



**Jätevedenpuhdistamonhoitajien
koulutuspäivät
1-2. 11. 2017**

Kuopio

**Jätevedenpuhdistuksen
Yksikköprosessit,
prosessien hallinta ja ohjaus**

Eero Meskus

**Jäteveden puhdistus on teollinen prosessi,
jossa huomioitava;**

- **Prosessin valinta**
- **Tuotannon suunnittelu**
- **Tuotannon ylläpito ja kontrolli**
- **Laadun varmistus**

**Samalla laitteistolla monia prosessivaihtoehtoja
&
Samaan prosessiin monia teknisiä ratkaisuja**

Kaikissa tapauksissa tavoitteena prosessoida tuote niin, että;

- **sivutuote (lähtevä vesi) ei aiheuta ympäristölle haittaa**
- **tuotteen (liete) loppusijoitus on hyväksyttävällä tavalla on mahdollista**

Prosessin valinta???

Tuotteen laatu ???

Sivutuotteen laatu ???

Lupaehdot tuotannonsuunnittelun perustana

Lupakehitys

VAATIMUKSET KIRISTYNEET JATKUVASTI

BHK7 15-20 mg/l > 10-15 mg/l

kok P 0,5-1,5 mg/l > 0,3-1 mg/l

typpiyhdisteet

NH₄-N 6-12 mg/l

kok. typpi 60-70% poistuma

Vaatimukset seuranneet tekniikan kehittymistä
enemmän kuin ympäristön reunaehdoja

- PROSESSIT:
- TÄMÄN PÄIVÄN LUPAEHDOT TOTEUTUVAT
VAIN BIOLOGIS/KEMIAALLISILLA/FYSIKAALISILLA
PROSESSEILLA

Fosforin poisto jätevedestä;
lupaehtojen kehitys

1 – 3 mgP/l → 0,5 – 1 mgP/l → 0,3 – 0,5 mgP/l

Uudet luvat edellyttävät pääsääntöisesti
jäännöspitoisuutta

$\text{PO}_4 - \text{P} \leq 0,5 \text{ mgP/l}$

AKTIIVILIETEPROSESSI = ORGAANISEN AINEEN JA TYPPIYHDISTEIDEN PROSESSOINTI

- **PIDETÄÄN YLLÄ LIETEKANTAA, JOKA TOTEUTTAA
TAVOITTEEN**

KEMIALLINEN PROSESSI = LIUKOISEN FOSFORIN POISTO

- **TUOTETAAN NIUKKALIUKOINEN JA HELPOSTI
EROTETTAVA FOSFORIA SISÄLTÄVÄ SAOSTUMA**

- Suomalaisten lupaehtojen takia laitoksessa oltava ainakin kaksi prosessia;
- Biologinen orgaanisen aineen ja enenvässä määrin typpiyhdisteiden poisto
- Kemiallinen fosforin saostus (joka varmistettava tehokkaalla kiintoaineen talteenotolla)

Prosessihoidon ydin

Lietteiden hallinta

Kaiken keskiössä liete

Biologia – lietekiertojen hallinta
prosessiympäristössä

Kemia- erotettavan, fosforipitoisen lietteen
tuottaminen

Toiminnan lopputulema – lietteen loppusijoitus on
ympäristölainsäädännön vuoksi haastavampaa kuin
puhdistetun jäteveden johtaminen vesistöön

Atiivilieteprosessi =

**Biomassan eli ”aktiivilietteen” ruokkimista
jäteveden sisältämällä energialla = orgaaninen
aine +/- typpiyhdisteillä**

” AKTIIVILIETTEEN LAIDUNTAMINEN”

” BIOMASSA FARMAUSTA”

- TUOTANTOSTRATEGIAN VALINTA**

LIETTEEN KOOSTUMUS/LAJISTO; Vaikuttaa ennen kaikkea siihen, miten ja mitä substraatteja käytetään.

LIETTEEN FYSIKAALISET OMINAISUUDET; Määrää ennen kaikkea prosessin ylläpitoon liittyviä asioita (mahdolliset lietepitoisuudet, lietteen "käyttäytyminen", kuivattavuus etc.)

**YLEISSÄÄNTÖJÄ: lietteen ikä vaikuttaa laskeutuvuuteen
hyvin nuori liete huonosti laskeutuvaa
ei muodosta bioflockia
nuorehko liete flokkaantuu hyvin ja tiheäksi
keski-ikäinen liete ongelmallisoin, koska rihmanmuodostusta
vanha liete multamainen ja helposti laskeutuva, ravinneköyhä**

Biologisen prosessin ylläpito halutun lopputuloksen saamiseksi

1: Biomassan määrä systeemissä

2: Biomassan tuotto

3: Biomassan määrän säätö - kierrätysuhde

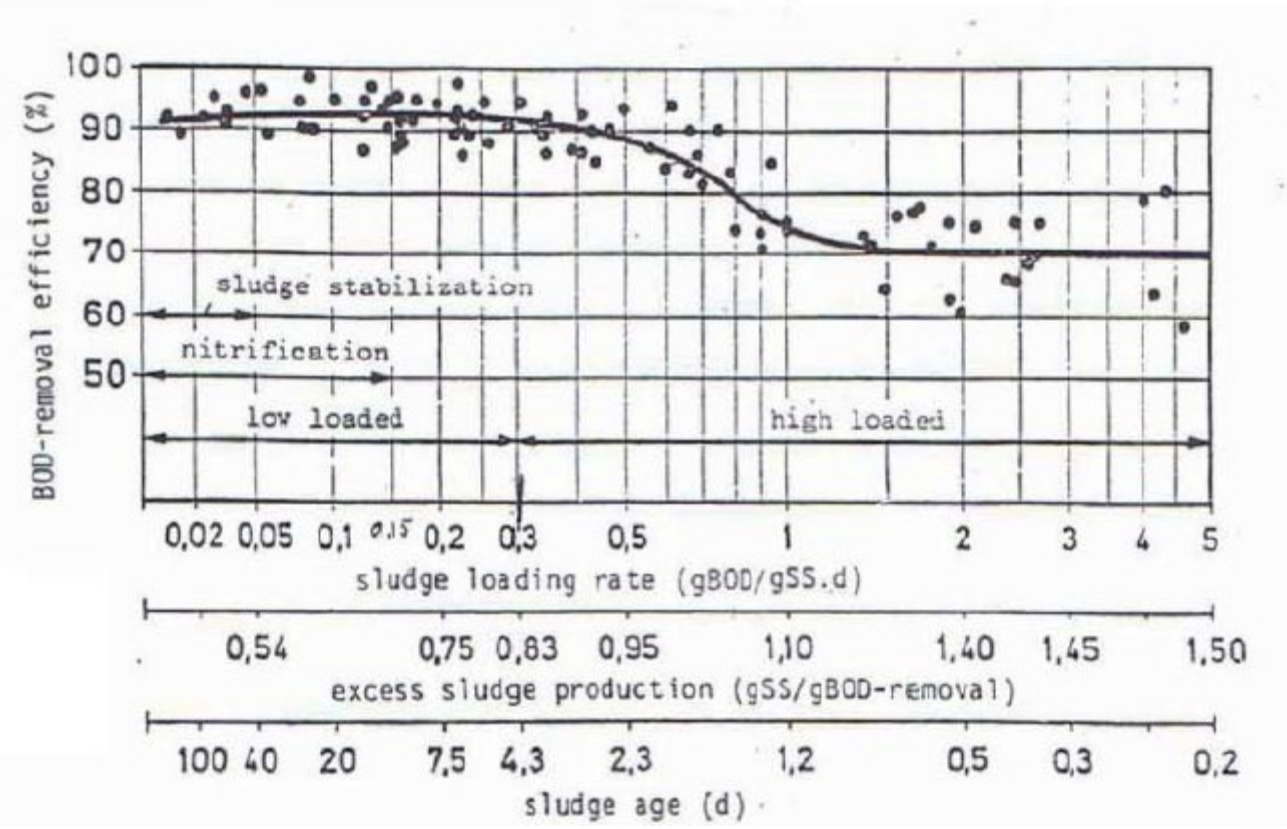
4: Ilmastuksen ohjaus

5: Ravinnesuhteet

” AKTIIVILIETTEEN LAIDUNTAMINEN”

RUOKINTAPOLITIikka

PALJON VAI VÄHÄN RUOKAA AKTIIVILIETTEELLE



(1) Biologisen prosessin ohjausperusteet:

kuormitussuhde $O/L = \frac{kgBHK / d}{kgAL / m^3 * d}$

- korkeakuormitteinen $O/L > 0,3$
- normaalikuormitteinen $O/L 0,1-0,3$
(osittainen nitrifikaatio)
- matalakuormitteinen $O/L 0,05-0,1$
(täydellinen nitrifikaatio)

(2) Biologisen prosessin ohjausperusteet:

Liete ikä = SRT (Sludge Retention Time) = θ

$$\text{liete-ikä} = \frac{\text{ilmastusaltaan lietemäärä kg}}{\text{poistettu ylijäämäliete kg/d} + \text{lähtevä kiintoaine kg/d}}$$

Kuormitussuhteella ja lieteen iällä on yksiselitteinen riippuvuussuhde

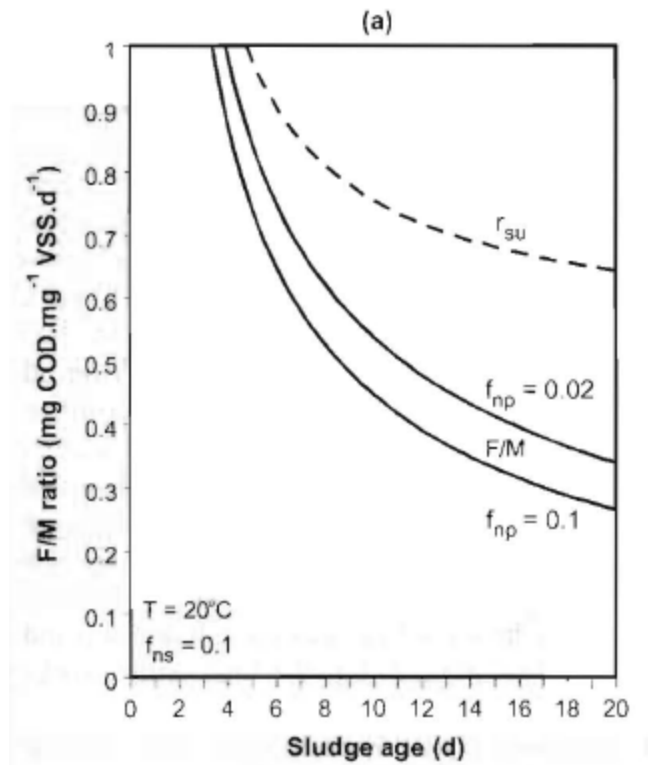
F/M SUHDE;

0,02 – 0,3kgBHK/kg MLSS/d

LIETE IKÄ (SRT)

5 – 30d

F/M-suhde ja liete ikä (SRT)



KORKEA F/M SUHDE; LYHYT LIETEIKÄ >

KAIKKI ORGAANINEN RUOKA KULUTETAAN

**PROSESSI TUOTTAÄ RUNSAASTI RAVINNERIKASTA (N &P)
YLIJÄÄMÄLIETETTÄ**

PROSESSI EI HAPETA AMMONIAKKIA (EI NITRIFIKAATIOTA)

MATALA F/M SUHDE; PITKÄ LIETEIKÄ >

KAIKKI ORGAANINEN RUOKA KULUTETAAN

**PROSESSI TUOTTAÄ VÄHÄN ORGAANISTA
YLIJÄÄMÄLIETETTÄ**

**YLIJÄÄMÄLIETTEEN RAVINNEPITOISUUS (N &P) ALHAINEN
PROSESSI HAPETTAÄ AMMONIAKIN (NITRIFIKAATIO)
MAHDOLLISTA POISTAA TYPPEÄ (DENITRIFIKAATIO)**

TUOTANTOLINJAN VALINTA

BHK = 8000kg/d

SRT	LIETTEEN TUOTTO	LIETTEEN TYPPI	LIETTEEN FOSFORI
SRT 10d	6600 kg/d	528 kgN/d	132 kgP/d
SRT 20 d	4000 kg/d	320 kgN/d	80 kgP/d
SRT 30 d	3000 kg/d	240 kgN/d	60 kgP/d

PROSESSIN KONTROLLI

Valitussa prosessitilassa (F/M, SRT)

LIETETASE

VALITUN "TUOTANTOLINJAN" YLLÄPITO

**PIDETÄÄN SELLAISEN AKTIIVILIETEMÄÄRÄ
PROSESSISSA ETTÄ VALITTU F/M TAI LIETEIKÄ
TOTEUTUU**

Massa = (V m³ x MLSS/VSS/SS kg/m³)

**POISTETAAN PROSESSISTA SAMA MÄÄRÄ LIETETTÄ
KUIN SIINÄ ON TUOTETTU**

"SADON KORJUU"

OPERATTORIN HAASTEET

Ohjaustietojen

- saatavuus**
- reaaliaikaisuus**
- mittatarkkuus**
- edustavuus**

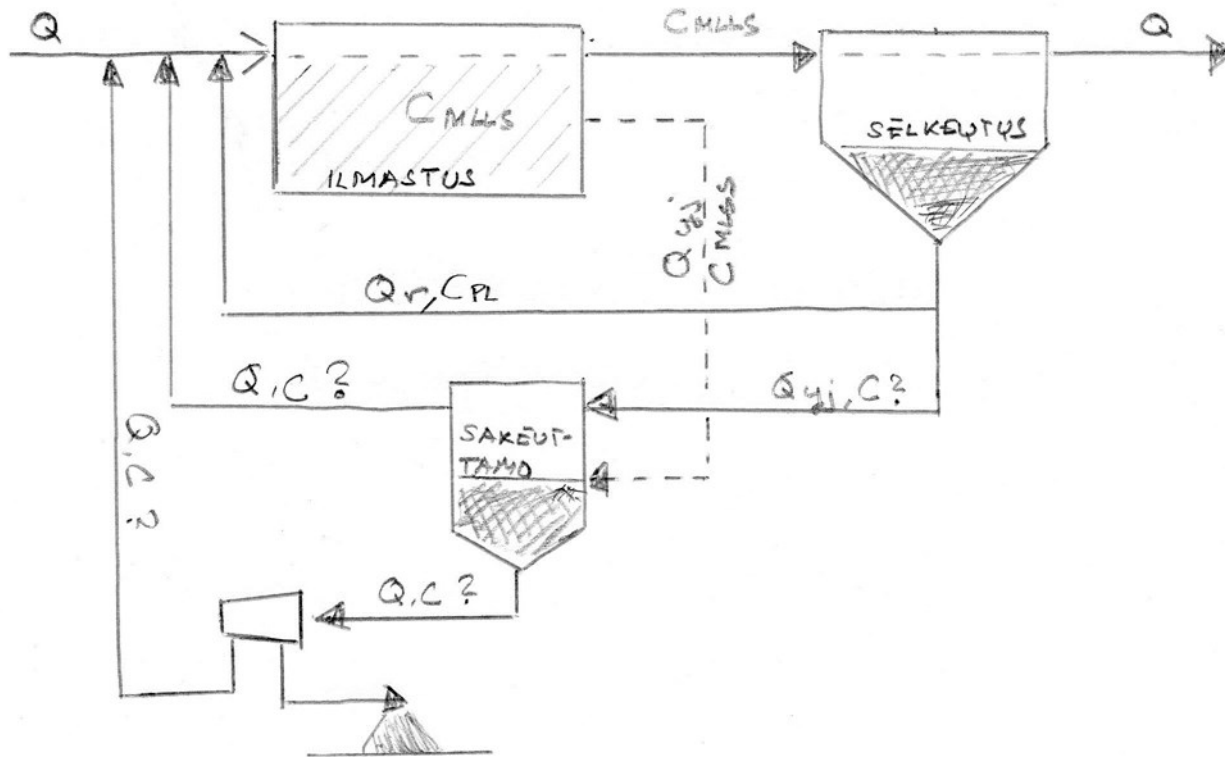
Palautuslietekierto

Q_r/Q

haluttu MLSSkg/m³ = $(Q_r \times SS_{rs}) / (Q_r + Q)$

Ylijäämälietteen poisto

$Q_{yj} \times SS_{yj}$ = lietteen tuotto (0,5 – 0,8 x
kgBHK/d)



Lietetaseen hallinta

Tekniset seikat

Pyöreät selkeyttimet: keskiövetoinen lietekaavin > tasainen lietteen syöttö

Suorakaiteen muotoiset selkeyttimet > jaksottainen lietteen syöttö lietepoteroihin

Poiston ohjaus (ja suunnittelu)

Kellojaksotus

virtaamaohjattu jaksotus

lietemääräohjattu poisto

Lietetaseen hallinta

Poiston ohjaus

Lietetase ”tuoton ja poiston oltava tasapainossa”

Epätasapaino ; kertyvät lietteet , hullun kierto / kaasun muodostus / takaisinliukeneminen

Ylijäämäliete

ylijäämälietteen epätasapaino > prosessi epätasapainossa

Ylijäämälietteen poisto ilmastuksesta = ”lieteikä” laskennallisesti yksiselitteisesti määritetty

Ylijäämälietteen erotus

selkeyttimen ja sakeuttimen toiminta; lietepintakuorma, hydraulinen pintakuorma ja lietteen poisto

Velvoitetarkkailutuloste

	linja 1	linja 2	linja 3
KA g/m³	2,8	5,3	2,3
O₂ mg/l	5,1	2,7	4,4
KA pal kg/m³	8,7	12	4,9
NS m	80	60	60
ilmoitettu pal. suhde 184%	50%	80%	90%

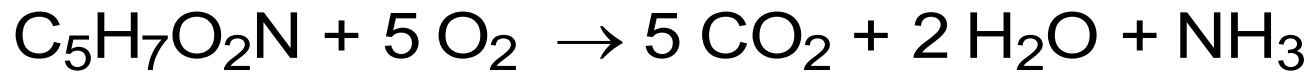
Mittatarkkuus ja näytteen edustavuus

Ylijäämälietteen pitoisuuden vaihtelu 25 – 40mg/l



Orgaaninen aine

Orgaaninen aine = VSS = COD_{solu}



113 g VSS \rightarrow 32 \times 5 g O \rightarrow 160 g COD_{solu}

i.e., 1 g VSS \rightarrow 160/113 = 1.42 g COD_{solu}

1 g COD_{solu} = 0,7gVSS

Lietteen tuotto

Lietteen nettotuotto

$$\text{COD} = 300 \text{g/m}^3$$

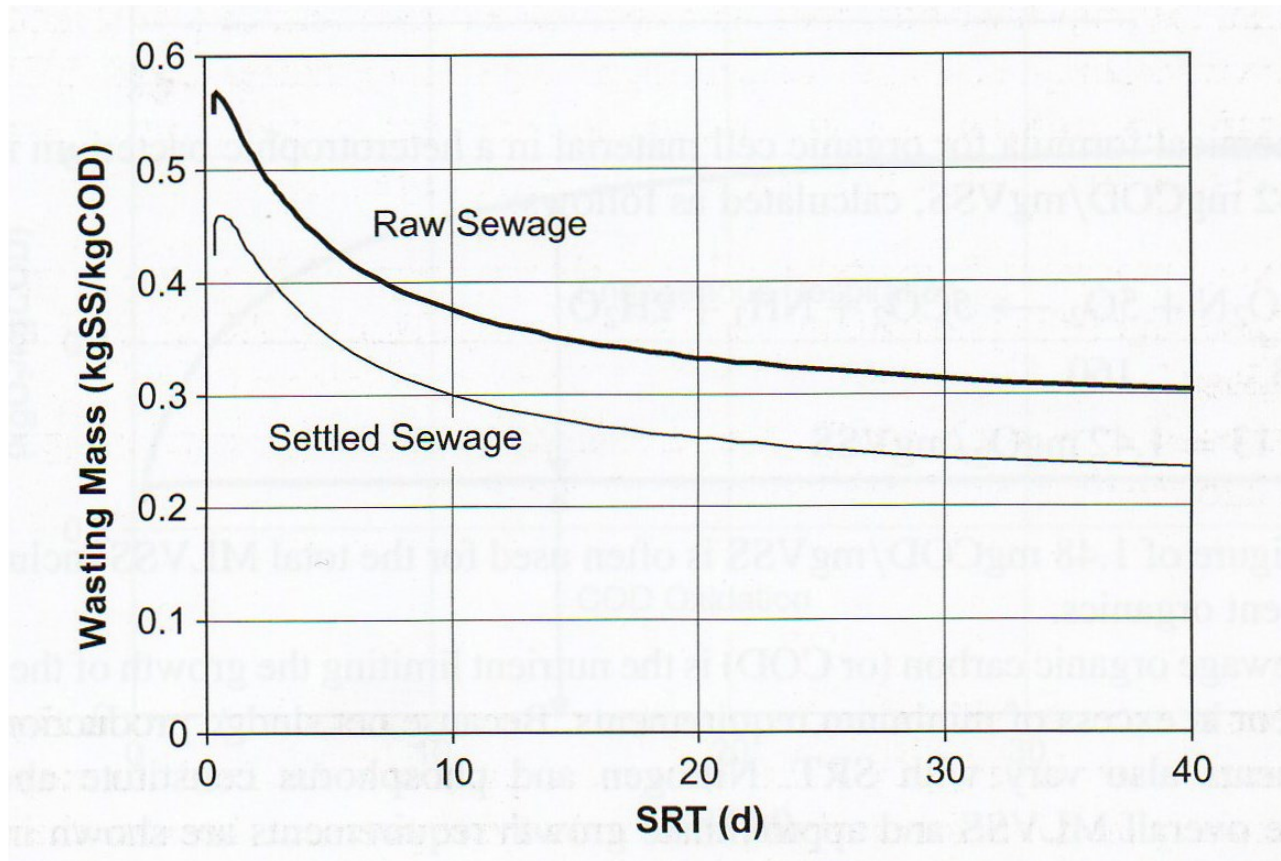
$$\theta = 5 \text{d}$$

$$\text{lietteen tuotto} = 0,67 \times 300 / (1 + 5 \times 0,15) = 115 \text{g COD}_{\text{solu}}$$

$$\theta = 20 \text{d}$$

$$\text{lietteen tuotto} = 0,67 \times 300 / (1 + 20 \times 0,15) = 50 \text{g COD}_{\text{solu}}$$

SRT & Aktiivilietteen tuotto



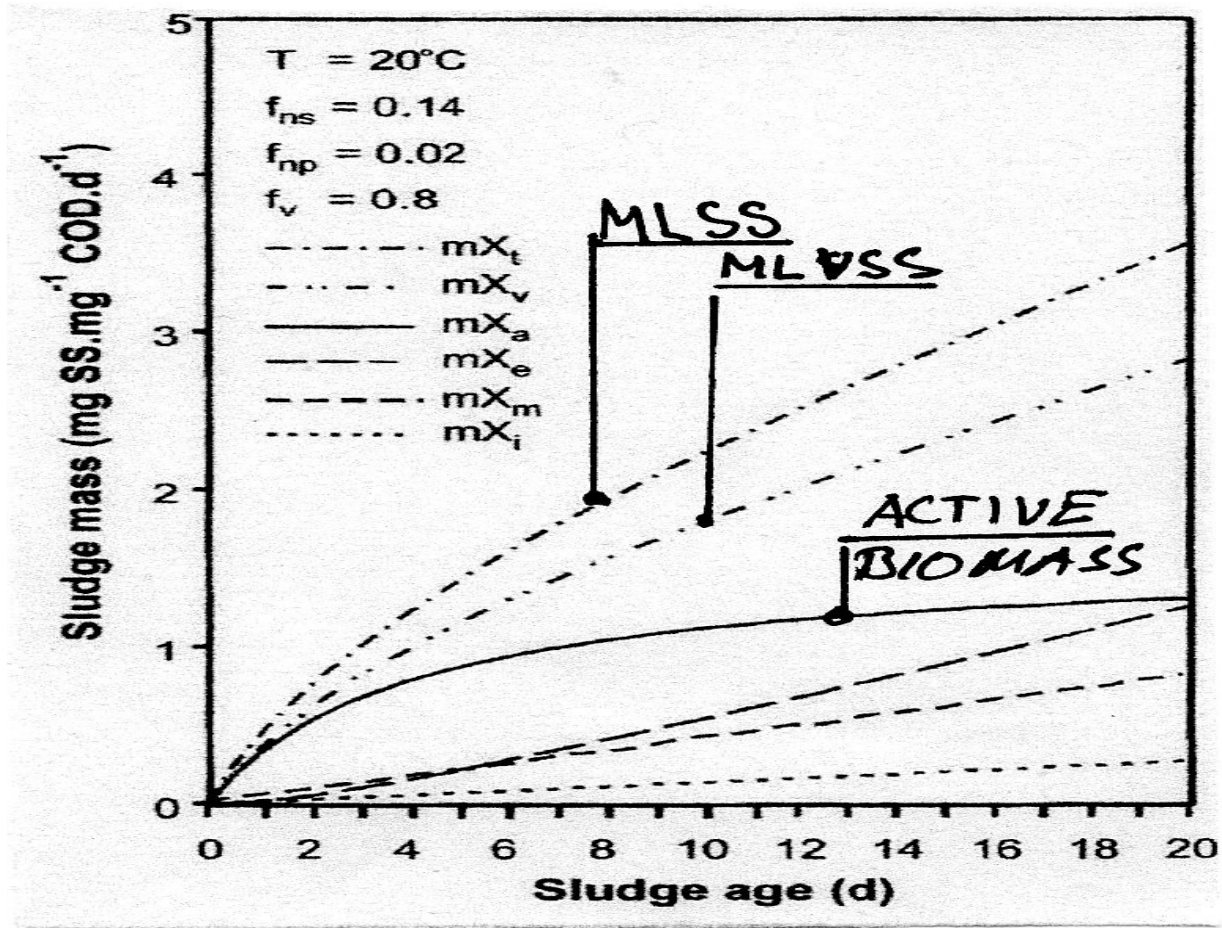
”AKTIIVILIETE”

AKTIIVILIETTEEN JAKEET

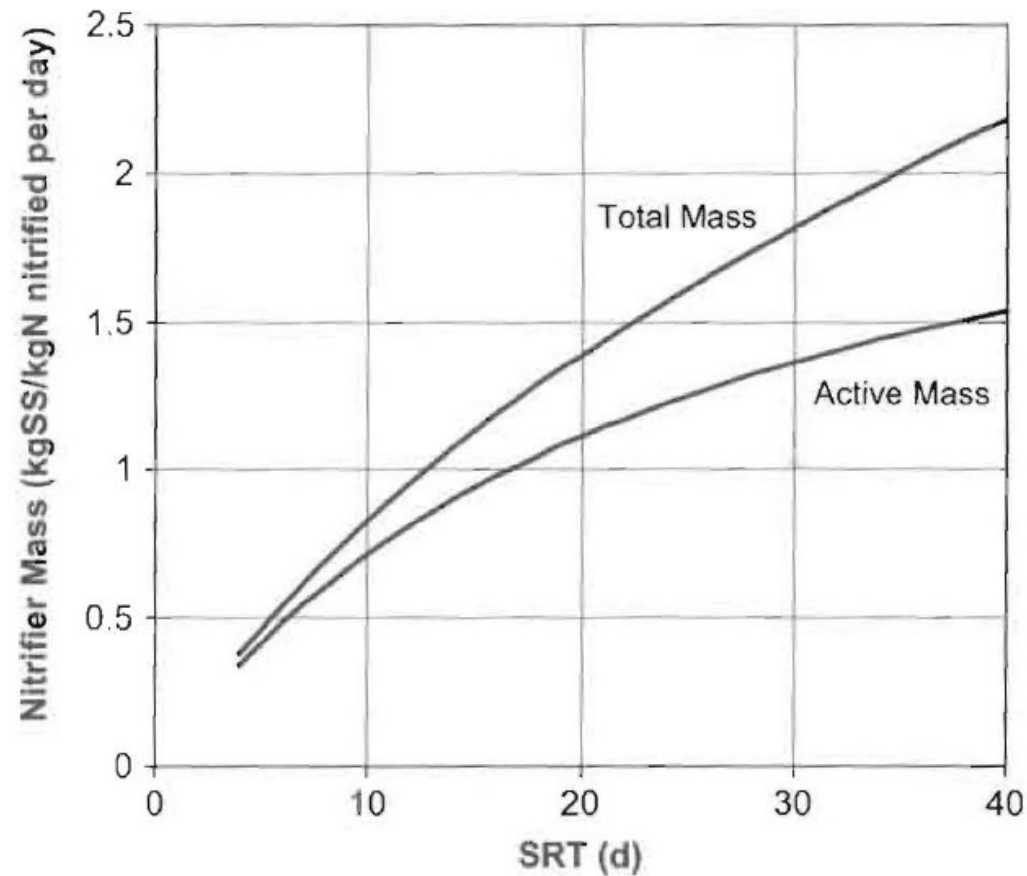
MLSS; MVLSS; biomassaCOD

- Biologisesti aktiivinen jae
- Biomassan hajoamisjäte
- Tulevan veden biologisesti hajoamaton orgaaninen jae
- Biomassaan ”liimaantunut” orgaaninen aine
- Epäorgaaninen aine (tuhka)

Biomassan jakeet

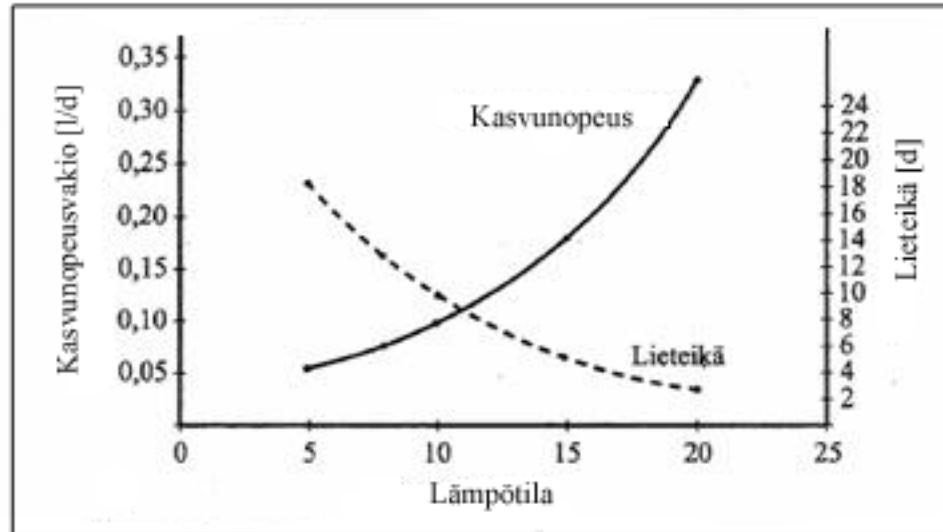


RST/Aktiiviset nitrifikaatiobakteerit

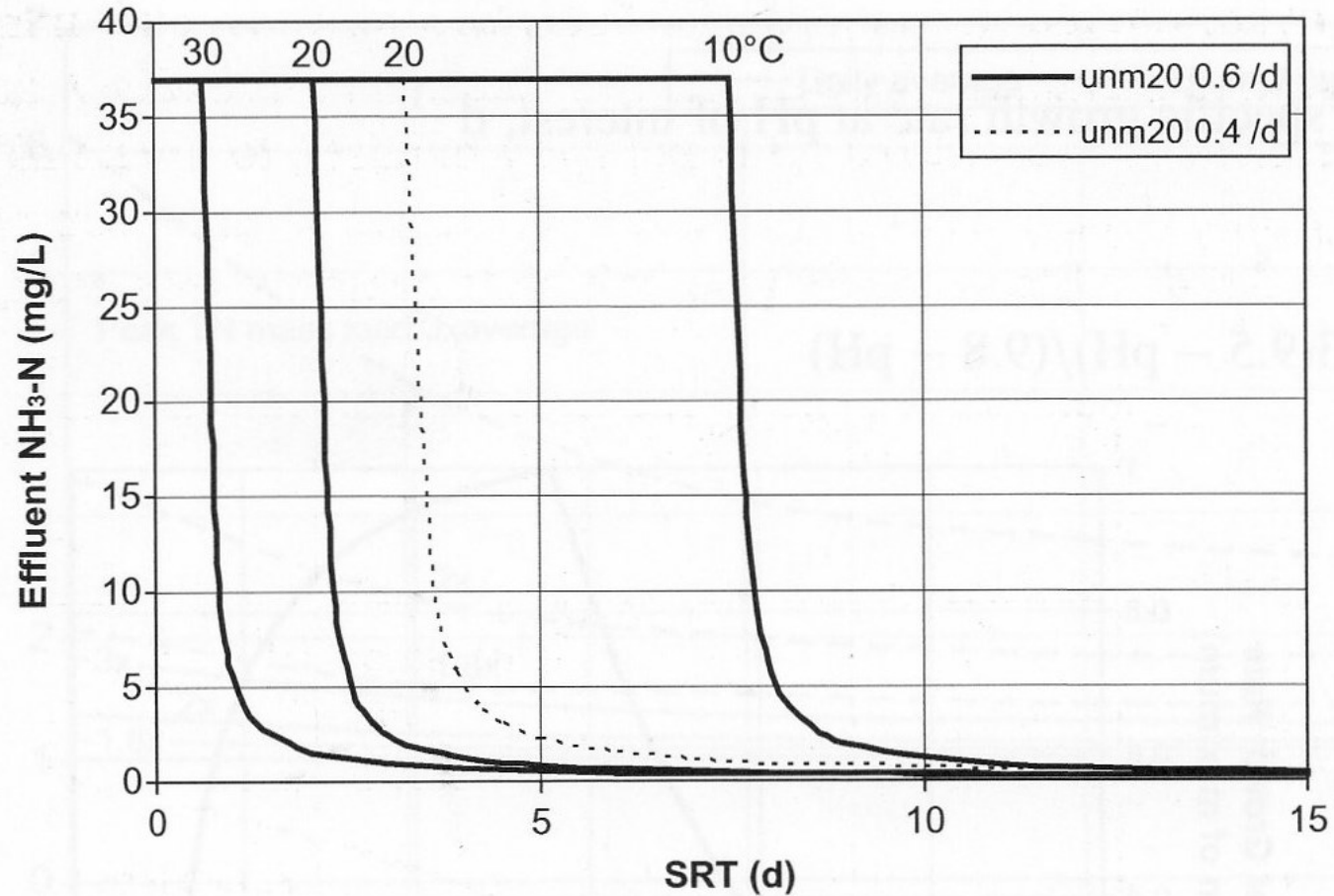


Effect of SRT on the nitrifier mass in a fully aerobic process at 20°C.

Nitrifikaationopeus/lämpötila



Kriittinen lieteikä ja lämpötila (CRITICAL SRT & T°C)



Denitrifikaatio

Heterotofiset bakteerit voivat käyttää orgaanisen aineen hapettamiseen (COD/BOD poisto) joko;

- Happea (O_2) hapellisessa ympäristössä

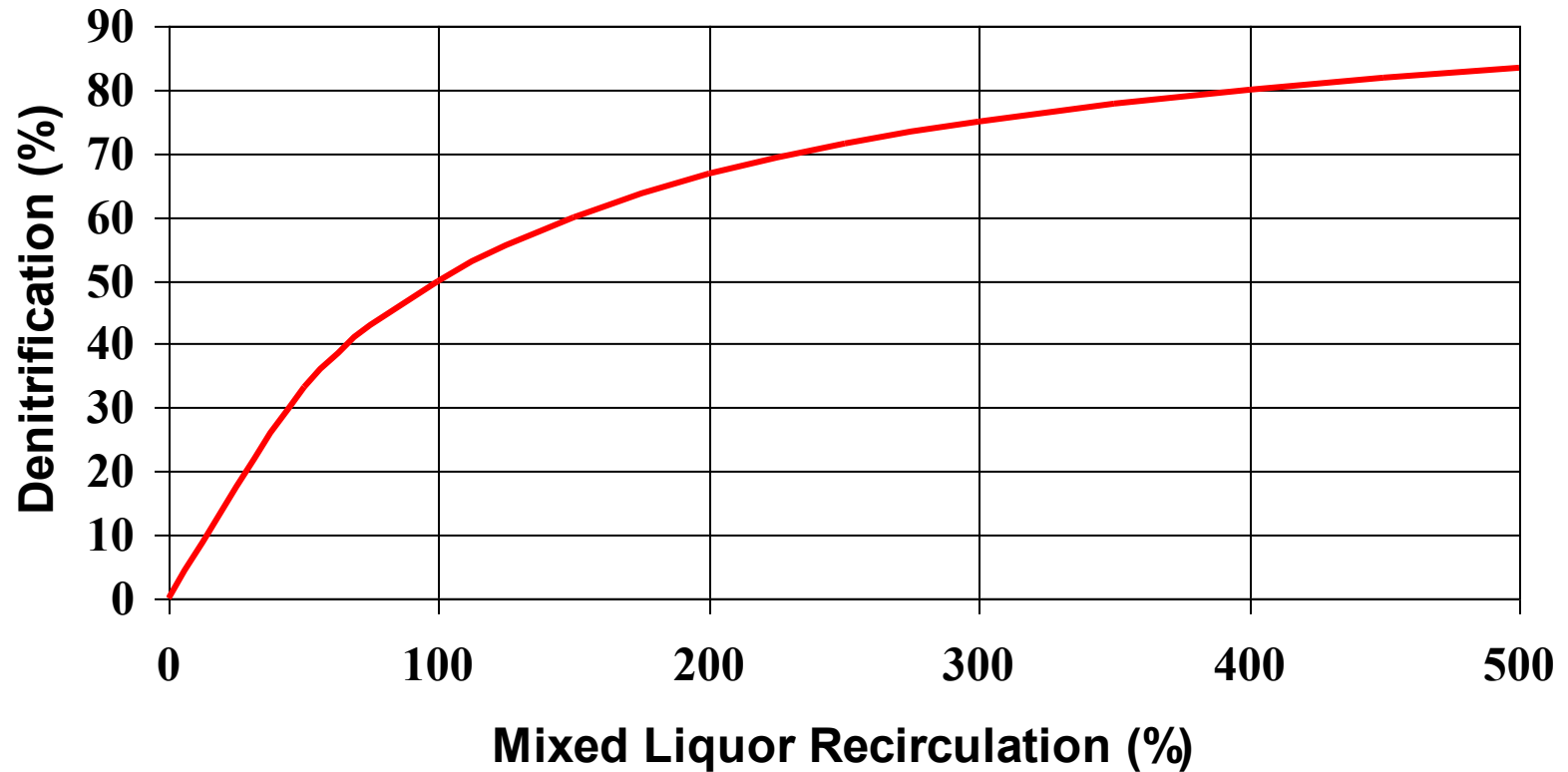
tai

- Nitraattityyppiä (NO_3-N) hapettomassa ympäristössä

Molemmissa tilanteissa orgaanisen aineen hapetus samalla nopeudella ja lietteentuotolla

Jos lupaehto edellyttää nitrifikaatioita, ei ole mitään syytä, miksi laitoksessa ei olisi myös denitrifikaatiota

Denitrifikaation teho/kokonaiskierrätys



Denitrifikaation teho

- $RAS + NR = Q (N/N_e - 1)$
- $RAS + NR = Q_{tr}$
- $R = Q_{tr}/Q$
- $N_e = N / (RAS + NR + 1) > N_e = N / (r + 1)$

- N_e haluttu jäännöspitoisuus
- RAS = return sludge flow = palautusliete m^3/d
- NR = nitrate recirculation flow = nitraattiveden kierrätys m^3/d

Kriittinen lieteikä (critical SRT)

Teoria helppoa, käytäntö vaikeaa

Lietetaseen suhteen puhdistamo on useimmin
musta laatikko

(Akttiivisen)lieteen määrä ???

- Ilmastusaltaassa
- Selkeyttimessä
- Sakeuttimessa

Orgaanisen l. eloperäisen aineen keskimääräinen kemiallinen koostumus



alkuainesuhteena C:N:P = 106:16:1

painosuhteena C:N:P = 41:7:1

Kasvuun tarvitaan hiiltä, typpeä ja fosforia näissä määräsuhhteissa, lisäksi tarvitaan vähäisiä määriä hivenaineita ja orgaanisia kasvuaineita.

Kasvua rajoittaa aina jokin minimitekijä

N ja P aktiivilietessä

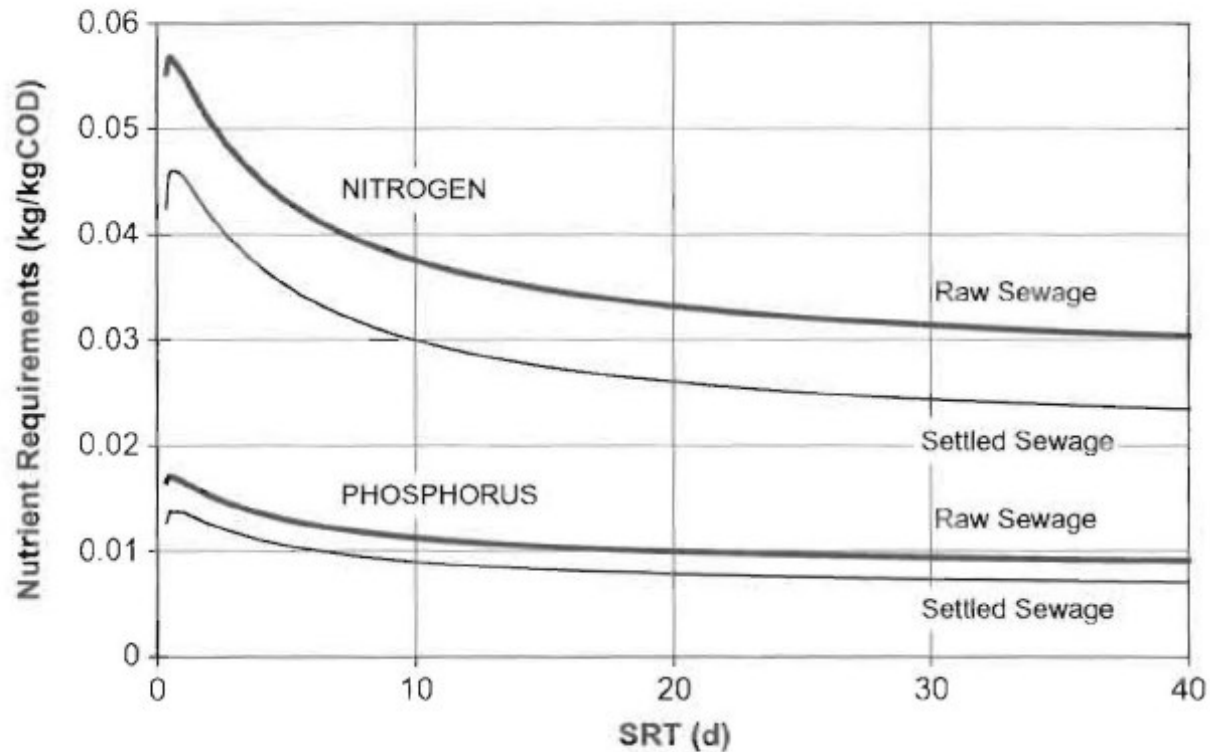


Figure 3.10 Approximate nitrogen and phosphorus requirements at 20°C. The differing requirements for raw and settled sewage reflect the different percentages of inert feed VSS in the sludge mass.

N&P

- Biomassan hajotessa (pitkä lieteikä) typpeä vapautuu 0.087 mg NH₄-N / 1 mg lieteCOD

ja

- **0.017** mg P/ 1 mg lieteCOD

KEMIALLINEN SAOSTUS

Nykyiset lupaehdot edellyttävät aina jonkinasteista fosforin kemiallista saostusta

Rinnakkaissaostus prosessina

Rinnakkaissaostuksen prosessitekniset haasteet

- Samanaikainen biokemiallinen ja kemiallinen prosessi samassa reaktorissa
- Biologisen prosessin ravinnevaatimukset
- Prosessin ohjaus jäännösfosforin perusteella
- Kahden prosessin tasapainon ylläpito?

Rinnakkaissaostus ja ravinnetase

PROSESSITEKNINEN RISKI

- BIOLOGINEN PROSESSI ON FOSFORI RAJOITTEINEN >>
RIHMAINEN LIETE
- PROSESSI ON EPÄMÄÄRÄISESSÄ TILASSA

Kemiallinen liete;

- Rauta- ja alumiinikemikaalien metallit sitoutuvat (> 99 %)lietteeseen
- Saostuksessa muodostuu hydroksidisakkaa (Al(OH)_3 tai Fe(OH)_3) ja vähäinen määrä ferri- tai alumiinifosfaattia
- Liukoinen jäännöspitoisuus yleensä > 1mg (Fe tai Al)/l

Rinnakkaissaostus

Lietteen koostumus

	% Kuiva- aineesta	kg/m ³ lietettä		g/m ³ lietettä	mg/kg ka	Raja-arvo mg/kg ka
Fosfori	2,1	3,0	Elohopea	0,04	0,28	1,0
Typpi	3,7	5,3	Kadmium	0,06	0,40	1,5
Kalsium	2,3	3,3	Kromi	1,73	12	300
Rauta	18	25,9	Kupari	24,48	170	600 [#]
Alumiini		0,0	Nikkeli	3,89	27	100
			Lyijy	2,30	16	100
			Sinkki	48,96	340	1500 [#]
			Arseeni	0,72	5,0	25

18% Fe > 36% ferrohydroksidia > lietteestä ”
biologisesti aktiivista” ~ 30%

Suunniteltu toimintapiste $F/M = 0,1 \text{ kgBOD} / 1\text{kgAL/d}$

Puolet lietteestä kemiallista lietettä; todellinen toimintapiste

$F/M = 0,1 \text{ kgBOD} / 0,3 \text{ kgAL/d} = 0,3\text{kgBOD} / 1\text{kgAL/d}$

Fosforitase rinnakkaissaostuksessa

Jäteveden laatu; 150gBHK/m³ ja 5 gPO₄-P/m³

Teoreettinen lietteentuotto 110gKA/m³ jossa fosforia n. 3 gP/m³

Ferroannostus 150g/m³ joka saostaa kemiallisesti fosforia n. 9gP/m³

Prosessissa ei ole biologisesti käyttökelpoista fosforia > fosforirajoitteinen biologinen prosessi

Operaattorin haasteet

Rinnakkaissaostusprosessin ohjaus

- Biologisen prosessin kannalta merkitystä; minne saostuskemikaalin syöttö ja kuinka paljon?

N puutos



P puutos

