



Norsk Vann Fagtreff, Thon Hotel Oslo Airport, 16-17 Mars, 2023

Hva viser resultatene fra SLAMiNOR?

B. Eikebrokk, Drikkevannskonsult (tidl.SINTEF)

Spørsmål vi ønsket belyst i SLAMiNOR

1. Hva genereres av slam og returstrømmer fra norske vannbehandlingsanlegg: Hvilke mengder og hvilken sammensetning?
2. Hva viser resultatene fra mikrobiologiske analysemetoder som FCM, ATP, ddPCR, «nye» virustyper?
3. Hvordan er forvaltningsmyndighetenes holdninger til at returstrømmer fra filtermodning og/eller slambehandling sendes tilbake til vannkilde/resipient?
4. Hvordan kan vannverksslam utnyttes som en ressurs - ikke som avfall - og hvilke kvalitetskrav stilles til ulike bruksformer?
5. Hva har det å si for mengde og sammensetning at slammet er generert med Al- eller Fe-koagulanter, med og uten kalkstøv fra alkaliske filtre/filterlag, og påvirker dette mulig bruk av slammet?
6. Hvilke stoffer kan - og bør - gjenvinnes? Mer aktuelt i tider med høye energipriser og redusert tilgang på kjemikalier?
7. Hva er erfaringene og utfordringene med å sende vannverksslam til et avløpsrensaneanlegg/biogassanlegg?
8. Kan vannverksslam utgjøre en råvare for norske bedrifter, og trenger vi et nordisk «Aquaminerals» etter modell fra NL der vannverksslam utgjør råstoff for en rekke foredlingsprodukter? https://aquaminerals.com/wp-content/uploads/2021/09/jaarbericht-AM-2020_EN_0107.pdf

For sammensetning av returstrømmer henvises til BARRiNOR-presentasjonene

Partnere i SLAMiNOR (2019-2023)

Prosjekteier og prosjektadministrasjon: Norsk Vann

FoU-Partnere: SINTEF Byggforsk/Community; SINTEF Industri; NIVA; NMBU; Asplan Viak; Norconsult

Vannverk: Oslo-VAV, Asker og Bærum Vannverk (ABV), Kattås Pilot, Svartediket, Rore, Kismul, Vansjø, HIAS

Budsjett: 4.9 mill. NOK, hvorav 3.1 mill for analyser ved NIVA, NMBU og SINTEF

SLAMiNOR i 2 Faser

- ✓ Fase A: Finansiert av VAV og ABV for å styrke grunnlaget for valg og design av fremtidige vannbehandlingsanlegg
 - Forsøksvirksomhet i Kattås Pilot: Ulike prosessutforminger og driftsforhold
 - Modellering av dimensjonerende slammengder basert på prediktert råvannskvalitet i 2050
 - Slambehandling og bruksområder for vannverksslam
- ✓ Fase B: Prøvetaking og analyse av vann- og slamprøver fra deltagende vannverk
 - Modningsvann
 - Dekantat (fra slamfortykking)
 - Returvann
 - Rejektvann
 - Fortykket slam
 - Avvannet (sentrifugert) slam

Empiriske Modeller for Slamproduksjon

SLAMiNOR Fase A: Slammengder

Koaguleringsbaserte vannbehandlingsprosesser har flere bidrag/kilder til slamproduksjon¹:

- ✓ Slam/suspendert stoff som tilføres fra råvannet
- ✓ Slam som dannes i koaguleringsprosessen
- ✓ Slam som tilføres fra korrosjonskontrollprosessen (alkalisk masse, mikronisert marmor, kalk)
- ✓ Slam som dannes i slambehandlingsprosessen (kondisjonering med koagulant, polymer)

$$SP \text{ (mg STS/L)} = STS_{\text{Råvann}} + STS_{\text{Koagulering}} + STS_{\text{Korrosjonskontroll}} + STS_{\text{Slambehandling}}$$

der

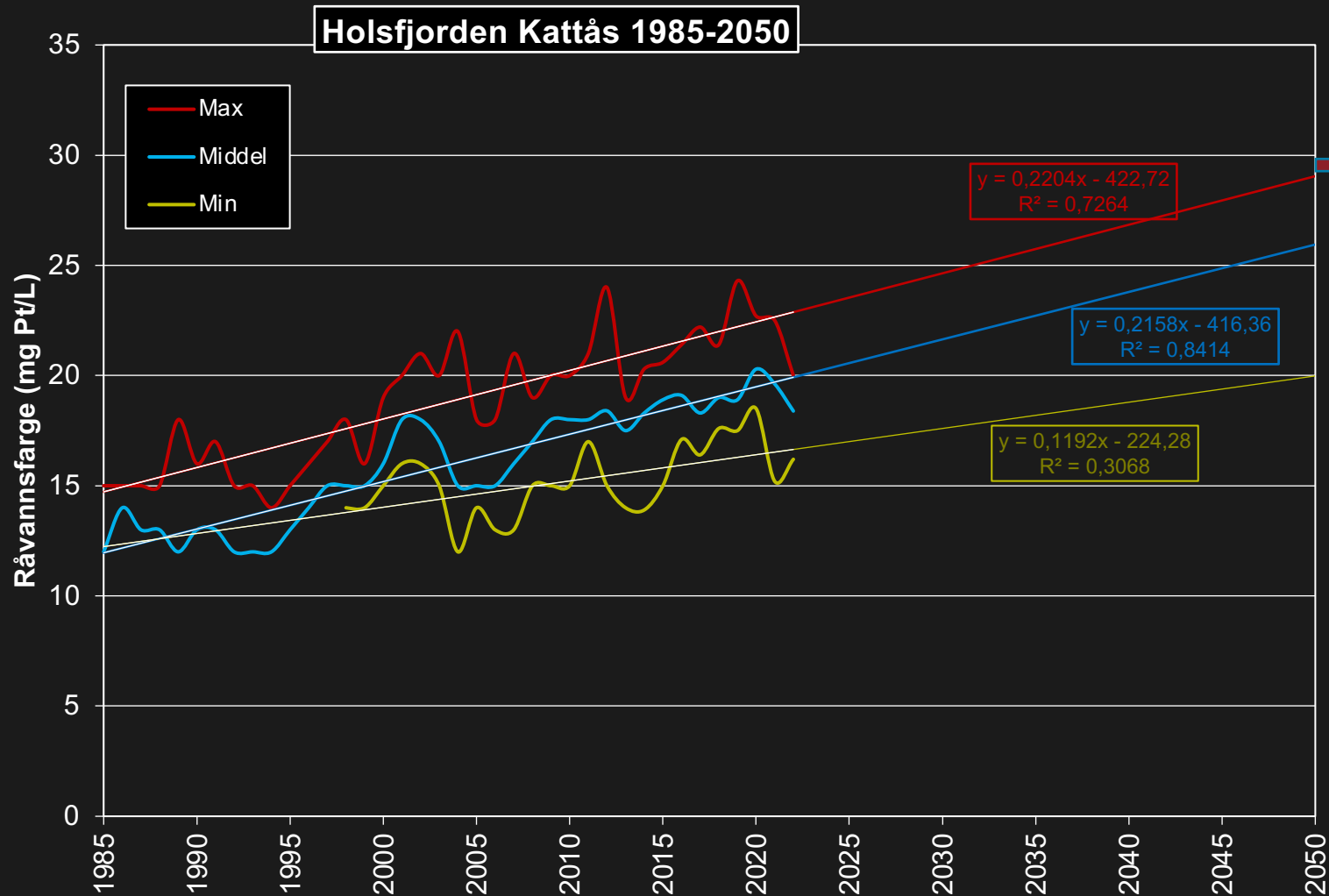
SP	= Total SlamProduksjon (mg STS/L)
$STS_{\text{Råvann}}$	= Slaminnholdet i råvannet (mg STS/L)
$STS_{\text{Koagulering}}$	= Slamproduksjonen fra koaguleringstrinnet (mg STS/L)
$STS_{\text{Korrosjonskontroll}}$	= Slamproduksjonen fra korrosjonskontrollen (mg STS/L)
$STS_{\text{Slambehandling}}$	= Slamproduksjonen fra slambehandlingen (mg STS/L)

For norske vannverk med inntak dypt i innsjøkilder, er bidraget fra råvannet ofte så lite (< 1 mg STS/L) at det kan neglisjeres

1) Basert på Eikebrokk, B. (2012). Veiledning for drift av koaguleringsanlegg. Norsk Vann-rapport 188-2012. ISBN 978-82-414-0330-9

Dimensjonerende Råvannskvalitet

Som Basis for Estimering av Koagulantdoser og Slammengder



Koagulantdoser (praktisk minimum)

Al-Dose (mg Al/L) = 4.2 Al-dose (mg Al/L)
Fe-Dose (mg Fe/L) = 2.5 Fe-dose (mg Fe/L)

Slamproduksjon fra koaguleringen

$STS_{\text{Koagulering}}(\text{mg STS/L}) = 4.2 \text{ Al-dose (mg Al/L)}$
 $STS_{\text{Koagulering}}(\text{mg STS/L}) = 2.5 \text{ Fe-dose (mg Fe/L)}$

Modeller for Slamproduksjon

$$\text{Slamproduksjon } SP = STS_{\text{Råvann}} + STS_{\text{Koagulering}} + STS_{\text{Korrosjonskontroll}} + STS_{\text{Slambehandling}}$$

der SP

= Total SlamProduksjon (mg STS/L)

$STS_{\text{Råvann}}$

= Slaminnholdet i råvannet (mg STS/L)

$STS_{\text{Koagulering}}$

= Slamproduksjonen fra koaguleringstrinnet (mg STS/L)

$STS_{\text{Korrosjonskontroll}}$

= Slamproduksjonen fra korrosjonskontrollen (mg STS/L)

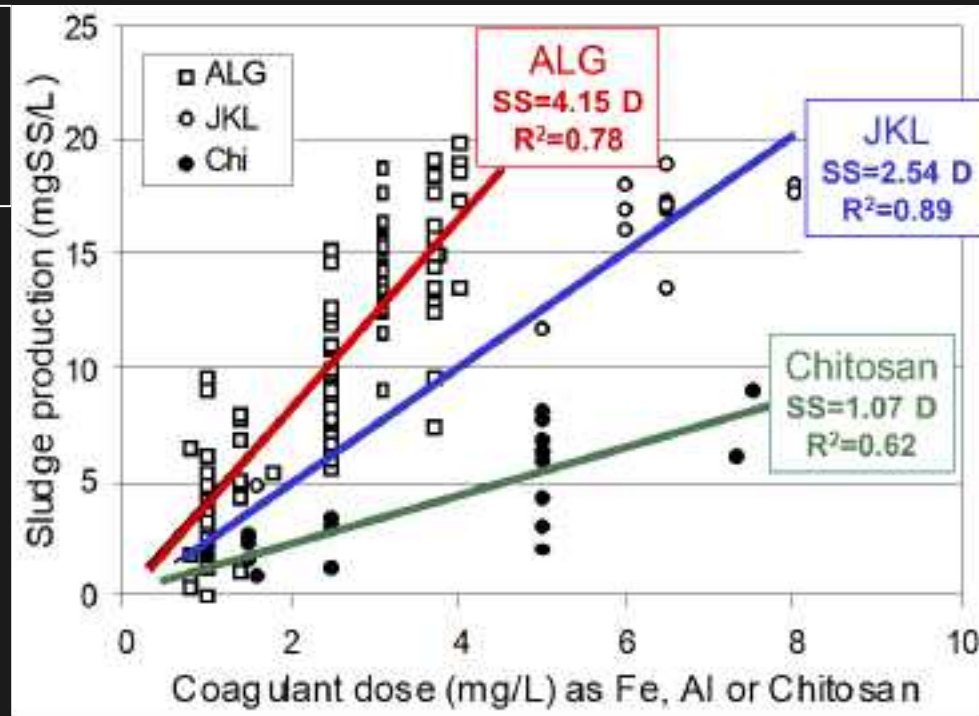
STS fra Koagulering

$$SP_{\text{Al}} \text{ (mg/L)} = 4.2 \cdot D_{\text{Al}} \text{ (mg Al/L)}$$

$$SP_{\text{Fe}} \text{ (mg/L)} = 2.5 \cdot D_{\text{Fe}} \text{ (mg Fe/L)}$$



$STS_{\text{Koagulering}}$

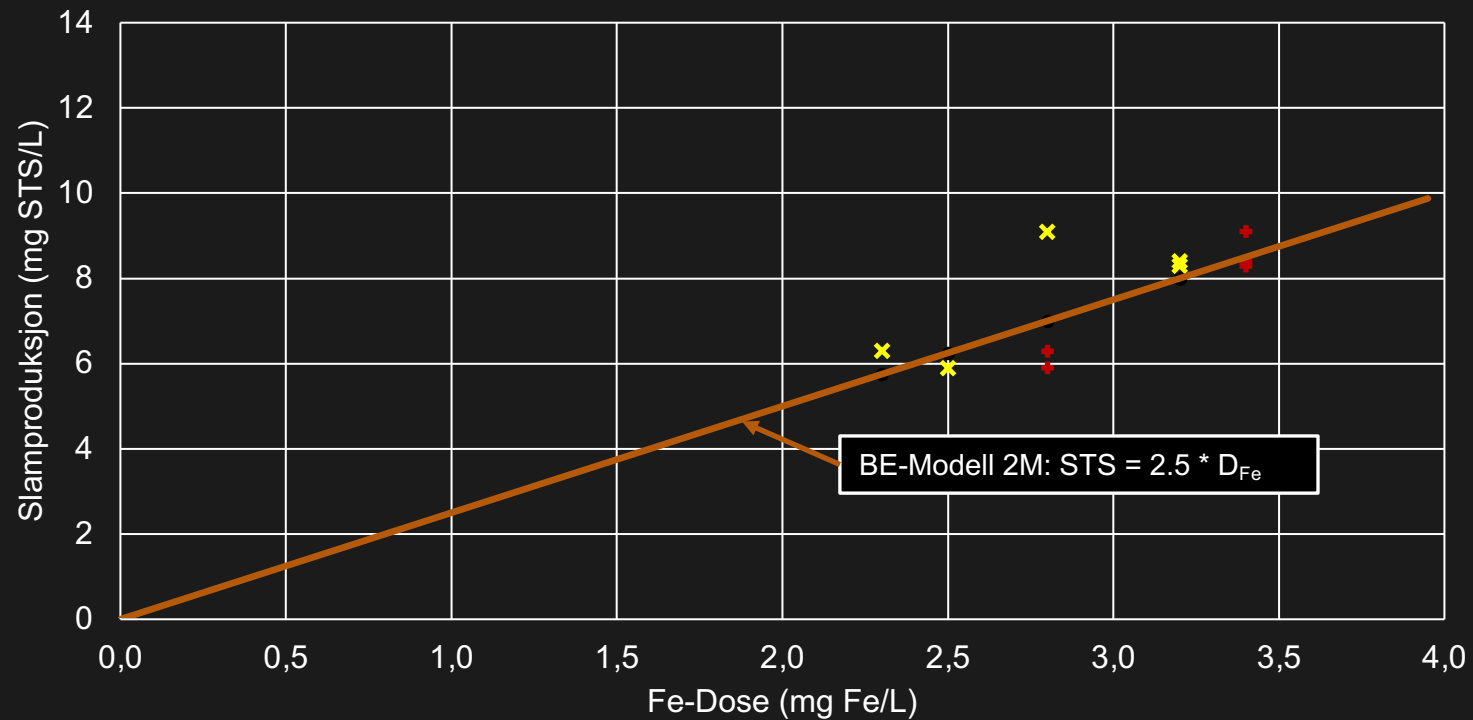


SLAMiNOR Fase A: Kattås Pilot

God overensstemmelse mellom Målte og Modellerte slammengder fra koaguleringen

Kattås Pilot - PIX318A15

♦ Set-pkt Fe-dose; Målt STS inn ✕ Målt Fe inn og målt STS inn



SLAMiNOR Fase A: Kattås Pilot

Estimerte Totale Slammengder – Nye VBA

$$SP \text{ (mg STS/L)} = STS_{\text{Råvann}} + STS_{\text{Koagulering}} + STS_{\text{Korrosjonskontroll}} + STS_{\text{Slambehandling}}$$

Koag: 3.8 mg Fe/L; 3 mg STS fra alkalisk masse/støv; 0.5 mg Fe/L til fortykker/slamstrøm (5 %)

$$\rightarrow SP = 0 + 2.5 \cdot 3.8 + 3 + 2.5 \cdot 0.5 \cdot 0.05 = 0 + 9.5 + 3 + 0.1 = 12.6 \text{ mg STS/L}$$

Estimerte Dimensjonerende Slammengder (2050)

VAV: $Q_{\text{DIM}} = 571\,520 \text{ m}^3/\text{d}$; $SP = 7.2 \text{ tonn STS/d}$; 2628 tonn STS/år

ABV: $Q_{\text{DIM}} = 80\,000 \text{ m}^3/\text{d}$; $SP = 1.0 \text{ tonn STS/d}$; 368 tonn STS/år

Slambidraget fra det alkaliske filterlaget vil variere fra anlegg til anlegg, avhengig av type masse, korngradering og underkorn, lagtykkelse, påfyllingsstrategier, spylrutiner, mv

Sammensetning av Slam fra Koaguleringsanlegg

SLAMiNOR Fase A: Sammensetning av Slam

Kattås Pilot: Fe-koag og 3-M filter med Alkalisk bunnlag

KATTÅS PILOT 2019		Tot Tørrstoff (TS)	Gløderest	Organisk-TS	Tot-ATP	
		% (vekt)	% av TS	% (vekt)	nmol/g TS	ng/g TS
04.06.2019	Spylevann fra Filter - Blandprøve	0,07	58,8	0,03	0,43	219
11.06.2019	Fortykket slam	0,58	62,3	0,22	0,25	128
18.09.2019	Fortykket slam	0,91	57,9	0,38	0,95	484
24.09.2019	Fortykket slam	1,11	56,8	0,48	1,17	593
08.10.2019	Fortykket slam	0,89	56,7	0,39	0,79	401
19.11.2019	Fortykket slam	0,39	55,0	0,17	0,66	336
<i>Alle</i>	<i>Fortykket slam -AVG</i>	<i>0,78</i>	<i>57,7</i>	<i>0,33</i>	<i>0,77</i>	<i>388</i>
18.06.2019	Fortykket slam - Ny Alk-masse	2,65	91,9	0,21	0,19	99
15.10.2019	Fortykket slam - 12 cm påfyll Alk-masse	1,83	84,1	0,29	0,37	185
05.11.2019	Fortykket slam - 9 cm påfyll Alk-masse	3,24	85,5	0,47	0,25	127
26.11.2019	Fortykket slam - 9 cm påfyll Alk-masse	0,94	72,5	0,26	1,46	739
<i>Alle</i>	<i>Fortykket slam - påfyll Alk-masse -AVG</i>	<i>2,16</i>	<i>83,5</i>	<i>0,31</i>	<i>0,57</i>	<i>287</i>
26.06.2019	Fortykket slam - uten kondisjonering/koagulant	0,55	41,0	0,23	0,76	387

Påfyll av Filterkalk øker Total TS og gløderest, og reduserer ATP-innholdet per g TS. Organisk TS-% påvirkes lite

SLAMiNOR Fase A: Sammensetning av Slam

Elementinnhold i Fortykket Slam: Kattås Pilot

Fe; 3-M Filter; 4 forsøk med 9-12 cm påfyll av ny ALK-masse

	Tørrstoff (%)	Gløderest (% av TS)	Al	P	S	Cl	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb
			mg/kg TS													
AVG	2,2	84	1520	99	1312	1413	158265	5	104	79574	7	26	45	0,09	0,03	1,3
MAX	3,2	92	1940	123	1420	2480	200229	7	115	105229	14	35	95	0,18	0,05	2,3

FOR 2003-07-04-951: Forskrift om gjødselvarer mv av organisk opphav

		Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb
Gjødselvarerforskriften	Klasse 0	50	20	50	150	0,4	0,2	40
	Klasse I	60	30	150	400	0,8	0,6	60
	Klasse II	100	50	650	800	2	3	80
	Klasse III	150	80	1000	1500	5	5	200

SLAMiNOR Fase B: Sammensetning av Slam

Elementinnhold i Fortykket Slam – SVD og VAL (Fe; 3-M Filter)

	Tørrstoff (%)	Gløderest (% av TS)	Al	P	S	Cl	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb
			mg/kg TS													
SVD-AVG	0,9	62	744	30	527	778	6693	1,3	76	24060	3,1	3,0	25	0,12	0,01	2,3
SVD-MAX	1,1	70	1012	39	683	778	12199	1,9	92	31899	4,7	3,5	30	0,16	0,02	2,8
VAL-AVG	0,4	60	1066	36	1199	770	9283	2,4	201	58103	7,5	5,0	45	0,12	0,02	0,9
VAL-MAX	0,6	67	1388	49	1959	770	10528	3,4	278	78776	8,9	6,6	58	0,16	0,04	1,3

FOR 2003-07-04-951: Forskrift om gjødselvarer mv av organisk opphav

		Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb
Gjødselvereforskriften	Klasse 0	50	20	50	150	0,4	0,2	40
	Klasse I	60	30	150	400	0,8	0,6	60
	Klasse II	100	50	650	800	2	3	80
	Klasse III	150	80	1000	1500	5	5	200

SLAMiNOR Fase B: Sammensetning av Slam

Tørrstoffinnhold og Gløderest – 7 Vannverk

		Tørrstoff (%)	Gløderest (% av TS)
Fortykket slam – 7 Koaguleringsanlegg (Al og Fe-koagulert)	Avg±StDev	0.95±0.42	51±0.8
	Min-Max	0.24-1.60	39-70
	N (prøver)	26	26
	N (vannverk)	7	7
Sentrifugert slam – 4 Koaguleringsanlegg (Al-koagulert)	Avg±StDev	17.0±3.4	45±5
	Min-Max	10.3-21.9	37-52
	N (prøver)	15	15
	N (vannverk)	4	4
Fortykket slam – 4 Koaguleringsanlegg (Al-koagulert)	Avg±StDev	1.17±0.30	47±5
	Min-Max	0.50-1.60	39-53
	N (prøver)	15	15
	N (vannverk)	4	4
Fortykket slam – 3 Koaguleringsanlegg (Fe-koagulert)	Avg±StDev	0.55±0.28	59±8
	Min-Max	0.24-1.13	44-70
	N (prøver)	8	8
	N (vannverk)	3	3

SLAMiNOR Fase B: Sammensetning av Slam

Elementinnhold i Avvannet Slam fra Sentrifuger (Al-koag)

mg/kg TS	Al	Si	P	S	Cl	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb
mg/kg TS															
NYOS-AVG	182184	15113	300	2931	1508	6730	8,8	456	4911	9,4	17,4	155	0,27	0,29	4,7
NYOS-StDev	8659	239	46	416		641	0,5	77	208	1,1	2,2	9,8	0,00	0,13	0,3
VAN-AVG	125710	12142	730	3311	986	4796	30,7	610	19939	26,4	42,3	70	0,18	0,09	11,2
VAN-StDev	13756	1061	130	392	456	2111	7,5	289	3784	2,3	6,3	10	0,04	0,01	1,6
AUR-AVG	155143		238	6694	1839	3250	7,1	647	7237	3,6	12,7	48,8	0,13	0,14	4,7
AUR-StDev	12710		17	529		685	2,8	257	1224	0,5	1,0	4,4	0,01	0,03	1,5
KIS-AVG	197083	12810	332	2322		6927	17,6	117	6615	10,7	29,3	107	0,30	0,09	17,6
AVG-Alle	165030	13355	400	3814	1444	5426	16	458	9675	13	25	95	0,22	0,15	9,5
StDev-Alle	31440	1558	224	1962	430	1740	11	242	6913	10	13	46	0,08	0,10	6,2
Min-Alle	125710	12142	238	2322	986	3250	7	117	4911	4	13	49	0,13	0,09	4,7
Max-Alle	197083	15113	730	6694	1839	6927	31	647	19939	26	42	155	0,30	0,29	17,6
N-Alle	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

		Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb
Gjødselvereforskriften	Klasse 0	50	20	50	150	0,4	0,2	40
	Klasse I	60	30	150	400	0,8	0,6	60
	Klasse II	100	50	650	800	2	3	80
	Klasse III	150	80	1000	1500	5	5	200

Sammensetning av Slam fra Koaguleringsanlegg

Mikrobiell kvalitet – Avvannet slam

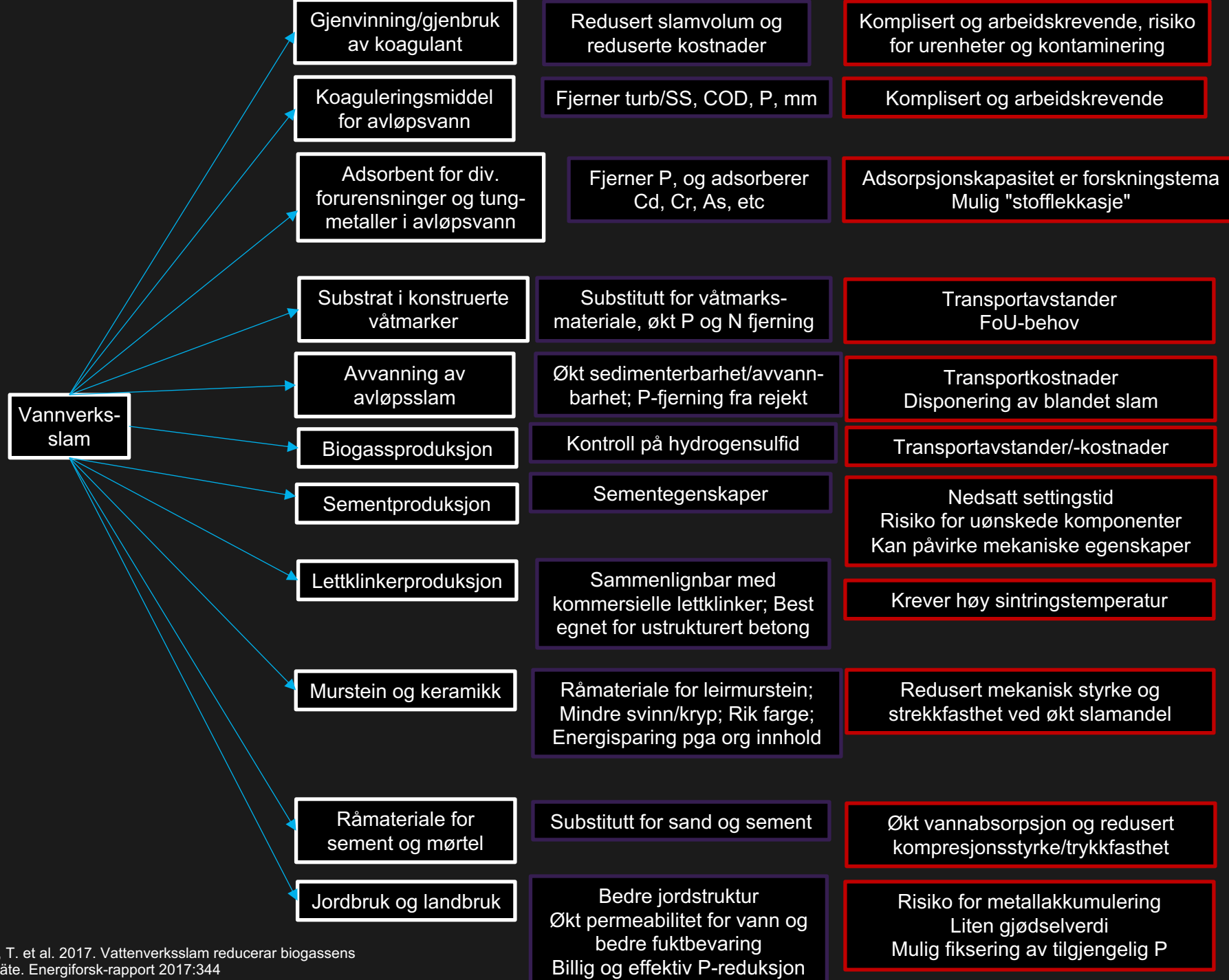
Vannverk	ATP-Tot	TCC	HNA (TCC)	ICC	HNA (ICC)	% ICC	ddPCR
	pg/mL	mill/mL	mill/mL	mill/mL	mill/mL		mill/mL
NYOS-AVG	102077±42324	314±106	150±35	49±16	32±13	17±6	168±148
VAN-AVG		588±316	279±158	56±56	27±27	10±7	91±9
AUR-AVG		443±372	230±179	30±29	19±21	12±10	622±330
KIS-AVG							199±120
AVG-Alle		448±137	220±65	45±13	26±6	13±3	270±238
Min-Alle		314	150	30	19	10	91
Max-Alle		588	279	55	32	17	622
N-Alle		3	3	3	3	3	4

Interne analyser ved 3 vannverk

- Salmonella: Ikke påvist i noen prøverunder
- Koliforme: < 20/g i alle prøverunder
- TKB: < 20/g i alle prøverunder

Mulige Bruksområder for Vannverkslam

Bruksområder for Vannverks-slam



Nye Filtralite-produkter?
Et Nordisk Slamnettverk?

Basert på Ahmed et al. (2016): Physicochemical composition of alum and ferric sludge. Inputs from Babatunde and Zhao, 2007; Chiang et al., 2009; Ippolito et al., 2011; Razali et al., 2007; Sales et al., 2011; Sotero-Santos et al., 2005; Zou et al., 2009; Persson et al. 2017

For flere resultater og konklusjoner henvises det til rapporten fra
BARRiNOR og SLAMiNOR som kommer i 2023