatiivisiksi. Neisser-värjäyksessä bakteerisolut värjäytyvät joko Neisser-positiiviseksi tai Neisser-negatiiviseksi. Myös kristallivioletti värjäystä voidaan käyttää selvittäessä onko rihmalla kuori.

* Haarautuminen;

Rihma haarautuu, ei haaraudu tai valehaarautuu.

Nocardia, sienet ja joskus *Nostocoida limicola* haarautuvat. *S. natans* valehaarautuu.

Valehaaraumassa olevien solujen välillä ei ole jatkuvaa sytoplasmaa, vaan kyseessä on kaksi erillistä solua, jotka kasvavat eri suuntiin.

Edellisiä poikkeamia lukuunottamatta rihmat eivät yleensä haaraudu.

* Kuori;

Rihmoilla on kuori tai ei ole kuorta.

Mikroskoopilla kuorta on erittäin vaikea havaita. Parhaiten kuoren havaitsee, jos värjäämättömässä rihmassa on tyhjä kohta, tällöin kuori jatkuu tyhjän kohdan ohi.

Kuorta voi myös yrittää havainnoida kristallivioletti värjäyksen avulla, jolloin kuori ja solu värjäytyvät hieman eri tavalla. Bakteerisolun värjäytyy eri tavalla kuin ohut kuori. Jos rihman päällä kasvaa päällikasvustoa, se yleensä indikoi kuoren olemassaolosta.

* Väliseinä;

Rihmalla on tai ei ole väliseiniä. On tärkeää huomioda onko rihma ketju soluja vai oikea yhtenäinen rihma.

* Rihman halkaisija;

Rihman keskimääräinen halkaisija (μm). Ohuimmat rihmat ovat hyvin ohuita (*H. hydrossis* 0,5 μm) ja paksummat rihmat taas moninkerroin paksumpia (*S.natans* 2 μm).

* Rihman pituus;

Rihman keskimääräinen pituus. Rihman pituuden arviointia helpottaa jos mikroskooppi on varustettu mikrometriasteikolla. Myös valokuvasta on helppo arvoida eri rihmaketjujen pituuksia. Rihman pituuden arviointi vaatii pientä harjoitusta, niinkuin mikroskopiointi yleensäkin, mutta se on helppo oppia.

Rihmojen pituudet vaihtelevat paljon ja on muistettava, että pituus voi olla riippuvainen myös kasvuolosuhteista.

* Solun koko;

Rihmasolun keskimääräinen leveys ja pituus (μm)

* Liikkuvuus;

Rihma liikkuu tai ei liiku.

Beggiatoa, *Flexibacter* ja tietyt sinilevät liikkuvat selvästi ja myös tyyppi 021N sekä *Thiothrix* voivat joskus liikkua. Edellisiä poikkeamia lukuunottamatta rihmat eivät kuitenkaan yleensä liiku.

* Rihman muoto;

Rihma on ketju bakteerisoluja. Rihman muoto voi olla suora (straight), kiertynyt (coiled), taipunut (bend), kaartunut (curved), ketju soluja (cell chain) tai myseeli (iso rihmasto) (mycelium).

*Sijainti;

Rihmat voivat kasvaa joko työntyen esiin flokin pinnasta, esiintyen suurimmaksi osaksi flokin sisällä (open floc structure) tai esiintyen vapaana flokkien välisessä tilassa. Esim. *Sphaerotilus natans* , *Thiothrix* ja tyyppi 021N rihmat kasvavat flokkien välisessä tilassa, kun taas tyyppi 0041 ja 0675 rihmat kasvavat useimmiten suurimmaksi osaksi flokkien sisällä.

* Bakteeripäällikasvusto;

Rihmoilla joko on tai ei ole bakteeripäällikasvustoa. Päällikasvustoa voi olla vähän tai runsaasti. Bakteeripäällikasvusto koostuu pienistä bakteereista, jotka kasvavat rihman päällä.

* Muut jyväset;

Rihmassa voi esiintyä Neisser-positiivisia jyväsiä ja PHB (polyhydroksibutyyraatti)-jyväsiä. *Microthrix parvicella* voi sisältää Neisser-positiivisia jyväsiä.

* Rosetin muodostus;

Rihmalla esiintyy tai ei esiinny rosetinmuodostusta.

Tyyppi 021N ja *Thiothrix* voivat muodostaa rosetteja. Rosetti muodostuu, kun rihmoja kasvaa yhteisestä keskuksesta säteittäin ulospäin.

Rihmojen tunnistamisessa voidaan käyttää tämän oppaan liitteenä olevaa kaaviota ja taulukkoa (liitteet 2 ja 3). Rihmamaisten bakteerien tunnistaminen kannattaa aloittaa värjäyksistä ja rihman ulkomuodon tarkastelusta. Kun epätodennäköiset vaihtoehdot suljetaan pois tarkastelusta, jää jäljelle yleensä muutama todennäköinen vaihtoehto. Kun jäljellä on muutama vaihtoehto, kannattaa ko. rihmaa verrata valokuviiin. On kuitenkin muistettava, että rihmojen ominaisuudet voivat tietyissä kohdin vaihdella jonkin verran. Esimerkiksi Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming (Jenkins, Richard, Daigger) sisältää hyvät kuvat (alk. s. 33), joihin rihmoja kannattaa verrata rihman tyyppiä selvitetessä. Myös tämän opaan lopussa on valokuvia sisältävä liite, joihin rihmoja voi verrata.

4. Rihmamaisten bakteerien määrän arviointi

Rihmamaisten bakteerien määrää voidaan arvioida preparaateista mikroskoopilla. Arviointi on aina subjektiivinen, mutta käytännön työskentelyssä nopea ja helppo tapa seurata rihmamaisten bakteerien määrää aktiivilietteessä. Rihmamaisten bakteerien määrän selvittämiseen on olemassa tieteellisempiäkin menetelmiä, mutta käytännössä tottuneen mikroskopijan arvio on riittävän hyvä menetelmä.

Rihmamaisten bakteerien määrää arvioitiin asteikolla 0-3 (tai vastaavasti 0-300) seuraavasti:

0	ei rihmamaisia bakteereita
½	vähän rihmamaisia bakteereita, mutta vain satunnaisesti flokeissa
1	muutamia rihmamaisia bakteereita, mutta ei kaikissa flokeissa
1½	rihmamaisia bakteereita kaikissa flokeissa (1-5 rihmaa/flokki)
2	rihmamaisia bakteereita kaikissa flokeissa (5-20 rihmaa/flokki)
2½	rihmamaisia bakteereita hyvin runsaasti
3	rihmamaisia bakteereita enemmän kuin flokkeja

5. Rihmamaiset bakteerit

Aktiivilietteestä on tunnistettu noin 30 erilaista rihmamaista bakteeria. Paisuntalietetilanteissa niiden tunnistaminen on tärkeää, jotta pystytään etsimään mahdollisia syitä niiden liialliseen esiintymiseen ja oikeita keinoja niiden kasvun vähentämiseksi.

Seuraavassa esitellään kirjallisuudesta löydettyä tietoa lähinnä tässä projektissa esille tulleista (mutta myös muutamista muista) rihmamaisista bakteereista. Tämä laajuus kattanee aktiivilietteessä yleisimmin esiintyvät rihmamaiset bakteerit.

5.1 *Sphaerotilus natans*

Sphaerotilus natans (ks. kuvaliitteen kuvat 5, 6 ja 7) on parhaiten kuvailtu aktiivilietteessä esiintyvä rihmamainen mikro-organismi. Rihmat ovat noin 100 -1000 µm pitkiä, hieman taipuneita tai suoria ja koostuvat sauvan mallisista pyöreäpäisistä soluista. Rihma työntyy flokista lietteeseen ja muodostaa "pensas-, puu- ja pusikkomaisia" rakenteita, joista se on helppo tunnistaa. Rihma on helppo tunnistaa myös siitä, että se valehaarautuu. *Sphaerotilus*

natans rihmalla on kuori, jonka pystyy havaitsemaan parhaiten kristallivioletti-värjäyksen avulla tai jos rihmaketjusta puuttuu soluja. Rihman sisällä ei ole rikkijyväsia, eikä rihmassa tavallisesti esiinny bakteeripäällikasvustoa. *S. natans* pystyy tuottamaan soluihinsa orgaanista varastotuotetta. Rihma voi sisältää PHB (polyhydroksibutyraatti) jyväsia. Rihmat ovat Gram- ja Neisser- negatiivisia.

S. natans suosii helposti biohajoavia substraatteja kuten esim: sokerit, lyhytketjuiset rasvahapot ja alkoholit. *S. natans* tarvitsee happea.

S. natans-rihman on huomattu vallitsevan usein alhaisissa lämpötiloissa.

S. natansin optimilieteikä on noin 2 - 8 vuorokautta.

Mahdollisia syitä *S. natansin* esiintymiseen:

- * Alhainen happipitoisuus
- * Ravinteiden puute
- * Tulevassa vedessä paljon helposti biohajoavaa substraattia.

S. natans voi aiheuttaa vakavia paisuntalieteongelmia, koska sille on tyypillistä, että se kasvaa flokkien välisessä vapaassa tilassa (Interfloc bridging).

Keinoja, joilla ehkä voidaan vähentää *S. natansin* määrää:

- * Aerobinen selektori (mitoitusarvo 10 kg BOD₅/m³d, edellyttäen, että tulevassa jätevedessä on paljon helposti biohajoavaa substraattia)
- * Anoksinen selektori (mitoitusarvo 2,5 - 7 kg BOD₅/m³d)
- * Anaerobinen selektori (suuret substraattipitoisuudet)
- * Lieteiän pidentäminen
- * Hapetuksen lisääminen
- * Klooraus

5.2 Tyyppi 1701

Tyyppi 1701-rihmat ovat suhteellisen lyhyitä, 10 -100 µm pitkiä, kaartuneita tai taipuneita rihmoja, joissa on pyöreäpäiset sauvamaiset solut. Rihmalla on vaikeasti havaittava kuori. Rihma ei haaraudu (valehaaraumia) eikä sisällä rikkijyväsia, mutta PHB - jyväsia voidaan tavata. Tyyppi 1701-rihmat ovat Gram- ja Neisser- negatiivisia. Rihmalla esiintyy melkein aina bakteeripäällikasvustoa, minkä takia rihmaa on erittäin vaikea tunnistaa kasvuston alta. Yleensä rihma onkin flokin sisässä ja vain pieni osa rihmasta työntyy ulos flokista. Rihman optimilieteikä 2 - 20 d.

Mahdollisia syitä Tyyppi 1701 rihmojen esiintymiseen:

- * Hapen puute
- * Tulevassa jätevedessä paljon helposti biohajoavia substraatteja

Keinoja, joilla ehkä voidaan vähentää tyyppi 1701 määrää:

- * Anaerobinen selektori

- * Anoksinen selektori
- * Aerobinen selektori
- * Hapetuksen lisäys
- * Lieteiän kasvattaminen
- * Klooraus

5.3 Tyyppi 021N

Tyyppi 021N-rihmat (ks. kuvaliitteen kuvat 8 ja 9) ovat yleensä noin 500 - 1000 µm pitkiä, haarautumattomia, suoria tai joskus hieman kaartuvia tai kierteisiä rihmoja, joissa olevien solujen muoto voi vaihdella suorakulmiomaisesta ovaalin muotoiseen. Solujen välinen seinä näkyy selvästi 1000X suurennoksella. Tyyppi 021N-rihman solujen sisällä voi esiintyä rikkijyväisiä. Rihmat työntyvät ulospäin lietteeseen flokin pinnasta. Tyyppi 021N-rihmat ovat Gram- ja Neisser-negatiivisia, mutta rihma voi sisältää jyväisiä, jotka värjäytyvät Neisser-positiiviseksi. Myös rihman Gram-värjäytyminen voi joissain olosuhteissa vaihdella. Rihma voi muodostaa rosetteja. Bakteeripäällikasvustoa ei esiinny.

Tyyppi 021N pystyy käyttämään sulfidia ja käymisreaktiossa syntyviä pienimolekyylipainoisia orgaanisia happoja (etikkahappo) energianlähteenä. Tyyppi 021N ei denitrifioi. Sen optimi lieteikä on 3,5 - 20 d. Tyyppi 021N voi aiheuttaa vakavia paisuntalieteongelmia, koska sille on tyypillistä kasvaa flokkien välisessä vapaassa tilassa (interfloc bridging). Lämpimissä olosuhteissa tyyppi 021N:n on todettu kilpailevan elintilasta *Sphaerotilus natansin* kanssa. Tyyppi 021N pystyy nopeaan ravinteiden ottoon olosuhteissa, joissa ravinteita on niukasti.

Mahdollisia syitä Tyyppi 021N rihmojen esiintymiseen:

- * Ravinteiden puute (typpi ja/tai fosfori)
- * Alhainen lietekuorma (F/M)
- * Liunneen hapen alhainen pitoisuus
- * Jäteveden sulfidipitoisuus
- * Jätevedessä on paljon helposti biohajoavia substraatteja

Keinoja, joilla ehkä voidaan vähentää Tyyppi 021N rihmojen määrää:

- * Ravinteiden lisäys
- * Aerobinen selektori (mitoitusarvo 10 kg BOD₅/m³d)
- * Anoksinen selektori (mitoitusarvo 2,5 kg BOD₅/m³d)
- * Anaerobinen selektori
- * Sulfidien määrän vähentäminen tulevasta jätevedestä
- * Klooraus

5.4 *Thiothrix*

Thiothrix (ks. kuvaliitteen kuva 10) rihmat ovat noin 100 - 500 µm pitkiä, suoria tai hieman kaartuvia rihmoja. *Thiothrix* voi esiintyä myös lyhyempänä muotona, jonka pituus on 50 - 200 µm. Rihmat kasvavat työntymällä ulos flokista. Rihman solut ovat suorakulmaisia ja solujen välinen seinä on näkyvä. Rihmassa on kuori, mutta sitä on vaikea havaita. Normaaleissa olosuhteissa rihmassa ei esiinny bakteeripäällikasvustoa. *Thiothrix* rihma on Gram- ja Neisser-negatiivinen. *Thiothrix* on tyypillinen rikkirihma ja rihman solujen sisällä on yleensä kirkkaankeltaisia rikkijyväsiä. *Thiothrixille* on tyypillistä myös rosetinmuodostus (rosetin muodostus ilmenee, kun ravinteista on pulaa).

Thiothrix käyttää substraattina pelkistettyjä rikkiyhdisteitä yhdessä helposti biohajoavien orgaanisten yhdisteiden kanssa (lyhytketjuiset rasvahapot).

Optimilieteikä 2,5 - 20 d.

Thiothrix voi aiheuttaa erittäin vakavia paisuntalieteongelmia, koska sille on tyypillistä kasvaa flokkien välisessä vapaassa tilassa (interfloc bridging).

Mahdollisia syitä *Thiothrixin* esiintymiseen:

- * Tulevassa jätevedessä runsaasti pelkistyneitä rikkiyhdisteitä
- * Vähähappiset olosuhteet
- * Typen ja/tai fosforin puutos
- * Tulevassa jätevedessä runsaasti helposti biohajoavia substraatteja

Keinoja joilla voidaan ehkä vähentää *Thiothrixin* esiintymistä:

- * Pelkistyneet rikkiyhdisteet on eliminoitava joko esikäsittelemällä ilmastusaltaaseen tuleva vesi tai lisäämällä happipitoisuutta
- * Anaerobinen selektori
- * Aerobinen selektori
- * Anoksinen selektori
- * Ravinteiden lisäys
- * Klooraus

5.5 Tyypin 0041

Tyyppi 0041-rihmat (ks. kuvaliitteen kuva 11) ovat noin 100 - 500 µm pituisia, suoria tai hieman kaartuneita rihmoja, joissa on neliön muotoiset solut. Rihmat ovat tanakoita ja pitkiä ja kasvavat flokin sisällä, mutta voivat myös työntyä ulos flokin pinnasta. Solunsisäisiä jyväsiä on harvoin eikä rikkijyväsiä esiinny. Tyyppi 0041 rihman valehaarautumista voidaan havaita satunnaisesti.

Tyyppi 0041 voidaan helposti sekoittaa tyyppiin 021N, mutta Tyyppi 0041 rihmoilla on kuori, joka on läpinäkyvä ja vaikea havaita. Bakteeripäällikasvusto on hyvin tyypillistä Tyyppi 0041rihmoille ja yleensä se on hyvin massiivista. Päällikasvusto voi muodostaa

flokin rihman päälle. Rihmaa voi olla vaikea havaita kasvuston alta ja kasvusto haittaa rihman värjäystä.

Tyyppi 0041 on Gram-positiivinen, mutta sen päällikasvusto on yleensä Gram-negatiivinen. Tyyppi 0041 on Neisser-negatiivinen, mutta rihman päällä voi olla Neisser-positiivista limaa.

Tyyppi 0041-rihman optimilieteikä on 8 - 20 d.

Rihmalle on tyypillistä, että se suosii hitaasti biohajoavia substraatteja .

Tyyppi 0041 rihmat kasvavat lietteessä sekä flokin sisällä että flokkien välisessä vapaassa tilassa (Open floc structure sekä interfloc bridging).

Mahdollisia syitä Tyyppi 0041 rihmojen esiintymiseen:

- * Alhainen lietekuorma (F/M)
- * Tulevassa vedessä paljon hitaasti biohajoavia substraatteja tai niiden hydrolyysituotteita
- * Ravinteiden puute (typpi ja/tai fosfori)

Keinoja, joilla voidaan ehkä vähentää Tyyppi 0041 rihmojen esiintymistä:

- * Klooraus

5.6 Tyyppi 0675

Tyyppi-0675 rihma muistuttaa tyyppi-0041 rihmaa, mutta tyyppi 0675-rihma on lyhyempi (50 -150 μm). Rihmaa peittää yleensä runsas päällikasvusto, mutta tietynlaisissa teollisuuden jätevedenpuhdistamoissa päällikasvusto voi puuttua. Tyyppi 0675-rihmalla on kuori. Rikkijyväsia ei esiinny.

Tyyppi 0675-rihmat ovat yleensä Gram-positiivisia, mutta Gram-värjäytyminen voi myös vaihdella. Tyyppi 0675-rihmat ovat Neisser-negatiivisia, mutta rihmassa voi esiintyä Neisser-positiivisia jyväsia.

Tyyppi 0675-rihman optimilieteikä on 9 - 20 d.

Tyyppi 0675-rihmaa esiintyy paperi- ja selluteollisuuden jätevedenpuhdistamoiden lietteissä. Rihma suosii hitaasti biohajoavia substraatteja.

Tyyppi 0675-rihma kasvaa useimmiten flokkien sisällä (Open floc structure).

Mahdollisia syitä tyyppi 0675-rihmojen esiintymiseen:

- * Huono happitilanne
- * Tulevassa jätevedessä paljon hitaasti biohajoavaa substraattia

Keinoja, joilla ehkä voidaan vähentää tyyppi-0675 rihmojen esiintymistä:

- * Aerobinen selektori
- * Klooraus

5.7 *Haliscomenobacter hydrossis*

Haliscomenobacter hydrossis-rihmat (ks. kuvaliitteen kuvat 12 ja 13) ovat noin 20 - 200 µm pitkiä, erittäin ohuita ohuita, suoria tai hieman taipuneita rihmoja. Rihmalla on kuori. Solujen välistä väliseinää ei ole, mutta rihmassa voidaan huomata tyhjiä kohtia.

Haliscomenobacter hydrossis esiintyy vapaana flokkien välisessä tilassa tai se voi myös työntyä ulos flokin pinnasta. Rihmat voivat esiintyä myös kimpuissa.

H. hydrossis on hyvin ohut rihma. Yleensä sitä on vaikea havaita mikroskoopissa ilman faasikontrastia. Bakteeripäällikasvusto vaihtelee satunnaisesta runsaaseen. Rihmassa ei ole rikkijyväsiä. *Haliscomenobacter hydrossis* on Gram- ja Neisser- negatiivinen rihma.

H. hydrossis pystyy pelkistämään nitraattia nitriitiksi, mutta kykyä täydelliseen denitrifikaatioon ei ole todettu. *H. hydrossis* vaatii kalsiumia kasvuunsa. pH-arvon kasvu rajoittaa *H. hydrossiksen* lisääntymistä. Rihma suosii helposti biohajoavia substraatteja.

H. hydrossis ei yleensä aiheuta laadultaan niin vakavia paisuntalieteongelmia kuin esimerkiksi *S. natans* ja tyyppi 021N, koska rihma on niin lyhyt ja ohut.

Mahdollisia syitä *H. hydrossiksen* esiintymiseen:

- * Hapen puute
- * Alhainen lietekuorma
- * Tulevassa jätevedessä paljon helposti biohajoavia substraatteja

Keinoja, joilla ehkä voitaisiin vähentää *H. hydrossiksen* esiintymistä:

- * Anaerobinen selektori
- * Anoksinen selektori
- * Aerobinen selektori
- * Hapetuksen lisääminen
- * Lieteiän lisääminen
- * Klooraus

5.8 Tyyppi 0961

Tyyppi 0961-rihmat ovat noin 40 - 150 µm pituisia rihmoja, jotka työntyvät ulos flokin pinnasta. Rihman päällä ei esiinny bakteerikasvustoa. Rihmalla ei ole oikeaa kuorta, mutta rihman päällä voi olla limakerros. Tyyppi 0961-rihmat eivät sisällä rikkijyväsiä. Tyyppi 0961-rihmat värjäytyvät Gram- ja Neisser -negatiivisiksi.

Tyyppi 0961-rihmat tarvitsevat happea. Tyyppi 0961 saa kilpailuetua jos tulevaa jätevettä on vähemmän ja se on vahvempaa kuin normaalisti (kuivat kaudet). Ilmastusaltaan olosuhteiden muuttuessa Tyyppi 0961-rihman morfologia voi muuttua, esim. rihman pituus lyhenee, jos jäteveden ravinnepitoisuus pienenee.

Tyyppi 0961-rihmalle on tyypillistä kasvaa flokkien välisessä vapaassa tilassa (Interfloc bridging).

Mahdollisia syitä tyyppi 0961-rihmojen esiintymiseen:

- * Tuleva jätevesi väkevämpää kuin normaalisti
- * Tulevaa jätevettä vähemmän kuin tavallisesti
- * Alhainen lietekuorma (F/M)

Keinoja joilla ehkä voidaan vähentää tyyppi 0961-rihmojen esiintymistä:

- * Vaihtelevat substraatin pitoisuudet (esim: vuorotellen ravinnepitoiset ja näännyttävät olosuhteet)
- * Aerobiset selektorit
- * Anoksiset selektorit

5.9 *Nocardia*

Nocardioiksi kutsutaan rihmamaisia mikro-organismeja, joilla on haarautuneet lyhyet noin 10 - 20 µm pituiset taipuneet rihmat. *Nocardiat* aiheuttavat ilmastusaltaan vaahtoamisongelmia ja aktiivilietelaitoksen vaahdosta löytyy usein *Nocardia amaraea*. *Nocardia* (ks. kuvaliitteen kuva 14) kasvaa useimmiten flokin sisällä, mutta sitä voi esiintyä myös flokkien välissä. *Nocardialla* on hyvin hydrofobiset soluseinät, jonka vuoksi *Nocardia* aiheuttaa vaahtoamisongelmia. Hydrofobiset rihmastot pyrkivät pois vesifaasista kiinnittymällä ilmakupliin, jos *Nocardiaa* on runsaasti flokeissa on koko flokki luonteeltaan hydrofobinen ja pyrkii nousemaan ilmastusaltaan pintaan. Rihmalla ei ole kuorta eikä päällibakteerikasvustoa. *Nocardia*-rihma voi sisältää PHB-jyväsiä. *Nocardian* solut ovat epäsäännöllisen muotoisia ja solujen välinen seinä erottuu selvästi.

Nocardian optimilämpötila on 15 - 37°C ja optimi lieteikä on 2 - yli 20 d. *N.amarae* ei voi kasvaa tai käyttää hiililähdettä anoksisissa tai anaerobisissa olosuhteissa. Optimi-pH aktiivilietteessä on 6,5.

Mahdollisia syitä *Nocardian* esiintymiseen:

- * Alhainen lietekuorma (F/M)
- * Tulevassa jätevedessä paljon pinta-aktiivisia aineita tai/ja hydrofobisia substraatteja
- * Huonosti toimiva selkeytin (rasvojen anaerobinen hydrolyysi)
- * Mekaaninen raskaus pumpuissa (rikkoutuvista soluista vapautuu pinta-aktiivisia proteiineja)

Keinoja joilla ehkä voidaan vähentää *Nocardian* esiintymistä:

- * Anoksinen selektori (2,5 kg BOD₅/m³d)
- * Anaerobinen selektori

5.10 *Microthrix parvicella*

Vaikka *Microthrix parvicellalla* on latinankielinen nimi, sen taksonominen sijainti on epätarkka. Joidenkin tutkimusten mukaan se kuuluu aktinomyketteihin, mutta toisten mukaan se ei kuulu.

Microthrix parvicella (ks. kuvaliitteen kuva 15) on noin 100 - 500 µm pitkä ja haarautumaton rihma, joka voi kasvaa flokin sisässä tai sen ulkopuolella. Rihmalla ei ole kuorta, eikä solujen välillä ole havaittavissa väliseinää. Rihmassa voi esiintyä lyhyitä tyhjiä kohtia. Bakteeripäällikasvustoa ei esiinny. *Microthrix parvicella* on Gram-positiivinen ja Neisser-negatiivinen, mutta Neisser-positiivisia jyväsiä esiintyy yleisesti. *M.parvicellan* morfologia ja Gram-värjäytyvyys voivat vaihdella.

M. parvicella voi aiheuttaa sekä paisuntalietettä, että ilmastusaltaan vaahtoamisongelmia. *M. parvicella* ei pysty käyttämään jätevedessä yleensä esiintyviä helposti biohajoavia substraatteja, kuten glukoosia, fruktoosia, yksinkertaisia orgaanisia happoja tai proteiinihydrolysaatteja, vaan se suosii pitkäketjuisia happoja esteröidyssä muodossa. *M. parvicella* pystyy varastoimaan oleiinihappoa (öljyhappoa) vararavinnoksi solun sisään ja käyttämään sitä energian ja proteiinin tuotantoon, kun ravintoa on muuten vähän saatavilla.

Kasvua esiintyy lämpötilavälillä 8 - 35 °C.

M. parvicellan optimi pH on 7,7 - 8, eikä kasvua esiinny pH-arvon 7,1 alapuolella.

Sen optimilietekä on 8 - 20 d.

M. parvicella tarvitsee synteeseihinsä typpeä ja rikkiä pelkistetyssä muodossa.

M. parvicella kasvaa suurimmaksi osaksi flokkien sisällä aiheuttaen flokkirakenteen huononemisen ja samalla lietteen laskeutumisominaisuuksien huononemisen (Open floc structure). *M. parvicellaa* esiintyy yleisimmin biologisesti ravinteita poistavissa laitoksissa, joissa on alhainen lietekuorma, pitkä lieteikä sekä anoksisia ja/tai anaerobisia vyöhykkeitä.

Mahdollisia syitä *M. parvicellan* esiintymiseen:

- * Alhainen lietekuorma (F/M)
- * Lipidejä jätevedessä
- * Korkea nitriittipitoisuus
- * Hapen puute
- * Tulevassa jätevedessä paljon hitaasti biohajoavaa substraattia

Keinoja, joilla ehkä voitaisiin vähentää *M. parvicellan* määrää:

- * Kineettinen selektori
- * Oksinen selektori
- * Hapetuksen lisäys
- * Lietteiden poiston lisäys
- * Lieteiän alentaminen

5.11 Tyypin 0092

Tyyppi 0092-rihmat ovat noin 10 - 60 µm pituisia, kaartuneita tai taipuneita. Rihma kasvaa yleensä flokin sisällä ja työntyy vain hieman ulos flokin pinnasta, mutta jos tyyppi 0092-rihma on vallitseva rihmamainen mikro-organismi, sitä voi esiintyä myös vapaana flokkien välissä. Rihman solut ovat suorakulmiomaisia eikä niiden välissä ole väliseinää, tai sitten sitä on vaikea havaita. Rihmassa ei ole kuorta eikä rikkijyväsiä.

Bakteeripäällikasvustoa ei esiinny. Tyyppi 0092-rihma on Gram-negatiivinen ja koko rihma on Neisser-positiivinen. Tyyppi 0092-rihman määrä aktiivilietteestä yleensä aliarvioidaan ja liete täytyykin aina Neisser-värjätä, jotta tyyppi 0092-rihmat saadaan flokkien sisältä näkyviin.

Aktiivilietteestä voidaan löytää muita tyyppi 0092-rihman kuvaukseen sopivia rihmoja, mutta yleensä ne ovat pidempiä.

Tyyppi 0092 pystyy käyttämään orgaanisia substraatteja anoksisissa ja anaerobisissa olosuhteissa ja se suosii hitaasti biohajoavia substraatteja. Tyyppi 0092 pystyy denitrifioimaan. Tyyppi 0092-rihma on hitaasti kasvava, sen optimi lieteikä on yli 20 d. Rihma kasvaa suurimmaksi osaksi flokkien sisällä aiheuttaen flokkirakenteen huononemisen ja samalla lietteen laskeutumisominaisuuksien huononemisen (Open floc structure).

Mahdollisia syitä Tyyppi 0092 rihman esiintymiseen:

- * Alhainen lietekuorma (F/M)
- * Tulevassa jätevedessä paljon hitaasti biohajoavia substraatteja
- * Pitkä lieteikä
- * Nitrifikaatio

Keinoja, joilla ehkä voidaan vähentää Tyyppi 0092 rihman esiintymistä:

- * Klooraus

5.12 *Nostocoida limicola*

Nostocoida limicola on jaettu kolmeen eri ryhmään rihman halkaisijan perusteella:

” 0,6 - 0,8 µm	<i>Nostocoida limicola I</i>
” 1,2 - 1,4 µm	<i>Nostocoida limicola II</i>
” 1,6 - 2,0 µm	<i>Nostocoida limicola III</i>

Kaikki *Nostocoida limicolan* muodot ovat taipuneita tai kiertyneitä ja ne voivat kasvaa joko flokin sisällä tai ulkopuolella. Rihman solut ovat ovaalin muotoisia tai kulmikkaita. Rihma on Gram-positiivinen, mutta *Nostocoida limicola II* (ks. kuvaliitteen kuvat 16 ja 17) voi esiintyä myös Gram-negatiivisena. (Gram-reaktio voi riippua jäteveden

koostumuksesta.) Rihma on Neisser-positiivinen, joilloin koko rihma on vaalean sininen tai sinisen violetti, yksittäiset solut ovat kirkkaampia kuin väliseinät. Soluissa voidaan havaita myös PHB-jyväsiä.

N. limicola on valinnaisesti (fakultatiivisesti) anaerobi ja se pystyy fermentaatioon. Rihma voi aiheuttaa sekä paisuntalieteongelmia, että vaahdonmuodostumisongelmia. *N. limicolan* aiheuttama vaahto ei usein kuitenkaan ole kovin stabiilia. *N. limicola* suosii helposti biohajoavia substraatteja.

Mahdollisia syitä *N. limicolan* esiintymiseen:

- * Tulevassa jätevedessä paljon helposti biohajoavia substraatteja

Keinoja, joilla ehkä voitaisiin vähentää *N. limicolan* määrää:

- * Aerobinen selektori
- * Anaerobinen selektori
- * Anoksinen selektori
- * Muuttamalla lieteikä alle 4d
- * Klooraus

5.13 Muut rihmat

Aktiivilietteessä voi esiintyä myös muita rihmamaisia bakteereja sekä rihmamaisia mikro-organismeja mm. levää ja sieniä.

Levät tarvitsevat kasvaakseen valoa, lämpöä ja ravinteita. Levää kasvaa yleisemmin jälkiselkeyttimissä, koska ilmastusaltaassa ei ole tarpeeksi valoa. Levät ovat hyvin vihreitä ja ne on helppo tunnistaa lietteestä.

Sienten kasvu kertoo yleensä alhaisesta pH arvosta (alle 6).

Kuvauksia muista rihmamaisista bakteereista kuin tässä mainitusta löytyy esimerkiksi seuraavista teoksista: Activated Sludge Bulking and Foaming Control; Jiri Wanner , Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming; David Jenkins, Microscopic Sludge Investigation Manual; D.H. Eikelboom.

6. Erilaisia rihmamaisten bakteerien aiheuttamia paisuntalietettä

Kirjallisuudessa rihmamaisten bakteerien aiheuttama paisuntaliete jaetaan yksinkertaistamisen vuoksi usein neljään erilaiseen päätyyppiin.

Taulukko A. Paisuntaliete ryhmittely

	Yleisimmät laitostyypit ja/tai tilanteet	Yleisimmät rihmat
“Aerobinen paisuntaliete”	Täysin ilmastetut laitokset. Runsaasti liukoista substraattia, niukasti ravinteita, niukasti happea.	S. Natans, Tyyppi 021N
Aktinomykeettien aiheuttama vaahtoaminen	Runsaasti pinta-aktiivisia aineita ja/tai rasvayhdisteitä	Nocardia, (Microthrix parvicella)
Alhaisen lietekuorman aiheuttama paisuntaliete	Ravinteita biologisesti poistavat laitokset. Hapettomia vyöhykkeitä.	Microthrix parvicella, Tyyppi 0092, Tyyppi 0041
Sulfideja hapettavien rihmojen aiheuttama paisuntaliete	Ilmastusaltaaseen tulee pelkistyneitä rikkiyhdisteitä.	Thiothrix, Beggiatoa, (Tyyppi 021N)

6.1 ”Aerobinen” paisuntaliete (aerobic bulking)

”Aerobista” paisuntalietettä aiheuttavat mm. *Sphaerotilus natans*, tyyppi 021N ja tyyppi 0961. Niiden oletetaan olevan ainoastaan aerobisia bakteereja (käyttävät happea elektronin vastaanottajana).

Eri lähteissä on mainittu, että ”aerobista” paisuntalietettä aiheuttavat rihmamaiset bakteerit saavat kasvuetua, jos ilmastusaltaaseen tulevassa jätevedessä on runsaasti helposti biohajoavaa substraattia. Myös liunneen hapen riittämätön pitoisuus voi aiheuttaa ”aerobista” paisuntalietettä.

Aerobisessa paisuntalietteessä *Sphaerotilus natans* on usein vallitseva rihmamainen mikro-organismi kylmissä olosuhteissa ja tyyppi 021N yleensä korkeammissa lämpötiloissa.

Aerobista paisuntalietettä aiheuttavia rihmoja voi myös siirrostua aktiivilietteeseen viemäreistä.

Aerobisen paisuntalietteen hallintaan on käytetty aerobisia ja anoksisia selektoreja. Aerobisen selektorin tilakuormaksi on esitetty 10 kg BOD₅/m³d ja anoksisen selektorin tilakuormaksi 2,5 kg BOD₅/m³d.

Aerobista paisuntalietettä on poistettu myös klooraamalla, otsonoimalla, hapettamalla rihmabakteereja vetyperoksidilla sekä mekaanisesti rihmojen rakennetta vahingoittamalla.

6.2 Aktinomykeettien aiheuttama vaahtoaminen

Aktinomykeettien (*Nocardia*) runsas esiintyminen aktiivilietteessä aiheuttaa usein pysyvän ruskean vaahton muodostumisen ilmastusaltaan pinnalle. *Nocardian* hydrofobiset soluseinät tekevät rihmasta vettä hylkivän. *Nocardialla* on taipumusta kasvaa flokkien sisällä ja kun flokkissa on riittävästi *Nocardiaa*, alkaa koko flokki hakeutua kosketuksiin kaasufaasin kanssa eli flokki alkaa kellua.

Pinta-aktiiviset aineet ja hydrofobiset substraattit voivat aiheuttaa *Nocardian* liikakasvua. Huonosti toimiva esiselkeytin, jossa tapahtuu esimerkiksi rasvojen anaerobinen hydrolyysi, voi edesauttaa *Nocardian* liikakasvua. Myös mekaaninen rasitus esimerkiksi pumpuissa voi aiheuttaa *Nocardian* liikakasvua, koska tällöin bakteerisoluja hajoaa ja pinta-aktiivisiä proteiineja vapautuu.

Nocardia on hitaasti kasvava mikro-organismi. Jos lieteikä on alle 2 vuorokautta, ei *Nocardiaa* esiinny. *Nocardia* pystyy kasvamaan vain aerobisissa olosuhteissa. *Nocardian* liikakasvun aiheuttaman vaahtoamisongelman poistamiseksi on käytetty anoksisia selektoreja tilakuormalla 2,5 kg BOD₅/m³d. Klooraus, vetyperoksidi, otsoni ja alumiinisulfaatti eivät aina tuota haluttua tulosta *Nocardian* suhteen.

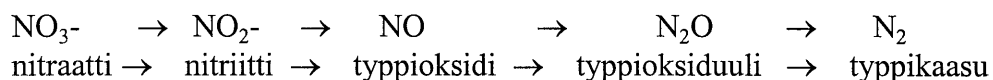
6.3 Alhaisen lietekuorman aiheuttama paisunta ja vaahtoaminen

(Low F/M bulking)

Microthrix parvicella, tyyppi 0092 ja tyyppi 0041 pääasiassa aiheuttavat alhaisesta lietekuormasta johtuvaa paisuntaa ja vaahtoamista.

On todettu että on olemassa ainakin kaksi eri syytä, jotka johtavat helposti alhaisesta F/M suhteesta aiheutuvaan paisuntaan ja vaahtamiseen:

- Tulevassa jätevedessä on runsaasti lipidejä (rasvayhdisteitä) tai niitä vapautuu solujen hajotessa mekaanisen rasituksen vuoksi.
- Denitrifikaation välituote typpioksidi inhiboi flokkibakteerien kasvua. Kun nitrifikaatio käynnistyy ja jätevetteen muodostuu nitraattia, käynnistyy hapen loppuessa (esim. jälkiselkeyttimessä) denitrifikaatio.



Jos denitrifikaatio ei ehdi mennä loppuun saakka ja flokkibakteeriin jää typpioksidia, se ei voi enää kasvaa hapellisissa olosuhteissa. Kun flokkibakteerit joutuvat palautuslietteen mukana takaisin ilmastusaltaaseen ja niissä on typpioksidia ne eivät pysty jakaantumaan ja rihmamaiset bakteerit saavat kasvuetua. Rihmamaiset bakteerit eivät pysty pelkistämään nitraattia nitriitiksi.

Alhaisesta lieteuormasta aiheutuvaa paisuntalietettä voidaan poistaa tilapäisesti kloorauksella tai otsonoinnilla. Lieteiän pitäminen niin alhaisena, ettei nitrifikaatiota esiinny, estää denitrifikaation ja typpioksidin muodostumisen.

6.4 Sulfideja hapettavien bakteerien aiheuttama paisuntaliete

Thiothrix, *Beggiatoa* ja mahdollisesti tyyppi 021N pystyvät hapettamaan sulfideja. Niitä esiintyy yleensä aktiivilietteessä, jos tulevassa jätevedessä on helposti biohajoavia substraatteja ja pelkistyneitä rikkiyhdisteitä. Rikkiyhdisteitä voi myös syntyä flokkien sisällä, jos happipitoisuus on alhainen. Sulfideja hapettavia bakteereita voi myös siirrostua viemäristä.

Tällainen paisuntaliete saadaan pois, jos sulfidilähde eliminoidaan tulevasta jätevedestä. Tilapäisesti sulfideja hapettavia rihmoja voidaan poistaa hapettamalla rihmoja vetyperoksidilla tai kloorilla.

7. Toimenpiteet paisuntalietteen hallitsemiseksi

Paisuntalietteen hallinta on vaikeaa. Monesti paisuntaliete aiheutuu usean eri olosuhteen yhteisvaikutuksesta. Joskus riittää, että joku olosuhteista muutetaan ja joskus kaikki olosuhteet on muutettava ennen kuin saadaan tuloksia.

Jotta päästäisiin mahdollisimman hyvään lopputulokeen on tärkeää tietää, mikä tai mitkä rihmamaiset bakteerit ovat kyseessä ja mikä voisi olla syy niiden liikakasvuun. Jos tiedetään, mikä rihma tai rihmat on kyseessä, on helpompi lähteä miettimään sopivaa keinoa rihmabakteerien liikakasvun hillitsemiseksi.

Periaatteessa rihmamaisten bakteerien määrää voidaan yrittää vähentää kahdella eri tavalla.

(a) **Spesifisillä menetelmillä**, jotka vaikuttavat valikoivasti aktiivilietteen eliöstöön. Spesifisillä menetelmillä pyritään poistamaan rihmamaisten bakteerien kasvun syy.

(b) **Epäspesifisillä menetelmillä**, joilla pyritään ensisijaisesti poistamaan rihmamaiset bakteerit nopeasti pois aktiivilietteestä.

Rihmojen täydellinen eliminointi ei yleensä edes ole toivottavaa, koska silloin flokki menettää äkillisesti sisäisen tukirankansa ja muodostuu helposti pinpoint - flokkia. Tiettyjen flokkibakteerien (*Zoogloea*) liiallinen esiintyminen saattaa toisaalta taas aiheuttaa viskoosia paisuntalietettä.

7.1 Spesifiset menetelmät

Spesifiset menetelmät ovat ennaltaehkäiseviä ja niiden tarkoituksena on antaa flokinmuodostajabakteereille kilpailuetua rihmamaisten bakteerien kustannuksella. Flokinmuodostajien valikoituminen lietteeseen perustuu olosuhteisiin, joissa substraatti, ravinteet ja esimerkiksi happi pyritään saattamaan paremmin flokinmuodostajien kuin rihmojen käyttöön. Näihin olosuhteisiin vaikuttamista kuvataan seuraavaksi kohdassa 7.1.1. Kohdassa 7.1.2 kuvataan prosessimuutosten aikaansaamiseksi joskus tarvittavien selektorien ominaisuuksia.

7.1.1 Flokkibakteereja suosivat prosessiratkaisut

Yleensä kokonaan ilmastetut ja täysin sekoitetut ilmastusaltaat tuottavat huomattavasti huonommin laskeutuvaa lietettä, kuin sellaiset ilmastusaltaat, joissa on tulppavirtaus, tai sellaiset altaat, joissa palautusliete ja tuleva jätevesi sekoitetaan omassa "osastossaan" ns. selektorissa.

Syy, miksi rihmat saavat etua kokonaan ilmastetussa täyssekoitteisessa ilmastusaltaassa, on se, että niillä on substraatin ottoon suhteellisesti suurempi pinta-ala, kuin flokeissa olevilla bakteereilla. Varsinkin matalakuormitteisessa laitoksessa substraatti kulkeutuu helpommin rihmalle kuin flokin sisälle.

7.1.1.1 Substraatin saannin tehostaminen

Substraatin saattaminen paremmin flokinmuodostajien käyttöön voidaan saada aikaan kahdella eri tavalla:

1. Luodaan ilmastusaltaaseen olosuhteet, joissa flokinmuodostajat pystyvät kasvamaan ja käyttämään sekä varastoimaan substraattia nopeammin kuin rihmat. Flokinmuodostajien valikoituminen perustuu bakteerien kata- ja anabolisten prosessien nopeuksiin ja tällaista valikoitumista kutsutaan kineettiseksi valikoitumiseksi (= kineettinen selektio).

2. Luodaan ilmastusaltaaseen olosuhteet, joissa rihmat eivät pysty käyttämään saatavilla olevaa ravintoa, mutta flokinmuodostajat pystyvät. Tällaista valikoitumista kutsutaan metaboliseksi valikoitumiseksi (= metabolin selektio).

Kineettinen selektio on yleensä parempi menetelmä rihmojen määrän vähentämisessä täysin ilmastetuissa perinteisissä aktiivilietelaitoksissa. Ravinteita poistavissa laitoksissa, joissa liete on myös anoksisissa tai anaerobisissa olosuhteissa, on metabolin selektio yleensä parempi menetelmä rihmojen määrän vähentämisessä. Kineettistä ja metabolin selektiota voidaan myös tehokkaasti yhdistää.

7.1.1.2 Ravinteiden saannin tehostaminen

Rihmamaisilla bakteereilla on suurempi pinta- ja tilavuuden suhde alan (huom! tekstissä myöhemmin käsitellyn aineensiirtopinta-ala) kuin flokeissa elävillä bakteereilla. Jos ravinteita on saatavilla niukasti, pääsevät rihmat suuremmalla aineensiirtopinta-alallaan niihin helpommin käsiksi kuin flokinmuodostajat, joilla ravinteiden kulkeutuminen tiiviin flokin sisälle on hitaampaa. Jos aktiivilieteprosessi kärsii ravinteiden ja/tai hapen puutteesta, on järkevin keino tilanteen korjaamiseksi ravinteiden ja/tai määrän lisääminen niin, että pitoisuudet ovat riittäviä.

Ravinteiden (typen ja/tai fosforin) vähäisyys aktiivilietteessä voi aiheuttaa paisuntalietettä. Ravinteiden vähäisyydestä etua saavia rihmamaisia bakteereja tiedetään olevan mm: tyyppi 021N, *S. natans*, *Thiothrix* ja tyyppi 0041, näistä rihmoista yleisimmin esiintyvä on tyyppi 021N.

Joillakin rihmoilla voi myös olla kyky varastoida ravinteita (esim. ammoniumtyypeä) samalla tavalla kuin flokinmuodostajat pystyvät varastoimaan orgaanista substraattia.

Aktiivilietteessä havainnaitavia ravinteiden puutoksen oireita:

- * Lietteessä esiintyy *Thiothrix*- tai tyyppi 021N-rihmoja
- * Lietteessä on paljon solun ulkopuolista polymeeriä. (Bakteerit tuottavat ravinneköyhissä olosuhteissa polysakkaridisia polymeerejä proteiinien ja muiden solukomponenttien sijaan.)
- * Ilmastusaltaassa ja jälkiselkeyttimessä on vaahtoa, joka sisältää paljon solun ulkopuolista materiaalia (yleensä Neisser-positiivista). Vaahto ei sisällä tavallisia vaahtonmuodostajia kuten esim *Nocardia*, *M. parvicellaa* tai tyyppiä 1863.

Aktiivilietteen ravinnetarve riippuu lieteiästä jonkin verran. Jos lieteikä on korkea tapahtuu runsaasti solujen hajoamista ja niistä vapautuvat ravinteet kiertävät systeemissä.

Suhdetta BOD₅/typpi/fosfori 100/5/1 pidetään optimaalisena aktiivilietteelle.

Joissain tapauksissa systeemissä voi olla paljon ravinteita, mutta niiden saatavuus voi olla hankalaa. Jos tulevassa jätevedessä on paljon helposti hajoavia hiiliyhdisteitä, ne kulutetaan nopeasti. Tällöin ravinteiden tarve on suurta, mutta jos ravinteet ovat sitoutuneet orgaanisiin yhdisteisiin, niitä ei ehkä saada solujen käyttöön riittävän nopeasti.

Ravinteiden puutteesta aiheutuvaa paisuntalietettä ei voida tyydyttävästi poistaa klooraamalla tai vetyperoksilla hapettamalla.

7.1.1.3 Hapen saannin tehostaminen

Jos happea on saatavilla niukasti, pääsevät rihmat suuremmalla aineensiirtopinta-alallaan happeen helpommin käsiksi kuin flokinmuodostajat, joilla hapen kulkeutuminen tiiviin flokin sisälle on hitaampaa.

Alhaisella ja keskisuurella lieteiällä liunneen hapen alhaisesta pitoisuudesta hyötyviä rihmoja ovat *S. natans*, tyyppi 1701 ja mahdollisesti *H. hydrossis*. Korkealla lieteiällä hapen puutteesta hyötyy *M. parvicella*.

Rihmoilla on siis suuremman aineensiirtopinta-alan vuoksi kyky saada vähähappisesta lietteestä suurempi osa käyttöönsä kuin flokinmuodostajilla, koska hapen on vaikea tunkeutua tiiviin flokin sisään.

Happipitoisuudella ja lietekuormalla (F/M) on vaikutusta toisiinsa. Mitä suurempi lietekuorma, sitä enemmän happea tarvitaan.

Jos paisuntalietteen aiheuttajaksi epäillään alhaista happipitoisuutta, kannattaa tarkastaa happimittauksen oikeellisuus. Laitoksella on pyrittävä selvittämään kuinka alhainen liuenneen hapen pitoisuus on, mihin vuorokaudenaikoihin hapenpuutetta esiintyy ja kuinka pitkänä ajanjaksoina.

Alhaisesta liuenneen hapen pitoisuudesta aiheutuvaa paisuntalietettä voidaan poistaa hapetusta lisäämällä tai muuttamalla lietekuormaa. Tilanteen korjaamisen jälkeen rihmojen häviäminen lietteestä voi olla hidasta, se voi kestää jopa 3x lieteiän.

Sekä hapetuksen lisäämisellä, että lietekuorman pienentämisellä voi olla ei-toivottuja seurauksia.

Lietekuorman pienentäminen:

- Nitrifikaatio voi käynnistyä → tarvitaan lisää happea
- Lietteen kiintoainepitoisuus voi kasvaa niin suureksi, ettei jälkiselkeyttimen kapasiteetti riitä

Hapetuksen lisääminen:

- Nitrifikaatio voi käynnistyä, jos lieteikä on riittävän korkea
- Energiankulutus lisääntyy

7.1.2 Selektorit - erityisratkaisu flokkibakteerien suosimiseksi

Selektori on ilmastusaltaasta erotettu osa tai se voi olla myös kokonaan erillinen allas, jossa tuleva jätevesi ja palautusliete sekoitetaan keskenään ennen, kuin ne menevät varsinaiseen ilmastusaltaaseen. Selektorilla systeemiin pyritään luomaan pitoisuuseroja (konsentraatiogradientti).

Selektorien avulla pyritään vähentämään rihmamaisten bakteerien määrää luomalla systeemiin sellaiset olosuhteet, jotka suosivat flokinmuodostajia.

Flokinmuodostajabakteereilla on seuraavia ominaisuuksia, joita voidaan hyödyntää selektoreissa:

- * Flokinmuodostajilla on kyky ottaa substraatteja sisäänsä nopeammin kuin rihmoilla
- * Flokinmuodostajat pystyvät varastoimaan substraattia
- * Flokinmuodostajat kestävät varastoidun substraatin turvin kauemmin vähäravinteisia olosuhteita kuin rihmat
- * Flokinmuodostajat pystyvät denitrifioimaan nopeammin kuin rihmat (selviävät paremmin anoksisissa olosuhteissa)
- * Tietyt flokinmuodostajat pystyvät hydrolysoimaan solun sisäistä polyfosfaattia (selviävät jonkin aikaa anaerobisissa olosuhteissa)

Selektori toimii hyvin vain silloin, kun tulevassa jätevedessä on tarpeeksi liukoista substraattia, joka voidaan helposti ja nopeasti kuljettaa flokki- bakteerin soluseinän läpi ja muuntaa vararavinnoksi. Selektori voi olla oksinen (= aerobinen), anoksinen tai anaerobinen sen mukaan, miten bakteerit ottavat käyttöönsä substraatin kuljettamiseen ja varastointiin tarvittavan energian.

Aerobinen selektori

Jos selektoria ilmastetaan, se on aerobinen. Bakteerit hapettavat liukoista substraattia hiilidioksidiksi ja vedeksi ja saavat siitä energiaa, jonka avulla ne kuljettavat liukoista substraattia solun sisään ja muuntavat sitä vararavinnoksi.

Suurin osa aktiivilietteen bakteereista on aerobisia, joten aerobisessa selektorissa tapahtuva valikoituminen tapahtuu vain kineettisen selektion mukaan periaatteella ”nopeimmat selviävät”.

Anoksinen selektori

Anoksista selektoria ei ilmasteta, mutta systeemissä täytyy olla nitraattityppeä. Selektorissa tapahtuvassa denitrifikaatioissa bakteerit pelkistävät nitraattityypen typpikaasuksi ja saavat siitä energiaa, jonka avulla ne kuljettavat liukoista substraattia solun sisään ja muuntavat sitä vararavinnoksi.

Anoksisessa selektorissa tapahtuva valikoituminen on sekä kineettistä, että metabolista, koska vain harvat rihmat pystyvät denitrifioimaan.

Anaerobinen selektori

Anaerobisessa selektorissa ei saa esiintyä happea eikä nitraattityppeä. Bakteerit (polyfosfaattia varastoivat) hydrolysoivat runsasenergisää solunsisäisiä polyfosfaattivarojaan. Tästä saatavan energian avulla bakteerit pystyvät kuljettamaan liukoista substraattia solun sisään ja varastoimaan sitä.

Anaerobisessa selektorissa valikoituminen tapahtuu pääasiassa metabolisesti. Vain ne bakteerit selviävät, joilla on kyky polyfosfaatin varastointiin.

Energian saanto kulutettua orgaanista ainetta kohti on suurin, kun orgaaninen aine hapetetaan hapen läsnäollessa. Toiseksi eniten energiaa saadaan samasta määrästä orgaanista ainetta anoksisissa olosuhteissa ja vähiten anaerobisissa.

Bakteerit valitsevat aina energiaedullisimman vaihtoehdon. Jos systeemissä on läsnä sekä happea että nitraattityppeä, ottavat bakteerit tarvitsemansa energian aerobisesti. Denitrifikaatiota ei tapahdu niin kauan kuin happea on läsnä, koska se on epäedullisempi vaihtoehto.

Epäedullisemman vaihtoehdon bakteerit valitsevat vain, jos se on ainoa jäljelläoleva mahdollisuus.

Monesti ilmastetussa altaassa tapahtuu kaikkia edellämainittuja reaktioita, koska flokin sisäosa voi olla anoksinen tai anaerobinen. Jos flokki on hyvin tiivis, hapen on vaikea tunkeutua flokin sisäosiin.

Jos liete viipyy jälkiselkeyttimessä niin kauan, että happi loppuu, valitsevat bakteerit (ne jotka pystyvät) joko anoksisen tai anaerobisen tavan energian tuottoon riippuen siitä, onko nitraattia läsnä. Nämä bakteerit selviävät hengissä hapettomissa olosuhteissa, kunnes osa joutuu palautuslietteen mukana takaisin ilmastusaltaaseen.

Organismien, jotka valikoituvat selektorissa, pitää pystyä ottamaan nopeammin substraattia sisäänsä kuin muut, mutta niiden täytyy pystyä myös tyhjentämään vararavintovarastonsa ennen, kuin ne saapuvat palautuslietteessä takaisin selektoriin. Jos niille ei anneta mahdollisuutta vararavinnon kuluttamiseen (riittävän pitkään kestäviä nälännytysolosuhteita), ne palaavat selektoriin vain osaksi tai ei ollenkaan "tyhjentyneenä". Tällöin ne eivät pysty enää ottamaan liukoista substraattia sisäänsä yhtä paljon kuin ennen ja sitä pääsee ilmastusaltaaseen rihmojen käyttöön. Ei yksin riitä, että selektori suunnitellaan niin, että ravinteiden otto tapahtuu mahdollisimman nopeasti. Myös ilmastusallas on suunniteltava niin, että bakteerien varastoima ravinto tulee käytetyksi.

7.1.2.1 Selektorin mitoitus

Mitään yleistä menetelmää selektorien suunnitteluun ei ole olemassa, koska syyt rihmamaisten ja flokkeja muodostavien bakteerien valikoitumiseen ovat liian monimutkaisia minkäänlaisten mallien muodostamiseen. Selektorit pitää aina suunnitella tapauskohtaisesti niin, että kaikki vaikuttavat tekijät on otettu huomioon.

Selektoria suunniteltaessa on huomioitava seuraavia tekijöitä:

1. Selektorissa on oltava riittävä orgaaninen kuormitus (F/M).
2. Bakteerien on saatava viipyä selektorissa niin pitkään, että ne pystyvät käyttämään ja varastoimaan (melkein) kaiken liukoisen substraatin. (Koska kaiken liukoisen substraatin mittaaminen on vaikeaa, voidaan sen korvikkeena mitata liukoista COD_{cr}:a.)
3. Koska pitkäikäisyysuuntainen sekoittuminen (oikovirtaus) tulisi olla minimaalista ja tulevan jäteveden määrä ja laatu vaihtelee, olisi hyvä jos selektoreissa olisi useampia osastoja. Yleensä kolme osastoa on minimi.

Aerobisen selektorin mitoitus

Aerobisessa selektorissa ilmastus on välttämätöntä. Liuenneen hapen pitoisuus selektorissa tulisi olla ainakin 1 - 2 mg/l.

Eräs esimerkki aerobisen selektorin mitoituksesta:

Selektori voi olla kolmiosastoinen, esimerkiksi seuraavanlainen:

- | | |
|-----------|---------------------|
| 1. osasto | 12 kg COD/kg MLSS d |
| 2. osasto | 6 kg COD/kg MLSS d |
| 3. osasto | 3 kg COD/kg MLSS d |

Tämä saadaan aikaan niin, että 1 ja 2 osastot ovat yhtä suuria ja 3 osasto on kaksi kertaa niin suuri kuin osasto 1.

Suosittelava viipymäaika selektorissa on noin 10 - 15 minuuttia. Jos viipymäaika on liian lyhyt, bakteerit eivät ehdi kuluttaa kaikkea liukoista orgaanista substraattia ja sitä pääsee ilmastusaltaaseen rihmojen käyttöön. Jos viipymäaika taas on liian pitkä, substraatin pitoisuus lähenee selektorissa ilmastusaltaan pitoisuutta ja rihmojen kasvua voi esiintyä selektorissa.

Aerobista selektoria ollaan käytetty mm. seuraavien rihmamaisten bakteerien määrän vähentämisessä:

- tyyppi 1851
- *N. limicola*
- *S. natans*
- tyyppi 1701
- *H. hydrossis*
- tyyppi 021N
- tyyppi 0961

Anoksisen selektorin mitoitus

Anoksisessa selektorissa bakteerit tuottavat denitrifikaatiolla tarvittavan energian liukoisen substraatin poistoon. Selektorissa ei saa olla läsnä happea, mutta nitraattia pitää olla riittävästi. Selektorissa olevaa lietettä on sekoitettava sekoittimilla tai tehottomilla ilmastimilla. Selektoriin on tultava nitraattia riittävä määrä joko palautuslietteessä tai sisäisessä lietteen kierrätyksessä.

Anoksisissa selektoreissa kuormitus (F/M) voi olla alhaisempi kuin aerobisissa selektoreissa, koska anoksisessa selektorissa tapahtuu kineettisen valikoitumisen lisäksi myös metabolista valikoitumista.

Jopa yksiosastoisella anoksisella selektorilla, jonka kuormitus on 1 - 2 kg COD/kg MLSS d on pystytty vaikuttamaan rihmojen määrään vähentävästi. Tehokkaampi denitrifikaatio saavutetaan kuitenkin, jos osastoja on useampia.

Kolmeosastoiselle selektorille on esitetty seuraavanlaisia kuormituksia:

- | | |
|-----------|----------------------|
| 1. osasto | 6 kg COD/kg MLSS d |
| 2. osasto | 3 kg COD/kg MLSS d |
| 3. osasto | 1,5 kg COD/kg MLSS d |

On kuitenkin muistettava ero anoksisen selektorin ja typenpoiston välillä. Selektori pitää suunnitella niin, että denitrifikaatio tapahtuu mahdollisimman nopeasti, jotta flokinmuodostajabakteerit (jotka denitrifioivat nopeammin) saavat mahdollisimman nopeasti energiaa substraatin kuljetukseen ja varastointiin. Kaikki nitraatti ei välttämättä kulu selektorissa. Typenpoistoa suunniteltaessa on taas tärkeää, että nitraatti saadaan kulumaan mahdollisimman tehokkaasti.

Toisin kuin aerobisessa selektorissa anoksista selektoria ei oikein voi suunnitella viipymältään liian suureksi. Vaikka kaikki mahdollinen substraatti kuluisi selektorissa, se tapahtuisi anoksisissa olosuhteissa, jolloin rihmoilla ei ole mahdollisuutta hyödyntää sitä.

Anoksisista selektoria on käytetty mm. seuraavien rihmamaisten bakteerien määrän vähentämisessä:

- *S. natans*
- tyyppi 1701
- *H. hydrossis*
- tyyppi 021N
- *Thiothrix*
- tyyppi 1851
- *N. limicola*

Anaerobisen selektorin mitoitus

Anaerobisen selektorin on todettu olevan hyvä rihmojen määrän vähentämisessä (muutamia rihmoja lukuunottamatta). Kirjallisuuslähteiden mukaan anaerobisissa selektoreissa prosessiin valikoituu pääasiassa polyfosfaattibakteereita.

Jotta anaerobinen selektori toimisi hyvin, on otettava huomioon kaksi asiaa:

- tulevassa jätevedessä on oltava oikea suhde helposti biohajoavan substraatin ja ortofosfaatin pitoisuuksien välillä
- viipymääjan on oltava riittävä, jotta orgaanista vararavintoa ehtii muodostua polyfosfaattia varastoivien bakteerien soluihin

Mitä suurempi on COD:P -suhde tulevassa jätevedessä on, sitä tehokkaampi on fosforin poisto, mutta anaerobisen selektorin vaikutus rihmojen määrään heikkenee.

Kunnallisia jätevesiä puhdistavissa laitoksissa anaerobisen selektorin kokonaisviipymäaika on ollut yleensä 0,75 - 2,0 tuntia. Anaerobiset selektorit voivat sisältää eri osastoja ja niiden kuormitus on yleensä suurinpiirtein sama kuin anoksisissa selektoreissa.

Anaerobisessa selektorissa ei saa olla läsnä happea eikä nitraattia. Jos aktiiviliete nitrifioi, voidaan systeemiin sijoittaa anoksinen vaihe nitraatin poistamiseksi.

Anaerobisessa selektorissa valikoituminen tapahtuu pääasiassa metabolisesti.

Anaerobista selektoria voidaan kirjallisuudessa esitettyjen esimerkkitapausten mukaan käyttää mm. seuraavien rihmamaisten bakteerien määrän vähentämiseksi:

- *S. natans*
- tyyppi 021N
- tyyppi 1701
- *H. hydrossis*
- *Thiothrix*
- tyyppi 1851
- *N. limicola*

7.1.2.2 Tilanteita joissa selektorit eivät ole tehokkaita

On olemassa tiettyjä rihmamaisia bakteereja, joihin selektorit eivät aina tehoa halutulla tavalla. Näitä ovat mm. *M. parvicella*, tyyppi 0092, tyyppi 0675 ja tyyppi 0041 erityisesti, kun kyseessä on biologisesti ravinteita poistava laitos ja lieteikä on korkea.

Tarkkaan ei vielä tiedetä, miksi selektorit eivät aina tehoa em. bakteereihin, mutta seuraavia oletuksia on esitetty:

* Nämä rihmat käyttävät ravintonaan hitaasti biohajoavien, liukoisten orgaanisten tai liukenemattomien orgaanisten aineiden hajoamistuotteita, jotka eivät poistu selektoreissa.

* Jotkut näistä rihmoista pystyvät denitrifioimaan ja pystyvät kilpailemaan valikoitumisesta anoksisissa selektoreissa.

* Jotkut esim: *M. parvicella* ovat hidaskasvuisia ja pystyvät kasvamaan vähähappisissa olosuhteissa.

7.1.2.3 Kineettisen ja metabolisen selektion vertailu

Kineettinen selektio:

- * Valikoituminen tapahtuu substraatin hyödyntämisen nopeuden perusteella.
- * Kineettinen selektio ei poista lietteestä kaikkia rihmamaisia bakteereita.
- * Lietteen koostumus muuttuu hitaasti, se voi kestää viikkoja tai jopa kuukausia.
- * Kineettinen selektio ei estä rihmojen kasvua, vaan edistää flokinmuodostajien kasvua.

Metabolinen selektio:

- * Valikoituminen tapahtuu metabolisten ominaisuuksien perusteella. Vain ne bakteerit selviävät, joilla on kyky denitrifoida tai akkumuloida polyfosfaattia.
- * Metabolinen selektio poistaa lietteestä melkein kaikki rihmat.
- * Lietteen koostumus muuttuu nopeasti.
- * Metabolinen selektio estää rihmojen kasvua.

7.2 Epäspesifiset menetelmät

Epäspesifiset menetelmät vaikuttavat vain ongelmasta aiheutuviin seurauksiin, eivätkä ne poista alkuperäistä ongelmaa (= liikaa rihmoja). Epäspesifisten menetelmien vaikutus on vain tilapäistä, koska ne eivät poista ongelman alkuperäistä syytä ja siksi ne on uusittava aina tietyin väliajoin.

Epäspesifisiä menetelmiä voidaan kuitenkin käyttää jos:

- laitosta ei voida teknisesti muuttaa
- paisuntaliete ilmenee äkillisesti ja johtuu jäteveden koostumuksen muutoksesta
- paisuntalietetä ilmenee vain muutamina viikkoina vuodessa (rihmojen kasvu voi aiheutua esim. paikallisen teollisuuden kausittaisista jäteveden muutoksista)

Epäspesifisten menetelmien tulisi olla:

- nopeavaikutteisia
- edullisia
- helppoja toteuttaa
- mahdollisimman vähän biologiseen puhdistusprosessiin vaikuttavia
- mahdollisimman vähän lähtevän veden laatuun vaikuttavia

7.2.1 Klooraus

Flokeista ulostyöntyviä rihmoja voidaan vahingoittaa vahvoilla hapettimilla. Rihmat altistuvat kemikaalipitoisuuksille, jotka ovat tappavia, kun taas pitoisuudet flokkien sisällä eivät kasva niin suuriksi. Periaatteessa rihmojen suurempi pinta-alan ja tilavuuden suhde on tappavaa kemikaalia annosteltaessa niille haitta. Rihmat pilkkoutuvat pienemmiksi ja rihmassa olevat solut voivat hajota.

Perinteisin tähän tarkoitukseen käytetty hapetin on kloori. Kloori on hyvin haitallinen kemikaali sekä aktiivilietteelle, että ympäristölle ja siksi sen käytössä tulee olla huolellinen.

Ennen kloorausta on määriteltävä korkein mahdollinen lieteindeksin arvo, jolla laitos vielä toimii. Kloorausta ei saa aloittaa ennen kuin tämä arvo ylitetään reippaasti. Klooraus tulee myös lopettaa kun tämä ”raja-arvo” lieteindeksille saavutetaan. Näin vältetään ylenpalttista klooraamiselta.

Paisuntalietteen hallinnassa kirjallisuuden mukaan kloorauksessa on käytetty seuraavanlaisia parametrejä:

$$r_{x,Cl_2} = \frac{\textit{kloorin määrä / päivä}}{\textit{aktiivilietteen määrä systeemissä}}$$

1. Kloorin annostelunopeus (g/kg d; Cl_2 , MLSS)

Kirjallisuudesta löytyy mainintoja käytetyistä r_{x, Cl_2} arvoista, jotka ovat väliltä 1 - 15 g/kg d (Cl_2 , MLSS). Klooraus pitää aina aloittaa alhaisemmilla annostelunopeuksilla ja lietteen tilaa tulee seurata mikroskoopilla koko kloorauksen ajan.

$$S_{Cl_2} = \frac{\textit{kloorin määrä päivässä}}{\textit{virtausnopeus annostelukohdassa}}$$

2. Kloorin pitoisuus annostelukohdassa (mg/l)

Kloorin paikallinen pitoisuus ei saisi olla yli 15 - 20 mg/l, tällöin flokkien sisäosat voivat myös vahingoittua. Oikea kloorin pitoisuus riippuu aktiivilietteen konsentraatiosta.

$$D_{x,Cl_2} = \frac{S_{Cl_2}}{X}$$

3. Paikallinen spesifinen kloorin määrä annostelukohdassa (g/kg; Cl_2 , MLSS)

Tähän parametriin vaikuttaa myös se kuinka usein klooria lisätään systeemiin.

$$F = \frac{r_{x,Cl_2}}{D_{x,Cl_2}}$$

4. Kloorin annostelutiheys

Rihmojen vahingoittaminen kloorilla on tehokasta vain, jos ne altistetaan kloorille useita kertoja päivässä. Suositeltava F arvo on 2,5 - 3/päivä.

Kloori voidaan annostella kolmeen kohtaan systeemissä:

- suoraan ilmastusaltaaseen
- palautuslietevirtaan

- asennettuun sivuvirtaan, jossa aktiivilietettä pumpataan ilmastusaltaasta takaisin ilmastusaltaaseen

Yleisimmin klooria lisätään palautuslietteeseen. Kun klooria lisätään prosessiin, on aina tiedettävä, paljonko sitä kulloinkin lisätään. Kloorin ja lietteen sekoittuminen lisäyskohdassa on oltava erittäin tehokasta, koska kloori reagoi nopeasti lietteen kanssa. Ilman tehokasta sekoitusta voi tapahtua niin, että suuri osa lietteestä ei joudu kosketuksiin kloorin kanssa ja pieni osa saa yliannostuksen klooria.

Kloorin vaikutusta aktiivilieteeeseen on seurattava mikroskoopilla koko kloorausprosessin ajan. Jos klooria annostellaan liikaa, voidaan se todeta mikroskoopissa.

Kloorin annostelu voi näkyä seuraavasti:

- Kloori hapettaa solunsisäisiä jyväsiä (PHB ja rikkijyväset) ja ne katoavat
- Tyhjiä kohtia sellaisissa rihmoissa, joissa on kuori
- Alkueläimet puuttuvat
- Flokista ulos työntyvät rihmat puuttuvat
- Hajonneita flokkeja

Klooraus on lopetettava välittömästi, jos flokit alkavat hajota.

Kloorauksessa voi syntyä organohalogeenejä, kun kloori reagoi jäteveden orgaanisen aineksen kanssa rihmamaisten bakteerien sijaan. Näin käy helposti, jos kaikki annosteltu kloori ei reagoi palautuslietteessä ja klooria pääsee ilmastusaltaaseen. On myös muita aineita, joiden kanssa kloori reagoi helposti, mm. ammonium ja nitriitti. Reaktiot heikentävät kloorauksen tehoa.

Tietyt rihmat (*Microthrix parvicella* ja tyyppi 0092) näyttävät sietävän enemmän klooria kuin muut.

7.2.2 Vetyperoksidilla hapettaminen

Vetyperoksidia on käytetty paisuntalietteen poistamisessa samoin kuin klooria.

Yleisesti ottaen sitä tarvitaan kuitenkin suurempia määriä kuin klooria.

Paisuntalietteen poisto vetyperoksidilla on onnistunut, kun sitä on syötetty jatkuvasti ilmastusaltaaseen, palautuslietteeseen tai ilmastusaltaan ja jälkiselkeyttimen väliseen kanavaan. Samoin kuin kloorilla, tehokas sekoittuminen on erittäin tärkeää annostelukohdassa.

Vetyperoksidia käytettäessä flokit saattavat hajota helposti niillä pitoisuuksilla, jotka tarvitaan rihmojen poistamiseksi.

7.2.3 Polymeerin lisäys

Synteettisiä polymeerejä on käytetty nopeuttamaan aktiivilietteen laskeutumista. Polymeerin avulla rihmoja ei saada pois systeemistä muuten kuin ylijäämälietteen mukana.

Polymeeri voidaan annostella lietteeseen ilmastusaltaan ja jälkiselkeyttimen väliseen kanavaan. Polymeerin tyyppi ja annos tulee aina määrittää etukäteen kokeellisesti. Yleensä suositellaan käytettäväksi kationista polymeeriä tai kationisen ja anionisen polymeerin yhdistelmää. Kationisen polymeerin annokseksi suositellaan 0,1-1 mg/l.

7.2.4 Epäorgaanisten koagulanttien käyttö

Joissain tapauksissa on käytetty epäorgaanisia saostusaineita kuten ferrikloridia ja alumiinisulfaattia parantamaan aktiivilietteen laskeutuvuutta. Saostusaineet muodostavat saostuman, joka lisää lietteen tiheyttä ja laskeuttaa sen nopeammin. Kun saostuma muodostuu sellaisen rihman ympärille, joka normaalisti elää lietteessä flokkien välisessä tilassa, rihma joutuu yhtä ankeisiin olosuhteisiin kuin flokkien sisällä elävät bakteerit ja mahdollisesti ”tukehtuu” tai ”näantyy nälkään”.

7.2.5 Mikrobi- ja entsyymivalmisteet

Paisuntalietettä voitaisiin ehkä kontrolloida mikrobiperäisten valmisteiden avulla, mutta tällaiset menetelmät ovat vielä kehittelyasteella.

Chilodonella ripsieläimet (ks. kuvaliitteen kuva 18) pystyvät ”syömään” ainakin tyyppi 021N rihmoja hyvinkin tehokkaasti aktiivilietteestä.

On myös kehitteillä tiettyjä bakteerisolun hajoamisen aikaansaavia entsyymivalmisteita, joilla saataisiin spesifisesti vain rihmamaisten bakteerien soluseinät hajoamaan.

7.2.6 Otsonointi

Otsoni on voimakkaampi hapetin kuin kloori tai vetyperoksidi. Otsonoinnin tehoa rihmojen poistossa on tutkittu mm. Etelä - Afrikassa. Rihmojen poistoon tarvittava pitoisuus oli 4 g O₃/kg MLSS d. Otsonoinnin huomattiin lisäksi edistävän nitrifikaatiota ja poistavan vaikeasti hajoavia orgaanisia yhdisteitä. Biologiseen fosforinpoistoon otsonointi ei vaikuttanut.

Puhdistamoesimerkit

1. Turun keskuspuhdistamo

Turun keskuspuhdistamo on rakennettu vuonna 1966 ja puhdistamoa on laajennettu vuonna 1980. Puhdistamo käsittelee n. 140 000 asukkaan ja teollisuuden jätevedet. Alueella on paljon mm. elintarviketeollisuutta. Biologisen osan mitoitusvirtaama on 115 000 m³/vrk, mutta puhdistamon keskimääräinen virtaama on ollut n. 72 000 m³/vrk ja vuonna 1997 65 000 m³/vrk.

1.1 Puhdistamon toiminta

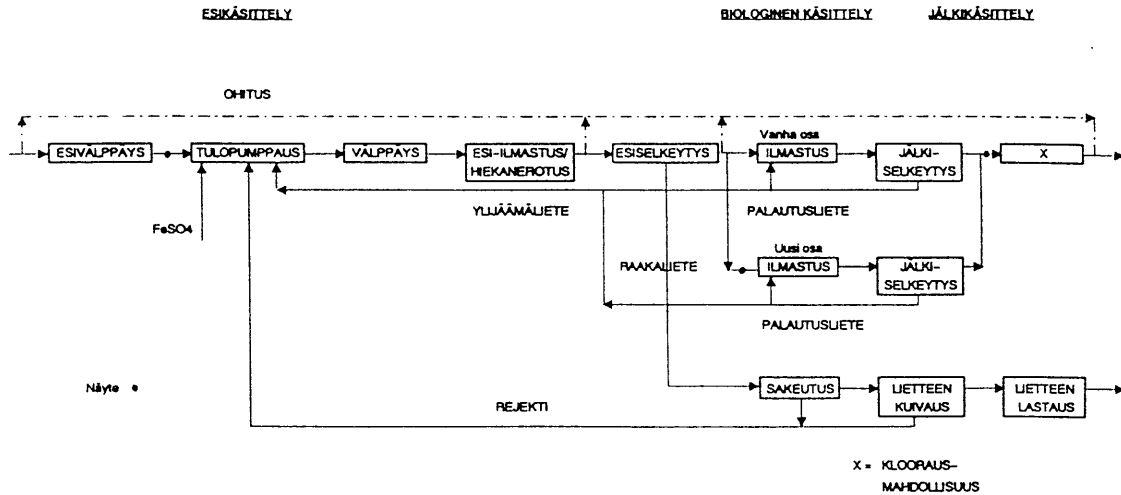
Puhdistamo on aktiivilietemenetelmää soveltava rinnakkaissaostuslaitos. Saostuskemikaalina käytetään ferrosulfaattia, jonka määrää on voitu huomattavasti vähentää juomaveden puhdistuksesta tulevan rautapitoisen lietteen myötä. Tuleva jätevesi johdetaan ensin esivälppäyksen kautta tulopumppaamoon. Pumppaamon jälkeen vesi välpätään uudelleen ja johdetaan ilmastetun hiekanerotuksen kautta esiselkeytykseen. Tämän jälkeen puhdistamo jakautuu kahteen osaan, ns. vanhaan ja uuteen puoleen, eli alkuperäiseen osaan ja laajennusosaan.

Vanhalla puolella on neljä suorakaiteen muotoista, 6-osaista ilmastusallsta, joissa on ilmastimina INKA-karkeakuplailmastimet. Ilmastustilavuus on 4 x 2275 m³. Ilmastusaltaissa on ns. tulppavirtaus, jätevesi ja palautusliete tulevat molemmat ilmastusaltaiden alkupäähän. Jälkiselkeytyksessä koostuu neljästä pyöreästä, kaavinlaahaimella varustetusta jälkiselkeytysaltaasta. Jätevesi kulkee kokoajan viettona, ilman välipumppausta.

Uuden puolen viisi ilmastusallasta ovat suorakaiteenmuotoisia kaksoisaltaita. Ilmastimet ovat OKI-hienokuplailmastimia (4 kpl/allas) ja ilmastustilavuus on 5 x 2880 m³. Ilmastusaltaat on suunniteltu ns. täyssekoitus altaiksi, joissa tuleva jätevesi ja palautusliete johdetaan altaissa useaan eri kohtaan. Jälkiselkeytysaltaat (5 kpl) ovat suorakaiteen muotoisia ja vajjerikaapimilla varustettuja.

Primääri- ja ylijäämäliete sakeutetaan tiivistämöissä ja kuivataan lingoilla. Kuivattu liete on tähänasti kuljetettu Topinojan kaatopaikalle kompostoitavaksi aumoissa, mutta vuonna 1998 käyttöön otetaan puhdistamon vieressä sijaitseva kompostointilaitos, joka käsittelee lietteen maanparannukseen aineeksi n. kymmenessä vuorokaudessa.

TURUN KESKUSPUHDISTAMO



Kuva 1. Turun keskuspuhdistamon virtauskaavio

Lupaehdot ovat BOD:lle <17,5 mg/l, teho >90% ja fosforille <1,0 mg/l, teho >80%. Vuosina 1994-97 fosforin osalta lupaehdot on saavutettu, mutta BOD-pitoisuuden ylityksiä on ollut vuosina 1994-96 useasti. Ylitykset eivät johdu käsitellyn veden suuresta BOD-pitoisuudesta, vaan runsaista ohituksista. Puhdistustulokset on esitetty neljännesvuosittain liitteessä 3.

1.2 Lietteen seuranta

Lietettä on mikroskopoitu säännöllisesti kesästä 1995 asti.

Lietteessä todettiin olevan kaksi selvästi erilaista rihmamaistaan bakteerikantaa, jotka aiheuttavat aktiivilietteen huonon laskeutuvuuden.

Faasikontrastimikroskoopin sekä Gram- ja Neisser-värijäysten avulla rihmoilla havaittiin seuraavia ominaisuuksia:

Rihma1:

- * Gram-negatiivinen
- * Neisser-negatiivinen
- * ei havaittu rikkijyväsiä
- * valehaarautuu selvästi
- * Rihmasolut pitkulaisia ja pyöreäpäisiä

Rihma on tunnistettin em. ominaisuuksien perusteella ja valokuvista (Manual of the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming) tunnistamalla *Sphaerotilus natansiksi* katso kuvaliitteen kuva 12.

Rihma2:

- * Gram-negatiivinen
- * Neisser-negatiivinen
- * ei havaittu rikkijyväsia
- * ei haaraudu
- * Rihmasolut neliömäisiä
- * Rihma hyvin pitkä ja taipunut

Rihma on tunnistettu em. ominaisuuksien perusteella ja valokuvista (Manual of the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming) tunnistamalla tyyppi 021N:ksi, katso kuvaliitteen kuva 8.

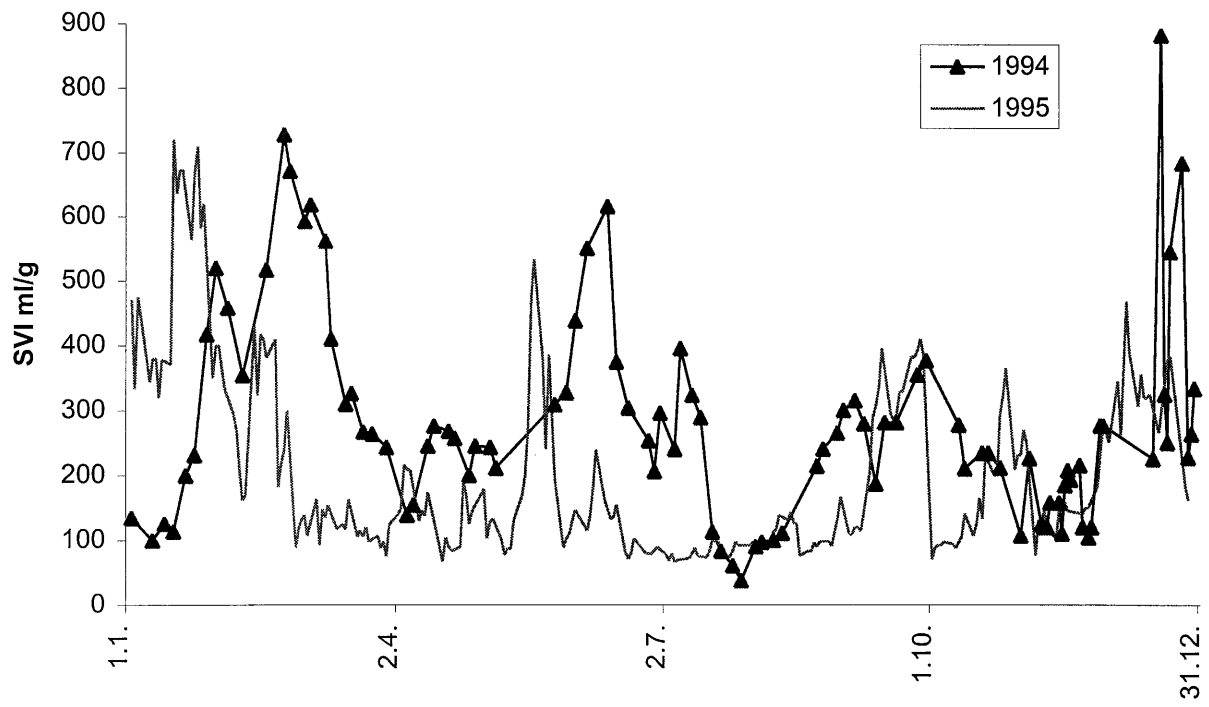
Sphaerotilus natans ja tyyppi 021N eivät kasvaaneet lietteessä vallitsevina yhtäaikaan. Molemmat kuitenkin kasvavat varsin samanlaisissa olosuhteissa ja niiden on raportoitu kilpailevan keskenään elintilasta siten, että tyyppi 021N hyötyy lämpimistä olosuhteista ja *S. natans* kylmemmistä vesistä.

Turussa paisuntalietettä on ollut ainoastaan uuden puolen altaissa. Paisuntalietteen ollessa pahimmillaan lietteen laskeutuvuus heikkeni niin paljon, että puhdistamolla jouduttiin turvautumaan ohitukseen jo mitoitusarvoja alemmilla virtaamilla. Runsaat ohitukset sekä osin myös kiintoaineen karkaaminen ovat taas aiheuttaneet lupaehtojen ylityksiä. Taulukossa 1 on esitetty uuden ja vanhan puolen laskeutuvuus ja lieteindeksi vuosina 1994-97. Linjojen suuren lukumäärän vuoksi kummaltakin puolelta on valittu esimerkkilinja (jatkossa UP4 ja VP3).

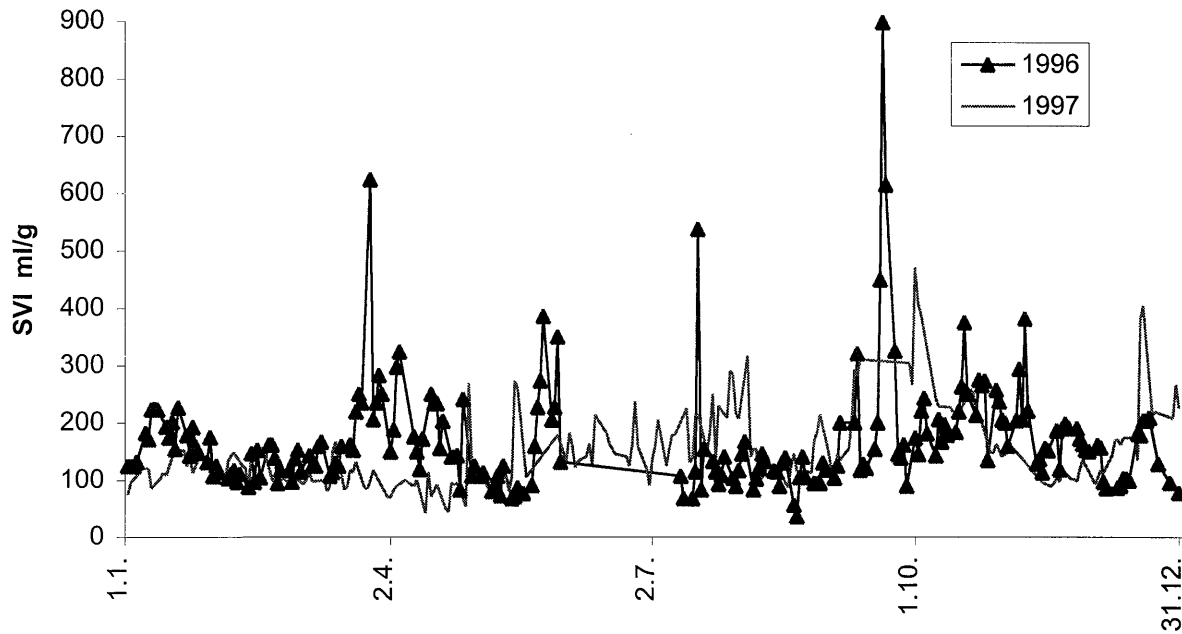
Taulukko 1 Esimerkkilinjoiden laskeutuvuus ja lieteindeksi vuosina 1994-97.

		Uusi puoli, linja 4 UP 4			Vanha puoli, linja 3 VP 3		
		maksimi	minimi	keskiarvo	maksimi	minimi	keskiarvo
1994	laskeutuvuus (ml/l)	940	140	615	940	10	289
	lieteindeksi (ml/g)	727	38	275	760	17	171
1995	laskeutuvuus (ml/l)	960	1	377	800	75	228
	lieteindeksi (ml/g)	720	66	204	333	40	116
1996	laskeutuvuus (ml/l)	960	1	377	800	75	228
	lieteindeksi (ml/g)	720	40	204	316	40	116
1997	laskeutuvuus (ml/l)	900	50	411	775	25	282
	lieteindeksi (ml/g)	471	42	150	298	13	128

Kuvissa 4 ja 5 on esitetty UP4:n lieteindeksit vuosina 1994 –95 ja 1996-97. Lieteindekseissä on havaittavissa 3 – 4 piikkiä vuodessa. Piikit ajoittuvat suunnilleen samoihin aikoihin joka vuosi, yksi varhaiskevääseen, toinen keskikesälle kolmas syksyyn ja neljäs talveen. Kuvasta 8 nähdään, että lieteindeksi ja rihmojen määrä korreloivat toisiaan.



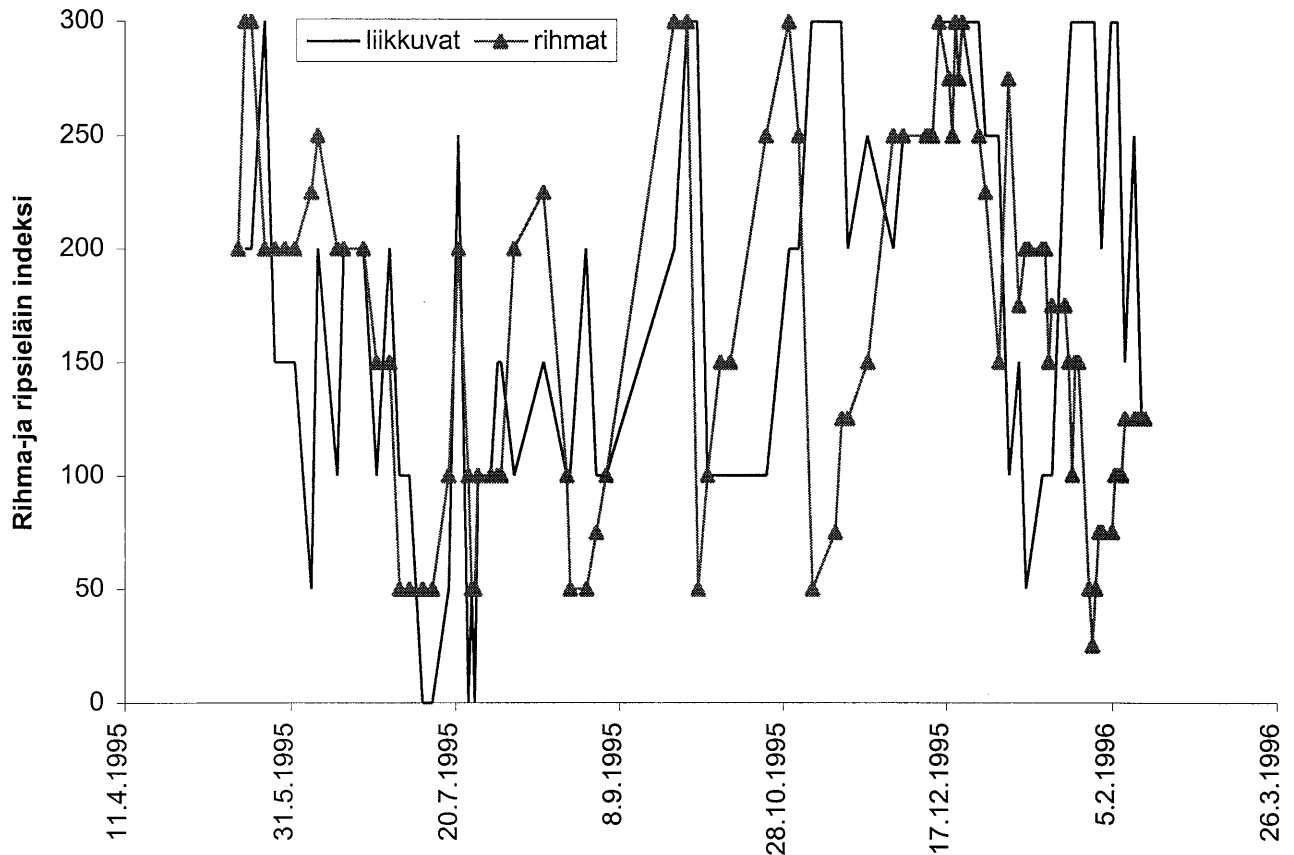
Kuva 4 UP4:n lieteindeksi vuosina 1994 ja 1995



Kuva 5 UP4:n lieteindeksi vuosina 1996 ja 1997

Käytännön kokemus osoitti, että lieteindeksin arvolla 280 ml/g uuden puolen jälkiselkeytysaltaiden kapasiteetti ylittyi ja jätevettä jouduttiin ohittamaan tai kiintoainetta karkasi hyvin suuria määriä.

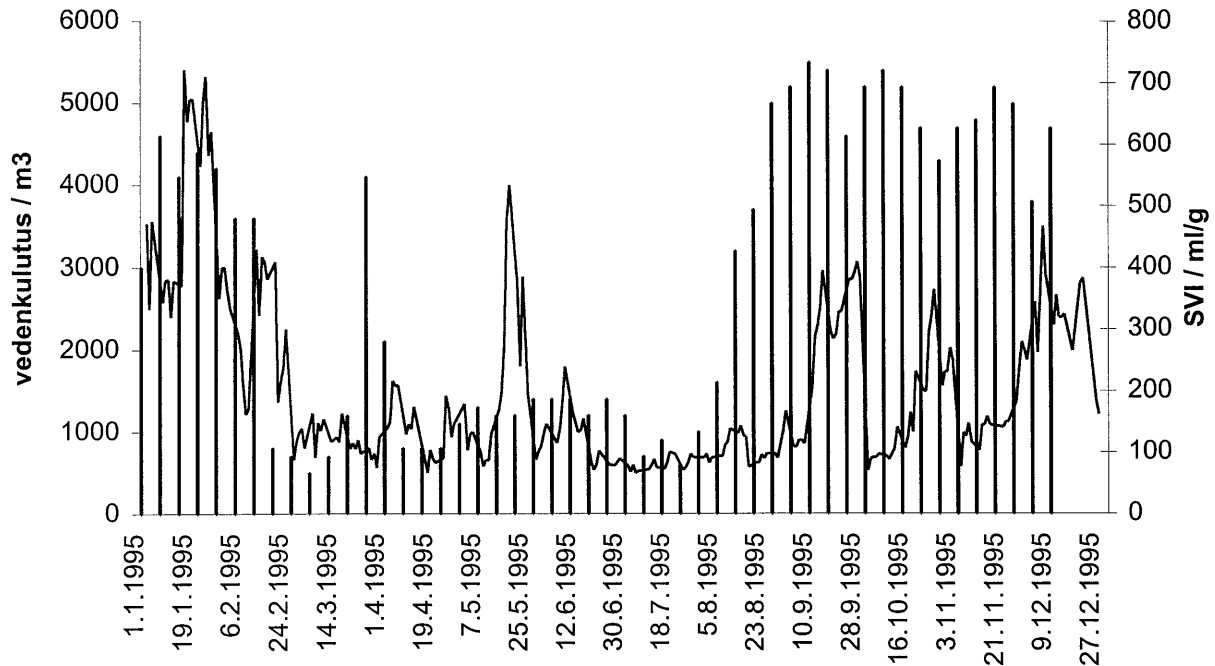
Kuvassa 6 on esitetty mielenkiintoinen huomio rihmojen ja vapaasti liikkuvien ripsieläimen esiintymisestä Turun keskuspuhdistamolla. Rihmojen määrän hyvin nopea lasku - jopa viikonlopun aikana - aiheutti ihmetystä. Lietteessä todettiin esiintyvän runsaasti erästä suurikoista liikkuvaa ripsieläintä aina, kun rihmat katosivat lyhyeksi ajaksi lietteestä. Kirjallisuudesta löydettiin viite, jossa on todistettu eräiden vapaasti liikkuvien ripsieläinten syövän rihmoja, erityisesti tyyppi 021N:ää (Terashi ja Hamada, 1990). Kun asiaa osattiin seurata, lietteen mikroskopoinnin yhteydessä tunnistettiin ripsieläin Chilodonellaksi (ks. kuvaliitteen kuva 18.) ja sen todettiin syövän tyyppi 021N-rihmoja. Chilodonella söi rihmoja hyvin nopeasti ja samalla sen määrä lisääntyi lietteessä. Kun rihmat loppuivat alkoi Chilodonella populaatio pienetä ja rihmat saivat muutamassa päivässä ylivallan lietteessä. Tällainen rihmojen nopea katoaminen tapahtui keskimäärin kerran kuukaudessa



Kuva 6 Lietteen mikroskopoinnissa havaitut liikkuvat ripsieläimet ja rihmat

Paisuntalietteen syytä etsittäessä huomio kiinnittyi tyypin 021N ja *S.natansin* kykyyn hyötyä helposti biohajoavista substraateista. Tulevan jäteveden kokonais-COD:stä alettiin ajoittain määrittää liukoista COD:a, josta huomattiin suurimmillaan olevan yli puolet liukoista COD:ta. Vaikkei liukoinen COD olekaan suoraan verrattavissa helposti biohajoavaan orgaaniseen materiaaliin, voitiin kuitenkin päätellä, että puhdistamolle tuli ajoittain hyvinkin suuria määriä helposti biohajoavaa substraattia (Wanner, 1994b).

Paisuntalietteen kausiluontoinen esiintyminen selittyi, kun verrattiin lieteindeksiä erään suuren, runsaasti puhdistamoa kuormittavan vihanneskäsittelylaitoksen vedenkulutukseen. Kevään ja syksyn piikit lieteindeksissä seurasivat laitoksen vedenkulutuksen huippuja, kuten kuvasta 7 nähdään. Kyseisen laitoksen vihannesten käsittely sisälsi esimerkiksi höyrykuorintaa, pesuja ja höyrykeittoa. Tällaisissa prosesseissa syntyvissä jätevesissä on tyypillisesti paljon helposti biohajoavaa orgaanista ainesta. Puhdistamolle tulee samantyyppisiä jätevesiä myös muilta teollisuuslaitoksilta.

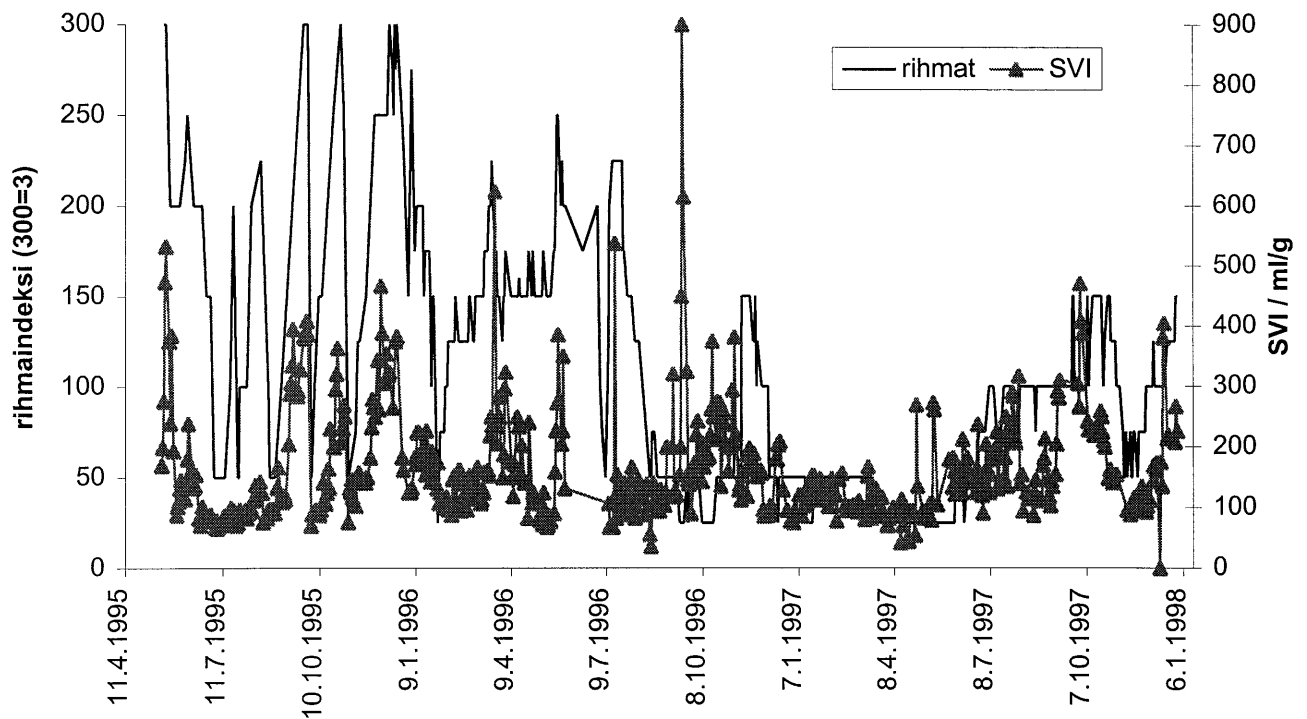


Kuva 7 Erään vihanneksia käsittelevän tehtaan vedenkulutus ja UP4:n lieteindeksi vuonna 1995. Vedenkulutus on esitetty pylväillä ja lieteindeksi viivalla.

Merkittävää oli myös että paisuntalietettä esiintyi vain uuden puolen altaissa. Tärkein ero uuden ja vanhan puolen altaissa oli niiden virtausmuoto. Uuden puolen altaat olivat lähes täyssekoitteisia, vanhan puolen altaat on muutettu täyssekoitteisista tulppavirtausmuotoisiksi muutamaa vuotta aiemmin. Vanhalla puolella on myös suhteellisesti enemmän selkeytyspinta-alaa.

1.3 Muutostyöt

Turun Keskuspuhdistamon laajennusosassa tehtiin kesällä ja syksyllä 1996 muutostyöt, joiden tavoitteena oli muuttaa ilmastusaltaiden olosuhteita niin, että esiintyvien rihmamaisten bakteerien kasvu vaikeutuu. Altaisiin, jotka ennen olivat täyssekoitteisia, asennettiin väliseinät, jolloin saatiin aikaan tulppavirtaus. Jätevesi tuli ennen ilmstukseen n. 2/3 altaan matkalta (step-feed). Muutostöiden jälkeen vesi ja palautusliete tulevat altaan alkuun erilliseen sekoitusosastoon. Kooltaan sekoitusosa on vain 15 m³, joten viipymä on lyhyt, vain n. 3 min. Seuraavat neljä osaa ovat kooltaan 600 – 830 m³. Muutostöiden hinnaksi tuli n. 300 000 mk, eli vuodessa n. 1,2 p/m³ jätevettä.



Kuva 8 UP4:n lieteindeksi ja rihmamaiset bakteerit

Esimerkkilinjana olevan UP4:n muutostyöt valmistuivat lokakuussa 1996. Muutostöiden jälkeen uuden puolen lieteindeksit ovat olleet alhaisempia kuin ennen muutostöitä, vielä vuonna 1995 UP4:n lieteindeksi oli keskimäärin 204 ml/g, kun se vuonna 1997 oli 150 ml/g. VP3:ssa ei vastaavaa laskua ole, lieteindeksi vuonna 1995 oli 116 ml/g ja vuonna 1997 se oli 128 ml/g. Lieteindeksin laskun on aiheuttanut rihmamaisten bakteerien määrän väheneminen, mikä taas voidaan havaita kuvasta 8.

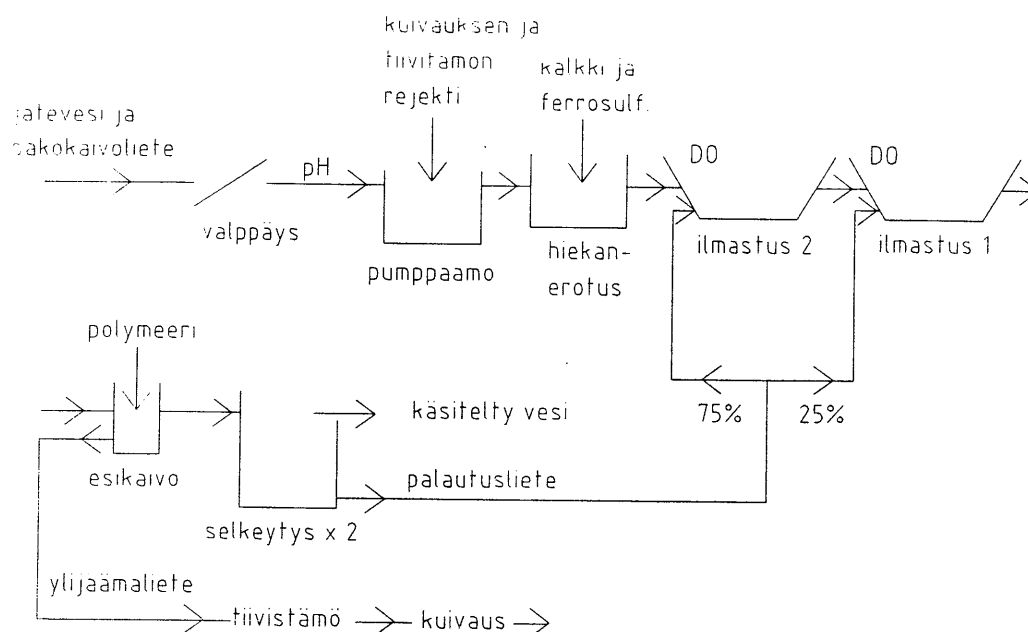
2 Rajamäen jätevedenpuhdistamo

Puhdistamo sijaitsee Nurmijärven kunnassa. Se on rakennettu 1970-luvulla ja peruskorjattu vuonna 1982. Jätevesi on pääasiassa asumajätevettä. Teollisuusjätevettä tulee mm. läheisestä tynnyrinkäsittelylaitoksesta. Puhdistamon läheisyydessä on paljon haja-asutusta, joten sinne tuodaan myös suhteellisen runsaasti sakokaivolietettä.

2.1 Puhdistamon toiminta

Jätevesi tulee viettona ensin välppäykseen ja siitä pumppaamon kautta hiekanerotukseen. Hiekanerotuksessa prosessiin syötetään ferrosulfaatti ja fillerikalkki. Esiselkeytystä ei ole vaan vesi johdetaan suoraan ilmastukseen. Ilmastusaltaina on kaksi rengaskanavaa ($V = 2$

*500 m³) ja ne on suunniteltu toimimaan rinnakkain. Talvella 1995-96 altaita on ajettu muutaman kuukauden peräkkäin ja uudelleen toukokuusta 1997 alkaen. Palautuslietteestä johdetaan n.75% altaaseen 2 ja loput altaaseen 1. Kummassakin altaassa on kolme harjailmastinta. Kolmas ilmastin on lisätty myöhemmin, joten ilmastimet sijaitsevat epäsymmetrisesti toisiinsa nähden. Molemmissa altaissa on ollut kevästä 1997 alkaen jatkuvatoiminen hapenmittaus.



Kuva 9 Rajamäen jätevedenpuhdistamon virtauskaavio

Ilmastuksesta liete johdetaan viettona selkeytyksen esikaivoon, jossa siihen lisätään laskeutuvuuden parantamiseksi polymeeriä. Ylijäämaliete pumpataan kaivosta kello-ohjattuna tiivistämöön ja edelleen kuivattavaksi suotonauhalle. Jälkiselkeytysaltaita on kaksi rinnan ($V = 2 * 399 \text{ m}^3$). Puhdistettu vesi ohjataan ojan kautta vesistöön.

Puhdistamon mitoitussarvot ovat 3800 m³ jätevettä/d, 520 kg BOD₇/d ja 21 kg P/d. Tammikuun 1995 ja kesäkuun 1997 välisenä aikana vuorokausivirtaama on ollut keskimäärin 1850 m³ jätevettä/d, BOD-kuorma 336 kg BOD₇/d ja fosforikuorma 11 kg P/d. Tänä aikana puhdistamo on siis ollut n. 50 - 60 %:sesti kuormitettu.

Nitrifikaatio toimii ympäri vuoden. Ammoniumtyypen poistovaatimus on < 4,0 mg/l ja >85 %. Näihin tuloksiin ei ole aina päästy. Huomattavia ylityksiä on erityisesti keväisin. Fosforin poistovaatimus on <0,8 mg/l ja >85 %. Myös fosforin lupa-arvot on ylitetty useasti. BOD₇

poistovaatimus on <15 mg/l ja >90%. BOD₇-ehdot on pystytty pääasiallisesti täyttämään. Lähtevän veden pitoisuudet ja puhdistusteho on esitetty liitteissä 5.

Nitrifikaation takaamiseksi prosessin lieteikä on pitkä, keskimäärin 18 vrk. Laitos on matalakuormitteinen; tammikuun 1995 ja kesäkuun 1997 välisenä aikana lietekuorma oli 0,022-0,15 kg BOD₇/kg MLSS/d (ka. 0,05 kg BOD₇/kg MLSS/d). Lietteen suuresta kiintoainepitoisuudesta (taulukko 2) johtuen laskeutuvuus oli tammikuun 1995 ja kesäkuun 1997 välisenä aikana lähes jatkuvasti yli 900 ml/l. Pienet muutokset lietteen koostumuksessa ja rakenteessa ”hukkuvat” kiintoaineseen, eikä niitä saada esiin lieteindeksiä seuraamalla. Laskeutuvuus on Rajamäen tapauksessa käytännöllisin tapa lietteen päivittäiseen tarkkailuun; lieteindeksi (taulukko 2) määritetään vain kerran kuukaudessa velvoitetarkkailun yhteydessä, joten se ei anna riittävän tarkkaa kuvaa puhdistamon toiminnasta. Aktiivilietteen korkean lietepitoisuuden vuoksi puhdistamalla tehdään myös ½- ja ¼-laimennettuja laskeutuvuuksia. Huonon laskeutuvuuden lisäksi ilmastusaltaan pinnalla oli toistuvasti runsaasti ruskeaa vaahtoa, jota ei onnistuttu torjumaan vaahdonestoaineilla.

Taulukko 2 Rajamäen puhdistamon eräiden prosessiparametrien vaihteluväli ja keskiarvo aikavälillä tammikuu 1995 - kesäkuu 1997

	Minimi	Maksimi	Keskiarvo
Lietekuorma (kg BOD ₇ /kg MLSS/d)	0,022	0,15	0,05
Lieteikä (d)	11	56	18
Kiintoainepitoisuus (g MLSS/l)	3,6	9,7	6,6
½ tunnin laskeutuvuus (ml/l)	150	980	>900
Lieteindeksi (ml/g)	99,4	339	149

2.2 Lietteen seuranta

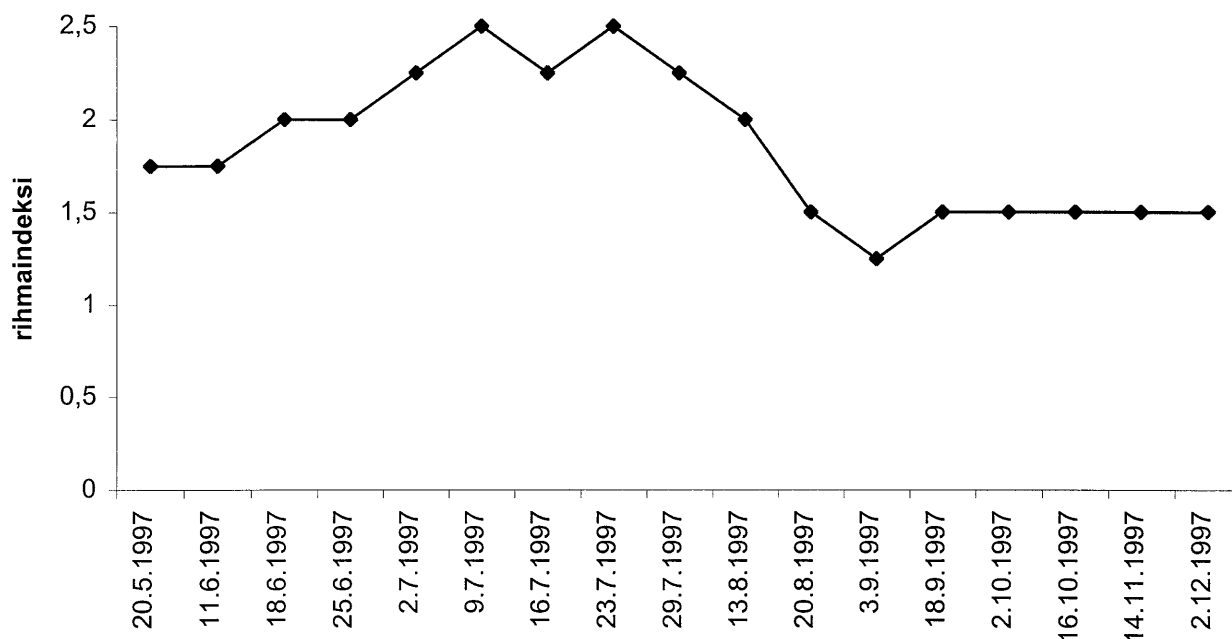
Lietteessä havaittiin rihmamainen bakterikanta, jota epäillään huonon laskeutuvuuden sekä ajoittaisen vaahtoamisen aiheuttajaksi. Faasikontrastimikroskoopin sekä Gram- ja Neisser-värjäysten avulla on havaittu rihmalla seuraavia ominaisuuksia:

- * Gram-positiivinen
- * Neisser-negatiivinen (Neisser-positiivisia jyväsiä)
- * ei havaittu rikkijyväsiä
- * ei havaittu haarautumista
- * rihman halkaisija n. 1µm ja pituus 50-200 µm

Rihma on tunnistettu em. ominaisuuksien perusteella *Microthrix parvicellaksi*.

Lietettä on mikroskoipoitu viikoittain kesäkuusta 1997 lähtien, rihmaindeksin kehitys on esitetty kuvassa 10. Kesä- ja heinäkuussa luku on ollut poikkeuksetta 2-2,5. Flokin koko on ollut melko pieni, 100-150 µm, mutta rihmat ovat aiheuttaneet pienten flokkien takertumisen

toisiinsa, jolloin yhteenliittyneet flokit ovat muodostaneet 500-1000 μm ”hiutaleita”. Elo- ja syyskuussa rihmojen määrä on pudonnut 1,5:een. Lisäksi flokin koko on hieman kasvanut. Syksyllä lietettä mikroskojoiitiin vain n. kerran kuussa, koska rihmojen määrässä ei tapahtunut suuria muutoksia. Rihmojen määrä on pysynyt suunnilleen samana aina vuoden vaihteeseen saakka.



Kuva 10 Rihmamaisten bakteerien määrä seurannan aikana

M. parvicellan esiintymiseen on esitetty kirjallisuudessa seuraavia syitä:

- alhainen lietekuormitus (low F/M)
- jätevedessä lipidejä
- korkea nitriittipitoisuus
- alhainen lämpötila
- hapen puute
- tulevassa jätevedessä paljon hitaasti biohajoavaa substraattia
- ilmastusaltaassa aerobisia ja anoksisia vyöhykkeitä peräkkäin

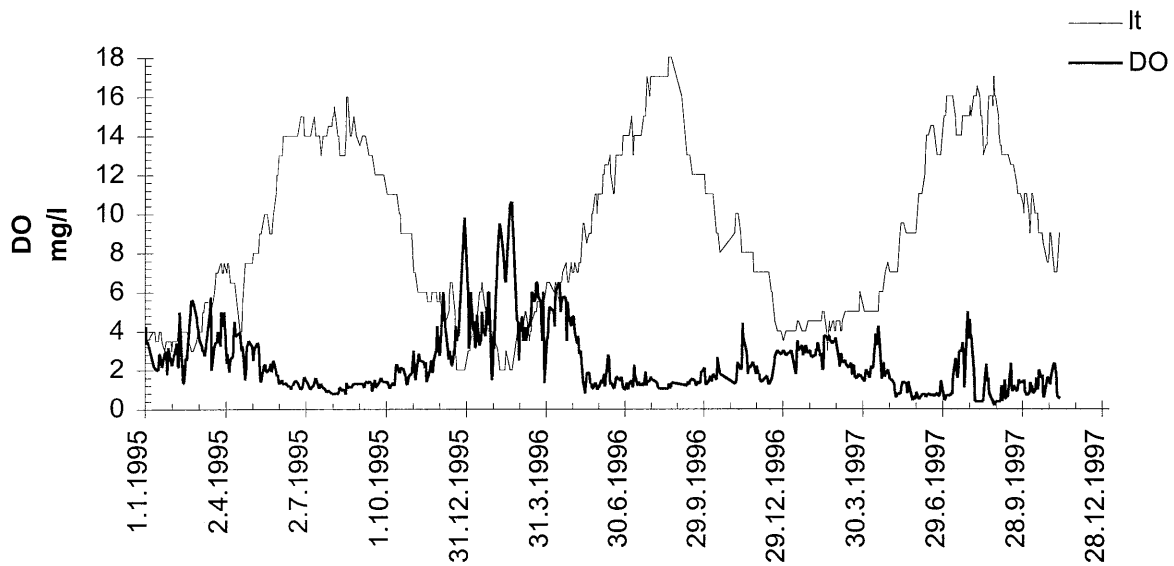
Em. olosuhteista Rajamäen puhdistamoon sopivat ainakin alhainen lietekuormitus ja lämpötila, sekä hapen puute. Rengaskanavassa on tyypillisesti aerobisia ja anoksisia vyöhykkeitä ja nitrifikaation häiriöiden myötä vedessä saattaa olla nitraattia. Myös lipidejä on ollut runsaasti tynnyrinkäsittelylaitoksen rasvaisissa ja öljyisissä jätevesissä.

Tynnyrinkäsittelylaitoksen jätevesimäärä ei ole suuri, vain n. 15 m³/d, mutta viemäri puhdistamon jatynnyrikäsittelylaitoksen välillä on lyhyt, joten laitoksen jätevesi ei ehdi sekoittua muun jäteveden kanssa.

Ilmastusaltaiden happianturit (kummassakin altaassa yksi mittauspiste) sijaitsevat lähes heti ilmastimen jälkeen, joten happilukemat eivät anna todellista kuvaa. Mittarit luetaan kerran päivässä. Toukokuussa 1997 käyttöön otettu jatkuvatoinen happimittaus mahdollistaa

happitilanteen tarkemman seuraamisen. Varsinkin sakokaivolietteet saattavat aiheuttaa tilapäistä happivajasta. Kesäisin sakokaivolietteet onkin pääasiassa ohjattu kunnan muille puhdistamoille.

Pintailmastuksesta ja rengaskanavan mataluudesta johtuen veden lämpötila laskee talvisin jopa alle 4°C. Lämpötila ja ilmastuksen liuennut happi on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11 Ilmastuksen happipitoisuus ja lämpötila

2.3 Muutokset

Heinäkuusta 1997 alkaen tynnyrinkäsittelylaitos on alkanut esipuhdistaa jätevetensä ennen kuin ne lasketaan Rajamäen jätevedenpuhdistamolle. Kokeiluvaiheessa käsittely on vaikuttanut tynnyrikäsittelylaitoksen jätevesiin taulukon 3 mukaisesti. Jätevesien öljy- ja rasvapitoisuus on laskenut noin kahdeskymmenesosaan ja mineraaliöljyjen pitoisuus noin tuhannesosaan, COD-pitoisuus on pudonnut noin kolmannekseen ja pH on lähellä neutraalia. Lisäksi rautapitoisuus on 200-kertaistunut, johtuen käsittelyssä käytettävästä raudasta. Tynnyrinkäsittelylaitoksella on samalla otettu käyttöön keräyssäiliö josta jätevesi johdetaan puhdistamolle tasaisena virtana.

Taulukko 3 Tynnyrinkäsittelylaitoksen jätevesi ennen ja jälkeen esipuhdistuksen. Tulokset koepuhdistuksesta.

	Puhdistamaton jätevesi	Puhdistettu jätevesi
pH	11	7,5
Öljyt ja rasvat (mg/l)	600	31
Mineraaliöljyt (mg/l)	337	0,3
COD (mg/l)	3500	1000
Rauta (mg/l)	0,44	88

Tynnyrinkäsittelylaitoksen jäteveden esipuhdistuksen käyttöönoton jälkeen ilmastuksen happitilanne on parantunut jonkin verran verrattuna aikaisempiin kesiin. Talvisin liuenneen hapen pitoisuus on ollut korkeampi matalasta lämpötilasta johtuen. Rasvojen määrän vähentyminen jätevedessä vaikuttanee myös *M. parvicellan* esiintymiseen Rajamäen puhdistamolla.

Sakokaivolietteen on kesäisin ohjattu kunnan muille puhdistamoille. Myös tämä vaikuttaa osaltaan puhdistamon ilmastusaltaan happitilanteeseen parantavasti.

3. Metsä-Serla Oy Kyron kartonkitehtaan jätevedenpuhdistamo

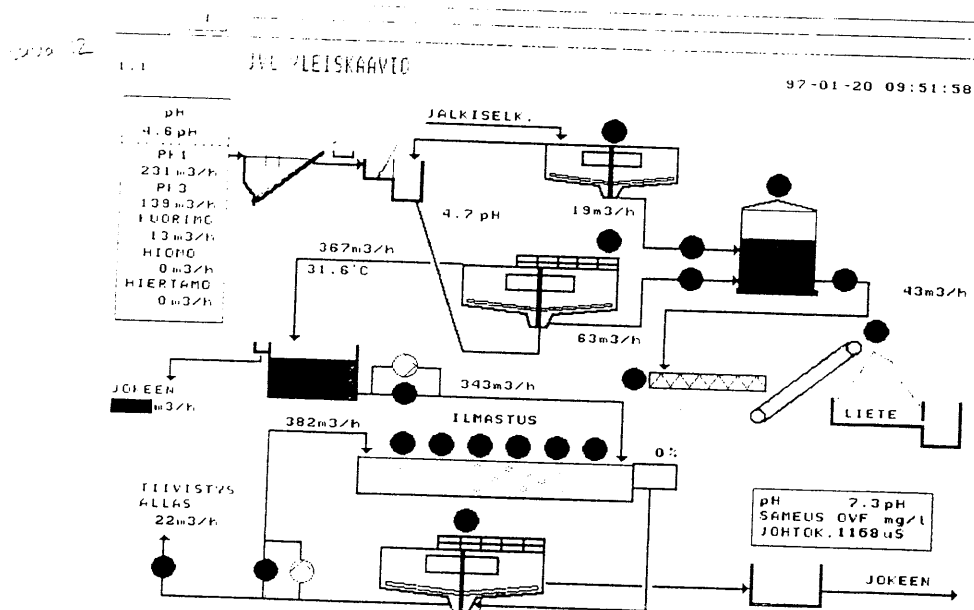
Metsä-Serlan Kyron tehdas sijaitsee Kyröskoskella. Tehdas valmistaa kartonkia ja tapettipaperia. Jätevedet johdetaan tehtaan omalle puhdistamolle. Paperi- ja kartonkikoneen jätevesien lisäksi puhdistamolle tulee myös kuorimon, hiomon ja hiertämön jätevedet. Puhdistettu vesi lasketaan Kokemäenjoen vesistöön kuuluvaan Pappilanjokeen.

3.1 Puhdistamon toiminta

Tuleva jätevesi on ajoittain emäksistä, joten se säädetään tarvittaessa automaattisesti rikkihapolla. Pelkkä neutralointi ei riitä, koska pH nousee vielä esiselkeyttimessä. pH:n säätöarvo on jouduttu pitämään reilusti alle neutraalin, noin neljässä. Puhdistamon pääasiallinen typenlähde on paperikoneelta tuleva ureapitoinen jätevesi. Fosforia lisätään fosforihappona ennen ilmastusta.

pH:n säätöä seuraa välppäys, hiekanerotus ja esiselkeytys. Esiselkeytyksestä jätevesi johdetaan ilmastusaltaseen, joka on jaettu kahteen osaan, korkea- ja matalakuormitteiseen. Ilmastuksen yhteistilavuus on 9000 m³. Ilmastimet ovat pintailmastimia. Niitä on yhteensä 6 kpl ja tehoa säädetään ilmastusaltaan pinnankorkeutta säätämällä. Käytännössä säätövaraa ei ole ollut, ilmastus toimii kokoajan ylärajoilla. Palautusliete johdetaan ilmastuksen alkuun.

Jälkiselkeyttimenä toimii pyöreä imukaavintyyppinen selkeytin. Ylijäämäliete sekoitetaan sakeutuksen jälkeen primäärilietteen kanssa ja kuivataan ruuvipuristimella. Kuivattu liete kuljetetaan tehtaan omalle kaatopaikalle. Prosessikaavio kuvassa 12.

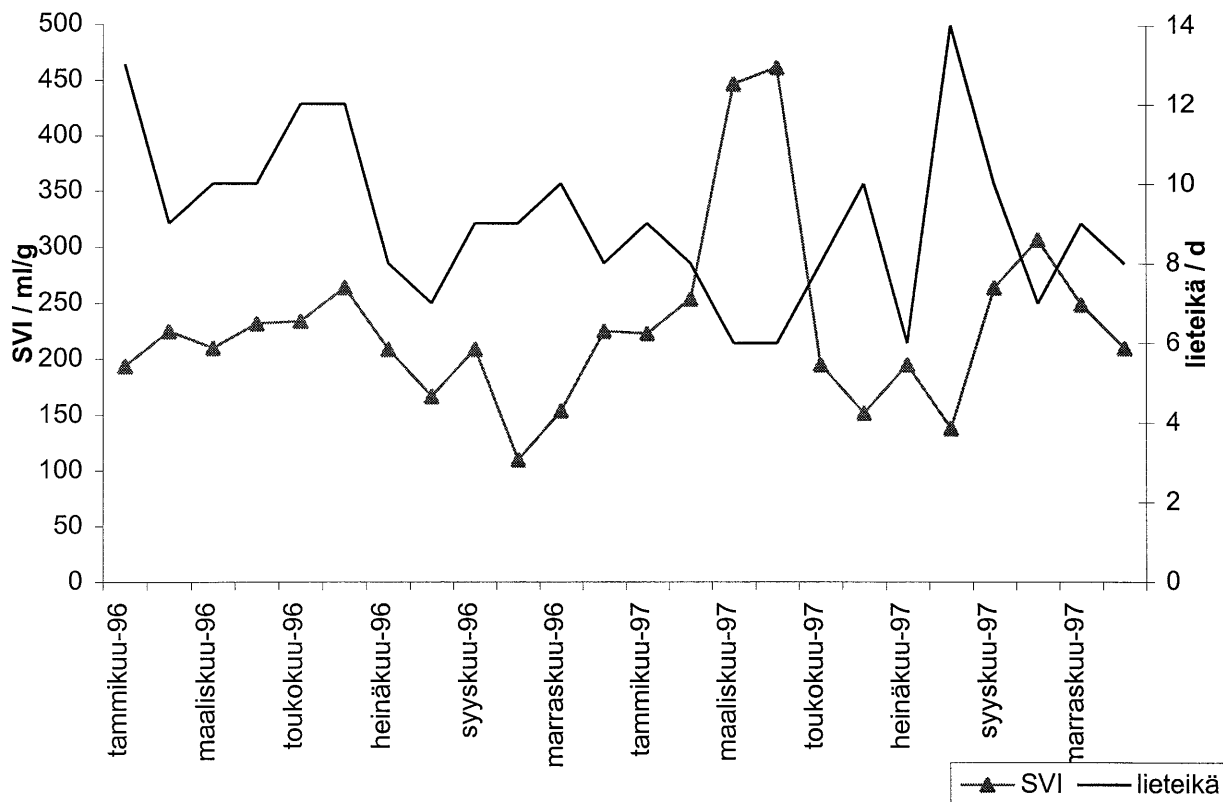


Kuva 12 Prosessikaavio

Jäteveden laatu vaihtelee merkittävästi kulloinkin käynnissä olevan valmistusprosessin mukaan. Myös kuormitus vaihtelee äkillisesti ja odottamattomasti. Puhdistamon lupa-arvot ovat olleet BOD₇:lle 1500 kg BOD₇/d ja kiintoaineelle 1060 kg/d. Vuoden 1997 lopulla voimaan astuivat uudet lupaehdot: fosforille 4 kg P/d, typelle 150 kg N/d, COD:lle 3000 kg COD_{cr}/d ja BOD₇:lle 300 kg/d. Liitteessä 5 on esitetty puhdistustulokset vuosilta 1996-97.

Prosessia ajetaan vakiolieteikäperiaatteella. Optimilieteikä on pidetty 10 d. Tällöin ilmastuksen kiintoainepitoisuus on noin 4 g/l. Rajoittavana tekijänä on lietteen käsittely, joten lieteikä on noussut välillä yli tavoitteen.

Puhdistamo on ajoittain kärsinyt ajoittain lietteen huonosta laskeutuvuudesta ja kiintoaineen karkaamisista. Lietteiden laskeutuvuuden heikkenemisen todettiin johtuvan rihmamaisten bakteerien suuresta määrästä. Kuvassa 13 on esitetty lieteindeksi ja -ikä vuonna 1996. Kuvasta nähdään että SVI on ollut suurimman osan ajasta yli 150 ml/g, jota pidetään puhdistamolla tavoitteellisena ylärajana.



Kuva 13 Lieteindeksi ja -ikä vuonna 1996

3.2 Lietteen seuranta

Lietteen rihmamaiset bakteerit ovat vaihdelleet seurannan aikana. Kesän ja syksyn 1997 aikana mikroskopoimalla on tunnistettu yhteensä neljä eri rihmamaista bakteeria. Rihmaindeksi on ollut melkein koko seurannan ajan yli 1,5. Rihmaindeksi seurannan aikana on esitetty kuvassa 14.

Ensimmäisistä näytteistä löydettiin kolme rihmamaista bakteerikantaa, joista vallitsevalla on mm. seuraavia ominaisuuksia:

- * Gram-negatiivinen
- * Neisser-värjäyksen tulos vaihtelee
- * ei havaittu rikkijyväsia
- * ei havaittu haarautumista
- * rihman halkaisija n. 1,5 μm ja muoto kierteinen
- * solujen muoto kiekkomainen
- * ei päällyskasvustoa

* havaittu väliseinä muttei kuorta

Rihma on mahdollisesti *Nostocoida limicola II* (ks. kuvaliitteen kuva 16). Rihma oli vallitsevana lietteessä aina elokuun 1997 loppuun asti, jonka jälkeen se käytännössä hävisi kokonaan.

Toisella lietteessä yleisellä rihmalla on mm. seuraavia ominaisuuksia:

- * Gram-positiivinen
- * Neisser-negatiivinen
- * ei havaittu rikkijyväsiä
- * ei havaittu haarautumista
- * rihman halkaisija n. 1,5-2 μm ja muoto taipunut
- * solut muodoltaan suorakulmaisia
- * ei päällikasvustoa
- * väliseinä havaittu

Rihma on mahdollisesti tyyppi 0041 (ks. kuvaliitteen kuva 11). Tyyppiä 0041 on ollut lietteessä koko seurannan ajan.

Ennen ilmastusaltaiden tyhjennystä ja puhdistusta kesäkuun lopulla 1997 lietteessä havaittiin myös kolmas yleinen rihma, jota ei kuitenkaan toistaiseksi ole esiintynyt puhdistuksen jälkeen. Rihmalla havaittiin seuraavia ominaisuuksia:

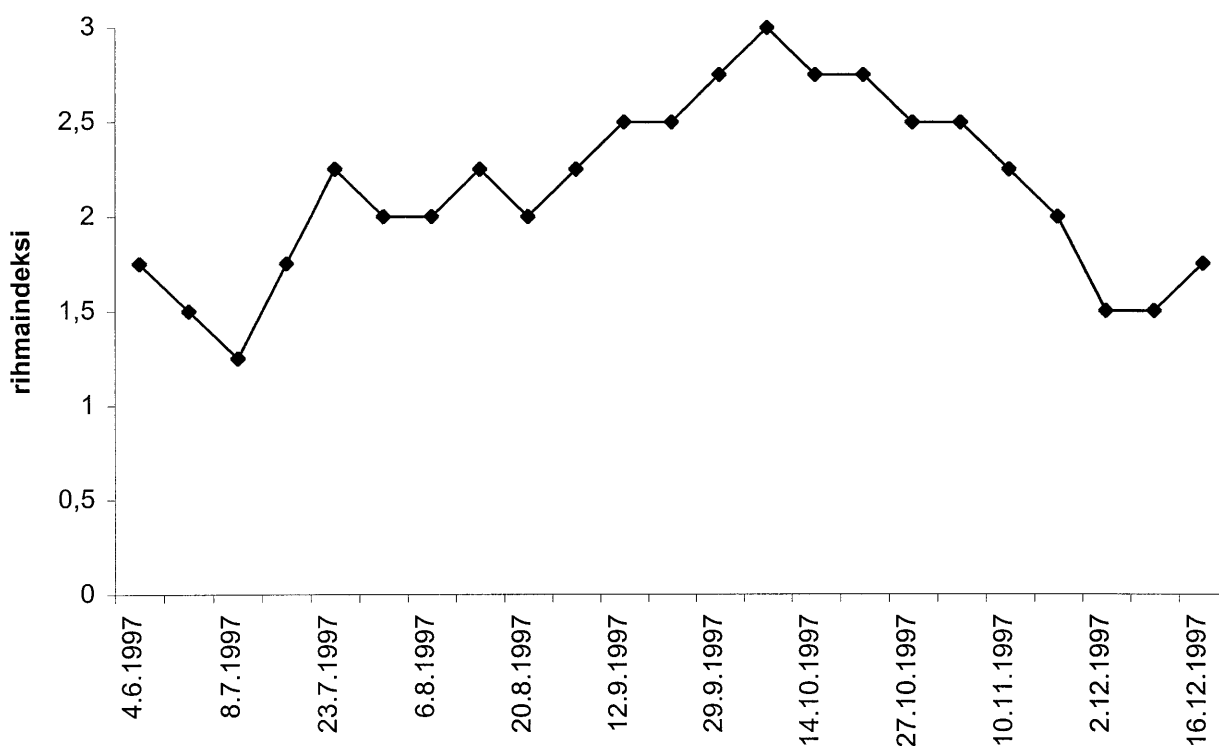
- * Gram-positiivinen
- * Neisser-negatiivinen
- * ei havaittu rikkijyväsiä
- * haarautuu
- * rihman halkaisija n. $<1\mu\text{m}$

Rihma oli todennäköisesti *Nocardia* (ks. kuvaliitteen kuva 14). Sitä oli melko pieniä määriä, eikä vaahtoamista havaittu ainakaan seurannan aikana. *Nocardia* ei yleensä ole puunjalostusteollisuuden aktiivilietteissä, siksi sen esiintyminen on mainitsemisen arvoista, vaikkei se ongelmia aiheuttanutkaan.

Suunnilleen samoihin aikoihin, kun *Nostocoida limicola II* hävisi lietteestä, lietteeseen ilmestyi uusi vallitseva rihmakanta. Rihma oli

- * Gram-negatiivinen
- * Neisser-negatiivinen
- * Rikkijyväsiä sekä in situ että S-testin jälkeen
- * Solut muodoltaan suorakulmaisia
- * Rihman paksuus 1,5 - 2 μm

Rihma tunnistettiin *Thiothrix I*:ksi (ks. kuvaliitteen kuva 10). Se aiheutti koko seurannan aikana puhdistamolle kaikkien vakavimman paisuntalietetilän. *Thiothrixin* ilmestyminen lietteeseen aiheutui todennäköisesti esiselkeytyksessä syntyneistä pelkistyneistä rikkijyhdisteistä. *Thiothrix* saatiin poistettua aktiivilietteestä hapettamalla esiselkeytettyä vettä peretikkahapolla ennen ilmastusallasta.



Kuva 13 Rihmojen määrä seurannan aikana

3.3 Muutossuositukset

Nostocoida limicola II:n ja tyyppi 0041:n esiintyminen saattaa aiheutua tulevassa jätevedessä olevista helposti biohajoavista substraateista. Myös ravinteena toimivan liukoisen ortofosfaatin puute saattaa edesauttaa *N. limicolan* ja tyyppi 0041:n kasvua. Liukoista ortofosfaattia tulisi olla vähintään 0,5 - 1,0 mg/l. Koska kyseessä on paperiteollisuuden jätevesi, riittävän ortofosfaatin konsentraatio voisi ehkä olla jopa 1,0 - 3,0 mg/l (Jenkins ym, 1993).

Koska tyyppi 0041:n optimi lieteikä on korkea, voidaan sen kasvua estää pitämällä lieteikä alle 4 vrk. sama koskee myös *Nostocoida limicola*. Lisäksi kannattaa fosforihapon annostelutarpeen selvittämiseksi määrittää liukoinen ortofosfaatti tulevasta jätevedestä.

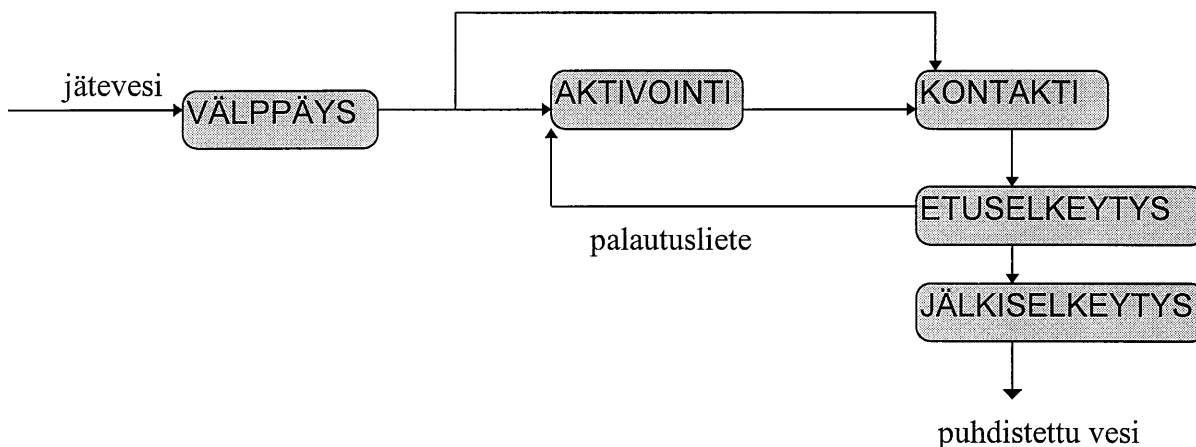
4. Karjaa-Pinjaisten jätevedenpuhdistamo

Karjaa-Pinjaisten puhdistamolla käsitellään Karjaan kaupungin ja Pohjan kunnan jätevesiä. Viemäröinnin piirissä on noin 7600 asukasta. Alueella on mm. tekstiiliteollisuutta ja pintakäsittelyteollisuutta. Pääosa jätevedestä on kuitenkin asumajätevettä. Sakokaivolietettä puhdistamolle tuodaan runsaasti. Puhdistettu vesi lasketaan Mustionjokeen ja edelleen Pohjanpitäjänlahteen.

4.1 Puhdistamon toiminta

Puhdistamo on rakennettu 1970-luvulla ja se on mallia ”Vesi-Seppo”. Ilmastusallas on kooltaan 810 m³ ja se on jaettu ns. kontakti- ja aktivointiosaan. Tilavuudeltaan suuremmassa aktivointialtaassa on 3 Oki-ilmastinta ja kontaktialtaassa 1 Oki sekä lisäksi 2 potkurisekoitinta. Puhdistamoa ei käytetä alkuperäisen aktivointi/kontakti periaatteen mukaan. Normaalien jätevesimäärien aikaan tuleva vesi pumpataan hiekanerotuksesta kokonaisuudessaan aktivointialtaaseen, josta vesi kulkee alituksena kontaktialtaaseen. Jätevesihuippuina pumpun kapasiteetti ei riitä koko määrän siirtämiseen aktivointiin, vaan pahimmassa tapauksessa jopa puolet vedestä valuu ylivuotona suoraan kontaktialtaaseen.

Ilmastuksen jälkeen jätevesi johdetaan alituksena väliselkeytykseen ($A = 370 \text{ m}^2$) ja sieltä jälkiselkeytykseen ($A = 280 \text{ m}^2$). Fosfori saostetaan ferrosulfaatilla rinnakkaissaostuksessa. Aiemmin jälkisaostukseen lisättiin myös Finnferriä, mutta tästä luovuttiin, kun flokin muodostusta tehostava pyörreflokkain, Floctee, otettiin käyttöön keväällä 1997. Laskeutuvuuden parantamiseksi käytetään polymeeriä. Kuvassa 15 on esitetty yksinkertaistettu prosessikaavio.



Kuva 15 Yksinkertaistettu prosessikaavio. Jätevesi johdetaan väljän ja hiekanerotuksen kautta normaalisti kontaktialtaaseen, mutta jätevesihuippuina myös suoraan aktivointiin.

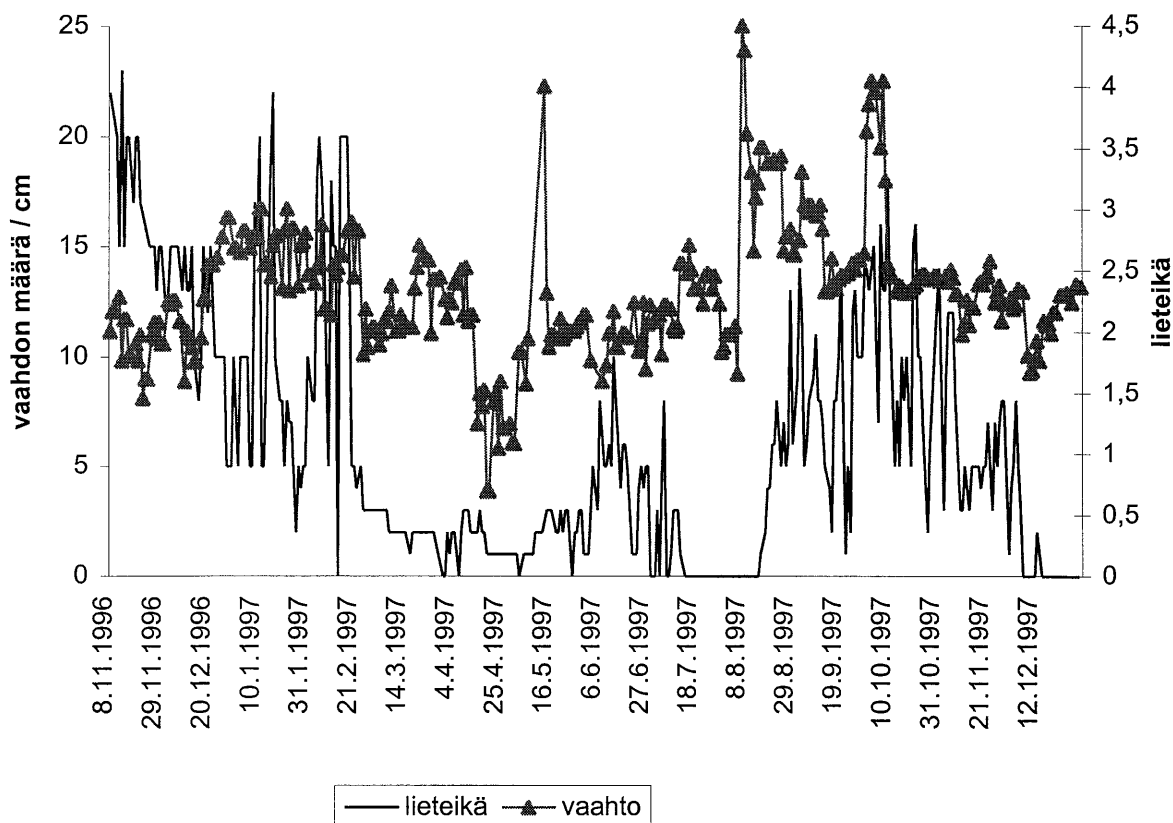
Mitoitusarvot ovat 5690 m³ jätevettä/d ja 790 kg BOD₇/d. Vuonna 1996 tulevan jäteveden määrä oli keskimäärin 6400 m³/d ja BOD-kuorma oli 650 kg BOD₇/d, joten puhdistamolle tulee jonkin verran enemmän, mutta laimeampaa vettä kuin mitoitettu. Lupa-arvot ovat <17,5 mg BOD₇/l ja <1,0 mg P/l. Tehoarvoja ei ole määrätty. Vuosien 1996 ja 1997 puhdistustulokset on esitetty liitteessä 4. Tänä aikana lupaehdot on täytetty kahta poikkeusta lukuunottamatta.

4.2 Lietteen seuranta

Puhdistamo on kärsinyt ajoittain ilmastusaltaan pinnalla olevasta runsaasta vaahdosta. Vaahdon aiheuttaa rihmamainen bakteeri, jolla on havaittu seuraavia ominaisuuksia:

- * Gram-positiivinen
- * Neisser-negatiivinen
- * ei havaittu rikkijyväsiä
- * haarautuu
- * rihman halkaisija n. $<1\mu\text{m}$.

Rihmat ovat todennäköisesti *Nocardia* (ks. kuvaliitteen kuva 14). Aktiivilietettä ei mikroskoipoitu säännöllisesti seurannan aikana, koska *Nocardian* määrän arvioiminen on vaikeaa mikroskoipomalla. *Nocardian* määrää arvioitiin sen sijaan puhdistamolla mittaamalla vahtokerroksen paksuutta kelluvan mittatikun avulla (kuva 16). Lietettä kyllä mikroskoipoitiin muutaman kerran, jotta varmistuttiin vaahdon aiheuttajan olevan *Nocardia*.

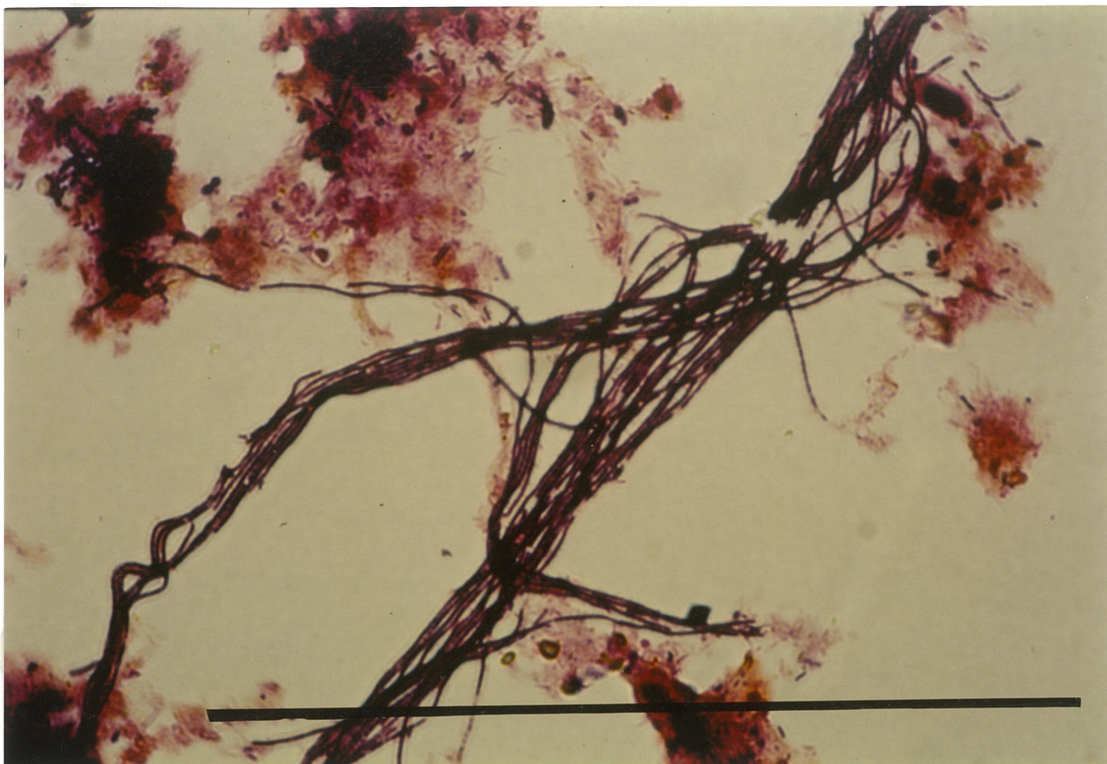


Kuva 16 Vaahdon määrä ilmastusaltaassa. Vahtokerros on mitattu kelluvan mittatikun avulla päivittäin samasta kohtaa allasta.

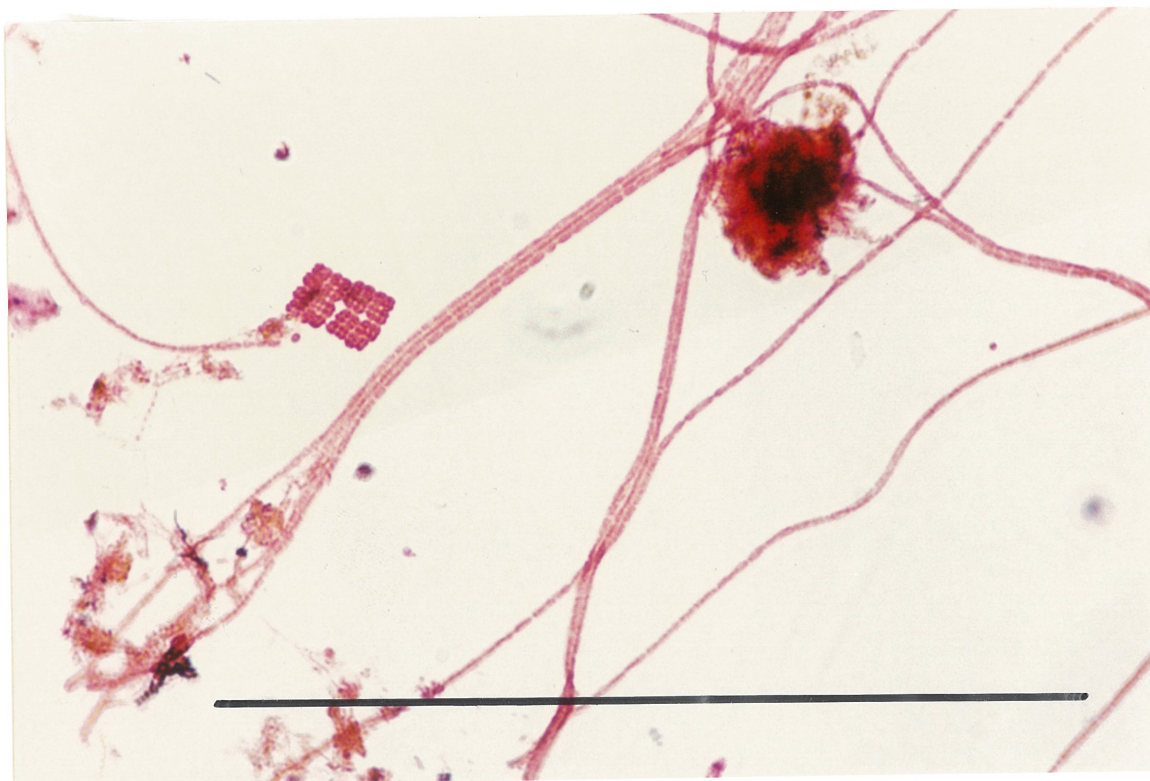
4.3 Muutokset

Vaahoamisen ollessa pahimmillaan maaliskuussa 1996 lieteikää yritettiin laskea alle 2 vrk:n *Nocardian* kasvun ehkäisemiseksi, mutta toivottua tulosta ei syntynyt. Helmikuussa 1997 havaittiin että siirtopumppu, joka pumppaa tulevan jäteveden aktivointialtaaseen oli rikki (ei tiedetä milloin hajonnut). Pumpun rikkoontuminen saattoi vaikuttaa siten, että laskettu lieteikä ei pitänyt paikkaansa. Lieteiän laskeminen ei ole myöskään vaikuttanut toivotulla tavalla myöhemminkään. Tosin aivan vuodenvaihteessa ei vaahtoa ole enää esiintynyt.

Lieteiän laskeminen ei ehkä auta Karjaan tapauksessa, koska lietteen poisto ilmastuksesta tapahtuu vedenpinnan alapuolelta. Tällöin kelluva *Nocardia* runsaasti sisältävä vaahto ei poistu lietteen mukana, vaan päinvastoin konsentroituu pintaan. Ratkaisuna tähän ongelmaan saattaisi olla ilmastusaltaan lietteenpoisto pinnan tasolta.

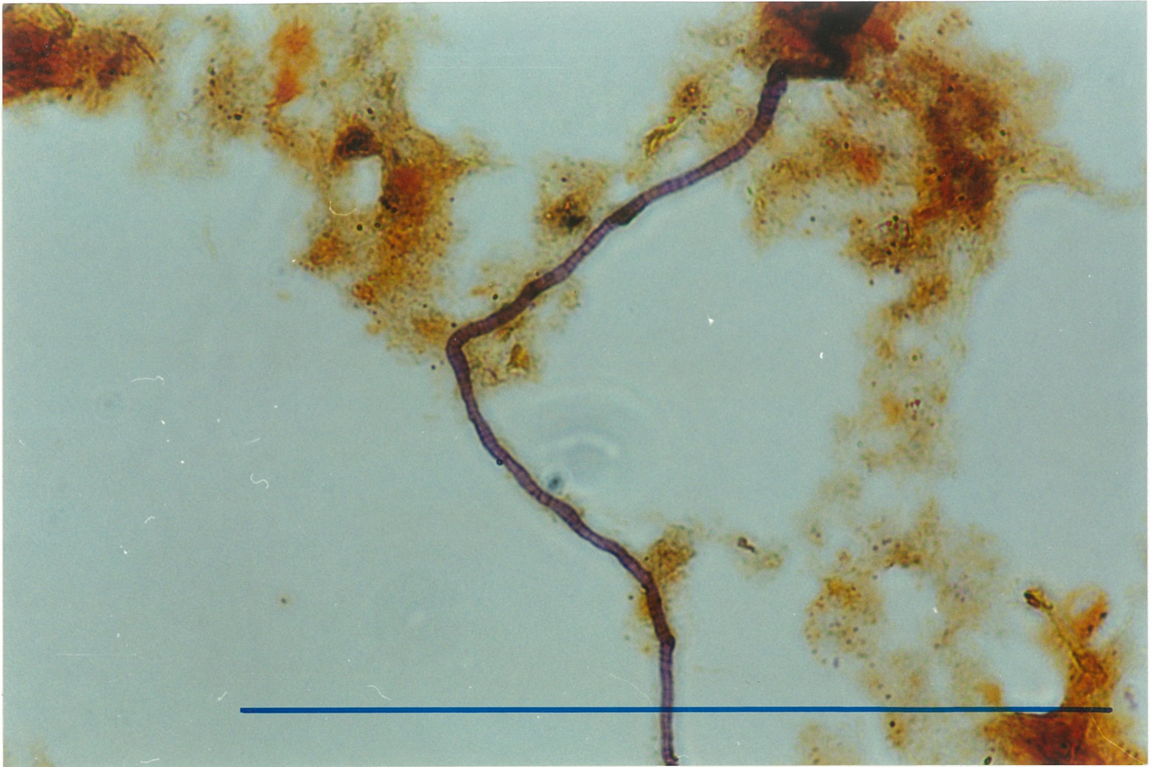


Kuva 1. Gram-positiivisesti värjäytyneitä rihmamaisia bakteereita.
1000 x suurennos, palkki 100 μm

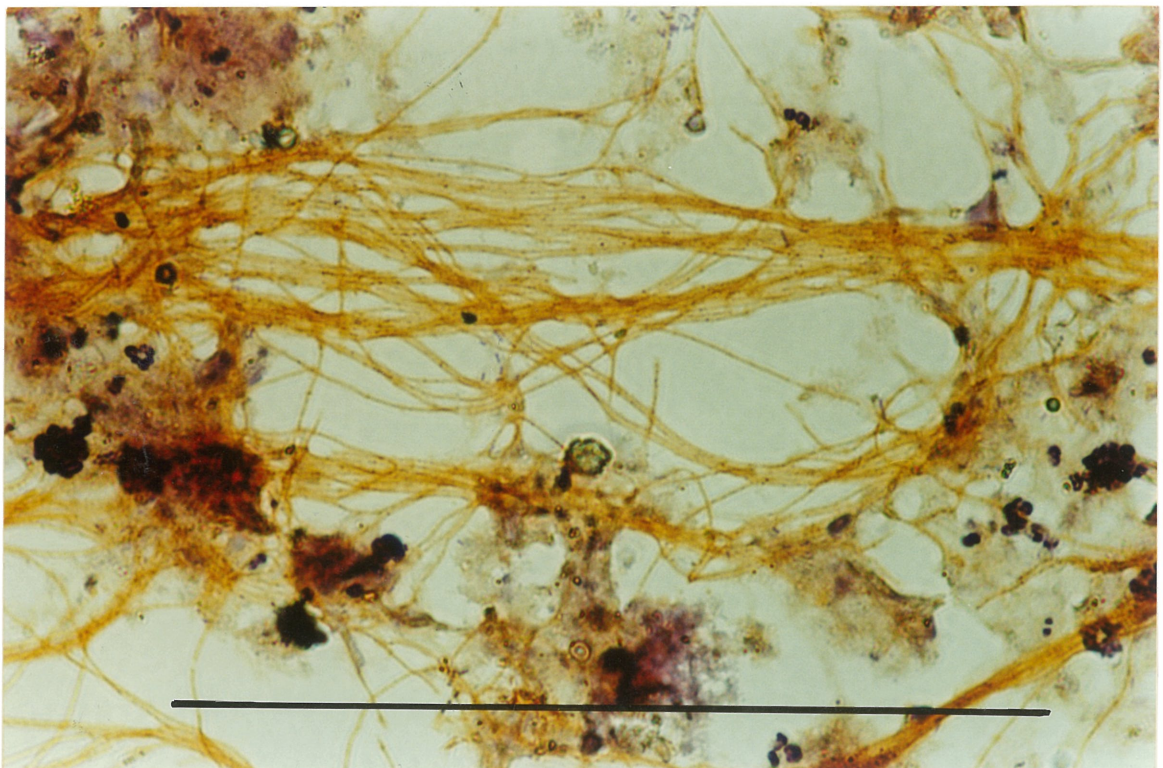


Kuva 2. Gram-negatiivisesti värjäytyneitä rihmamaisia bakteereita
1000 x suurennos, palkki 100 μm

LIITE 1



Kuva 3. Neisser-positiivisesti värjäytyt rihmamainen bakteeri.
1000 x suurennos, palkki 100 μm

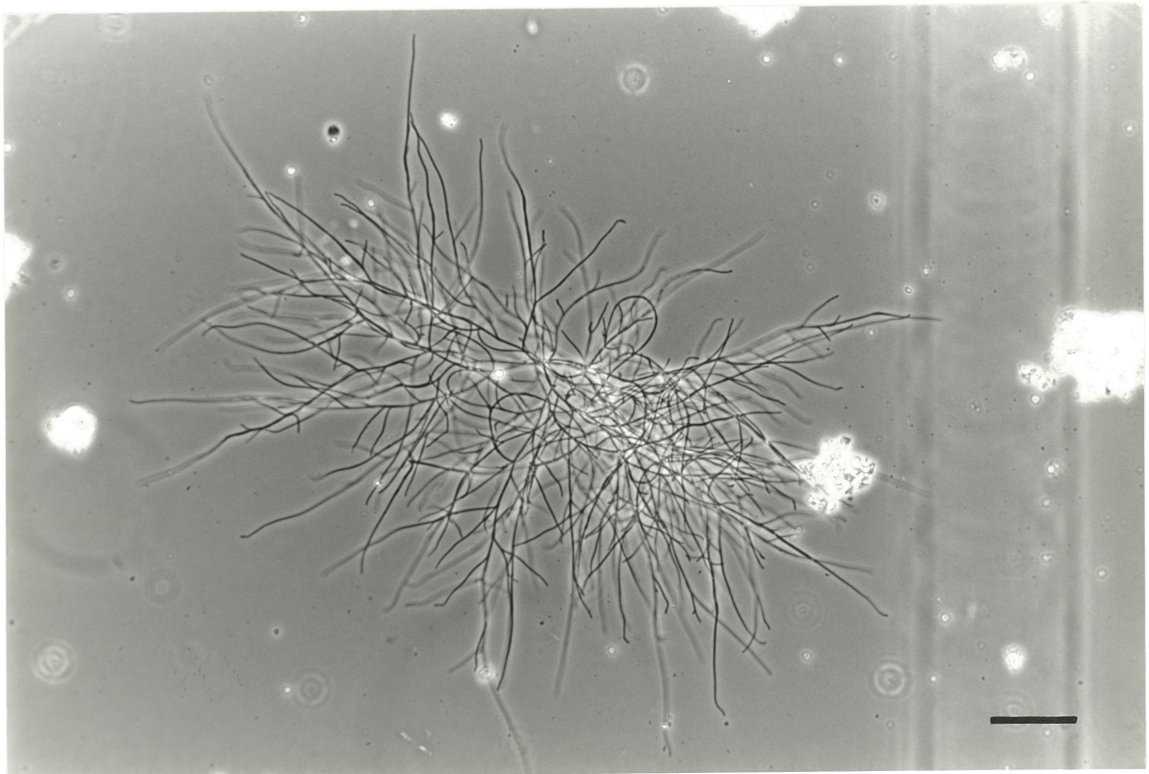


Kuva 4. Neisser-negatiivisesti värjäytyneitä rihmamaisia bakteereita
1000 x suurennos, palkki 100 μm

LIITE 1

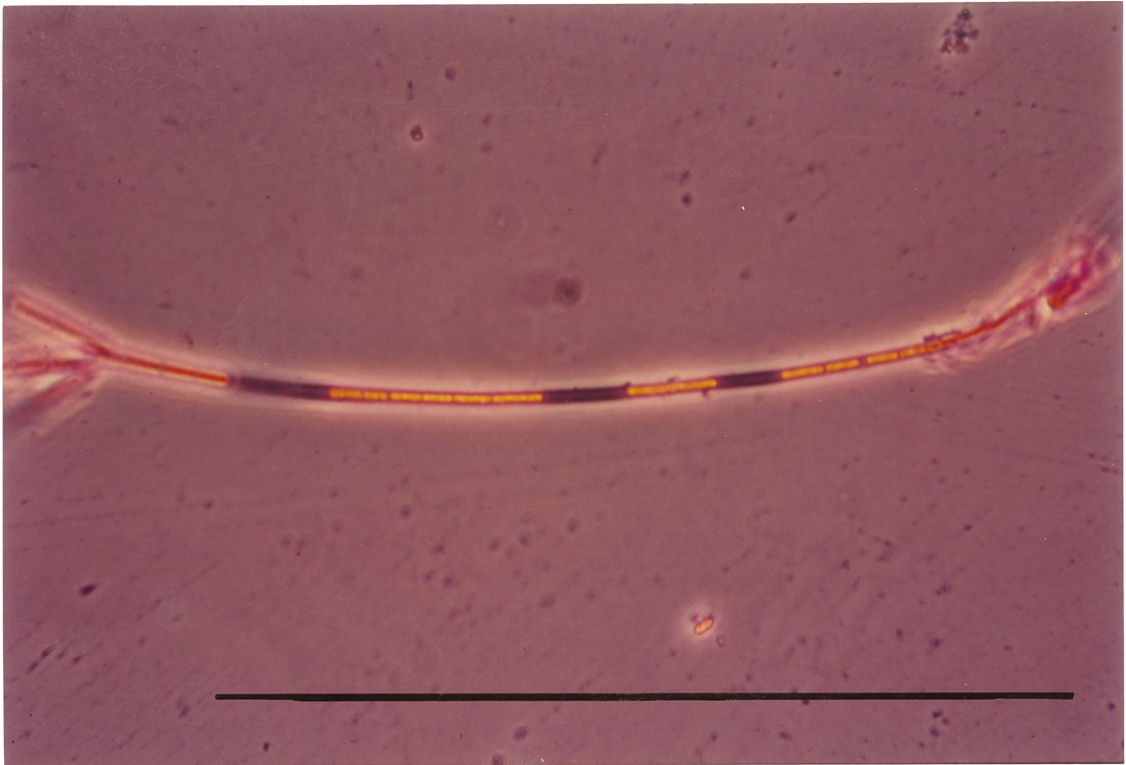


Kuva 5. *Sphaerotilus natans*. Faasikontrasti
40 x suurennos, palkki 100 μm

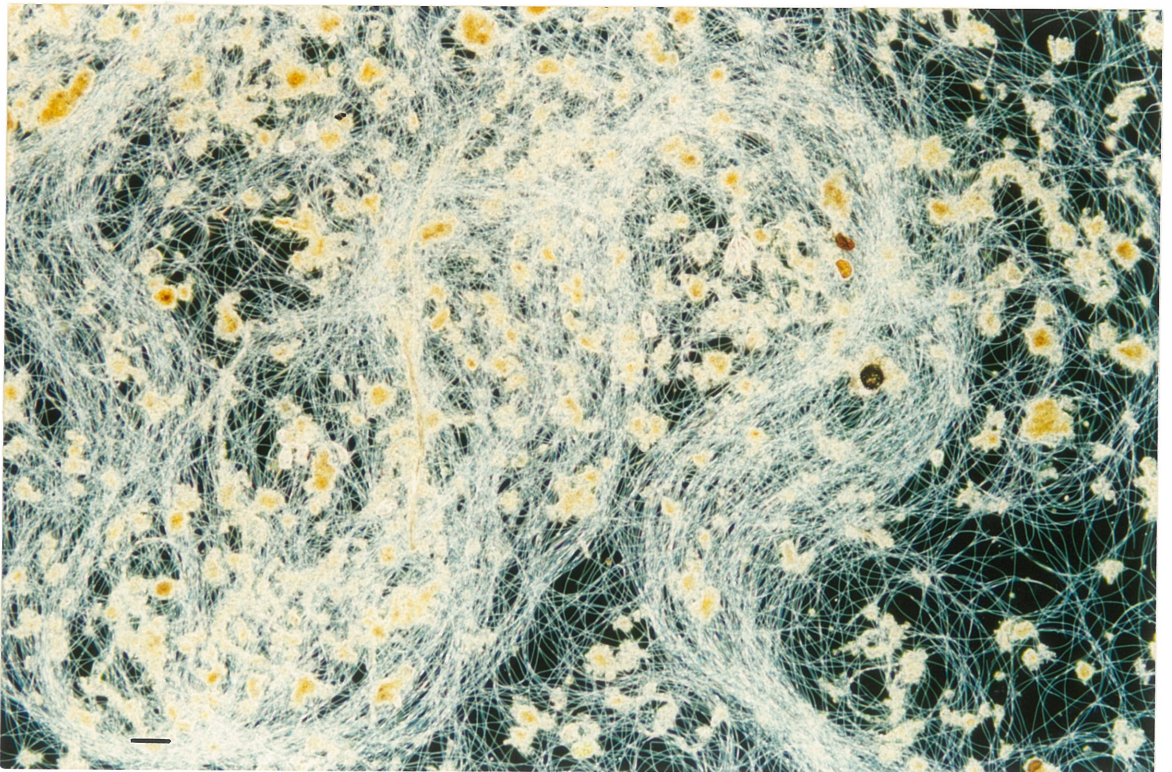


Kuva 6. *Sphaerotilus natans*. Faasikontrasti.
100 x suurennos, palkki 100 μm

LIITE 1

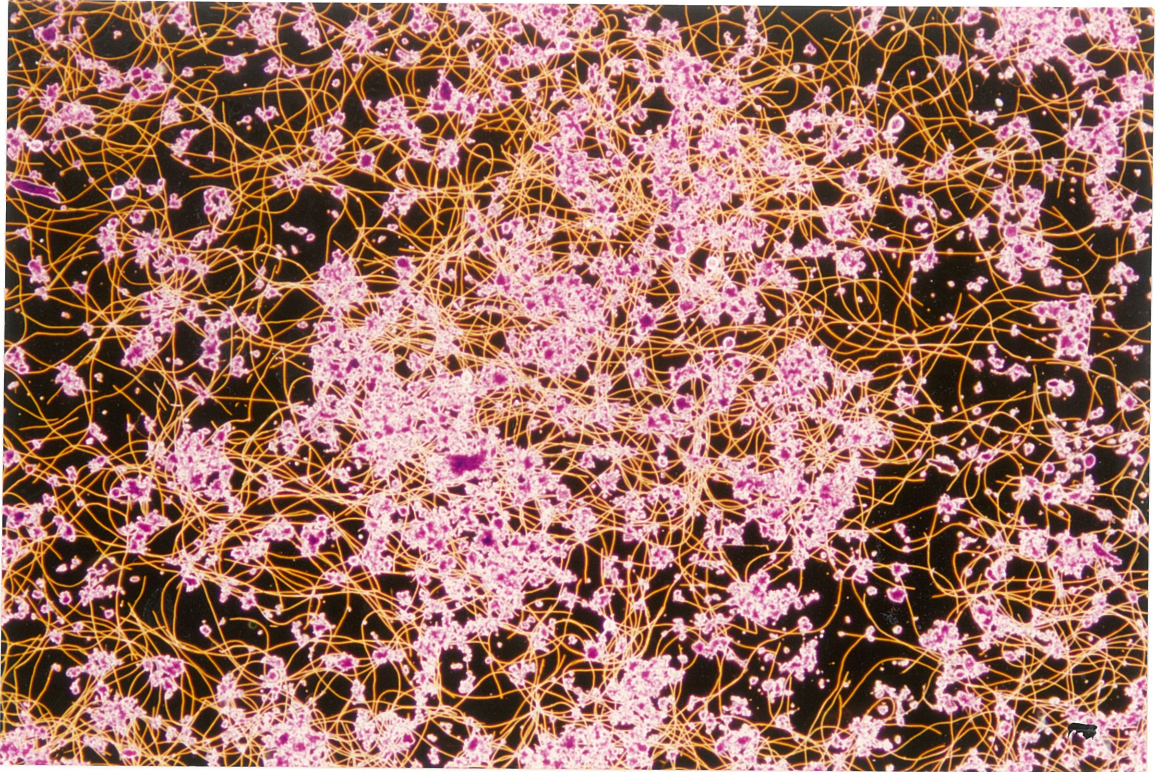


Kuva 7. *Sphaerotilus natans*. Faasikontrasti. Kristalliviolettivärjätty.
1000 x suurennos, palkki 100 μm

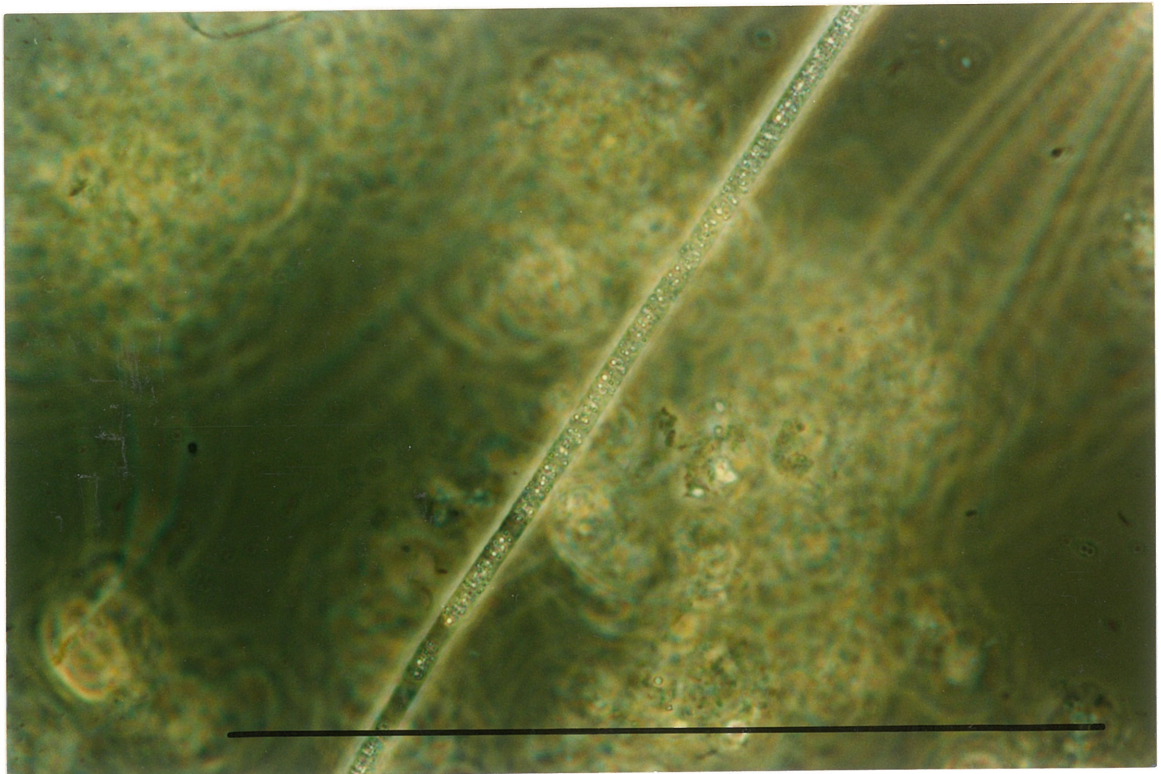


Kuva 8. Tyypin 021N. Faasikontrasti.
40 x suurennos, palkki 100 μm . Turun uuden puolen aktiivilietettä paisuntalieteen
ollessa pahimmillaan.

LIITE 1

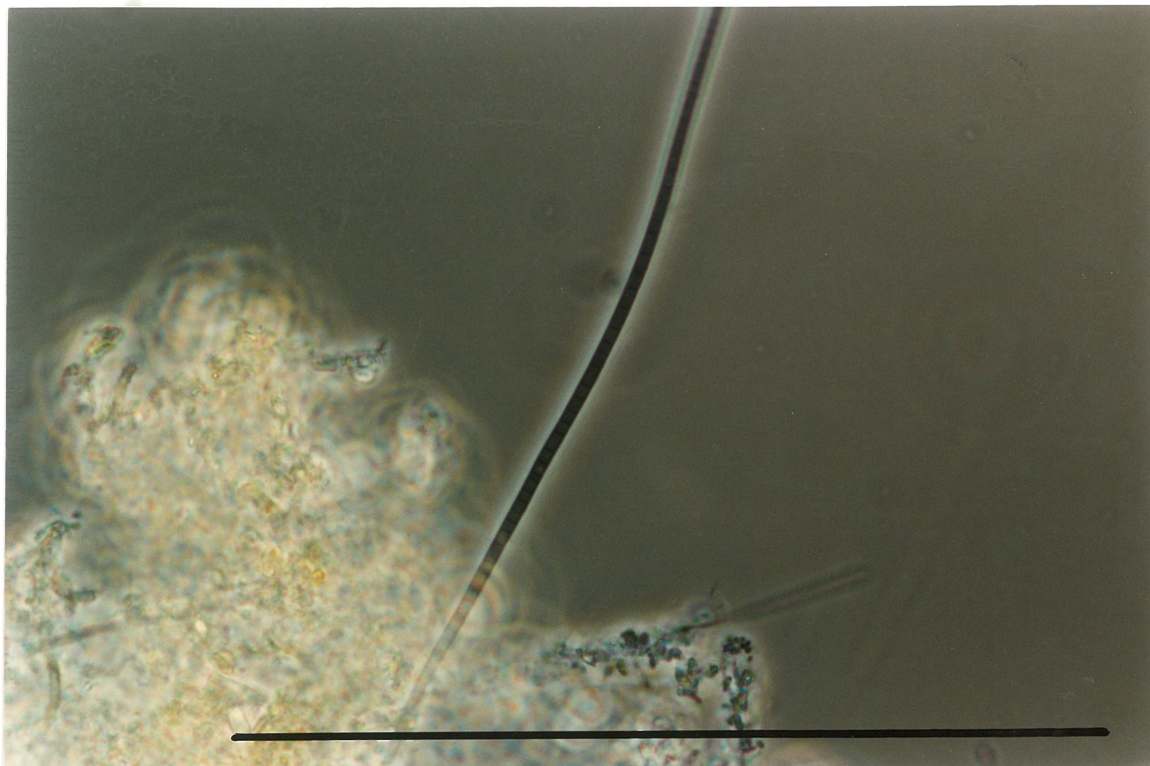


Kuva 9. Tyyppi 021N. Faasikontrasti. Kristalliviolettivärjätty.
40 x suurennos, palkki 100 μm

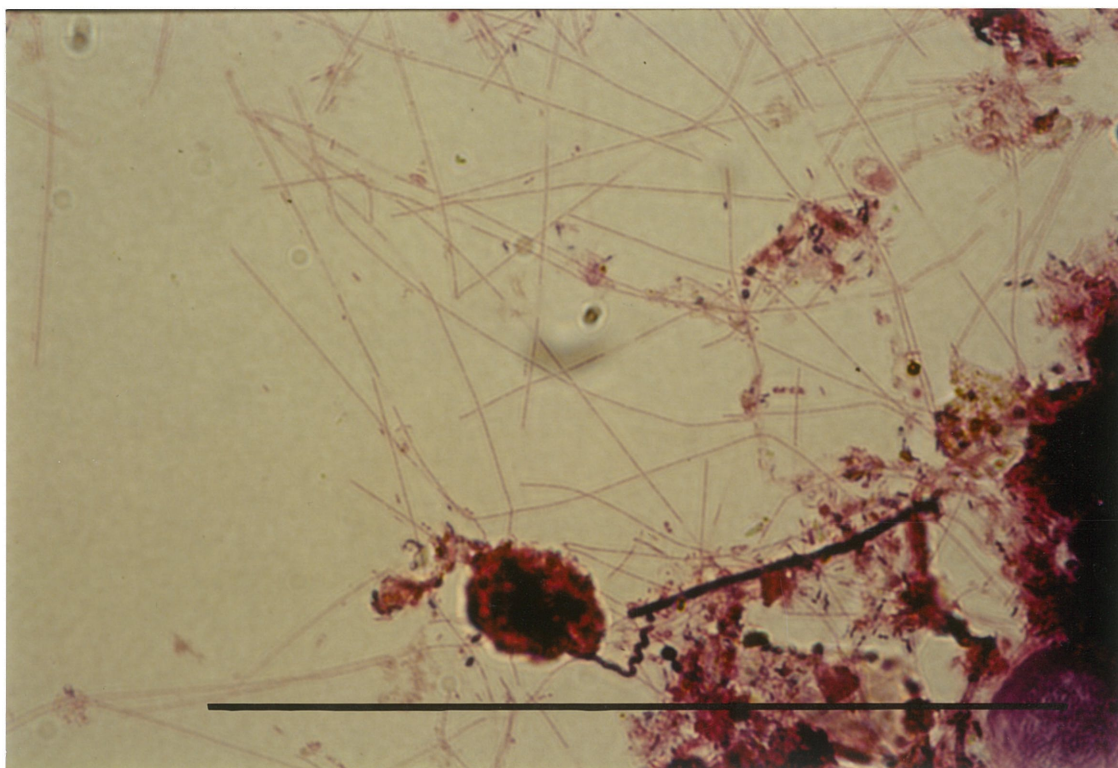


Kuva 10. *Thiothrix*. Faasikontrasti.
1000 x suurennos, palkki 100 μm . Kirkkaina erottuvat ”pisteet” ovat rikkijyväsiä.

LIITE 1

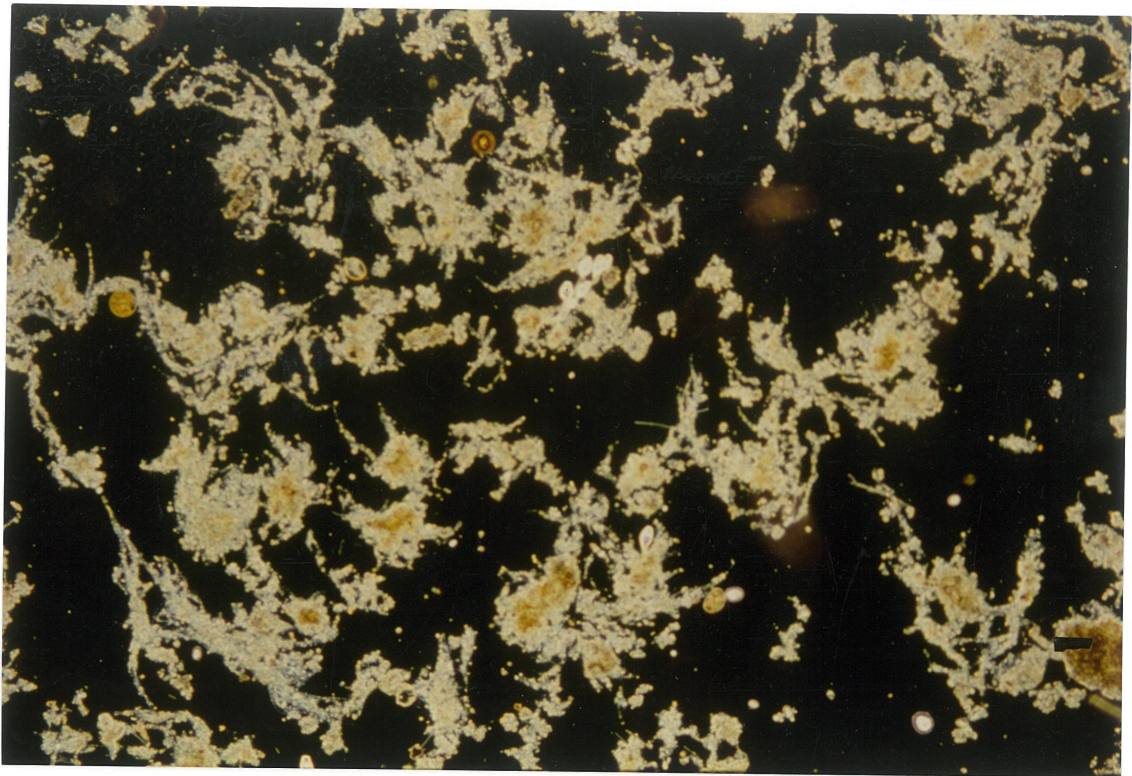


Kuva 11. Tyyppi 0041. Faasikontrasti.
1000 x suurennos, palkki 100 μm

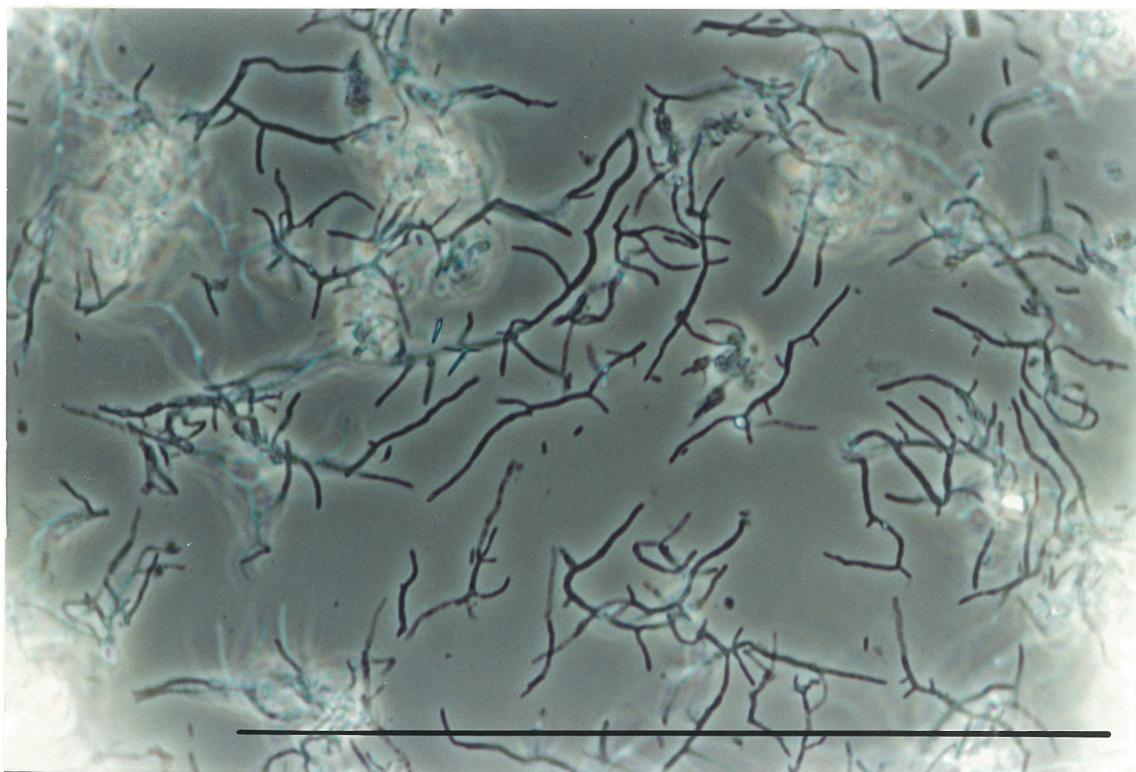


Kuva 12. *Haliscomenobacter hydrossis*. Gram-värjätty.
1000 x suurennos, palkki 100 μm .

LIITE 1

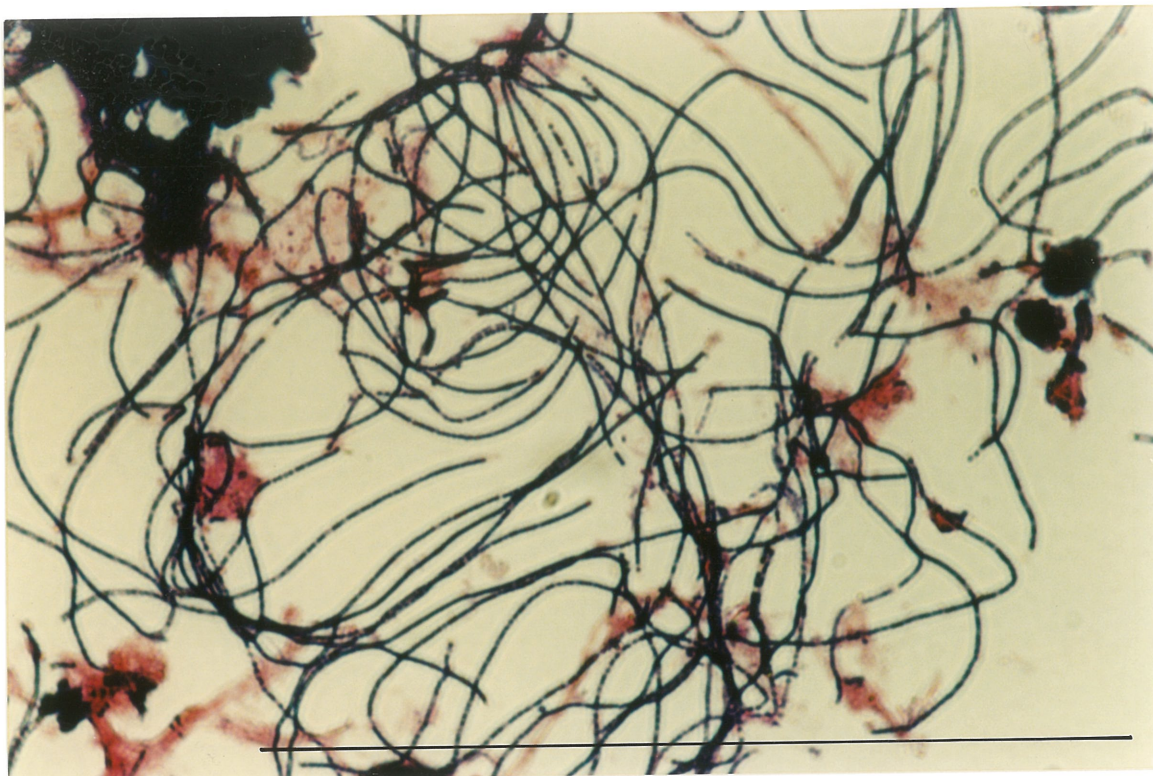


Kuva 13. Paisuntalietettä jossa vallitsevana *Haliscomenobacter hydrossis*.
Faasikontrasti. 40 x suurennos, palkki 100 μm

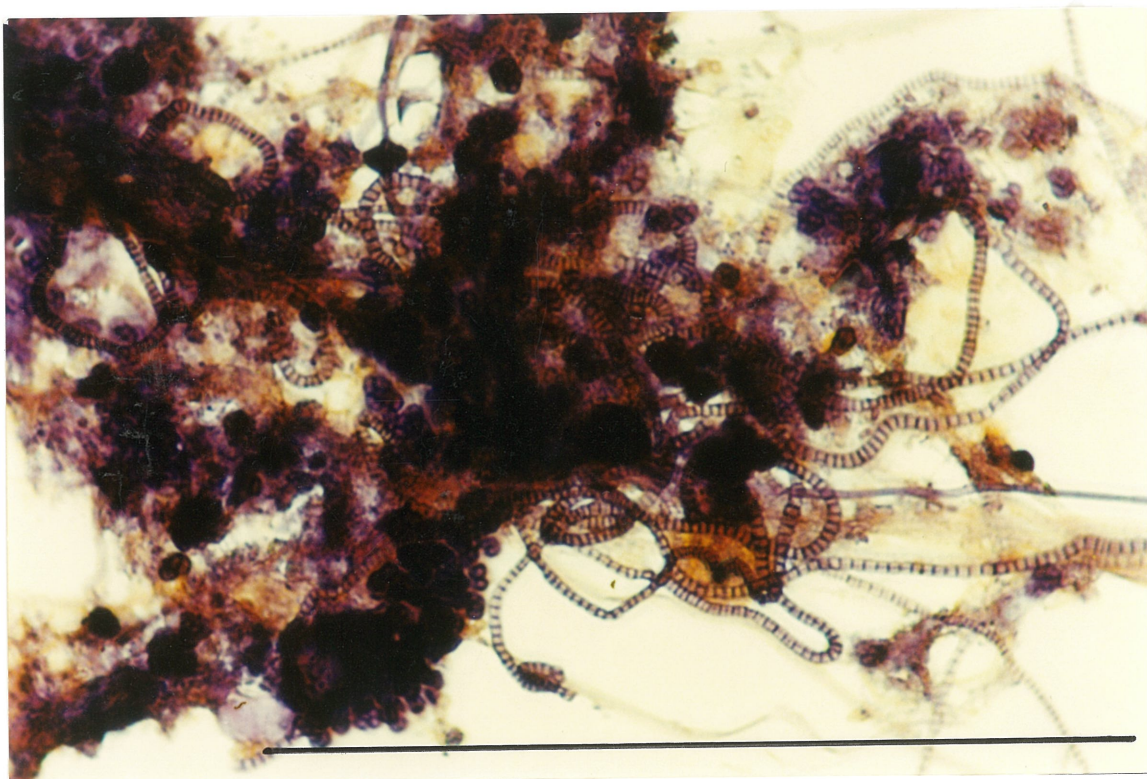


Kuva 14. *Nocardia*.
1000 x suurennos, palkki 100 μm .

LIITE 1

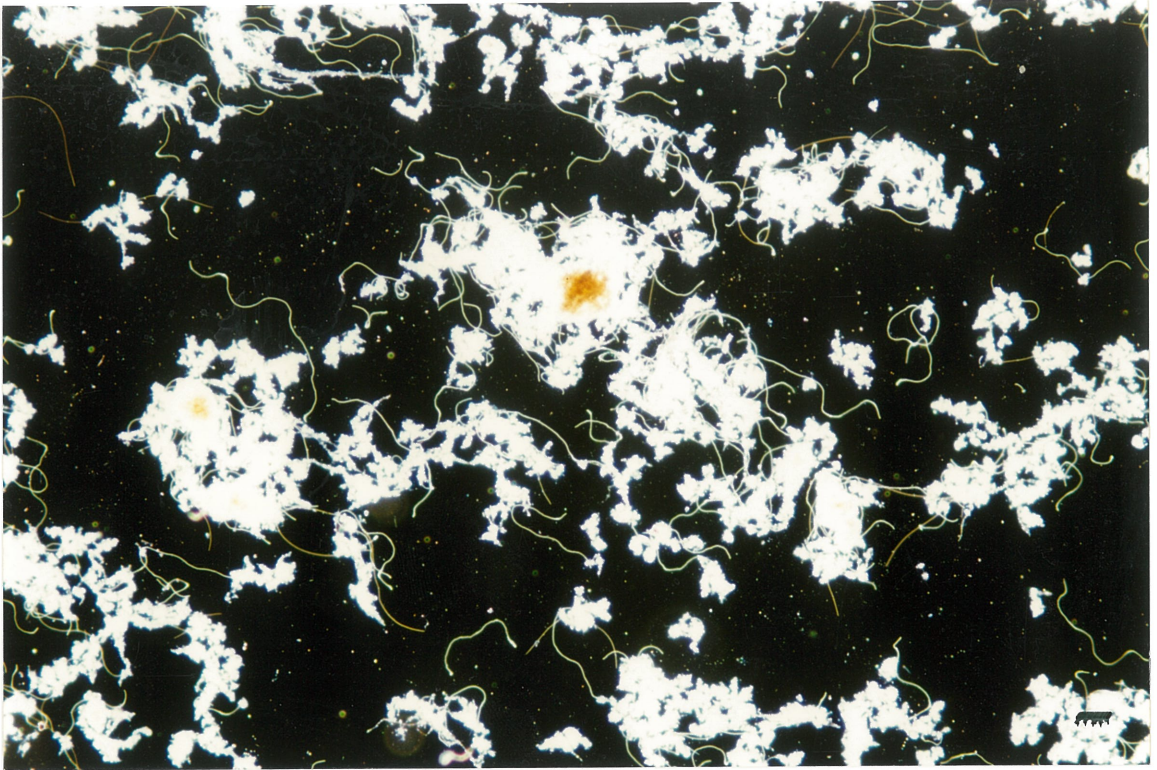


Kuva 15. *Microthrix parvicella*. Gram-värjätty.
1000 x suurennos, palkki 100 μm

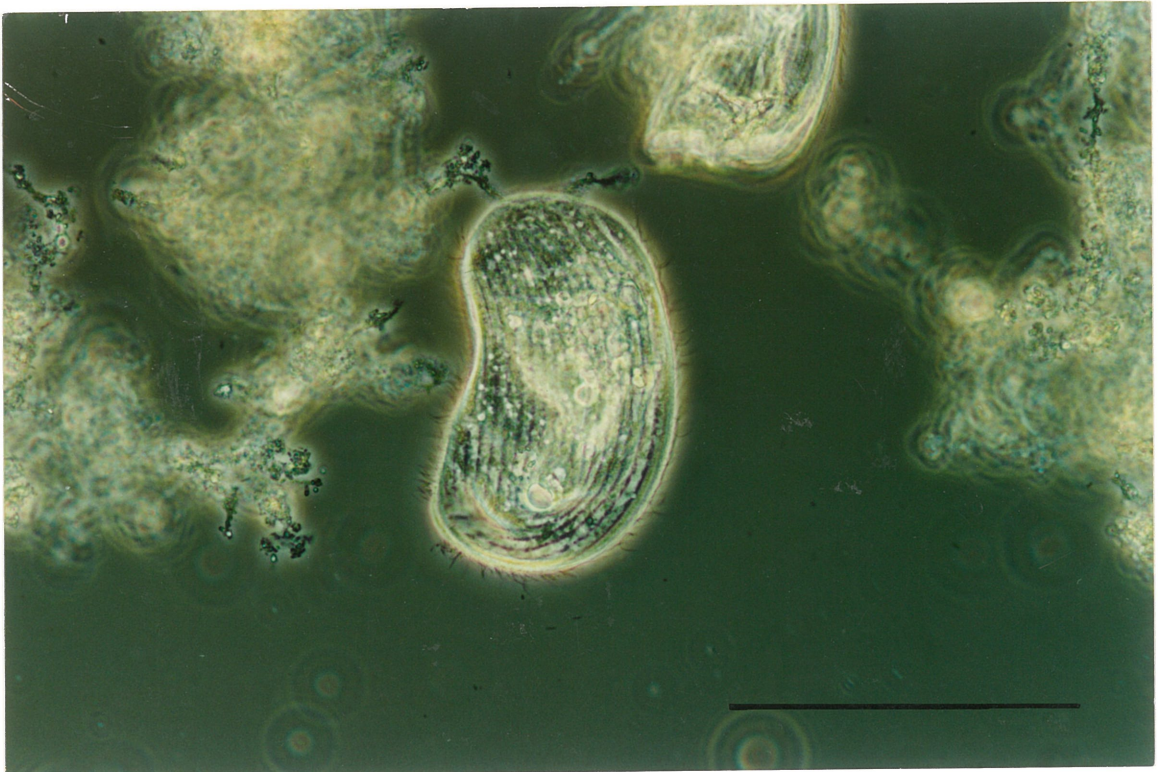


Kuva 16. *Nostocoida limicola*. Neisser-värjätty
1000 x suurennos, palkki 100 μm .

LIITE 1

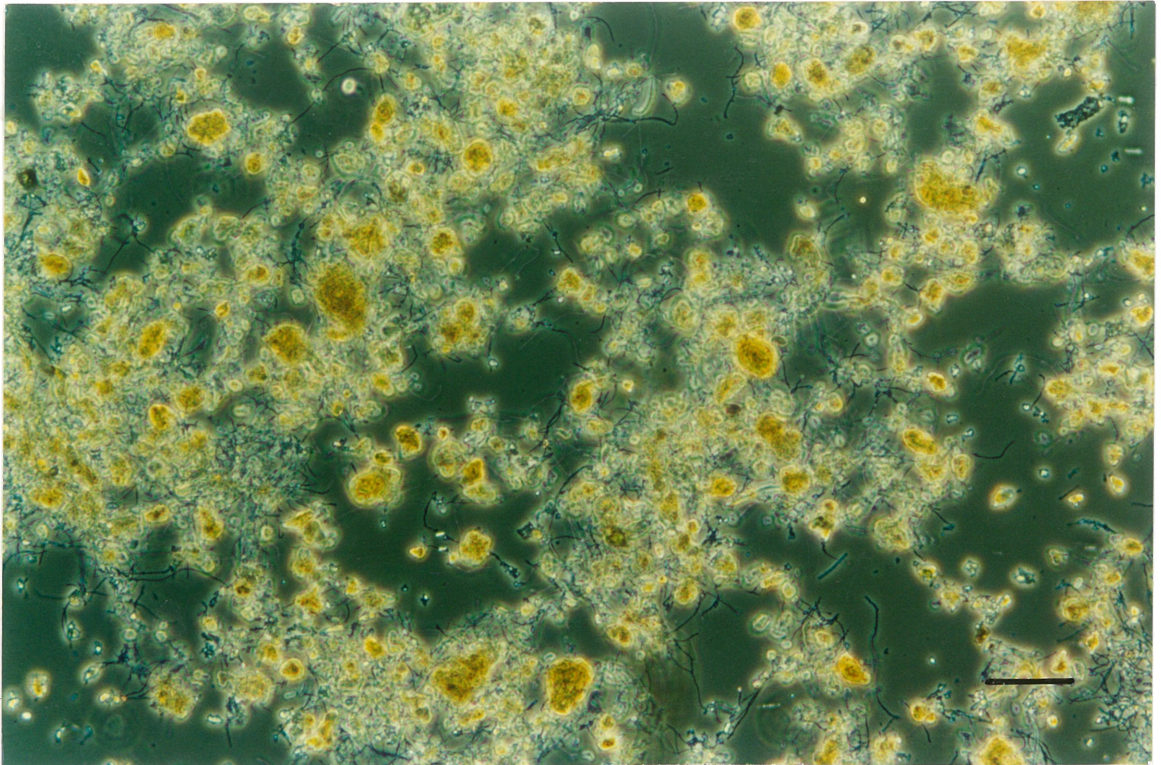


Kuva 17. Paisuntalietettä jossa vallitsevana *Nostocoida limicola*. Faasikontrasti
40 x suurennos, palkki 100 μm

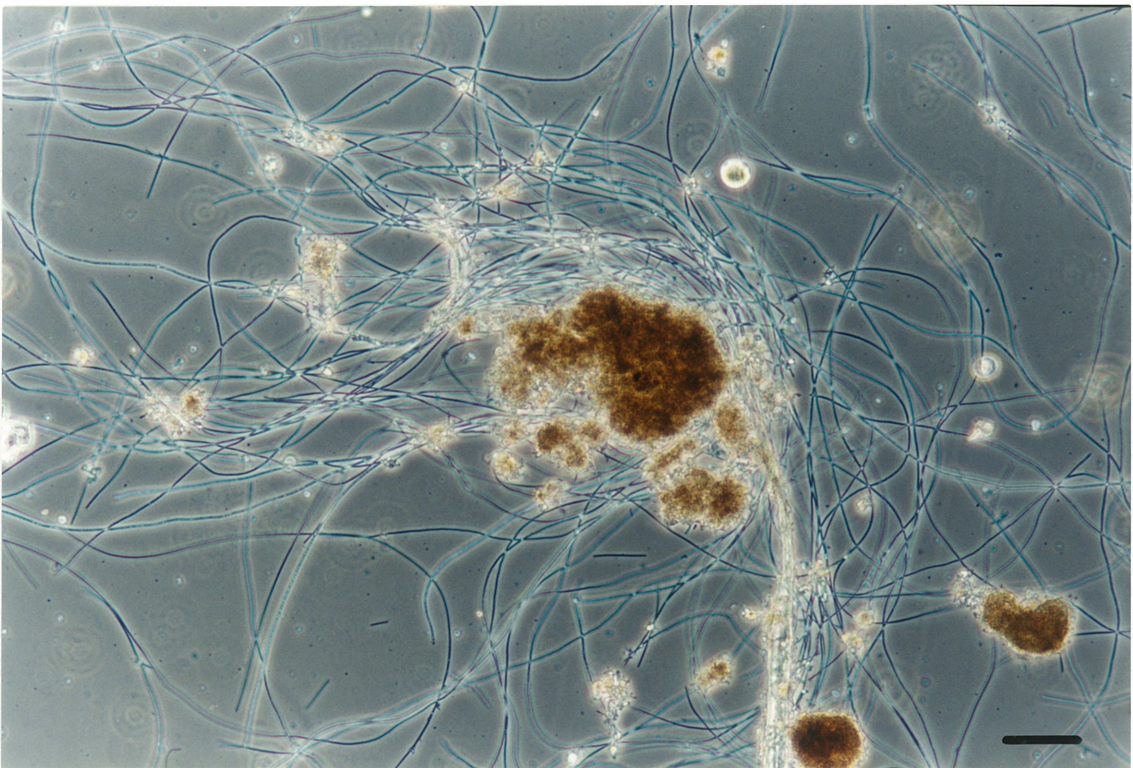


Kuva 18. *Chilodonella*. Faasikontrasti
400 x suurennos, palkki 100 μm .

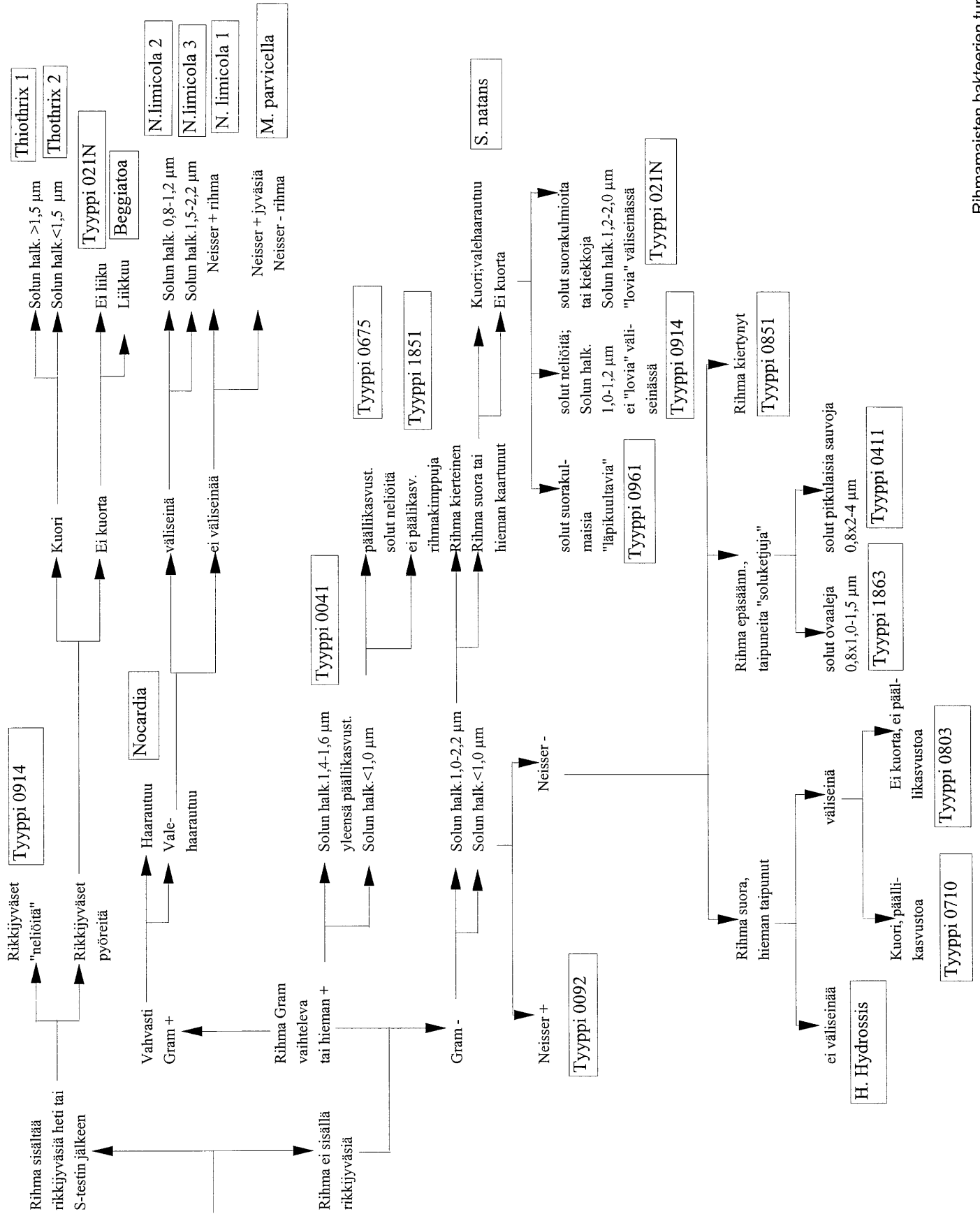
LIITE 1



Kuva 19. Rajamäen puhdistamon aktiivilietettä 18.6.1997. Faasikontrasti. 100 x suurennos, palkki 100 μm . Lietteessä oleva rihma on *M.parvicellaa*.



Kuva 20. Kyron aktiivilietettä paisuntalietteen ollessa pahimmillaan 7.10.1997. 100 x suurennos, palkki 100 μm . Faasikontrasti. Lietteen rihmat ovat tyyppi 0041:tä ja *Thiothrix*ä.



Taulukko 2 Yhteenveto aktiivilietteisessä yleisimmien esiintyvien rihmojen morfologisista ja värjäytymis ominaisuuksista

LIITE 3

KIRKKAALLA KENTALLA HUOMIOIDUT		FAASIKONTRASTILLA HUOMIOIDUT												
Rihma tyyppi	Gram Värjäys	Neisser värjäys Rihma	Jyvässet	Rikki jyvässet in situ	S - testi	Muut solun sisäiset	Rihman halkaisija, mm	Rihman muoto	Rihman sijainti	Solun väliseinä	Kuori	Pääli kasvusto	solun muoto ja koko, mm	Huomiot
S. natans	-	-	-	-	-	PHB	1,0-1,4	SU	ulk	+	+	-	pyöreäpäiset sauvat, 1,4x2,0	valehaarautuu
tyyppi 1701	-	-	-	-	-	PHB	0,6-0,8	SU,T	sis,ulk	+	+	++	pyöreäpäiset sauvat, 0,8x1,2	solun väliseinä vaikea nähdä
tyyppi 0041	+/vaiht.	-	- ₅ + ₁	-	-	-	1,4-1,6	SU,KA	sis,ulk	+	+	++,-	neliö, 1,4x1,5-2,0	Neisser + reaktio ilmenee
tyyppi 0675	+/vaiht.	-	- ₅ + ₁	-	-	-	0,8-1,0	SU,KA	sis	+	+	++,-	neliö, 1,0x1,0	Neisser + reaktio ilmenee
tyyppi 021N	-	-	- ₅ + ₁	+ ₅ ++ ₁	+	PHB	1,0-2,0	SU,KA	ulk	+	-	-	sylinteri, kiekko 1,0x1,5-2,0	muod. rosetteja
Thiotrix I	- ₅ + ₁	-	- ₅ + ₁	+ ₅ +	+	PHB	1,4-2,5	SU,KA	ulk	+	+	-	suorakulmio 2,0x3,0-5,0	muod. rosetteja
Thiotrix II	-	-	- ₅ + ₁	+ ₅ +	+	PHB	0,8-1,4	SU,KA	ulk	+	+	-	suorakulmio 2,0x1,5	muod. rosetteja
tyyppi 0914	- ₅ + ₁	-	- ₅ + ₁	+ ₅ +	-	PHB	1,0	SU	ulk,väli	+	-	-	neliö 1,0x1,0	rikkijyvässet neliomäisiä
Beggiatoa spp.	- ₅ + ₁	-	- ₅ + ₁	+ ₅ +	+	PHB	1,2-3,0	SU	väli	+	-	-	suorakulmio 2,0x6,0	liikkuu ja taipuu
tyyppi 1851	+ heikko	-	-	-	-	-	0,8	SU,KA	ulk	+	+	- ₅ +	suorakulmio 0,8x1,5	rihma kimppuja
tyyppi 0803	-	-	-	-	-	-	0,8	SU	ulk,väli	+	-	-	suorakulmio 0,8x1,5	
tyyppi 0092	-	+	-	-	-	+	0,8-1,0	SU,T	sis	+	-	-	suorakulmio 0,8x1,5	
tyyppi 0961	-	-	-	-	-	-	0,8-1,2	SU	ulk	+	-	-	suorakulmio 0,8-1,4x2,0-4,0	"läpikuultava"
M. parvicella	+	-	+	-	-	PHB	0,8	KI	sis	-	-	-	suorakulmio 0,8-1,4x2,0-4,0	"läpikuultava"
Nocardia spp.	+	-	+	-	-	PHB	1,0	E	sis	+	-	-	vaihtelee 1,0x1,0-2,0	isoja "täpliä"
N. limicola I	+	+	-	-	-	-	0,8	KI	sis,ulk	-	-	-		haarautuu
N. limicola II	- ₅ + ₁	-	-	-	-	PHB	1,2-1,4	KI	sis,ulk	+	-	-	kiekko, ovaali 1,2x1,0	Gram ja Neisser vaihtelee
N. limicola III	+	+	-	-	-	PHB	2,0	KI	sis,ulk	+	-	-	kiekko, ovaali 2,0x1,5	
H. hydrossis	-	-	-	-	-	-	0,5	SU,T	ulk,väli	-	+	- ₅ +		jäykkä, suora
tyyppi 0581	-	-	-	-	-	-	0,5-0,8	KI	sis	-	-	-		
tyyppi 1863	-	-	- ₅ + ₁	-	-	-	0,8	T,E	ulk,väli	+	-	-	ovaali saava 0,8x1,5	keiju soluja
tyyppi 0411	-	-	-	-	-	-	0,8	T,E	ulk	+	-	-	pitkulainen saava 0,8x2,0-4,0	keiju soluja

+ = positiivinen

- = negatiivinen

PHB = polyhydroksibutyraatti

SU = suora

T = taipunut

KA = kaartuva

KI = kierreinen

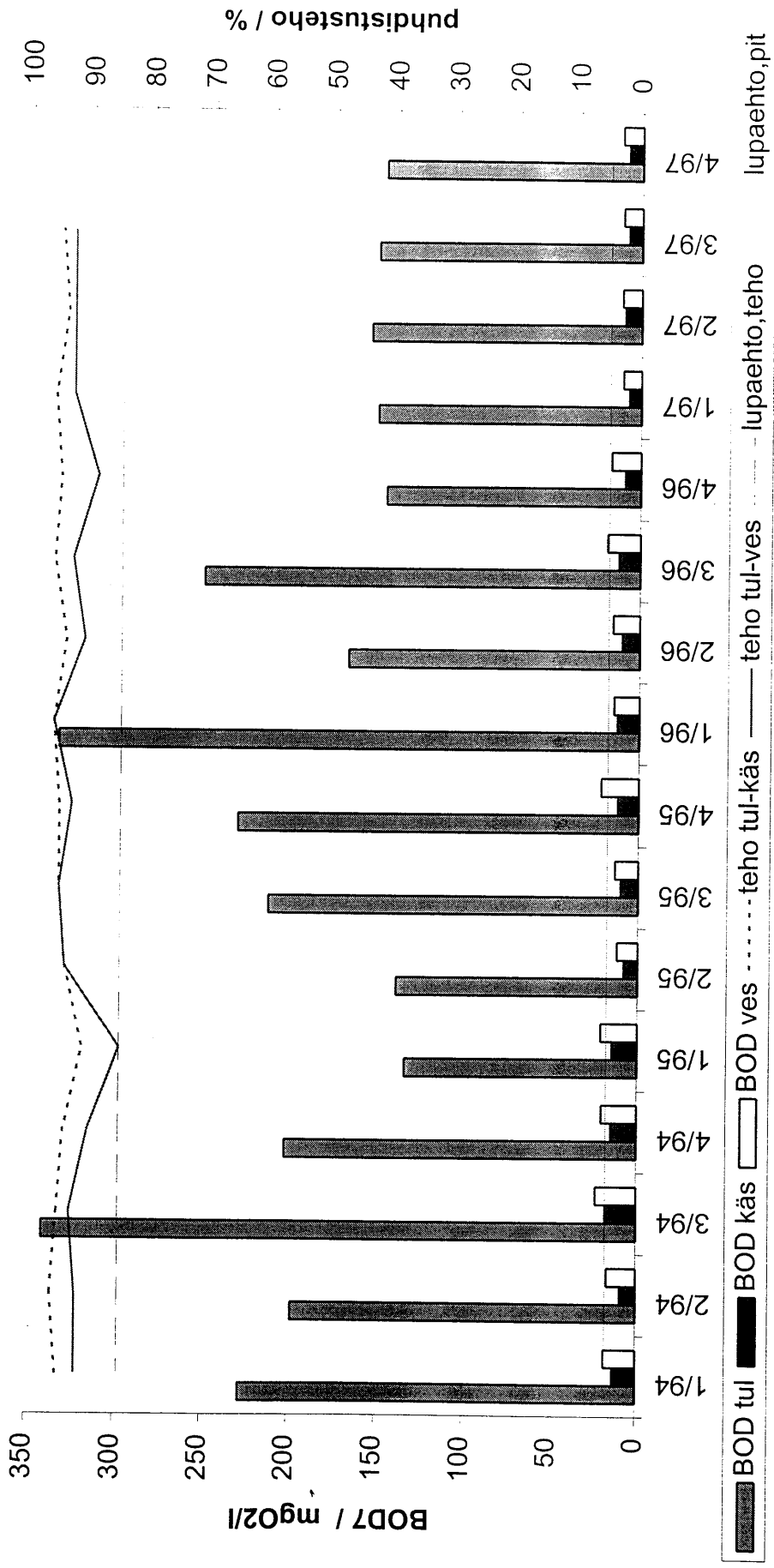
E = epäsäännöllinen

ulk = työntyy flokista

sis = flokin sisällä

väli = vapaana flokkien välissä

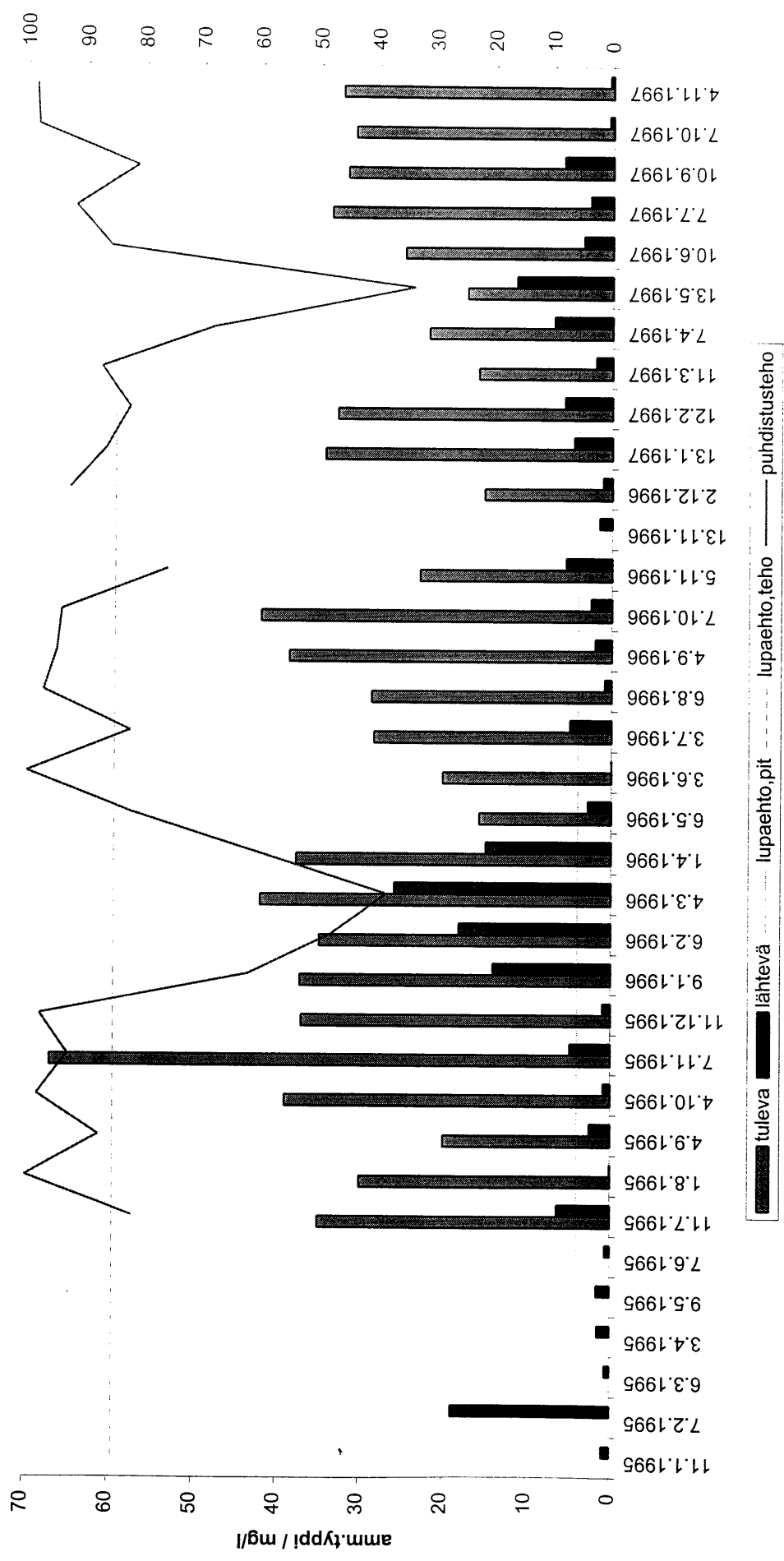
TURKU, BOD7



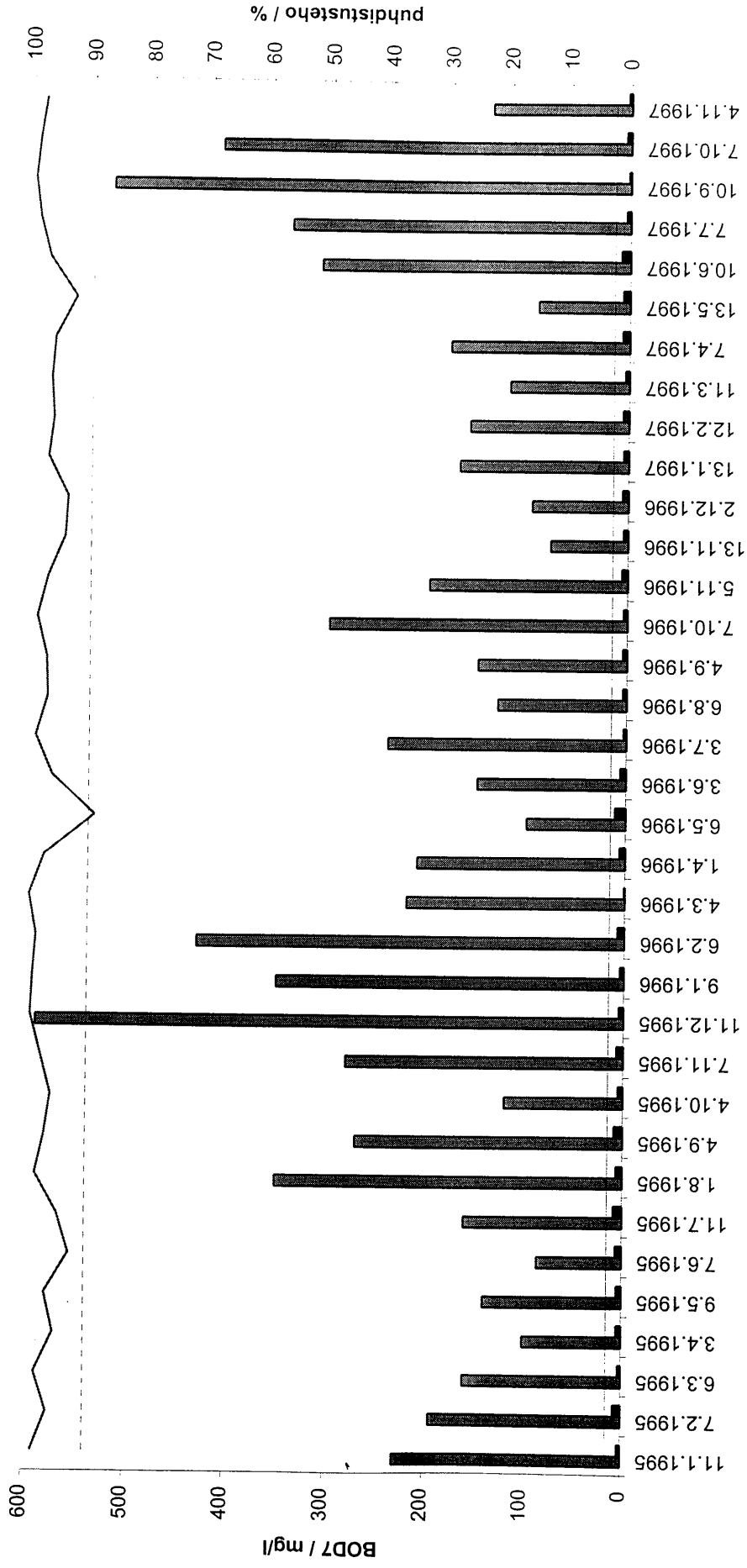
TURKU, kokonaisfosfori



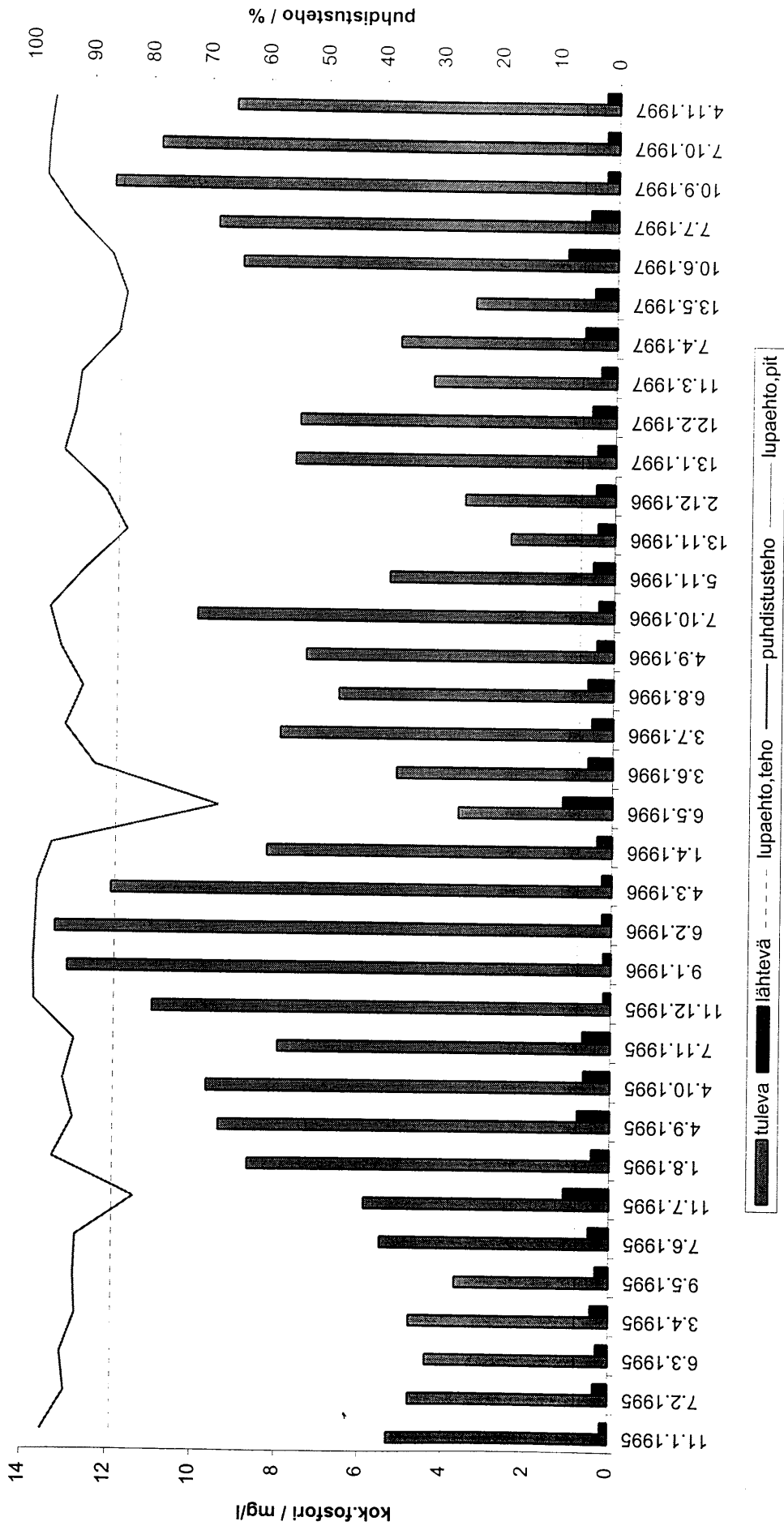
RAJAMÄÄKI, ammoniumtyppi



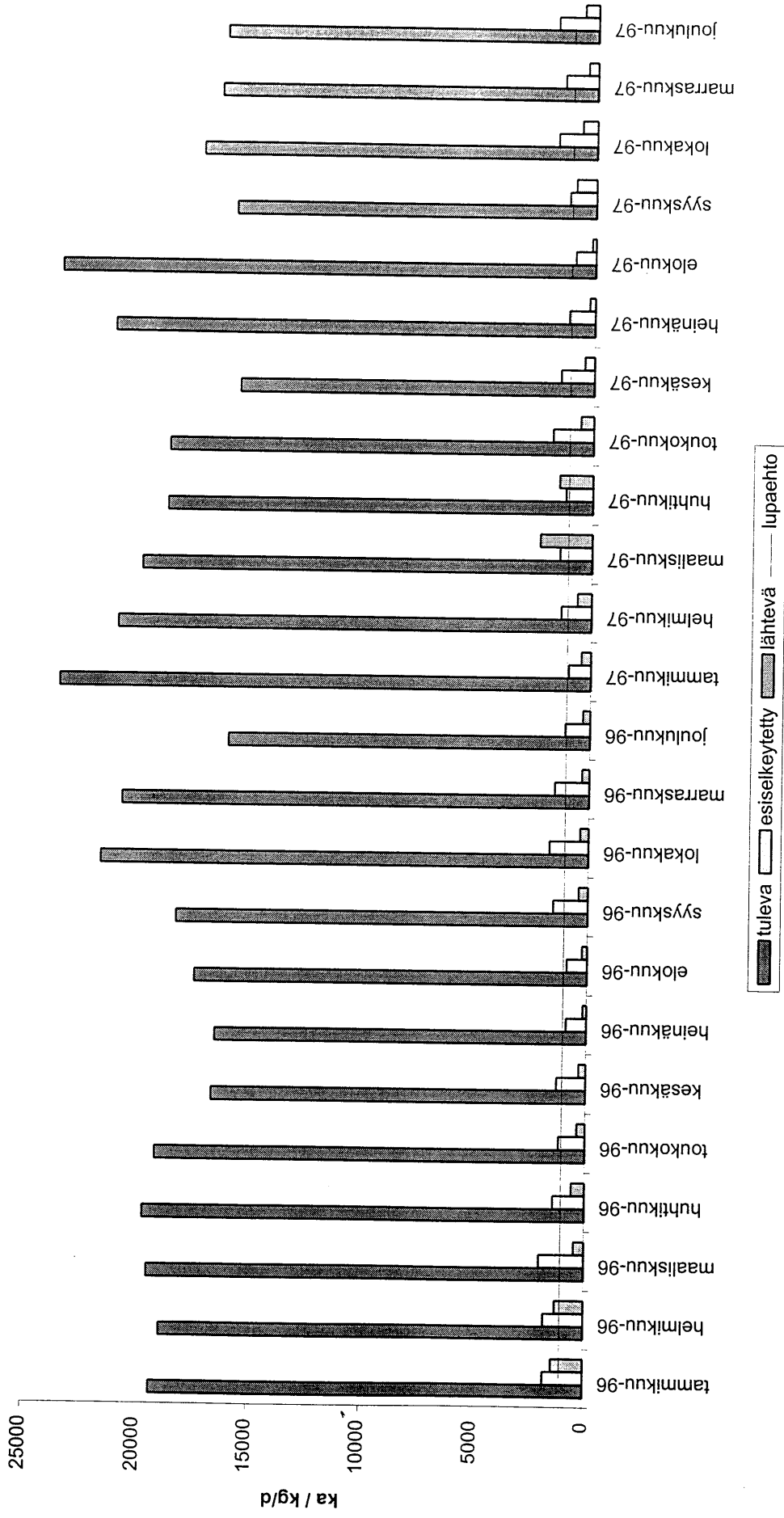
RAJAMÄKI, BOD7



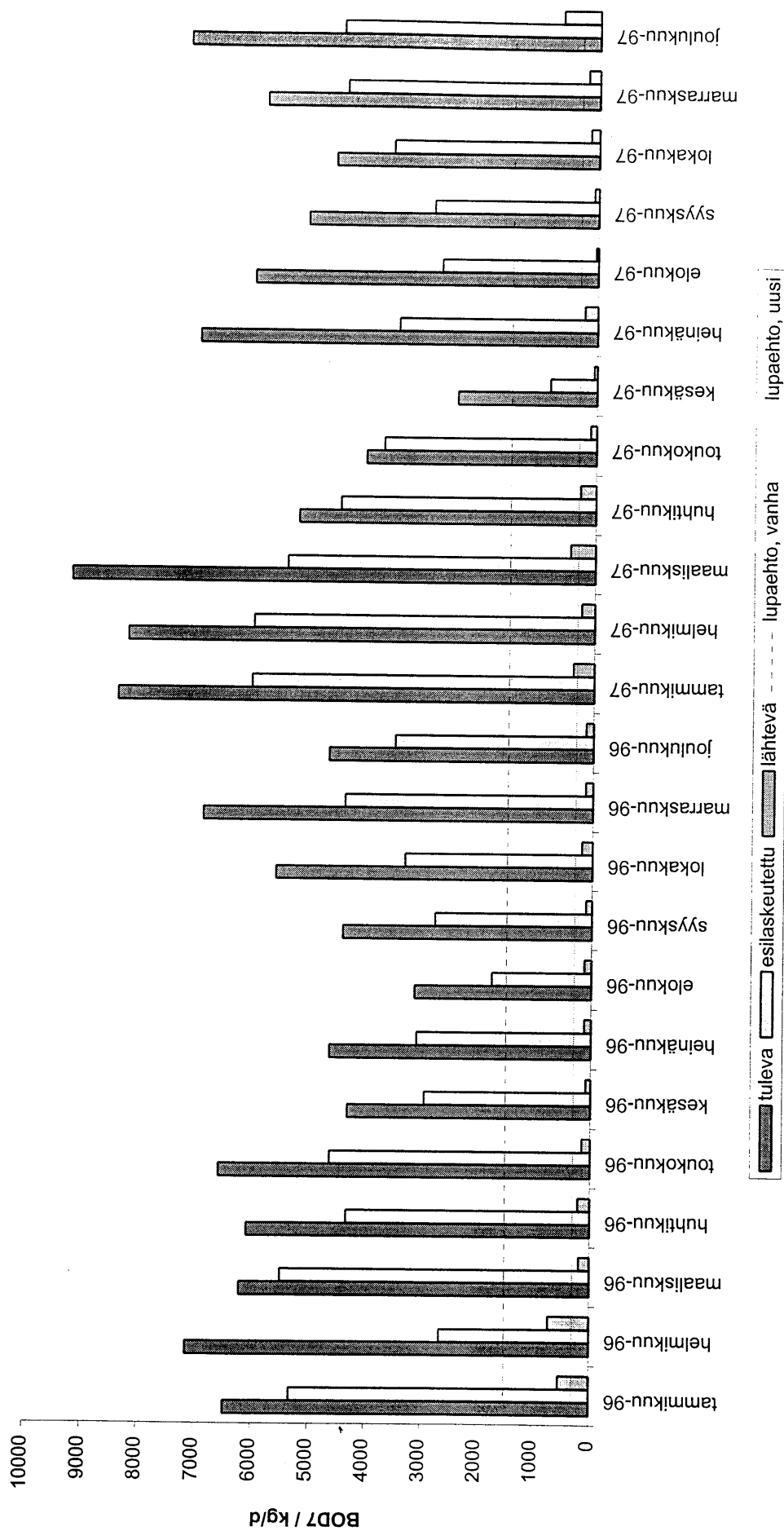
RAJAMÄKI, kokonaisfosfori



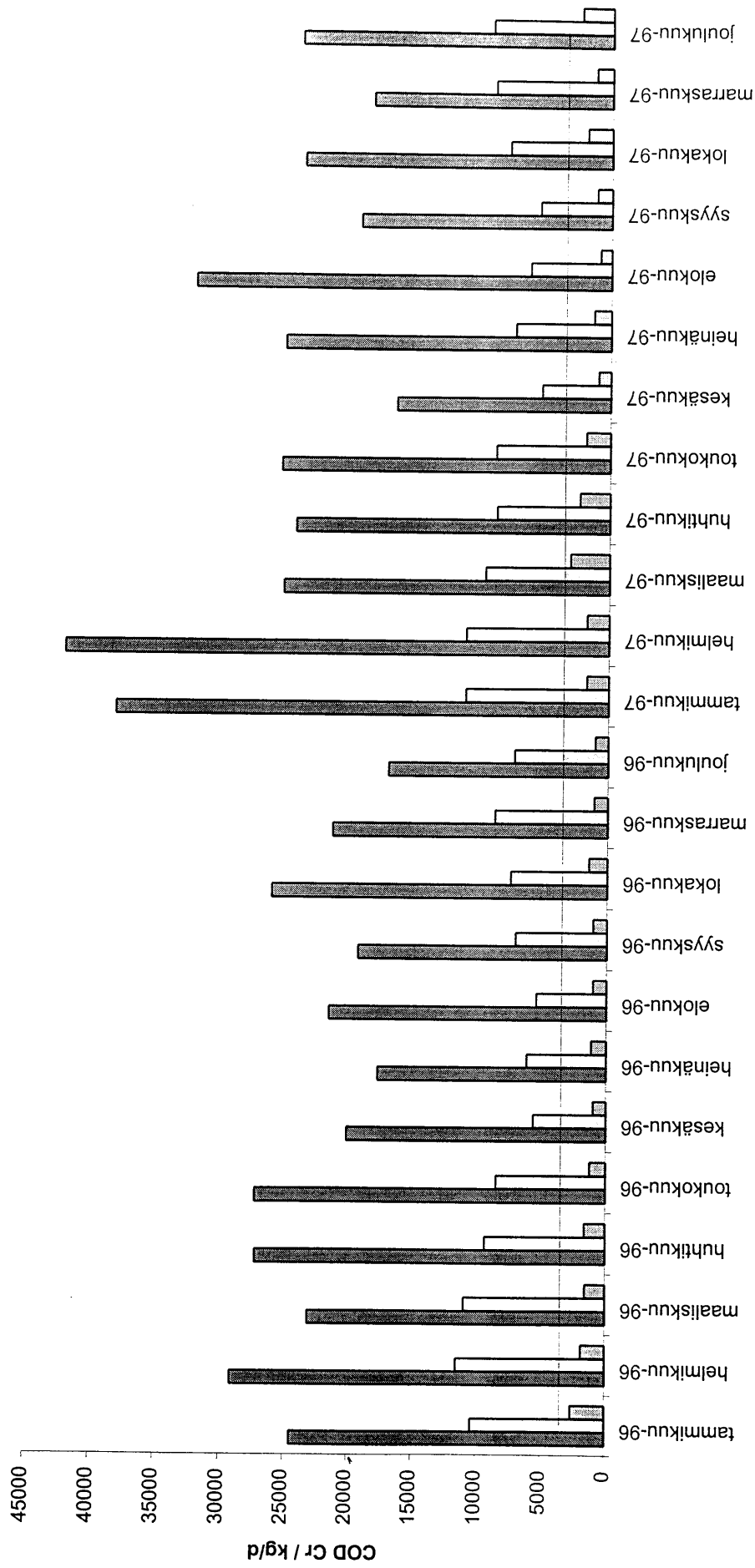
KYRO, kiintoaine



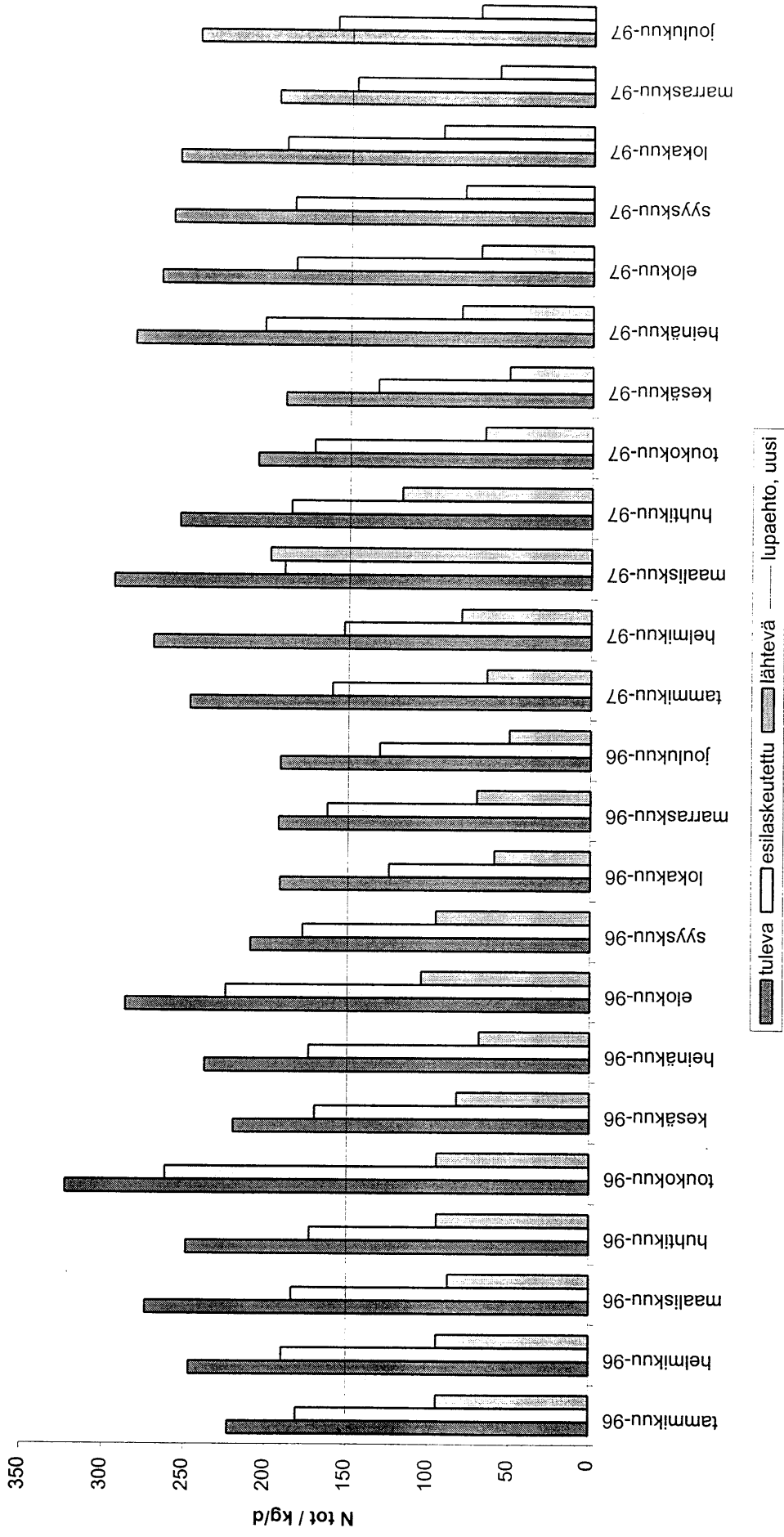
KYRO, BOD7



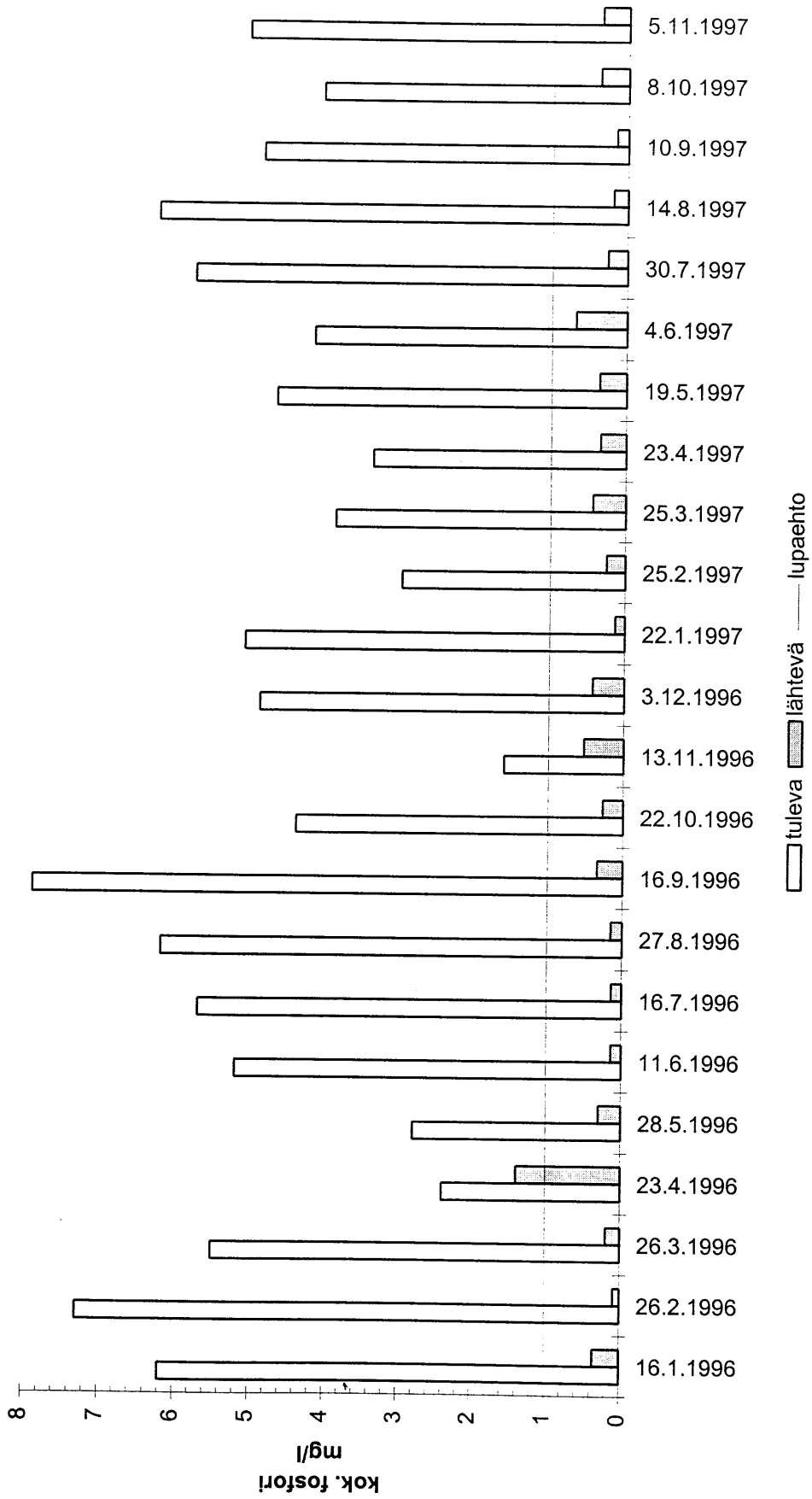
KYRO, COD Cr



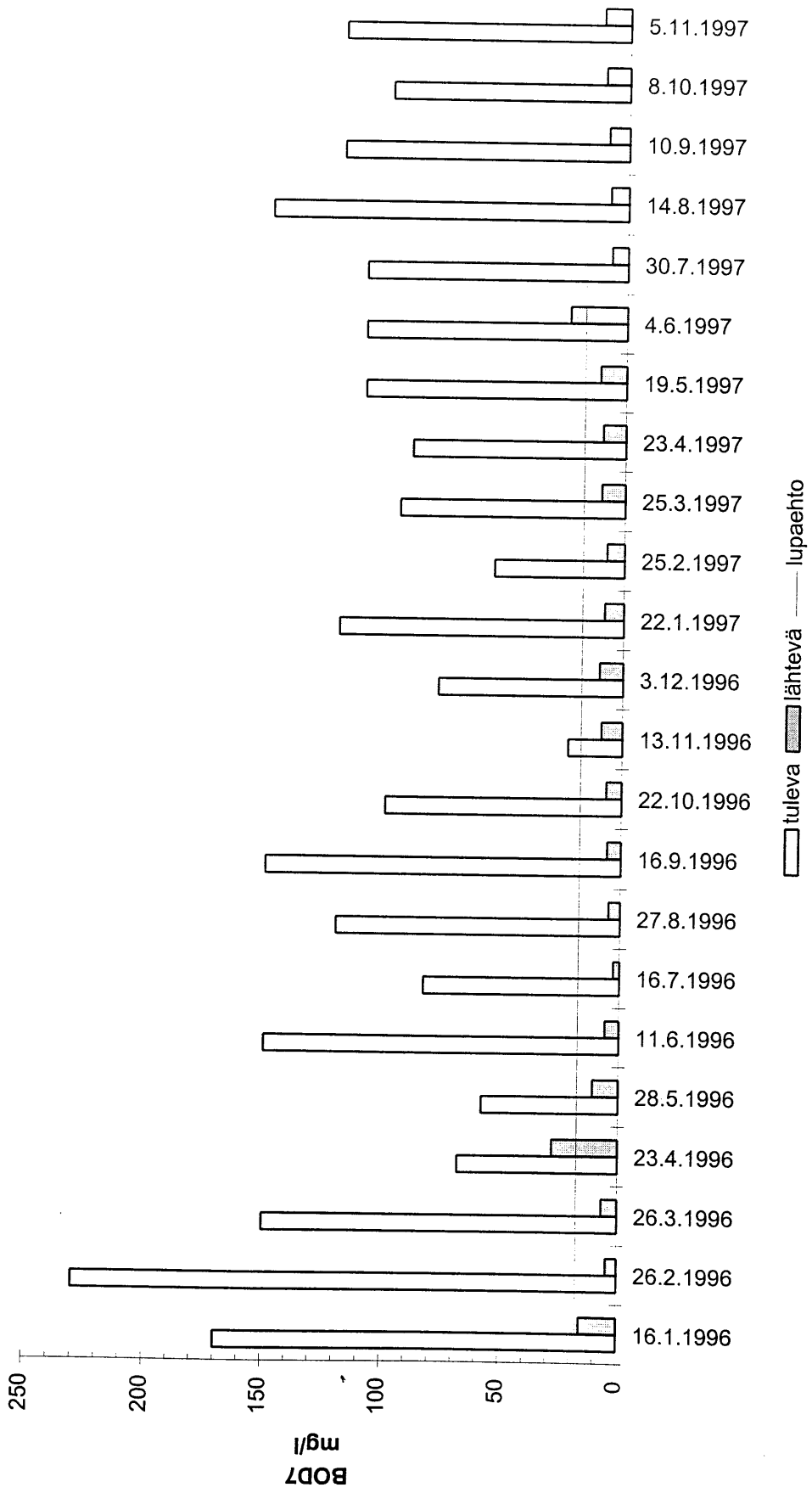
KYRO, kokonaistyyppi



KARJAA, kokonaisfosfori



KARJAA, BOD7



Kirjallisuusviitteet

- Blackall, L. L., Seviour, E. M., Bradford, D., Statton, H. M., Cunningham, M. A., Hugenholtz, P. ja Seviour, R. J. 1996. Towards understanding the taxonomy of some of the filamentous bacteria causing bulking and foaming in activated sludge plants. *Water Science Technology*. 34, (5-6), 137-144.
- Buck H., Buck s. *Microorganismen in der Abwasserreinigung*. Abwassertechnische Vereinigung. F. Hirthammer Munchen.
- Chiesa S.C., Irvine R.L.. 1985. growth and control of filamentous microbes in activated sludge: an integrated hypothesis. *water research* vol.19 no:4 pp.471-479.
- Chudoba J. 1985. Control of activated sludge filamentous bulking. *water research* vol. 19 no:8 pp. 1017-1022.
- Eikelboom, D. H. 1994. The *Microthrix parvicella* puzzle. *Water Science Technology*. 29, (7), 271-279.
- Eikelboom D.H.1975. Filamentous organisms observed in activated sludge. *water research* vol. 9 pp. 365-388.
- Eckenfelder W.W., Grau P. 1992 *Activated sludge process design and control: Theory and practice*. volume 1. Water quality management library. Technomic publishing co.inc.
- Foot R.J. 1992. The effects of process control parameters on the composition and stability of activated sludge. *J.IWEM*, 6 April.

Jenkins, D., Richard, M. G., Daigger, G. T. 1993. Manual of the causes and control of activated sludge bulking and foaming. Chelsea, Michigan. Lewis Publishers Inc.

Jenkins D. 1992. Towards a comprehensive model of activated sludge bulking and foaming. Water Science & Technology vol.25 no:6 pp.215-230.

Kappeler J., Gujer W. 1994. Influences of wastewater composition and operation conditions on activated sludge bulking and scum formation. Water science & Technology vol: 30 no:11 pp.181-189.

Kruit, J., Boley, F., Jacobs, L. J. A. M. ja Wouda, T. W. M. 1994. Prediction of the O₂ conditions in the selector. Water Science Technology. 29, (7), 229-237.

Murdack K., Kunst S. Biology of sewage treatment and water pollution control. Ellis Horwood series in water and wastewater technology.

Pujol, R. ja Canler, J. P. 1994. Contact zone: French practise with low F/M bulking control. Water Science Technology. 29, (7), 221-228.

Seviour, E. M., Williams, C., DeGrey, B., Soddell, J. A., Seviour, R. J. ja Lindrea, K. C. 1994. Studies on filamentous bacteria from Australian activated sludge plants. Water Research. 28, (11), 2335-2342.

Tuhkanen T., Ruuth-Rautalahti K. 1986. Aktiivilieteprosessin mikrobiologiasta ja sen sovellutuksista metsäteollisuuden jätevesien puhdistukseen. Vesihallituksen monistesarja nro:381.

Terashi, M. ja Hamada, S. 1990. Changes in microfauna at the time of occurrence and disappearance of filamentous bulking. Water Science Technology. 23, 907-916.

SANASTO

Oheiseen luetteloon on kerätty joitakin rihmaoppaassa esiintyviä vierasperäisiä sanoja tai lyhenteitä. Sanan merkitys on selitetty tämän oppaan tarkoituksiin. Samalla sanalla saattaa olla jossain muussa yhteydessä toisenlainen merkitys.

<i>Aerobinen</i>	systemi on hapekas
<i>Akkumuloida</i>	varastoida, kasata
<i>Anaerobinen</i>	systemissä ei ole vapaata eikä kemiallisesti sitoutunutta (esim. nitraattia) happea
<i>Anoksinen</i>	systemissä ei ole vapaata happea
<i>Bulking-ilmiö</i>	paisuntalieteilmiö
<i>Denitrifikaatio</i>	nitraattityypin biologinen muuntaminen typpikaasuksi
<i>Ekstrasellulaarinen</i>	solun ulkopuolinen
<i>Endogeeninen</i>	mikro-organismien oman soluaineksen hajoaminen (ilman ulkopuolista energiaa)
<i>F/M</i>	lyhenne: feed/mass ratio, lietekuorma
<i>Fermentoituminen</i>	pitkäketjuisten orgaanisten yhdisteiden (esim. sokerit) biologinen muuttuminen lyhytketjuisiksi (esim. etikkahappo) anaerobisissa olosuhteissa
<i>Gradientti</i>	huippuarvo, piikki (konsentraatiogradientti = pitoisuuspiikki)
<i>Gram/Neisser -/+</i>	mikrobi, joka ei värjäydy/värjäytyy gram/neisser-värjäyksessä. Gram/neisser värjäystä käytetään mikrobien tyypittämisessä
<i>Granula</i>	mikrobin vararavintovarasto
<i>Hydrofobinen</i>	vettä hylkivä
<i>Hydrolyysi</i>	aineen hajottaminen

<i>Indikoida</i>	ilmentää
<i>Inhibiitio</i>	estyminen (inhiboida = estää, häiritä)
<i>Kineettinen selektio</i>	reaktionopeuksiin perustuva valinta
<i>Konsentraatio</i>	pitoisuus (esim. mg/l, kg/m ³ , mmol/l)
<i>Lipidi</i>	rasva
<i>Metabolia</i>	aineenvaihdunta
<i>MLSS</i>	lyhenne: mixed liquid suspended solids, lietepitoisuus (g/l, kg/m ³)
<i>Morfologia</i>	rakenne
<i>Nitrifikaatio</i>	ammoniumtypen biologinen hapettaminen nitraatiksi
<i>PHB</i>	lyhenne: polyhydroksibutyraatti
<i>Selektio/selektori</i>	valinta/valitsin, altaan osa jossa valinta tapahtuu
<i>Spesifinen</i>	tyypillinen
<i>Substraatti</i>	ravinne
<i>SVI</i>	lyhenne: sludge volume index, lieteindeksi (lietteen laskeuma-arvon ja lietepitoisuuden välinen suhde)
<i>Sytosoliasma</i>	solulima

