


Prosessioptimointi jätevedenpuhdistamoilla

Henri Koponen

DI, vesi- ja jätehuoltotekniikka



Prosessioptimointi?

- Olemassa olevien toimintamallien kriittistä tarkastelua ja kehittämistä puhdistamon toimintavarmuuden ja kokonaistalouden parantamiseksi

1. Prosessin tilan tarkempaa seuranta

2. Syy-seuraus suhteiden seuranta ja ymmärtäminen, ajotavan tarkentaminen.

3. Muutoksia prosesseihin / toimilaitteisiin. Laitoksen instrumentointia / automatisointia.

Rajaukset

1. Yhdyskuntajätevedenpuhdistamot
2. Yleisimmät prosessityypit (aktiiviliete/bioroottorilaitokset)
3. Yleisiä lainalaisuuksia ja syy-seuraus suhteita

Ei mikrobiologiaa / muutenkin yksinkertaistettu lähestymistapa.

Puhdistamon kapasiteetti / suorituskyky suhteessa olosuhteisiin eli ns. pelivara

+

Reilusti mitoitettu /
hyvin varusteltu

**Puhdistamon
mitoitus / varustelu**

-
Alimitoitettu /
muutoin riittämätön

Lupaehdot saavutetaan
jatkuvasti

**Lupaehtojen
saavuttaminen**

Lupaehtoja ei
saavuteta

Osaava /
kehityshaluinen

**Henkilöstön osaaminen
/ motivaatio**

Osaamisessa puutteita/
”näin on aina tehty” -
mentaliteetti

”Tyhjäkäynti”

Henkilöstöressurit

”Tulipalojen
sammuttelua”

Suuri

**Puhdistamon
kokoluokka**

Pieni

Väljä

Nykyinen ajotapa

Tarkka

Tavoitteet?



Tavoitteet – optimaalinen tilanne

Tavoitteena puhdistamo, joka:

- Saavuttaa lupaehdot jatkuvasti selvällä marginaalilla
- Toimii vakaasti
 - Kestää poikkeustilanteita (laitehäiriöt, sääolosuhteet, vaihtelu)
 - (Vaatii vähemmän henkilöresursseja / on osittain etäkäytettävissä?)
- Käyttää vähän tai ei lainkaan saostus/alkalointikemikaaleja
- Kuluttaa mahdollisimman vähän sähkö- ja lämpöenergiaa
 - Tuottaa tarvitsemansa energian itse?
- Tuottaa hyvälaatuista lietettä jatkokäytettäväksi
 - Sopiva kosteus / pienet metallipitoisuudet / ravinteet kiertoon?

1. Prosessin tilan parempaa seuranta

2. Syy-seuraus suhteiden ymmärtäminen ja seuranta, ajotavan tarkentaminen

3. Muutoksia prosesseihin / toimilaitteisiin. Laitoksen instrumentointia / automatisointia

Tuota oikeaa ja yhtenäistä tietoa prosessin tilasta ja resurssien kulutuksesta

Ilman dataa olet vain joku, jolla on mielipide

- W. Edwards Deming (tilastotieteilijä)

Jätevedenpuhdistamon prosessin tietolähteet:

- Käyttötarkkailumittaukset
 - Käyttötarkkailuhavainnot
 - Käyttötarkkailuanalytiikka
 - Lietteiden mikroskopiointi
 - Käyttötarkkailu kirjanpito
- Jatkuvat toimiset mittaukset / analysointit
- Kuormitustarkkailunäytteet
- Muu laboratorioanalytiikka
- Aistinvaraiset havainnot

Ymmärrä datasi

Sinulla voi olla dataa ilman tietoa, muttei tietoa ilman dataa

- Daniel Keys Moran (Ohjelmoija/kirjailija)

Datan arvo syntyy vasta ymmärryksestä:

- **Jokaisen tuloksen tulisi olla merkityksellinen, joko sellaisenaan tai mahdollisesti osana pidempää seuranta**
- Puhdistamonhoitajan tulee ymmärtää mitä mitataan, miksi mitataan ja mistä mahdolliset vaihtelut mittaustuloksissa voivat johtua
- Hyvin laadittu käyttötarkkailuohjelma ja toimiva automaatiojärjestelmä runkona hyvälle seurannalle

Varmista datan oikeellisuus

- Tärkeimmillä mittauksilla tulisi **aina** olla joko jatkuva tai ainakin säännöllinen tarkistusmittaus
- Virheellinen tieto voi olla jopa haitallisempaa kuin ei tietoa
- **Virheellinen ohjausdata hukkaa resursseja**
 - Happimittaukset (ilmaston ohjaus)
 - pH-mittaukset (alkaloinnin ohjaus)
 - Fosforimittaukset (saostuskemikaalin syöttö)
 - Virtaamamittaukset (vesi- ja liete-prosessit, kemikaalisyötöt) jne.
- Käyttötarkkailudatan oikeellisuus myös muilta osin tärkeää!

Näe vaihtelun läpi

- Esimerkkejä kokonaiskuvaa summentavista tekijöistä virheellisen datan lisäksi:
 - Linjakohtaiset erot
 - vesi- ja liete-prosessien tasapaino käsittelylinjojen kesken
 - Tulevan veden laatu vaihtelut
 - erityisesti teollisuus ja vastaanotettavat lietteet
 - **Sisäiset kierrot**
 - Teoreettinen lieteikä vs. todellinen lieteikä

Näihinkin on mahdollista päästä paremmin käsiksi kattavan käyttötarkkailun kautta

1. Parempi käsitys prosessin tilasta

		Käyttötarkkailupäiväkirja															Kemikaalisyötöt						
		Virtaamatiedot					Sähkönk.	Raakaliete	Lietekierrat - linja 1					Lietekierrat - linja 2					Tuleva / esiselkeytyt	linja 1	linja 2		
Vikopäivä	Pvm	Q _{läh}	Q _{teol}	Q _{kunta}	Q _{lin-1}	Q _{lin-2}	Liete _{ves,otie}	T _{poistovesi}	Poisto	Pal	Pal %	NO _x -kierto	Ylij.	Lieteikä	Pal	Pal %	NO _x -kierto	Ylij.	Lieteikä	Lipeä	PIX	PIX	
		m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	°C	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	d	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	d	kg/d	g/m ³	g/m ³	
maanantai	1.4.2019	7:00	1503	267	1263	1137	1115	7	3411	11	116	983	101 %	121	10	977	130 %	119	10	108	400	400	
tiistai	2.4.2019	7:00	2074	734	1279	2006	1213		4324	11	123	1082	104 %	122	10	1096	100 %	119	10	124	400	400	
keskiviikko	3.4.2019	7:00	2067	744	1436	1967	1221		3626	11	126	1079	104 %	122	10	1040	101 %	120	10	174	400	400	
torstai	4.4.2019	7:00	2196	671	1486	2002	1182	10,6	3668	12	120	1056	96 %	123	10	1006	92 %	123	10	29	400	400	
perjantai	5.4.2019	7:00	2067	504	1499	1917	1268	5,9	3157	12	122	1083	105 %	119	10	1048	101 %	117	11	30	400	400	
lauanai	6.4.2019		2602	551	1791	1824	1219		4703		122	1043	80 %	119	10	1018	78 %	117	11	0	400	400	
sunnuntai	7.4.2019		2221	615	1667	2087	1054		4134	11	110	901	81 %	104	12	886	80 %	102	12	0	375	375	
maanantai	8.4.2019	7:00	1949	303	1574	1377	1309	2,6	3076	11	112	1086	111 %	112	11	1074	110 %	108	11	0	375	375	
tiistai	9.4.2019	7:00	2713	746	1885	2483	1431		4362	10	116	1245	92 %	114	11	1198	88 %	112	11	46	375	375	
keskiviikko	10.4.2019	7:00	2543	747	1727	2827	1356	23,1	4660	11	123	1209	95 %	117	11	1139	90 %	120	10	80	375	375	
torstai	11.4.2019	7:00	2505	770	1640	1603	1327	2,3	4239	11	132	1160	95 %	117	11	1123	90 %	120	10	72	375	375	
perjantai	12.4.2019	7:00	2397	662	1583	1709	1212	1,5	3967	12	133	1086	91 %	117	11	1096	86 %	114	11	55	375	375	
lauanai	13.4.2019	7:00	2169	565	1506	1659	979		4024	12	114	897	83 %	109	11	858	79 %	108	11	4	375	375	
sunnuntai	14.4.2019	7:00	1813	230	1449	1464	1005		3477	12	111	918	101 %	113	11	888	98 %	112	11	0	375	375	
maanantai	15.4.2019	7:00	2028	402	1454	1387	1154	10,2	3248	11	115	1149	113 %	118	10	1142	115 %	116	11	0	375	375	
tiistai	16.4.2019	7:00	2780	685	1917	1783	1530	11,5	3751	11	126	1280	92 %	118	10	1266	93 %	116	11	50	375	375	
keskiviikko	17.4.2019	7:00	2930	699	1795	2218	1436	4	4124	11	118	1229	84 %	115	11	1192	82 %	115	11	71	350	350	
torstai	18.4.2019	7:00	2805	740	1929	2186	1507	6,5	3962	12	116	1275	91 %	113	11	1246	89 %	111	11	117	350	350	
perjantai	19.4.2019					1558	1272				128	1102		113	11	1083		113	11	6	350	350	
lauanai	20.4.2019					1230	1232				115	1011		106	11	1010		101	12	0	350	350	
sunnuntai	21.4.2019	7:00	2424	357	1832	1209	1215		3222		125	1037	86 %	117	11	1033	85 %	112	11	0	350	350	
maanantai	22.4.2019	7:00	2142	51	1907	1312	1314		2880		118	1108	103 %	115	11	1104	103 %	113	11	0	350	350	
tiistai	23.4.2019	7:00	2441	434	1841	1549	1554	5,7	3187	9	120	1291	106 %	114	11	1288	105 %	111	11	0	350	350	
keskiviikko	24.4.2019	7:00	2875	696	2033	1566	1569	10,2	3560	10	116	1299	90 %	116	11	1297	90 %	115	11	53	350	350	
torstai	25.4.2019	7:00	2741	744	1960	1824	1575	11,2	3604	10	123	1299	95 %	117	11	1288	94 %	115	11	104	350	350	
perjantai	26.4.2019	7:00	2891	669	1871			6,4	3555	11	119	1227	85 %	117	11	1194	83 %	115	11	113	350	350	
lauanai	27.4.2019										118	976		117	11	962		114	11	142			
sunnuntai	28.4.2019										111	887		116	11	868		112	11				
maanantai	29.4.2019	7:00						11,2		11	120	1088		141	9	1069		118	9		325	325	
tiistai	30.4.2019	7:00	2300	655	1550			12,1	3765	11	114	1110	97 %	154	8	1086	94 %	149	8		325	325	
keskiviikko	1.5.2019		2300	650	1635	1967	1143		4070		122	1054	92 %	154	8	983	85 %	149	8	31			
torstai	2.5.2019	7:00	2045	405	1510	2002	1410	3,1	3405	12	116	1237	121 %	138	9	1189	116 %	156	9	127	325	325	
perjantai	3.5.2019	7:00	2535	740	1690	1917	1060	24,7	4160	12	92	945	75 %	201	12	932	74 %	1194	87	14	135	325	325
lauanai	4.5.2019		2315	545	2315	1824	1185				116	1079	93 %	129	10	1062	92 %	1520	127	10			

1. Parempi käsitys prosessin tilasta

Käyttötarkkailuhavainnot						Käyttötarkkailumäärittelyt						Poistuva												
Laskeuma (ml/l)		Happi (mg/l)		Näkösyyvyys		Esiselk	Ilm-1					Ilm-2					Poistuva							
Ilm 1	Ilm 2	Ilm1	Ilm2	Selk 1	Selk 2	Liu P mg/l	ka g/l	pH	Alk mmol/l	Liu P mg/l	NO3-N (anaer.) mg/l	NH4-N mg/l	ka g/l	pH	Alk mmol/l	Liu P mg/l	NO3-N (anaer.) mg/l	NH4-N mg/l	P mg/l	Pliu mg/l	Fe mg/l	NO3-N mg/l	NH4-N mg/l	Alk mmol/l
820	740	2,4	2,5	150	240			6,9						6,9										
810	740	2,5	2,4	140	210			7,1						7,0										
850	760	2,5	2,4	130	210		5,9	7,1	4,5	0,1	0,3	1,0	5,0	7,0	3,6	0,1	0,3	1,0		0,2			1,0	3,6
		2,7	2,6	120	190			7,1						7,0										
		2,2	2,3	110	220			7,1						6,9										
		2,6	2,6	120	220		5,2	6,9	3,2	0,1		1,0	3,8	6,8	2,2	0,1		1,0		0,1			1,0	2,6
820	610	2,4	2,1	80	240			7,0						6,8										
820	680	2,6	2,5	110	240			7,0						6,9										
880	790	2,4	2,5	110	250		5,9	7,0			0,3		5,0	7,0			0,2					2,2		
860	740	2,3	2,2	150	260			7,1	4,2	0,1		1,0	7,0	3,4	0,1			1,0	0,1	0,1	0,5		1,0	3,0
840	720	2,0	1,9	200	260			7,1						7,0										
840	680	0,5	1,9	200	280			6,8			0,3			6,7			0,3					6,6		
810	670	2,2	2,0	190	270		5,5	7,0	3,5	0,1		1,0	4,6	6,9	2,7	0,1		1,0	0,1	0,1	0,6		1,0	2,2
760	600	2,1	2,3	200	270			7,0						6,9										
750	650	2,2	2,3	200	260			7,0	3,5	0,1	0,2	1,0	6,9	3,0	0,1	0,2	1,0				0,9			
730	570	1,9	2,0	220	260			7,0						7,0						0,0			1,0	3,0
		2,2	4,9	250	280			7,0						7,0										
		2,3	5,7	250	280			7,0						7,1										
660	410	3,3	1,9	240	280			6,9	3,9	0,0		0,0	6,9	2,9	0,0		0,0							
690	480	2,4	3,3	230	270			7,0			0,3			7,0			0,3							
580	450	2,4	2,5	220	260			7,0						7,1					0,1	0,0		3,1	0,2	3,2
500	400	2,7	3,0	250	280			7,1						7,0										
500	410	1,9	2,6	250	280			7,1	5,6	0,0	0,8	0,0	7,1	4,1	0,0	0,7	0,0		0,0			0,0		3,8
320	300	2,7	3,9	250	260			7,0	3,9	0,5	3,0	0,0	6,9	4,3	0,6	0,2	0,0		0,0	0,0		4,8	0,0	3,3
320	300	3,0	4,9	250	260			7,0						7,0										
340	320	2,1	3,1	230	230			7,1						7,1										
360	360	2,0	2,2	200	210			7,1	5,1	0,0	0,3	0,0	7,0	6,2	0,1	0,3	0,0		0,0	0,0		2,4	0,0	6,9
400	330	2,3	2,2	200	210			7,1						7,1										

1. Prosessin tilan parempaa seurantaa

2. Syy-seuraus suhteiden ymmärtäminen ja seuranta, ajotavan tarkentaminen

3. Muutoksia prosesseihin / toimilaitteisiin. Laitoksen instrumentointia / automatisointia

4. ?

Tavoite-arvot

Tavoitearvojen asettaminen:

Esim.

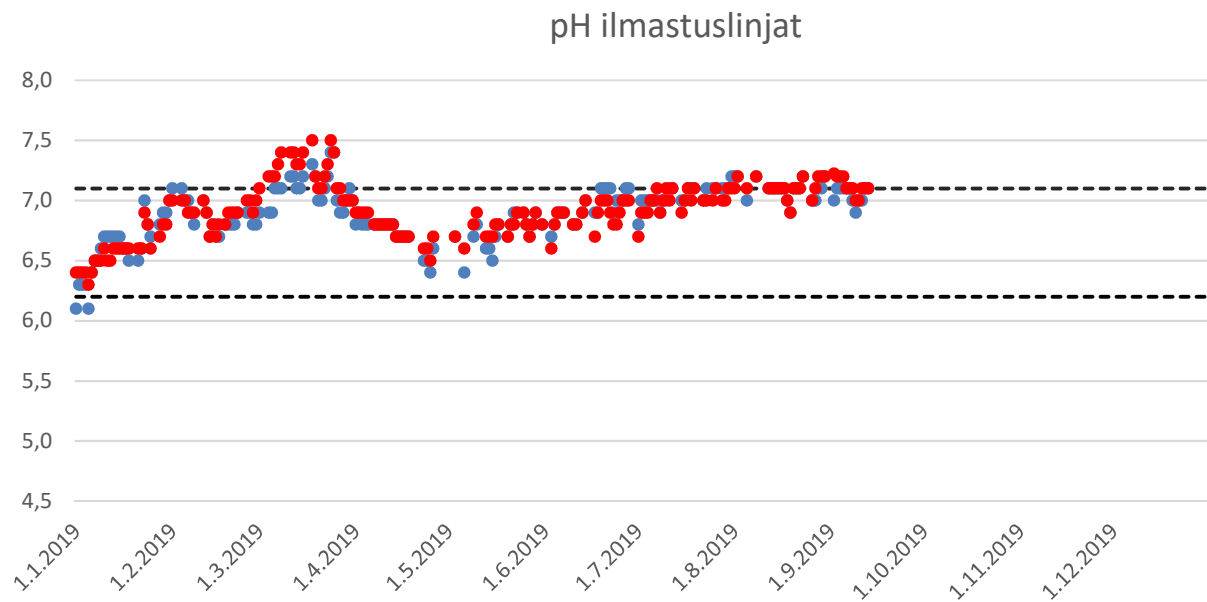
Lietepitoisuus 4 g/l

Happi 2 mg/l

Liu P 0,1 mg/l

pH 6,2

Alkaliteetti 2 mmol/l



Kyseenalaista tavoitearvosi

Lietepitoisuus 3-4 g/l	=>	Lietekuormituksen (kg*BOD/kg*MLSS) mukaan (<0,05 kylmän veden nitrifointi, <0,1 lämpimän veden nitrifointi)
Happi	=>	Minimin hakeminen?
Liu P	=>	€ / poistettu P kg?
pH	=>	Nitrifioinnissa > 6, vaikutus saostusolosuhteisiin?
Alkaliteetti	=>	Nitrifioinnissa > 1, vaikutus saostusolosuhteisiin?
Fe-jäännös	=>	??? (kertoa lähinnä kiintoainepitoisuudesta)

Saostusprosessit

Saostuskemikaalin toimintaan vaikuttavia tekijöitä:

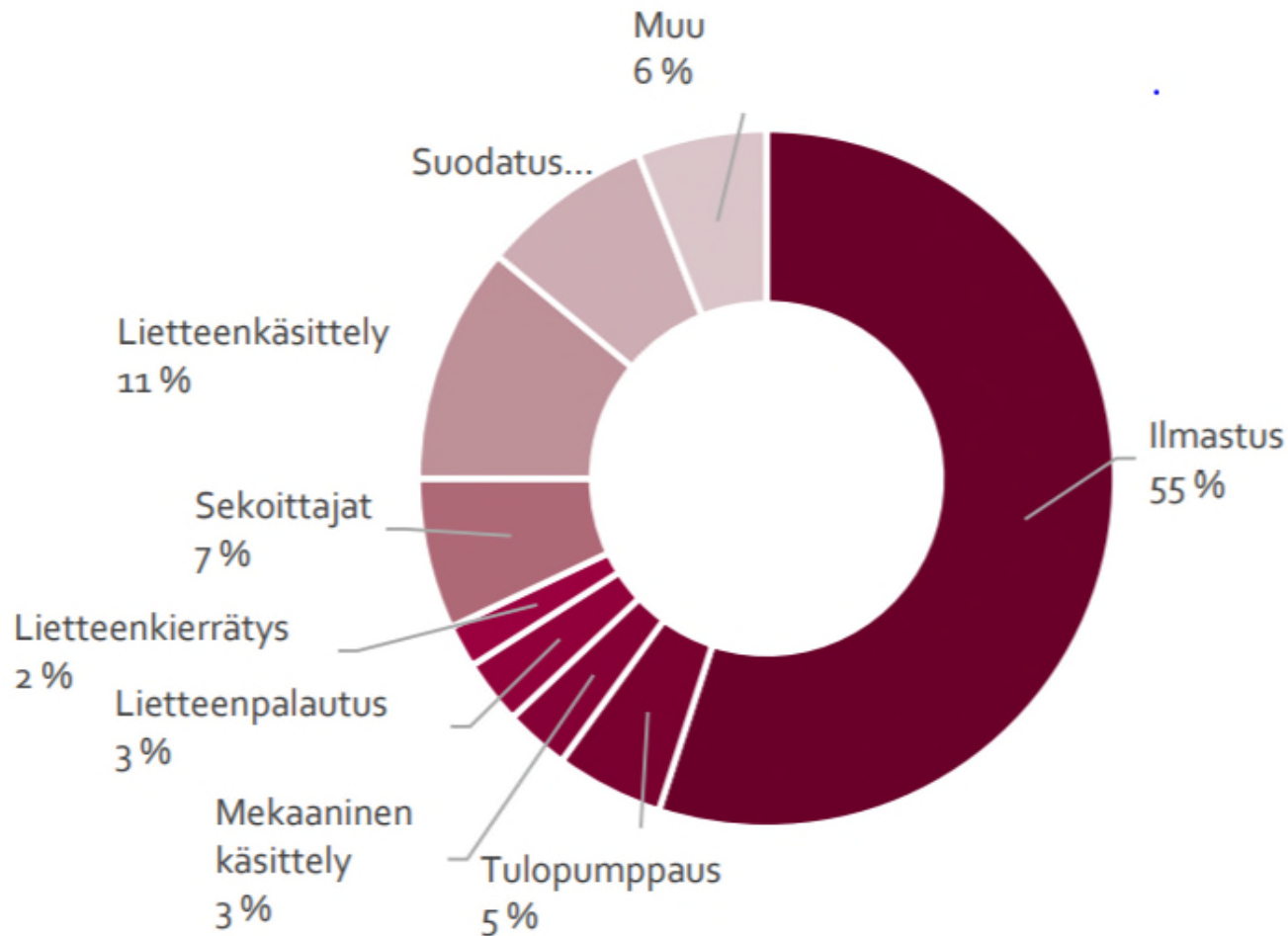
- **Kemikaalin syöttöpisteet**
- Sekoittumisolosuhteet (ennen kaikkea ferrirauta/alumiini, ferro helpompi)
- pH / alkaliteetti – olosuhteet (nitrifioinnin ehdoilla)
- Fosforikuormitus (liukoinen / kiintoainefosfori?)
- Ravinnesuhteet (BOD/P)
- Syöttötapa (vakio?, virtaamaohjaus?, analyysaattoridata?)
- Käytetyn kemikaalin soveltuvuus kohteeseen?
- Tavoiteltava lopputulos (esim. 0,1 mg P/l)

Teoreettinen moolisuhde 1:1 metalli/fosfaatti – käytännössä vähintään 2-3:1

Ilmastus

- Aktiivilietealtaiden lohkojen (D/N) selvä erottaminen / prosessin ymmärtäminen
- Yksinkertaisimmillaan täysilmastetut altaat, hapen yleinen suositustaso noin 2,0 mg/l
- ⇒ Optimitilanteessa happiprofiili tasainen läpi altaan (myös ajan suhteen)
- Nitrifioinnin käynnistystilanteissa lisähapesta mahdollisesti hyötyä
- Ylihapetus energian tuhlausta ja voi heikentää flokin muodostusta
- Denitrifikaatiolohkoissa happi saatava alle 0,5 mg/l
- Ilmastuksen ohjaustapa voi olla monella tasolla automatisoitu (taajuusmuuttajat, happiohjaus, lohko-kohtaisuus, ammoniumtyppiohjaus....)

Jätevedenpuhdistamon energiankulutus (Motiva)



*Esimerkki energiankulutuksen jakaumasta jätevedenpuhdistamossa.
Ilmastuksen osuus tyypillisesti 50-70 %*

Lieteprosessi

AKTIIVILIETE

- Saavutetaanko tavoitteellinen lietepitoisuus (esim. 4 g/l) saavutetaan laskennallisella lieteiällä (esim. 8 päivää) vai onko sisäisillä kierroilla merkittävää vaikutusta?
- Vahvemmat lietteet tuottavat vähemmän ylijäämälietettä
- Ylivahvat lietteet taas heikentävät virtaaman sietokykyä
- Mittaa ainakin kiintoaine, ajoittain myös hehkutushäviö/jäännös ja saostuskemikaali (Fe/Al)

LIETTEEN TIIVISTÄMINEN JA KUIVAUS

- Hyvä kuivaustulos keskeisessä roolissa puhdistamon kokonaistaloudessa
- Tiivistämöjen ylite ja kuivauksen rejekti keskeisiä aktiivilietteen toimintakyvyille (pitäisikö seurata tarkemmin?)

Nitrifikaatio / denitrifikaatio

Typenpoistajan muistilista:

- Pyri aina vakaaseen nitrifioivaan tai vakaasti ei nitrifioivaan ajotapaan
- **Denitrifiointi tuottaa taloudellista etua**
 - ⇒ Maksimoi BOD/N – suhde (etukäsittelyn ohitukset?)
 - ⇒ Maksimoi hapeton tilavuus (ilmastuksen energian säästö)
 - ⇒ Optimoi nitraattikierto
(riittävästi, muttei liikaa nitraattia D-lohkoon -
käyttötarkkailumittaukset D-lohkon lopusta)

Nitrifikaatio / denitrifikaatio

Nitrifioinnin ja denitrifioinnin lukuja

Nitrifikaatio eli ammoniumtypen (NH₄-N) hapettuminen nitraattitypeksi (NO₃-N) kuluttaa:

- Happea 4,6 mg O₂ / mg NH₄-N
- Alkaliteettia 0,14 mmol/l / mg NH₄-N (7,1 CaCO₃ / mg NH₄-N)

Denitrifikaatio eli nitraattitypen pelkistyminen typpikaasuksi hapettomissa olosuhteissa kuluttaa

- 3 – 6 mg orgaanista ainesta (BOD₇) / mg NO₃-N
- Ja tuottaa 0,06 mmol/l alkaliteettia / mg NO₃-N

Tuleva veden ravinnesuhteet

Biologisen prosessin syötteen ravinnesuhteet;

Keskimääräinen yhdyskuntajätevesi BOD/N/P = 100 / 21 / 3
BOD:N – suhde ~ 5

Mihin tämä sitten riittää?

- Lietteen kasvuun sitoutuu keskimääräisillä ravinnesuhteilla karkeasti ottaen 30% fosforista ja 15 % typestä
- DN-prosessissa päästään noin 70% typenpoistoon ilman lisähiiltä

=> Yleensä tarvitaan saostuskemikaalia ja usein typenpoiston tehostamista

Entäs jos tuloskuormitus on vahvasti BOD-painotteinen?

- BOD-painotteisella tulokuormituksella fosforin sitoutuminen voi olla 80-100% ja typenkin >50%!
- Tulokuormituksen rakenne voi vaihdella myös kausiluontoisesti

Liukoinen vs. kokonaispitoisuus

Liukoisten fraktioiden mittaukset olisi usein hyödyllistä tehdä fosforin ohella muistakin parametreista...

Esim. P vs. Liu P

BOD vs. Liu BOD

N vs. Liu N

Rejektivesi esimerkki; 9200 mg/l, Kok P 280 mg/l, Kok N 960 mg/l

Liukoiset fraktiot: 1600 mg/l, Liu P 0,57 mg/l, Liu N 47 mg/l

-
1. Prosessin tilan parempaa seuranta ja ymmärrystä
 2. Syy-seuraus suhteiden ymmärtäminen ja seuranta, ajotavan tarkentaminen
 - 3. Muutoksia prosesseihin / toimilaitteisiin. Laitoksen instrumentointia / automatisointia**

3. Muutoksia prosesseihin / toimilaitteisiin. Laitoksen instrumentointia / automatisointia

ILMASTUS:

- Kompressorit
- Ilmastimet
- Venttiilit
- Ohjaustapa
 - Mittaukset

3. Muutoksia prosesseihin / toimilaitteisiin. Laitoksen instrumentointia / automatisointia

TOIMILAITTEET

- Oikea mitoitus
- Oikean toiminnan tarkkailu (trendit)
- Ennakoiva huolto
- Kahdentaminen / varalaitteet
- Taajuusmuuttimet

VERKOSTON SANEERAUKSET

- Prosessin parempi hallinta
- Pumppauskustannukset

3. Muutoksia prosesseihin / toimilaitteisiin. Laitoksen instrumentointia / automatisointia

TULEVAN VEDEN / LIETTEEN VASTAANOTON TASAUSALTAAT

- ⇒ Mitä tasaisempi syöte, sen vähemmän tarvitaan ”varmuusvaraa”
- ⇒ Myös erinomainen riskien hallintakeino

ESISELKEYTYKSEN OHITUS MAHDOLLISUUS

- ⇒ BOD – hyötykäyttöön (lietteen käyttö huomioiden)
- ⇒ Paremmat ravinnesuhteet aktiivilietteelle / DN-prosessille
- ⇒ VAIN riittävän kapasiteetin omaavilla puhdistamoilla
 - ⇒ seurattava parametri NH₄-N aktiivilieteprosessin jälkeen

Kustannusten synty:

Sähkökustannukset = kulutus kWh/a * sähkön hinta €/kWh
Kemikaalikustannukset = kulutus t/a * kemikaalin hinta €/t

Oma tuotanto?

- Lämmön talteenotto
- Mädättämöt / kaasugeneraattorit
- Maalämpö
- Aurinkosähkö
- ?

Lisätietoa?

- https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/vesihuoltolaitos

Lopuksi

1. Varmista prosessin tilan riittävä seuranta ja selkeä käyttötarkkailukirjanpito
2. Aseta tavoitearvot ja pyri niihin. Seuraa trendejä.
3. Uskalla muuttaa tavoitearvoja tiedon ja osaamisen karttuessa
4. Kehitä osaamistasi

Prosessin ajotavan hienosäätö on jatkumo, jonka osa-alueita voidaan kuitenkin tarkentaa projektiluontoisesti.

- Mikä yksittäinen osatekijä vaikuttaa eniten puhdistamon prosessin optimaaliseen toimintaan?

PUHDISTAMONHOITAJA.

Kiitos!