

Vannforeningens fagtreff om slam og slamhåndtering 11-03-2024

Fremtidens slamhåndtering: Hvordan sikre hygienisering og akseptabelt innhold av mikroforurensinger?

Resultater fra FoU i RenCARBio- og N2-Applied-prosjektene

Eilen Arctander Vik, PhD

Oppsummering av forskning i to ulike slam-prosjekter hos Aquateam COWI

- > “RenCARBio” biokull-prosjekt 2021-2025
 - > Oppsummering av tilgjengelige resultater
 - > Pyrolysetester og analyseresultater
- > N2-prosessen: “Omdanne avfall til ressurs” 2021-2023
 - > Tester har dokumentert at plasma-prosessen kan møte hygieniske krav i animaliebioproduktforskriften og i gjødselsvareforskriften både for digestat og kumøkk
 - > Innledende tester har vist at mulighetene til å oppnå god fjerning av organiske mikroforurensninger også er tilstede

Kommunalt slam fra ulike kommunale rensesprosesser benyttet til biokull produksjon



- > Maria Magdalena Estevez er prosjektleder
- > Renata Tomczak-Wandzel presenterte prosjektet på

>

NORDISKA
2023 – Göteborg, Sweden

RenCARBio (2021-2025) skal skaffe kunnskap om kvaliteten på resirkulert slam benyttet til jordforbedring, basert på evaluering av anaerob utråtning (AD) kombinert med pyrolyse (P).

Substratene er:

- utråtnet eller ikke utråtnet kommunalt biologisk slam og kjemisk slam
- husdyrgjødsel
- matavfall

Biokull etter pyrolyse skal undersøkes mht. biotilgjengelig fosfor, makro- og mikro-næringsstoffer, tungmetaller og etterhvert organiske mikroforurensninger og medisinrester.

Partnerne i RenCARBio

Public sector

Private sector

The reference group:



IVAR



Kalnes VG

aquateam | COWI

Anaerobic Digestion

Plant Growth Experiments

NORSUS

Life Cycle Assessment

Research



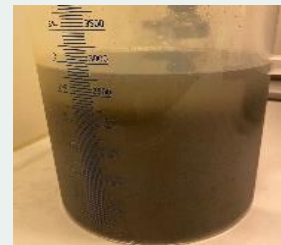
Pyrolysis 400-600 °C

Partners
Aquateam COWI (leader)
NMBU
NORSUS
WAIES AS
ÅRIM IKS
IVAR IKS
Bergen Kommune
Kalnes VG

aquateam | COWI
FORSKNING STØTTET AV COWIFONDEN

Pyrolysetester gjennomført i batchskala

- > Utført hos WAI Environmental Solutions AS Tønsberg
- > Biokullproduksjon testet på slam fra
 - > SNJ avløpsrensning på Jæren, Stavangerområdet
 - > Åse avløpsrensning i Ålesund
 - > Rådalen biogassanlegg i Bergen
- > Forbehandling før pyrolyse
 - > Ikke avvannet slam, og/eller tørket – sentrifugert til 25-30 % TS deretter tørket til 85-95 % TS



Mottatt slam



Sentrifugert



Tørket

Substrates as received	Composition	pH	TS (%)	VS (% TS)
SNJ sewage sludge	Biological sludge	5,9	9	81
SNJ digestate	Digested biological sludge	6,9	87	71
Rådalen digestate	Chemical mostly, some primary and biological	7,5	28	61
Åse sewage sludge	Chemical sludge	6,6	21	69

RenCARBio ønsker å oppnå i FoU-perioden: Fosforgjenvinning – avfallsreduksjon - energiproduksjon

Resultater: Slam, digestat og biokull

	Sample	pH	Calorific value (MJ/Kg)	Biochar produced (%feedload)	Tot-C (% TS)	Tot-N (% TS)	Tot-P (g/kg TS)	Avail. P - Olsen (g/kg TS)	Avail. P -AL (g/kg TS)	Avail. P - Olsen (%)	Avail. P - AL (%)
Raw sewage sludge (dried)	SNJ-biol.	5,9	19,5	34,2	48,8	7,9	20,0	2,90	8,6	15,4	44,0
	Åse-kjemisk	6,6	19,4	46,7	45,6	2,7	47,3	0,52	2,7	1,1	5,7
Biochar from raw sludge	SNJ	7,2	tbd	-	40,4	6,0	33,0	0,05	6,2	0,2	18,8
	Åse	6,5	tbd	-	26,6	2,7	83,3	0,75	4,9	0,9	5,9
Digestate from sludge (dried)	SNJ	6,9	15,3	43,6	42,9	5,9	15,6	0,30	6,4	1,9	41,0
	Rådalen	7,5	15,0	50,7	33,9	4,0	28,6	0,20	0,8	0,7	2,8
Biochar from digestate	SNJ	6,6	tbd	-	33,4	4,4	21,0	0,13	4,5	0,6	21,5
	Rådalen	6,5	tbd	-	27,0	3,0	35,0	0,21	1,9	0,6	5,4

Biokullegenskaper: Høyt utbytte, høy tetthet, høye konsentrasjoner av makro-næringsstoffer inkl. biotilgjengelig fosfor



Tungmetaller oppkonsentreres etter pyrolyse



	Sample	Cu	Cr	Zn	Ni	Cd	Pb	Hg	As
(mg/kg TS)									
Raw sewage sludge (dried)	SNJ	250	19	680	15	0,75	18	0,36	4,2
	Åse	110	25	285	12	0,245	7,2	0,595	0,63
Biochar from raw sludge	SNJ	580	41	1600	36	1,8	41	<LOD	3,8
	Åse	220	67	580	37	0,465	12	0,131	0,885
Digestate from sludge (dried)	SNJ	250	27	790	21	0,96	21	0,51	3,8
	Rådalen	260	40	610	18	0,85	30	0,52	2,55
Biochar from digestate	SNJ	470	49	1500	39	1,8	40	<LOD	4
	Rådalen	390	63	925	28	1,25	45	0,0185	3,15

N2-prosessen - gjøre avfall til ressurs

N2-prosessens evne til å kontrollere hygiene og legemiddelrester i organisk gjødsel

Resultater fra RFF Oslo FoU-prosjekt 2021-2023

Prosjektleder: N2 Applied

FoU-partnere: NMBU

Aquateam COWI - Eilen Arctander Vik, Ocelie Kjønne og Mari Espelund

Ny teknologi gjør møkk til føsteklasses gjødsel

Mål:

- > Validering av N2-prosessen mht. hygienisering
- > Identifisere best mulige driftsbetingelser (kost/nytte)

Utførte tester i prosjektet:

LABORATORIETESTER	IDENTIFIKASJON + COP	Identifisering av egnet indikatororganisme				
		Escherichia Coli		Salmonella Senftenberg		
		Hygieniserende effekt av enkeltkomponenter				
		pH	nitritt (NO ₂ -)	ozon (O ₃)	...	
TESTER I PILOTSKALA	INLEDELSE	Behandling av husdyrgjødsel i pilotanlegg			+ utrånnet slam	
		pH 4,5	pH 5,0	pH 5,5	pH 5,5	
		S. Senftenberg	S. Senftenberg	S. Senftenberg	S. Senftenberg	
		Behandling av husdyrgjødsel i pilotanlegg			↻	↻
	VALDERINGSTESTER	pH 5,0			pH 5,0	pH 5,0
		E. coli	S. Senftenberg			
		Behandling av utrånnet slam i pilotanlegg			↻	
		pH 4,5			pH 4,5	
		E. coli	S. Senftenberg	A. suum		

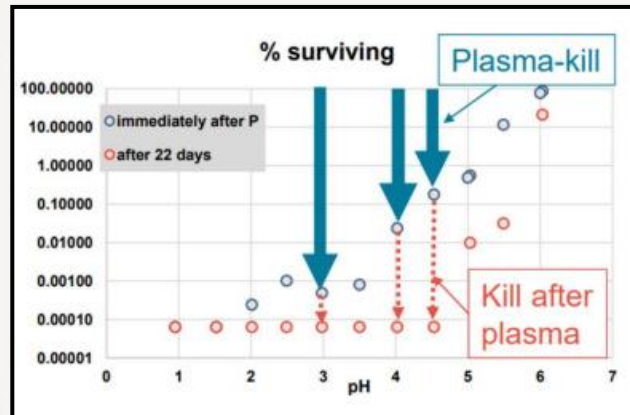


Ett av flere testanlegg lokalisert på Svene

Forskning på plasma som hygieniserende prosess

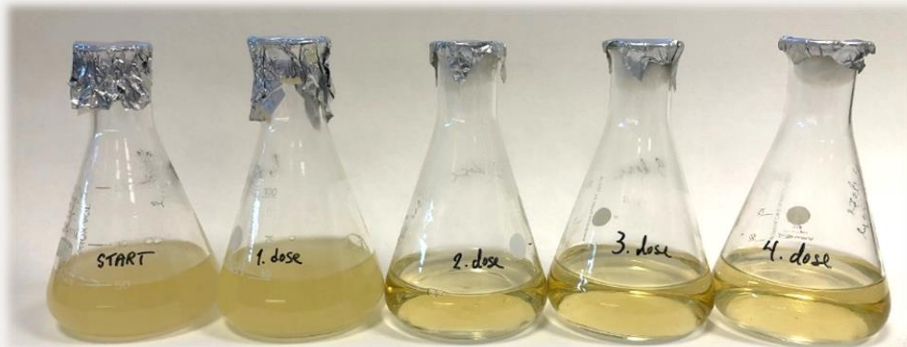
	Animalske biproduktforskriften	Gjødselsvareforskriften
Indikator-organismer	<i>Escherichia. Coli (E. coli)</i> <i>Salmonella</i> Senftenberg	<i>Escherichia. Coli (E. coli)</i> <i>Salmonella</i> Senftenberg <i>Ascaris suum</i> -egg
CCP pH-settpunkt i prosessen	pH 4,5; pH 5,0; pH 5,5	pH 4,5; pH 5,5
Lagringstid etter prosessering	0, 2, 4, 6 og 24 timer	0, 2, 4, 6, 24 og 48 timer

Fra Hiis *et al.*, 2021. NMBU-presentasjon 10.08.2021



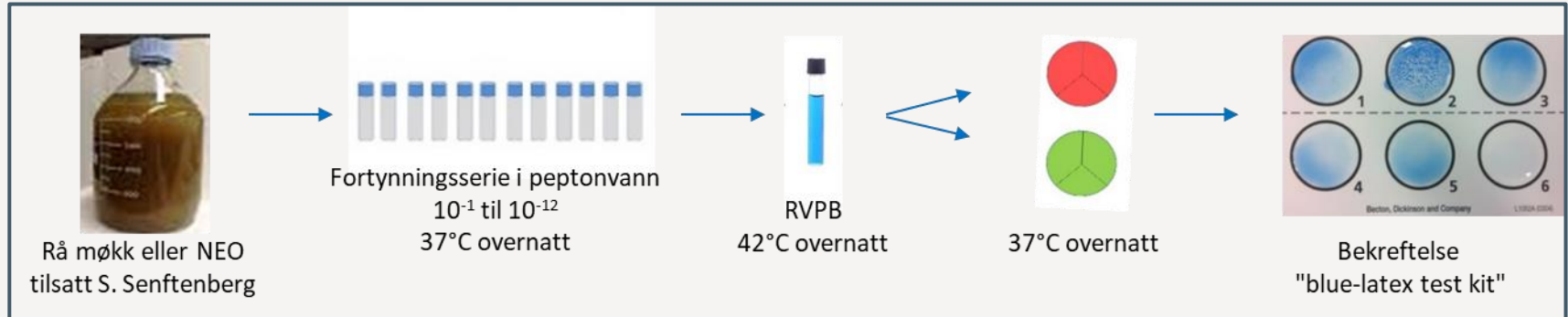
Laboratorietester

- > Flere innledende laboratorietester ble utført for å utvikle metoder og forsøksoppsett til pilotforsøk. Følgende parametere ble undersøkt:
 - > Effekt av salpetersyrling HNO_2
 - > Effekt av pH-variasjoner
 - > Effekt av nitritt
 - > Effekt av oksidative forhold (ozon)
- > Forsøkene viste at pH må være lav for å få effekt av salpetersyrling
- > Ozonerings-forsøkene viste null overlevelse av *S. Senftenberg* etter eksponering til ozon (25,3 mg/l) ved pH 4,7



Salmonella Senftenberg 755w H₂S negativ

- > Egen metode utviklet hos Aquateam COWI, omfattende
 - > oppdyrking av fortynningsrekke i flytende medier
 - > utplating på selektivt medium
 - > bekreftelse med immunologisk metode



E. coli ATCC 11775

- > Valgte i utgangspunktet å analysere *E. coli* eksternt med sertifisert metodikk (ISO 9308-2)
- > Etter uventede testsvar ble det nødvendig å ta en kontrollrunde hos flere testlaboratorier (ALS, Eurofins og Vestfold lab)
 - > viste seg å være analyseutfordringer knyttet til husdyrgjødsel, og kommunalt slam
- > Vi etablerte derfor en egen metode hos Aquateam COWI
 - > fortynningsrekke
 - > utplating på selektivt medium



Ascaris suum

- > Analyser utført hos Statens Landbrukstekniske Universitet (SLU)
 - > Det ble det brukt permeable nylonposer (ca. 30 µm lysåpning) som ble fylt med ca. 10.000 egg i hver pose
 - > Etter eksponering i behandlet produkt (NEO) og kontrollprøver ble posene skylt i springvann for å fjerne restoksidant fra prosessen, og deretter inkubert ved 28°C
 - > Eggene i test- og kontrollposene ble mikroskopert både ved ankomst til laboratoriet og etter inkubasjon



Figure A1.3. *Ascaris* ovum: decorticated, unembryonated.

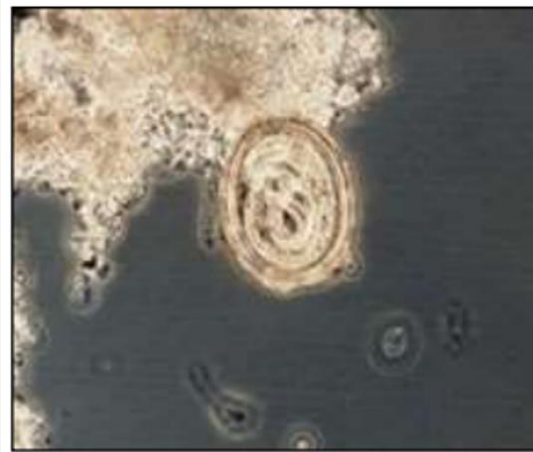


Figure A1.4. *Ascaris* ovum: decorticated and embryonated.

Egg fra grisens spolorm, *Acaris suum*.
Bilder fra US EPA (2003).

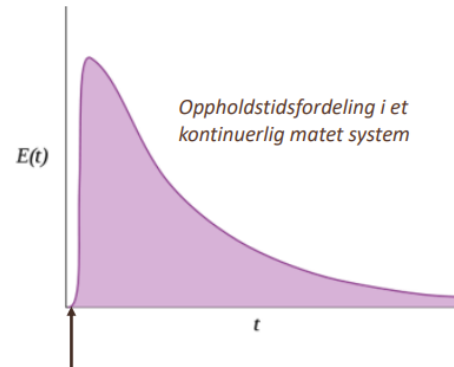
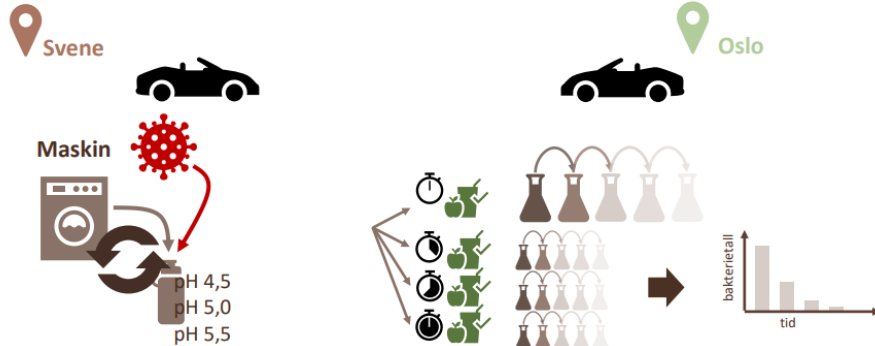
Gjennomføring av forsøk

N2 Applied

- > Drift av pilotanlegg
 - Sikre riktige driftsbetingelser (kontroll av pH i produkt)
 - Dokumentere parametere i database
 - Uttak av substrater for tilsats/analyser
 - Identifisere kritiske kontrollpunkter (CCP)

Aquateam COWI

- > Tilsats av testorganismer
- > Laboratorieanalyser
 - *S. Senftenberg*
 - *E. coli*
 - *A. suum*-egg
- > Analyser og sammenstilling av data
- > Rapportering av resultater

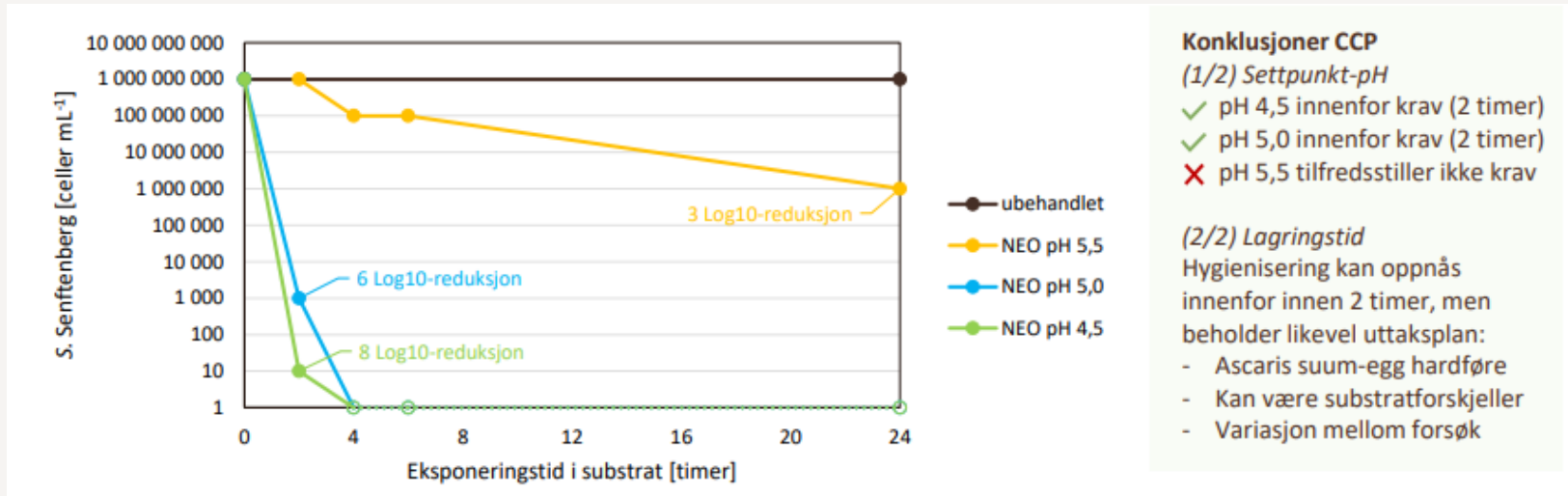


Oppholdstid i maskinen → 0

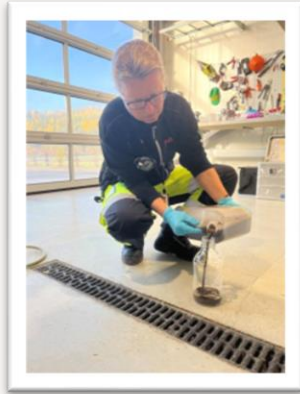
Ved å tilsette testorganismene *etter* prosessering simulerer vi den kortest mulige oppholdstiden i systemet.

Pilotskalatester – screening av CCP= Kritiske kontroll p.

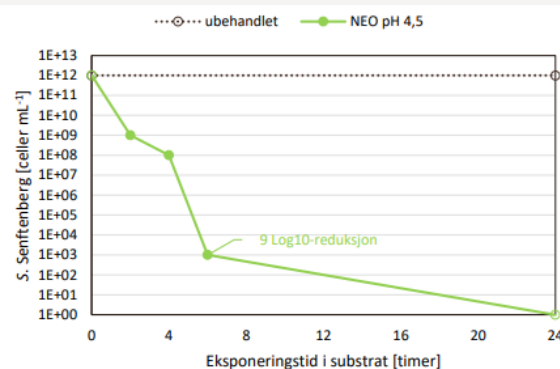
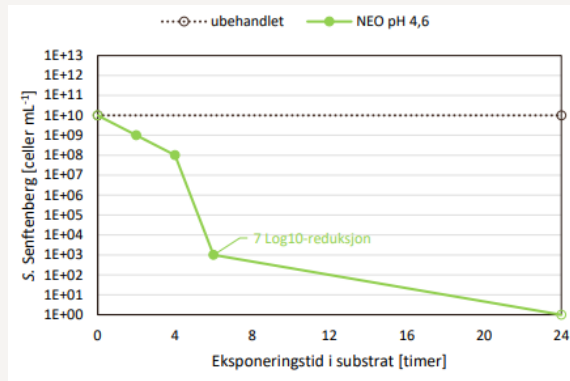
- > Utført med tilsats av *S. Senftenberg* (ikke *E. coli* og *A.suum* egg)
 - > Tre tester med kumøkk (pH 4,5-5,0-5,5) og én med utrånnet slam (pH 5,5)



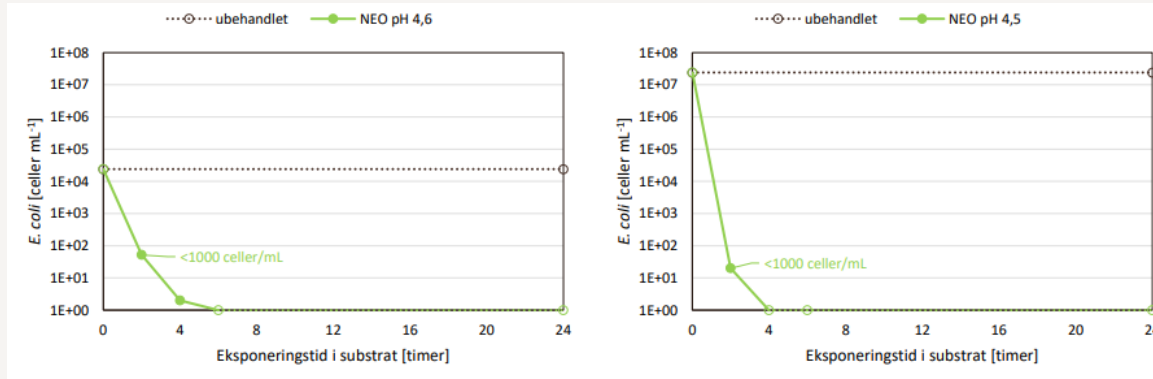
Valideringstester, utrånnet slam



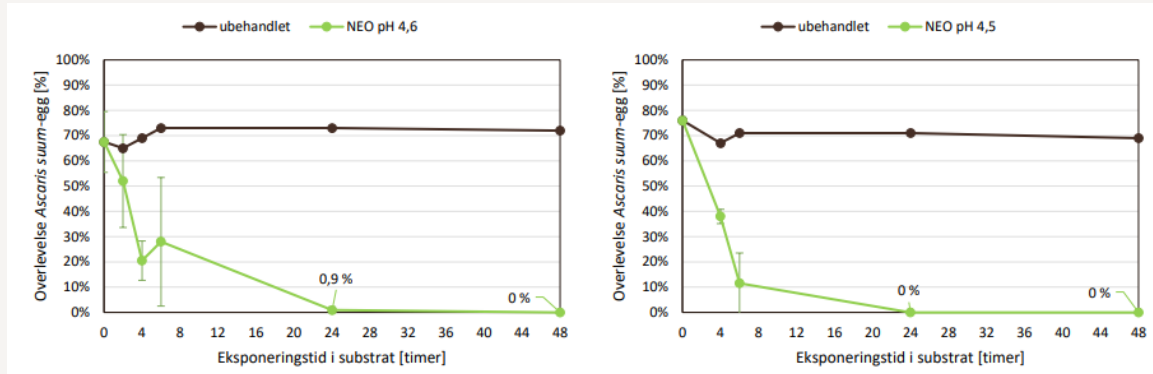
Pilotskalatester– S. Senftenberg



Pilotskalatester – *E. coli*



Pilotskalatester – *A. suum*-egg



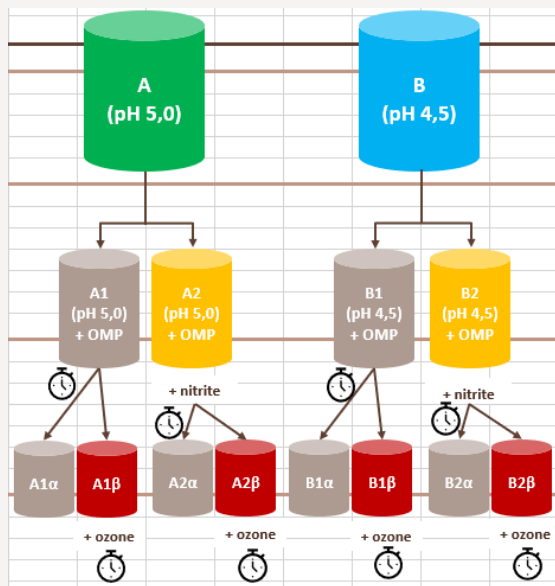
Konklusjon fra valideringstester

- > Ved behandling av utrånnet slam oppnås hygienisering med settpunkt $\text{pH} \leq 4,5$ og eksponeringstid 24-48 timer

Testdato	pH	<i>S. Senftenberg</i>		<i>E. coli</i>		<i>Ascaris suum</i> -egg	
		Lagrings-tid (timer)	Bakterietall >5 log10 reduksjon	Lagrings-tid (timer)	Bakterietall <1000 per g	Lagrings-tid (timer)	Gjennomsnittlig dødelighet (%)
11.10.22	4,5	6	7 log10 red.	2	$5,2 \cdot 10^1$	48	100
06.12.22	4,5	6	9 log10 red.	2	$2,0 \cdot 10^1$	24	100

Innledende labstudie, fjerning av organiske mikroforurensninger (OMP)

Digestatet pH ble justert i N2A-reaktoren til 5,0 og 4,5

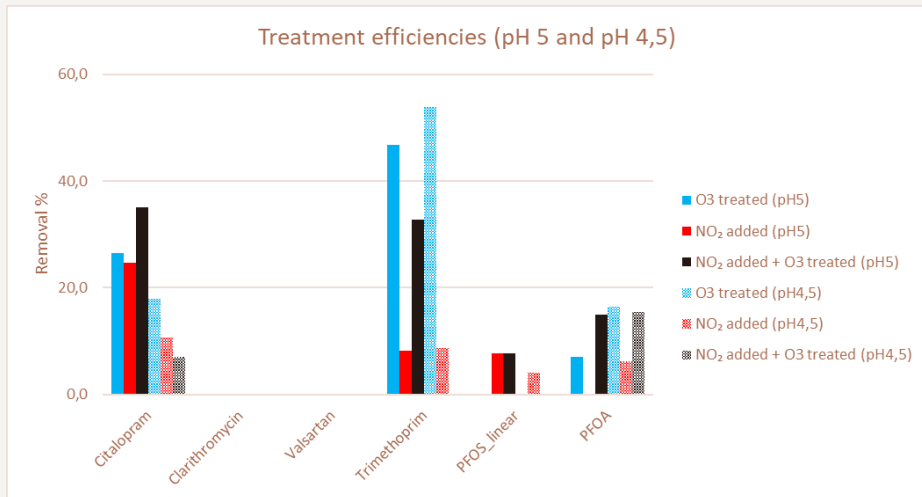


α = ubehandlede kontrollprøver
β = tilsatt O₃

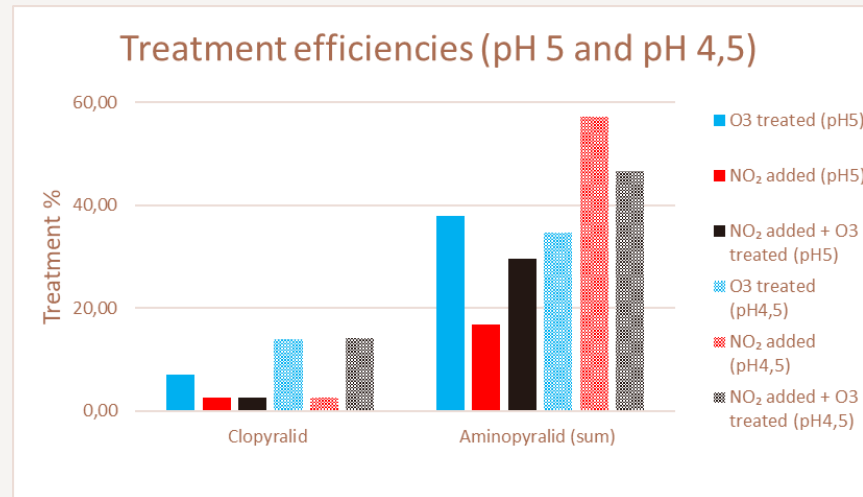
Digestat ble tilsatt en «OMP-koctail» av medisiner, PFAS og plantevernmidler (mg/l)

Compound	OMP*	C sample [mg/L]
Clarithromycin	Antibiotics	0,21
Trimetylprim	Antibiotics	0,29
Citalopram	Antidepressants	0,14
Valsartan	Blood pressure lowering	0,003
PFOS	PFAS	0,01
PFOA	PFAS	0,29
Clopyralid	Plant protection product	0,14
Aminopyralid	Plant protection product	0,11

Innledende resultat: Organiske miljøgifter fjernes!



- > 20-35 % av Citalopram ble fjernet med ozon/NO₂
- > 45-55 % av Trimethoprim ble fjernet med ozon
- > For øvrige stoffer var fjerningen <15 %





- > 40 % av Aminopyralid (plantevernmiddel) ble fjernet med ozon og 60 % med NO₂ ved pH 4,5

Takk for oppmerksomheten!

aquateam | COWI

Eilen Arctander Vik

 eav@aquateam.no

 950 42 783

