

# AFPRØVNING AF BIOLOGISK LUFTRENSER BAC-1 FRA KJ KLIMATEKNIK A/S

Kasper Balslev Sørensen<sup>a</sup>, Malene Jørgensen<sup>a</sup> og Mai Britt Friis Nielsen

<sup>a</sup> Ansat ved SEGES Svineproduktion, da afprøvningen blev gennemført.

STØTTET AF

**Svine**afgiftsfonden

---

## Hovedkonklusion

Den biologiske luftrensere BAC-1 fra KJ Klimateknik A/S reducerede ammoniakkoncentrationen med 90 procent, lugtkoncentrationen med 72 procent og støvkoncentrationen med 97 procent ved fuldrensning af luft fra en slagtesvinesektion.

---

## Sammendrag

Det tyske firma RIMU Agrartechnologie GmbH har udviklet en biologisk luftrensere, som i Danmark forhandles under navnet BAC-1 af firmaet KJ Klimateknik A/S. Luftrenseren er tidligere blevet testet i Tyskland i en stald med slagtesvin under fuld luftrensning.

Forbrugsomkostningerne til drift af luftrenseren bestod af vand, syre, N-inhibitor og el samt opbevaring og udbringning af lænsevand. Forbrugstallene er udregnet efter ét års målinger, hvor der samlet blev produceret 657 grise. Vandforbruget pr. produceret gris var 0,244 m<sup>3</sup>, hvoraf 0,087 m<sup>3</sup> igen blev lænset fra luftrenseren til gylleopbevaring. Det samlede energiforbrug udgjorde 11 kWh per produceret gris, fordelt på 3,4 kWh til drift af luftrenseren og 7,6 kWh til ventilation. Til ventilering af slagtesvinestalde uden luftrensning anvendes typisk 5,5 kWh per produceret gris. Fratrækkes elforbruget til ventilation uden luftrensning fås det elforbrug, det kræver at lede luften gennem luftrenseren svarende til 2,1 kWh per produceret gris. De samlede forbrugsomkostninger under de opstillede forudsætninger var 7,08 kr. per produceret gris ved fuld luftrensning.

Igennem afprøvningsperioden blev landmandstilsynet foretaget af KJ Klimateknik A/S. Samlet blev der i afprøvningsperioden brugt 19 timer på vedligehold og reparationer af luftrenseren, svarende til 22 minutter per uge. Forbruget alene til vedligehold og opfyldning af syre udgjorde 16 minutter per uge.

Afprøvningen blev gennemført ved fuld luftrensning af ventilationsluften fra en slagtesvinesektion på SEGES Forsøgsstation Grønhøj. Resultaterne viste, at luftrenseren reducerede

ammoniakkoncentrationen med 90 procent, lugtkoncentrationen med 72 procent og støvkoncentrationen med 97 procent.

Formålet med denne afprøvning var at bestemme luftrensersens renseseffektivitet for ammoniak, lugt og støv ved rensning af al luften fra en slagtesvinestald gennem ét år med henblik på optagelse på Miljøstyrelsens Teknologiliste. Informationer om driften af luftrenserseren og forbrugsomkostninger blev ligeledes indsamlet for at vurdere driftsstabiliteten af luftrenserseren.

## Baggrund

Der er i dag kun få godkendte luftrensere optaget på Miljøstyrelsens Teknologiliste [1] og derfor få alternativer at vælge imellem for de svineproducenter, der ønsker luftrensning som miljøteknologi til at reducere emissionen fra deres stalde. Generelt skelnes der ved luftrensere imellem kemiske luftrensere og biologiske luftrensere. I kemiske luftrensere reguleres efter en konstant pH-værdi, som opretholdes ved tilsætning af eksempelvis svovlsyre eller NaOH. I biologiske luftrensere dannes en biologisk film af mikroorganismer, som reducerer en del af ammoniakken og lugtstofferne fra staldluften.

Det tyske firma RIMU Agrartechnologie GmbH har udviklet en biologisk luftrensere, som i Danmark bliver forhandlet under navnet BAC-1 af firmaet KJ Klimateknik A/S. Luftrenserseren fungerer ved, at der dannes biofilm på filtermaterialet, som konstant overrisles med vand. Samtidigt reguleres pH for at skabe optimale forhold for biofilmen og forhindre lattergas dannelse.

Luftrenserseren er tidligere blevet testet i Tyskland i en stald med slagtesvin under fuld luftrensning. Resultaterne af den tyske test viste en reduktion i henholdsvis totalstøv og ammoniak på henholdsvis 81 procent og 88 procent. Samtidigt viste den tyske test, at luftrenserseren reducerede lugtkoncentrationen til et gennemsnit på 123 OUE/m<sup>3</sup> i ventilationsluften fra stalden svarende til 74 procent reduktion [2].

Formålet med denne afprøvning var at undersøge luftrensersens renseseffektivitet af ammoniak, lugt og støv ved rensning af al luften fra en slagtesvinestald gennem ét år. Informationer om driften af luftrenserseren og forbrugsomkostninger blev indsamlet for at vurdere driftsstabiliteten af luftrenserseren. Samlet var formålet at dokumentere luftrensersens renseseffektivitet til optagelse på Miljøstyrelsens Teknologiliste i Danmark.

## Materialer og metoder

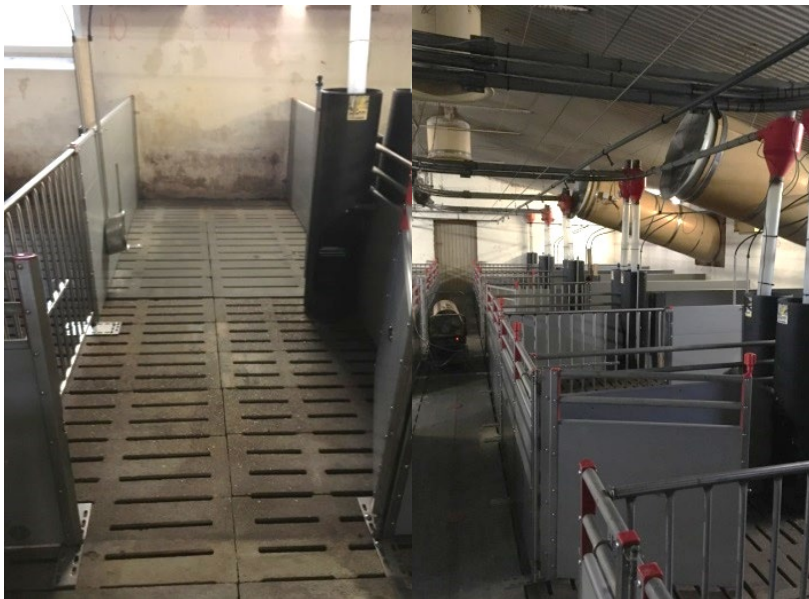
Afprøvningen blev gennemført i en slagtesvinesektion på SEGES Forsøgsstation Grønhøj fra marts 2018 til marts 2019. Der blev i gennemsnit indsat 160 grise i sektionen ved hvert af de fire produktionshold. Grisene blev indsat ved cirka 30 kg og slagtet ved cirka 110 kg. Produktionscyklus var 12 uger og en uge tom (rengøring), inden næste hold blev indsat.

Sektionen målte 16 meter \* 10 meter. Loftshøjden var 3,60 meter målt fra gulv til kip. Sektionen var indrettet med 20 stier med stimålene 4,32 meter \* 1,58 meter. Stiernes gulvprofil var 65 cm spaltegulv ved bagvæggen, 160 cm drænet gulv i midten af stien og 207 cm spaltegulv ud mod inspektionsgangen (se figur 1).

Der var etableret overbrusningsanlæg (lavtryksanlæg) over spaltegulvet i gødearealet. En træpind i holder udgjorde rode- og beskæftigelsesmateriale. Gyllekummen var 60 cm dyb, og gyllen blev sluset ud 1-2 gange i løbet af produktionsperioden.

Grisene blev fodret ad libitum med tørfoder via en tørfoderautomat, og der var etableret en drikkekop i hver sti. Grisene i sektionen blev tildelt forskellige foderblandinger i perioden. Ved det første hold indeholdte foderblandingerne i gennemsnit 15,5 procent råprotein, og ved de øvrige hold indeholdte foderblandingen i gennemsnit 16,3 procent råprotein. I hele afprøvningsperioden var råproteinniveauet i foderblandingen imellem de 14 og 16,5 procent i henhold til VERA protokollen [3].

Ventilationssystemet var fra KJ Klimateknik A/S og bestod af 10 vægventiler (0,61 m \* 0,24 m) i hver side af sektionen, hvor luften blev ledt ind i stalden. Der var placeret to loftudsugningsenheder med en diameter på 82 cm i loftet, som var blændet af (sat ud af drift under afprøvningsperioden). Luften blev ledt ind i luftrenseren fra stalden via to ventilationsrør ført gennem sektionsvæggen (se figur 2). Rørene havde en diameter på 82 cm, og der var placeret en målevinge i hvert rør. Ventilationen var indstillet til, at luftstrømmen var ens ind i hvert af de to rør. Luftrenseren blev afprøvet under konceptet "fuld luftrensning", hvor al luft fra staldsektionen blev ledt igennem luftrenseren.



**Figur 1.** Gulvprofilen i stien.



**Figur 2.** Placering af de to ventilationsrør, som ledte staldluften til luftrenseren.



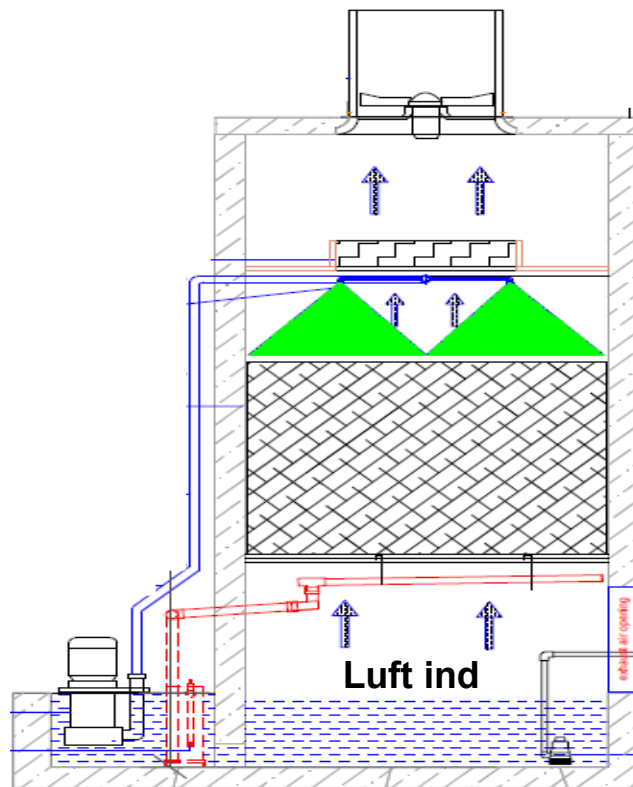
**Figur 3.** Luftrenser set udefra

## Beskrivelse af luftrenseren

Den biologiske luftrenser BAC-1 var med filterelementer bestående af polypropylen, placeret horisontalt i renseren. Luftrenserens kapacitet var på 16.000 m<sup>3</sup>/time i maksimumydelse. Filterelementerne var opbygget af tre lagdelte filtertyper af forskellige størrelser. Samlet var de tre filterelementer 1,8 meter høje, 1,8 meter brede og 2,4 meter i længden. Filterets tværsnitareal var således 4,32 m<sup>2</sup> og filtervolumen 7,78 m<sup>3</sup>. Filterbelastningen var dermed 3.700 m<sup>3</sup> luft / m<sup>2</sup> fladeareal / time. Filterelementerne blev befugtet ved hjælp af dyser, som kontinuerligt overrislede filtrene med vand fra et opsamlingskar, der var placeret i bunden af luftrenseren. Vandet trængte derefter gennem filterelementer tilbage i opsamlingskarret. Ledningsevnen i opsamlingskarret blev målt kontinuerligt, og når ledningsevnen var over 30 mS/cm, blev en del af vandet lænset fra og erstattet af frisk vand, når en niveaumåler i karret viste, at der var behov for det. Figur 4 viser en skitsetegning af luftrenserens opbygning.

I luftrenseren blev pH målt og reguleret ved tilsætning af henholdsvis svovlsyre (96 procent) og N-inhibitor (N-Lock) til et konstant niveau imellem pH 6,3 og 6,8. Det skyldes, at hvis pH var for lav, så

ville det påvirke lugtreduktionen. Hvis pH derimod blev for høj, ville det påvirke luftrensens evne til at frarene ammoniak.



**Figur 4.** Skitsetegning, som illustrerer opbygning af luftrensers (kilde: RIMU Agrartechnologie GmbH).

## Registreringer

Registreringerne blev foretaget efter retningslinjerne i den internationale VERA-måleprotokol for luftrensere (version 1, 2010) [3]. Afprøvningen af luftrensers blev udført gennem ét år. Der blev i afprøvningsperioden målt i to intensive målekampanjer, én sommerperiode og én vinterperiode. I målekampanjerne blev der kontinuerligt målt ammoniak, lattergas og kuldioxid. Derudover blev der ugentligt foretaget lugt- og svovlbrintemålinger i afprøvningsperioderne. På dagene, hvor der blev foretaget lugtmålinger, blev der foretaget kontrolmålinger, udtaget læsevandsprøver, samt noteret forbrugstal. Derudover blev der foretaget støvmålinger på én måledag i hver målekampagne. I perioderne udenfor kampagnerne blev der lavet staldregistreringer og kontrolmålinger samt noteret forbrugstal cirka hver 14. dag. Målinger og registreringer blev foretaget af en tekniker fra Den Rullende Afprøvning.

Koncentrationen af ammoniak, lattergas, kuldioxid, lugt, støv og svovlbrinte blev målt i hvert af de to indgangsrør (som førte staldluft ind i luftrensers) samt i ét målepunkt efter luftrensers (placeret efter ventilator).

## Ammoniak, lattergas og kuldioxid

Koncentrationen af ammoniak, lattergas og kuldioxid i luften blev målt kontinuerligt over døgnet med infrarød spektrometri (INNOVA 1412 foto-akustisk gas analyse og 1309 Multipoint samplers, LumaSense Technologies A/S). Koncentrationerne blev målt før og efter luftrensers samt i udeluften. Der blev foretaget fem gentagne målinger på hver kanal, hvoraf den sidst loggede værdi i hver målerunde blev anvendt. Ved teknikerbesøg og på måledage med lugtmålinger blev koncentrationen af ammoniak og kuldioxid desuden målt i de samme målepunkter med sporgasrør (Kitagawa 105 SD og 126 SF) som kontrolmåling af INNOVA.

## Lugt

Der blev udtaget lugtprøver til analyse på i alt 16 måledage (otte måledage i vinterperioden og otte måledage i sommerperioden). Lugtprøverne blev opsamlet ved at indsætte en PTFE-slange i hvert målested. PTFE-slangen var forbundet med en 30 liter Nalophan®-pose, som var placeret i en tæt lukket kasse. Til kassen var der koblet en pumpe, som dannede undertryk i kassen, hvorved posen blev fyldt med luft fra målestedet. Inden prøverne blev udtaget, blev poserne konditioneret, hvorved poserne blev fyldt med staldluft og tømt igen, før den endelige opsamling af prøve.

Opsamlingsperioden var på 30 minutter med et flow på 0,9 liter per minut. Der blev indsamlet to lugtprøver per dag per målested. Lugtprøverne blev indsamlet i tidsrummet klokken 11.00-11.30 og klokken 13.00-13.30. Prøverne blev efterfølgende sendt til lugtlaboratoriet LUFA Nord-West i Tyskland, hvor de blev analyseret den følgende dag. Indsamlingen af lugtprøverne og bestemmelse af lugtkoncentrationen ved olfaktometri blev foretaget i henhold til den europæiske CEN-standard, som er effektueret til Dansk Standard (DS/EN 13725:2003) [4].

## Støv

Mængden af totalstøv henholdsvis før og efter luftrenseren blev målt i ét døgn i sommerperioden og ét døgn i vinterperioden. Støvprøven blev indsamlet ved at placere to membranfiltre ved hvert målepunkt. Membranfiltrene blev tilsluttet en pumpe, sådan at luften fra målepunkterne blev ført igennem membranfilterne med et flow på cirka 1,8 liter per minut. Der blev opsamlet to støvprøver per målepunkt på hver måledag. Prøverne blev sendt til Teknologisk Institut og analyseret ved metode UA206 og vejret efter AMI L15.

## Svovlbrinte

Svovlbrintekonzentrationen blev efter hver lugtprøveudtagning målt i de samme målepunkter med en svovlbrintemåler (Jerome 631 XE). Der blev foretaget fire registreringer efter hinanden i hvert målepunkt, hvoraf den første måling konsekvent blev kasseret.

## Temperaturer, luftfugtighed og luftmængder

Ventilationsydelsen blev målt med en målevinge (Fancor AT(M) unit 80) i hvert indgangsrør til luftrenseren. Ventilationsydelser, luftfugtighed og temperatur før og efter luftrenseren samt ude- og staldtemperaturer blev logget hvert 5. minut via PC-log (VengSystem A/S).

Herudover blev der efter hver lugtprøveudtagning på hver lokalitet foretaget en kontrolmåling af temperatur og relativ luftfugtighed i de enkelte målepunkter med et multimeter (Testo 435). Endvidere blev temperaturen og den relative luftfugtighed i udeluften på hver måledag registreret umiddelbart inden første prøveudtagning samt efter sidste prøveudtagning.

## Tryktab

Tryktabet over luftrenseren blev logget kontinuerligt til computerstyringen af luftrenseren og kontrolmålt ved hvert teknikerbesøg med en Testo 435.

## pH og ledningsevne

pH og ledningsevne i procesvandet blev målt kontinuerligt i luftrenseren, og der blev foretaget en kontrolmåling i forbindelse med lugtmålinger, hvor der samtidigt blev taget lænsevandsprøver til analyse.

## Lænsevæske

Mængden af lænsevand blev aflæst via vandmålere. Der blev udtaget prøver af lænsevæsken på hver lugtmålingsdag, som blev nedfrosset umiddelbart efter prøvetagning. Prøverne blev analyseret for pH,

ledningsevne, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Total S og Na. Prøverne blev analyseret ved AnalyTech Miljølaboratorium A/S.

## Antal grise, vægt og svineri

Antallet af grise og deres vægt blev registreret ved hvert teknikerbesøg. Grisenes vægt samt andelen af svineri i stien blev registreret ved en visuel vurdering.

## Landmandstilsyn, service og logbog

Igennem afprøvningsperioden blev landmandstilsynet gennemført af en tekniker fra KJ Klimateknik A/S med cirka tre ugers mellemrum. Tidsforbruget blev noteret igennem afprøvningsperioden, og der blev ført en logbog over materialer, service og reparationer på luftrenseren.

## Forbrugstal

Forbrugstallene blev registreret i en samlet periode af et år. Vand-, syre-, N-inhibitor- og elforbruget til renseren blev kontinuerligt registreret i styringen til luftrenseren samt kontrolmålt løbende ved hvert teknikerbesøg. Det samlede energiforbrug blev registreret ved hjælp af en elmåler, der dækkede luftrenseren og ventilationen. Forbruget af syre og N-inhibitor blev registreret ved vejning af henholdsvis syre- og basebeholderen ved teknikerbesøgene samt registreringer af opfyldninger. Forbruget af vand til luftrenseren blev målt ved hjælp af en vandmåler.

## Statistik

De to kampagner blev analyseret hver for sig. Parametre målt med INNOVA (ammoniak, kuldioxid, lattergas) blev beregnet ved et døgn gennemsnit. Data blev analyseret i en lineær regression med koncentration før / efter renseren som klassevariable afhængig af måledag og udetemperaturen. Der blev for lugt og svovlbrente taget hensyn til gentagne målinger per dag i modellen. Lugtkoncentration blev logaritmetransformeret før analyse.

## Resultater og diskussion

Afprøvningen blev gennemført i perioden fra den 19-03-2018 til den 26-03-2019. Samlet blev der i afprøvningsperioden produceret fire hold slagtesvin. Der blev foretaget intensive målinger i hhv. en sommerkampagne fra den 09-07-2018 til den 20-09-2018 og en vinterkampagne fra den 29-01-2018 til den 26-03-2019.

## Ammoniak

Tabel 1 viser den målte ammoniakkoncentration i hver målekampagne. Der blev fundet en signifikant lavere ammoniakkoncentration efter luftrenseren i forhold til før luftrenseren i både sommer- og vinterkampagnen på henholdsvis 88 procent og 91 procent, svarende til en samlet reduktion på 90 procent. Figur A1 og A2 i appendiks viser dagsmiddel for ammoniakkoncentration før og efter luftrenseren på samtlige måledage for henholdsvis sommer- og vinterperioden. Ammoniakemissionen fra stalden i kg NH<sub>3</sub>-N per m<sup>2</sup> produktionsareal per år var i gennemsnit 2,6 kg for sommer- og vinterkampagnen.

Perioden fra den 13-08-2018 til den 27-08-2018 er ikke medregnet i sommerkampagnen, fordi ventilationsydelsen blev begrænset af en udetemperatur-begrænsning. I vinterperioden medførte et strømmeafbrud fra den 16-03-2019 til den 18-03-2019, at der ikke blev målt med INNOVA. Derudover er perioden imellem den 30-01-2019 og den 04-02-2019 ikke medtaget i beregningen af ammoniakreduktionen, da kuldioxidkoncentrationen var forskellig før og efter luftrenseren, hvilket tyder på, at der er sket en opblanding med udeluften i målepunktet efter renseren på grund af den lave luftfyldelse gennem renseren. Luftfyldelsen og tryktabet i luftrenseren i henholdsvis sommer- og vinterkampagnen fremgår af figur A3 og A4 i appendiks.

**Tabel 1.** Resultaterne for den beregnede middelværdi af ammoniakkoncentrationen målt i luftstrømmen før og efter luftrenseren. 95 procent konfidensinterval er angivet i parentes.

	Sommerkampagne	Vinterkampagne
Måledage, stk.	48	48
Ammoniakkoncentration Før luftrenser, ppm	5,9 (5,6- 6,3)	13,7 (13,1-14,4)
Ammoniakkoncentration Efter luftrenser, ppm	0,7*** (0,6- 0,7)	1,3*** (1,2-1,3)

\*\*\* Statistisk signifikant forskel ( $P < 0,001$ ) på koncentrationen før og efter luftrenser.

## Lugt

Tabel 2 viser den beregnede middelværdi af lugtkoncentration i måleperioderne. Der blev fundet en signifikant lavere lugtkoncentration efter luftrenseren i både sommer- og vinterkampagnen på henholdsvis 64 procent og 79 procent, svarende til en samlet reduktion på 72 procent. Reduktionen var numerisk størst i vinterkampagnen, men ikke signifikant forskellig fra sommerkampagnen. Figur A5 og A6 i appendiks viser de enkelte målinger før og efter luftrenseren på samtlige måledage for henholdsvis sommer- og vinterkampagnen. Tabel A1 i appendiks viser de supplerende målinger, som blev lavet i forbindelse med lugtmålingerne. Grisenes gennemsnitsvægt var ved lugtmålingerne højere i sommerkampagnen end i vinterkampagnen. Dette skyldes forlængelsen af perioden for at opnå tilstrækkelige målinger med høj luftfyldelse. Tryktabet over renseren var højere i sommerkampagnen end i vinterkampagnen som følge af, at også luftfyldelsen var højere.

**Tabel 2.** Resultaterne for den beregnede middelværdi af lugtkoncentration målt i luftstrømmen før (en i hvert afkast) og efter luftrenseren. 95 procent konfidensinterval er angivet i parentes.

	Sommerkampagne	Vinterkampagne
Antal måledage, stk.	8	8
Lugtkoncentration Før luftrenser, $OU_E/m^3$	393 (320-482)	694 (587-819)
Lugtkoncentration Efter luftrenser, $OU_E/m^3$	140*** (105-187)	147*** (117-184)

\*\*\* Statistisk signifikant forskel ( $P < 0,001$ ) på koncentrationen før og efter luftrenser.

## Støv

I tabel 3 er vist den totale støvkoncentration målt over 24 timer før og efter luftrenseren. Samlet blev støvkoncentrationen reduceret med 97 procent. Støvkoncentrationen blev reduceret med henholdsvis 95 procent og 98 procent ved sommer- og vintermålingen.

**Tabel 3.** Resultater af støvanalyser ved henholdsvis sommer- og vinterperioden. Resultaterne er angivet som middelværdi og standardafvigelse.

	Total støvkoncentration, $mg/m^3$	
	13. august 2018	5. marts 2019
Antal prøver, stk.	6	5**
Før luftrenser	$0,17 \pm 0,03$	$0,68 \pm 0,29$
Efter luftrenser	$0,01 \pm 0,00^*$	0,02

\*Begge prøver efter luftrenser var ved analysen under detektionsgrænsen ( $>0,02 mg/m^3$ ).

\*\* Filteret manglede i kassetten i en af prøverne efter luftrenser ved analyse, og der er derfor kun én prøve fra efter luftrenser.

## Svovlbrinte

Tabel 4 viser den beregnede middelværdi af svovlbrintekonzentration i måleperioderne. Der var en signifikant lavere svovlbrintekonzentration efter luftrensere i både sommer- og vinterkampagnen, svarende til en reduktion på henholdsvis 71 procent og 93 procent, svarende til en samlet reduktion på 82 procent. Figur A7 og A8 i appendiks viser de enkelte målinger før og efter luftrensere på samtlige måledage for henholdsvis sommer- og vinterperioden. Generelt blev der ved samtlige målinger fundet en høj reduktion af svovlbrinte, hvilket er i overensstemmelse med, at der blev fundet en høj lugtreduktion. De højeste koncentrationer efter luftrensere blev målt i vinterperioden den 26-03-2019. Denne dato ligger umiddelbart efter et strømsvigt den 16-03-2019 og indikerer, at biofilmen endnu ikke er fuldt genopbygget.

**Tabel 4.** Resultaterne for den beregnede middelværdi af svovlbrintekonzentrationen målt i luftstrømmen før og efter luftrensere. 95 procent konfidensinterval er angivet i parentes.

	Sommerkampagne	Vinterkampagne
Antal måledage, stk.	8	8
Svovlbrintekonzentration Før luftrensere, ppm	0,38 (0,33-0,42)	0,84 (0,78-0,90)
Svovlbrintekonzentration Efter luftrensere, ppm	0,11*** (0,04-0,17)	0,06*** (-0,03-0,14)

\*\*\* Statistisk signifikant forskel ( $P < 0,001$ ) på koncentrationen før og efter luftrensere.

## Lattergas

Konzentrationen før og efter luftrensere viste, at der blev produceret lattergas i luftrensen. Den producerede mængde kvælstof i lattergassen udgør 0,1 procent i sommerkampagnen og 0,02 procent i vinterperioden af ammoniakreduktionen, hvilket ikke ændrer resultatet af ammoniakreduktionen på 90 procent. Det skal dog nævnes, at sammenligning af målinger af lattergaskonzentration foretaget med INNOVA (infrarød fotoakustisk spektrometri) er forbundet med usikkerhed, særligt når luftens fugtighed ikke er ens før og efter luftrensere [5]. Lattergaskonzentrationen vil derfor sandsynligvis være overestimeret efter luftrensere på grund af den høje luftfugtighed.

**Tabel 5.** Resultaterne for den beregnede middelværdi af lattergaskonzentrationen målt i luftstrømmen før og efter luftrensere. 95 procent konfidensinterval er angivet i parentes.

	Sommerkampagne	Vinterkampagne
Antal måledage, stk.	48	48
Lattergaskonzentration Før luftrensere, ppm	0,231 (0,230-0,232)	0,132 (0,130-0,134)
Lattergaskonzentration Efter luftrensere, ppm	0,235*** (0,233-0,236)	0,137** (0,135-0,139)

\*\* Statistisk signifikant forskel ( $P < 0,01$ ) på koncentrationen før og efter luftrensere.

\*\*\* Statistisk signifikant forskel ( $P < 0,001$ ) på koncentrationen før og efter luftrensere.

## Kuldioxid

Tabel 6 viser den målte kuldioxidkonzentration før og efter luftrensere. I sommer- og vinterperioden var der ikke signifikant forskel på kuldioxidkonzentrationen før og efter luftrensere. I perioden fra den 30-01-2019 til den 04-02-2019 var der en forskel på kuldioxidkonzentrationen før og efter luftrensere. Dette kan skyldes opblanding af luften på grund af meget lav ventilationsydelse. Denne periode er derfor udeladt fra ammoniakberegningen.



**Table 6.** Resultaterne for den beregnede middelværdi af kuldioxidkoncentration målt i luftstrømmen før og efter luftrensere. 95 procent konfidensinterval er angivet i parentes

	Sommerkampagne	Vinterkampagne
Antal måledage, stk.	48	48
Kuldioxidkoncentration Før luftrensere, ppm	1.200 (1.167-1.233)	1.787 (1.723 -1.850)
Kuldioxidkoncentration Efter luftrensere, ppm	1.177 (1.145-1.209)	1.727 (1.663-1.791)

## Relativ luftfugtighed

Table 7 viser den målte relative luftfugtighed henholdsvis ude, før og efter luftrensere. Den relative luftfugtighed efter luftrensere er sat til ~100 procent. Det måleudstyr, der var opsat til kontinuerlige målinger, var ikke i stand til at måle luftfugtigheden efter luftrensere, og vurderingen er derfor lavet ud fra håndholdte målinger, som viste, at luftfugtigheden efter renseren var tæt på 100 procent.

**Table 7.** Resultaterne for den beregnede middelværdi af den relative luftfugtighed målt i luftstrømmen før og efter luftrensere samt ude. 95 procent konfidensinterval er angivet i parentes.

	Sommerkampagne	Vinterkampagne
Antal måledage, stk.	48	48
Relativ fugtighed Ude, %	69 (48-88)	83 (62-95)
Relativ fugtighed Før luftrensere, %	73 (63-83)	76 (69-79)
Relativ fugtighed Efter luftrensere, %	~ 100	~ 100

## Vandanalyser

Table 8 viser analyseresultaterne af lænsevandsprøverne. Generelt var der kun små udsving i værdierne mellem sommer- og vinterperioden. Det højere ammonium-N indhold i sommerperioden skyldes, at der blev målt højere ledningsevne i prøverne. I vinterperioden blev der målt et højere svovlindhold, hvilket tyder på et højere syreforbrug.

**Table 8.** Resultater af lænsevandsanalyser ved henholdsvis vinter- og sommerperioden. Resultaterne er angivet som middelværdi. Minimum og maksimum er angivet i parentes.

	Sommerkampagne	Vinterkampagne
Antal målinger, N	8	8
pH	6,28 (6,04-6,68)	6,54 (6,45-6,67)
Ledningsevne, mS/cm	33 (31-34)	26 (25- 28)
Ammonium- N, mg/L	3.950 (3.790-4.110)	3.009 (2.550-3.870)
NO <sub>2</sub> og NO <sub>3</sub> , mg/L	2.199 (2.070-2.270)	2.139 (1.860-2.400)
Total svovl, mg/L	1.696 (1.430-2.060)	2.031 (1.710-2.390)
Natrium, mg/L	64 (36-85)	36 (28-81)

## Forbrug

Tabel 9 viser luftrensensens forbrug af vand, syre, N-inhibitor og el i testperioden. Forbruget per produceret gris er udregnet efter, at der blev produceret 657 grise i perioden. Vandforbruget til luftrenseren var 160 m<sup>3</sup>. Af den tilførte vandmængde blev 57 m<sup>3</sup> lænset fra luftrenseren. Den resterende tilførte vandmængde fordampede i forbindelse med, at luften fra stalden blev ledt igennem luftrenseren. Igennem måleperioden blev der kun forbrugt meget lidt N-inhibitor svarende til 4,6 kg. Elforbruget til ventilation udgjorde 7,6 kWh per produceret gris. Til ventilering af slagtesvinestalde uden luftrensning anvendes typisk 5,5 kWh per produceret gris. Fratrækkes elforbruget til ventilation uden luftrensning fås det elforbrug, det kræver at lede luften gennem luftrenseren svarende til 2,1 kWh per produceret gris.

Under forudsætning af en vandpris på 3,5 kr. per m<sup>3</sup>, en pris på syre på 1,0 kr. per kg. En pris på base på 1,5 kr. per kg, en elpris på 0,70 kr. per kWh samt en pris på opbevaring og udbringning af lænsevand på 26,5 kr. per m<sup>3</sup> udgjorde de samlede forbrugsomkostninger 7,08 kr. per produceret gris ved fuldrensning. Ud af de samlede forbrugsomkostninger er fratrukket værdien af ekstra kvælstof i gyllen, svarende til 7 kr. per kg N, hvilket udgjorde 0,33 kr. per produceret gris samt elforbruget til ventilation uden luftrensning.

**Tabel 9.** Forbrug gennem måleperioden.

	Forbrug gennem hele måleperioden	Forbrug per produceret gris
Vand påfyld, m <sup>3</sup>	160	0,244
Vand, aftap, m <sup>3</sup>	57	0,087
Syreforbrug, kg	262*	0,40
N-inhibitor forbrug, kg	4,6	0,007
Elforbrug – pumper, kWh	2.235	3,4
Elforbrug – ventilation, kWh	4.998	7,6

\*Syreforbruget aflæst via luftrenseren og kontrolmålingerne stemte ikke overens. Derfor er syreforbruget beregnet ud fra kontrolmålingerne. Usikkerheden skyldes sandsynligvis en unøjagtig dispenser til registrering af syreforbrug i luftrenserstyringen som konsekvens af luft i systemet.

## Tilsyn og drift

Det generelle eftersyn bestod af et eftersyn hver tredje uge, hvor sprinklerdyserne blev kontrolleret og pH-sensor og vandniveau-sensor blev rengjort. Dette eftersyn tog 15 – 30 minutter. Derudover blev der foretaget et eftersyn hver tredje måned, hvor pH elektrode blev kalibreret og ledningsevnesensor rengjort. Dette eftersyn tog samlet 1-1,5 time.

I løbet af afprøvningsperioden var der ét nedbrud, der kan tilskrives luftrenseren, hvor CPU'en og displayet i styringscomputeren blev udskiftet. Denne reparation tog 3,5 time, og luftrenseren var i den forbindelse stoppet i cirka tre døgn på grund af fremskaffelse af reservedele. Den samlede serviceløgbog kan ses i tabel A2 i appendiks. Samlet blev der i afprøvningsperioden brugt 19 timer på vedligehold og reparationer af luftrenseren, svarende til 22 minutter per uge. Forbruget alene til vedligehold og opfyldning af syre udgjorde 16 minutter per uge. Nedetiden udgjorde 0,8 procent af den samlede afprøvningsperiode.

## Konklusion

Luftrenseren BAC-1 fra KJ Klimateknik A/S blev afprøvet igennem et år ved fuldrensning af staldluft fra en slagtesvinesektion. Resultaterne viste, at luftrenseren reducerede ammoniakkoncentrationen med 90 procent, lugtkoncentrationen med 72 procent og støvkoncentrationen med 97 procent.

Forbrugsomkostningerne til drift af luftrenseren bestod af vand, syre, N-inhibitor og el samt opbevaring og udbringning af lænsevand. Forbrugstallene er udregnet efter ét års målinger, hvor der samlet blev produceret 657 grise. Vandforbruget per produceret gris var 0,244 m<sup>3</sup>, hvoraf 0,087 m<sup>3</sup> per produceret gris igen blev lænset fra luftrenseren til gylleopbevaring. Det samlede energiforbrug udgjorde 11 kWh per produceret gris, fordelt på 3,4 kWh til drift af luftrenseren og 7,6 kWh til ventilation. Til ventilering af slagtesvinestalde uden luftrensning anvendes typisk 5,5 kWh per produceret gris. Fratrækker man elforbruget til ventilation uden luftrensning, får man det elforbrug, som det kræver at lede luften gennem luftrenseren svarende til 2,1 kWh per produceret gris. De samlede forbrugsomkostninger under de opstillede forudsætninger var på 7,08 kr. per produceret gris ved fuldrensning.

## Referencer

- [1] Miljøstyrelsens teknologiliste: <https://mst.dk/erhverv/landbrug/miljoeteknologi-og-bat/teknologilisten/gaa-til-teknologilisten/luftrensning/>
- [2] LUFA Nord-West (2017): Measurement report for measurements in accordance with VERA Test Protocol for Air Cleaning Technologies. Upubliceret rapport.
- [3] Test Protocol for Air Cleaning Technologies Version 1 2010-09-17. <https://www.vera-verification.eu/>
- [4] Dansk Standard: (2003): Luftundersøgelse – Bestemmelse af lugtkoncentration ved brug af dynamisk olfaktometri. DS/EN 13725:2003.
- [5] Adamsen (2018): Måling af klimagasser fra stalde med infrarød fotoakustisk spektrometri. SEGES Svineproduktion

## Deltagere

Tekniker: Thomas Lund Sørensen

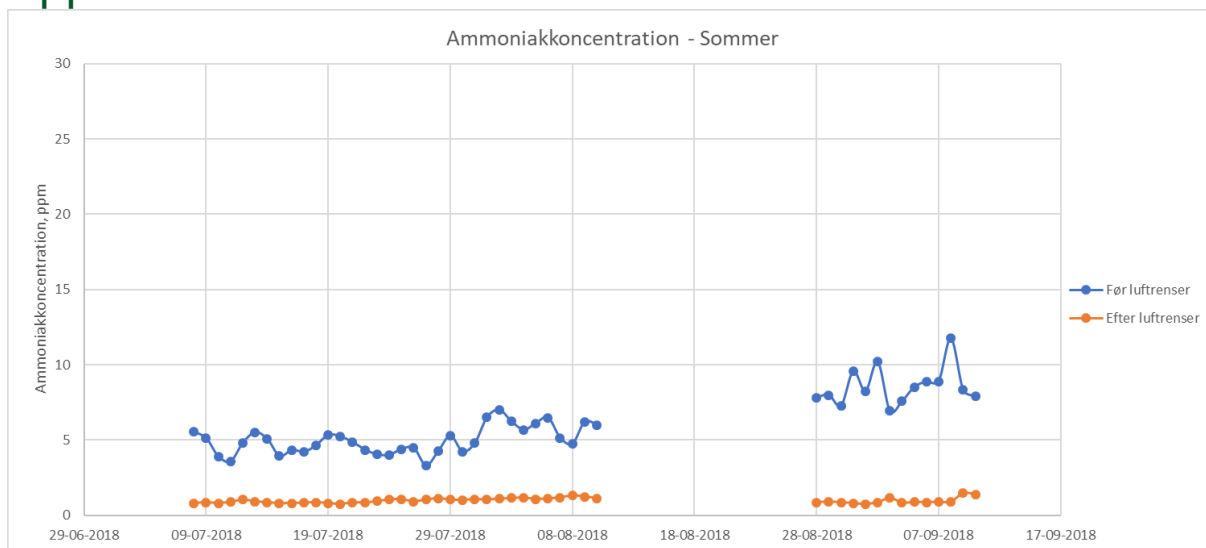
Afprøvning nr. 1514

NAV nr.: 1188

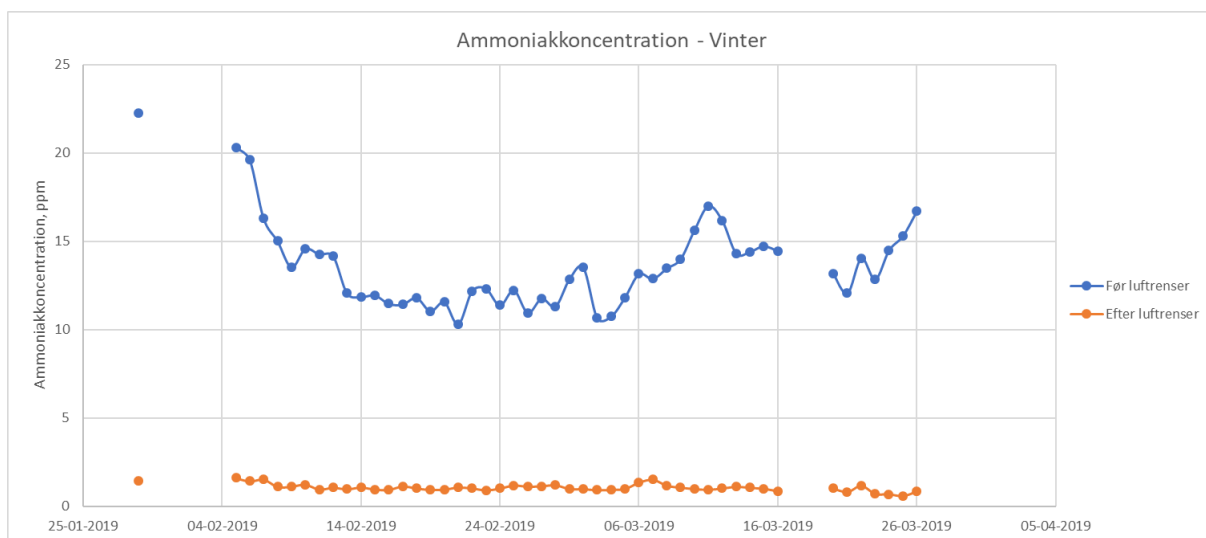
//ANR//

Dyregruppe: Slagtesvin  
Fagområde: Miljøteknologi

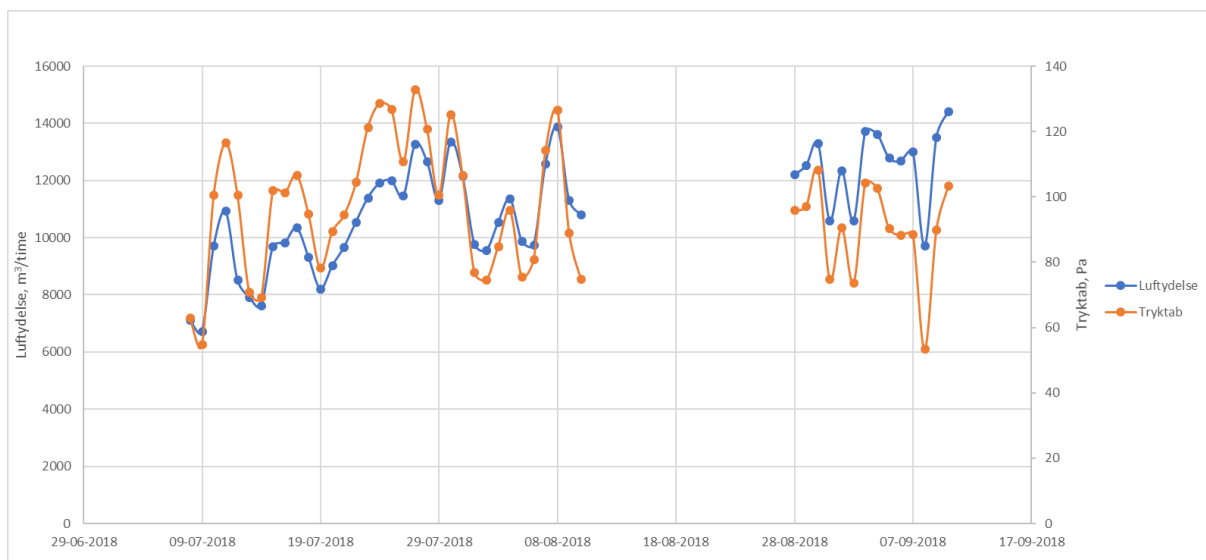
## Appendiks



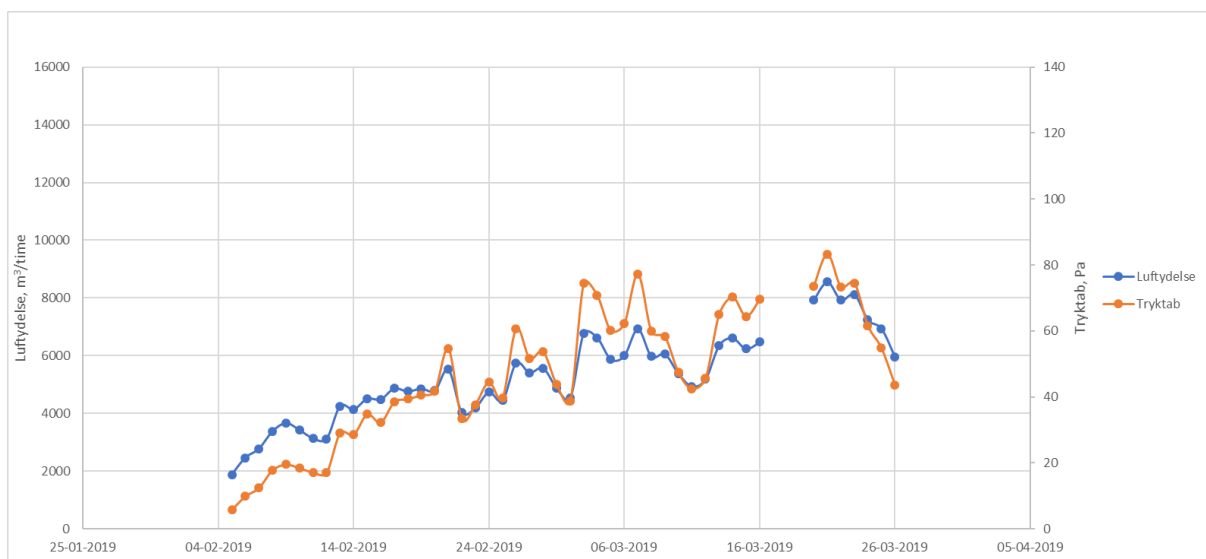
**Figur A1.** Dagsmiddel af ammoniakkekoncentration før og efter luftreneren i sommerkampagnen. Perioden fra den 13-08-2018 til den 27-08-2018 er ikke medregnet i sommerkampagnen på grund af udetemperaturens begrænsningen.



**Figur A2.** Dagsmiddel af ammoniakkekoncentration før og efter luftreneren i vinterkampagnen. Et strømafbud fra den 16-03-2019 til den 18-03-2019 medførte, at der ikke blev målt med INNOVA. Derudover er perioden fra den 30-01-2019 til den 04-02-2019 ikke medtaget, da kuldioxidkoncentrationen var forskellig før og efter luftreneren.



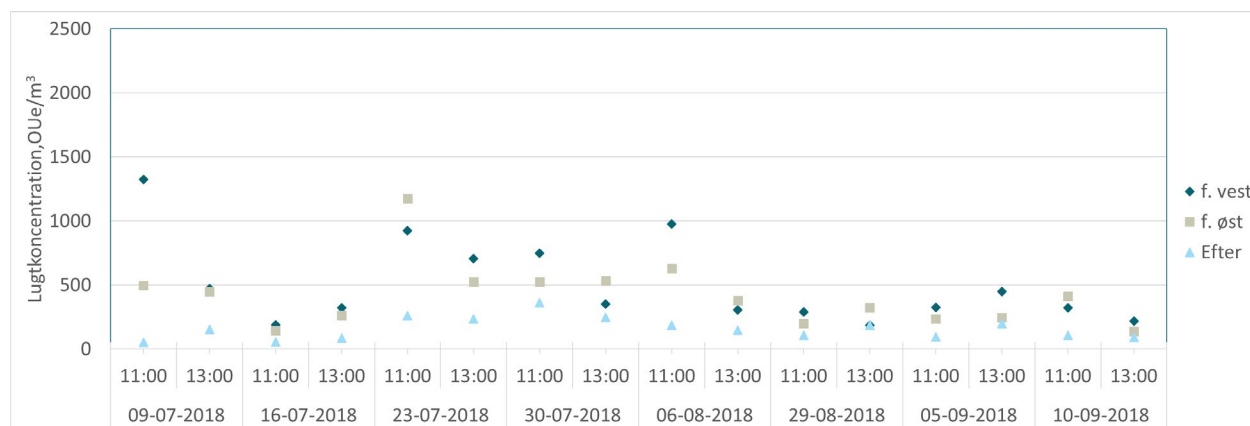
**Figur A3.** Luftydelsen og tryktab i sommerkampagnen som døgnmiddel. I perioden fra den 11-08-2018 til den 27-08-2018 var luftydelsen begrænset, og perioden udgik derfor af kampagnen.



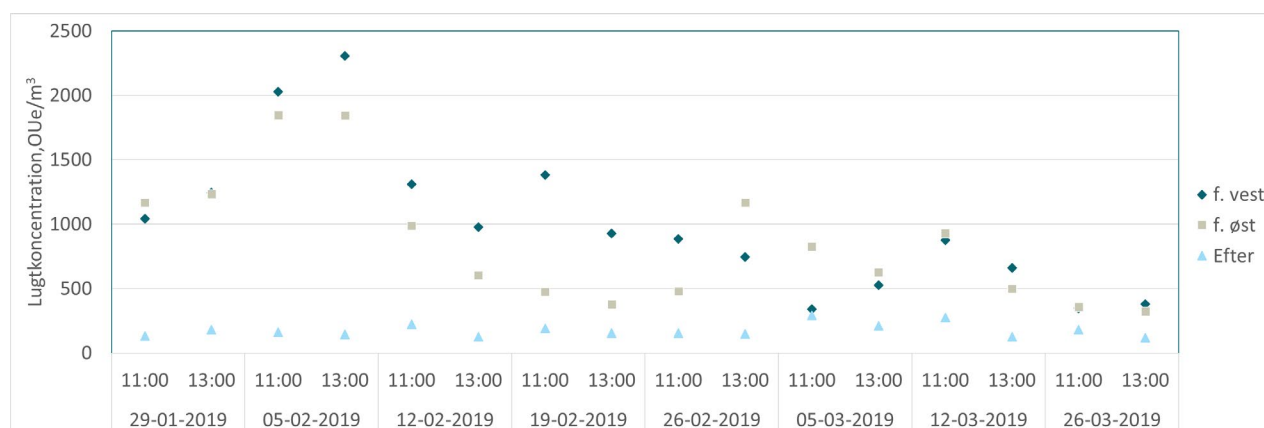
**Figur A4.** Luftydelsen og tryktab i vinterkampagnen som døgnmiddel. Den 16-03-2019 var der et strømudfald på renseren og perioden indgik derfor ikke i beregningerne.

**Tabel 1A.** Supplerende registreringer i forbindelse med lugtmålinger i henholdsvis sommer- og vinterkampagnen. Minimum og maksimum er angivet i parentes.

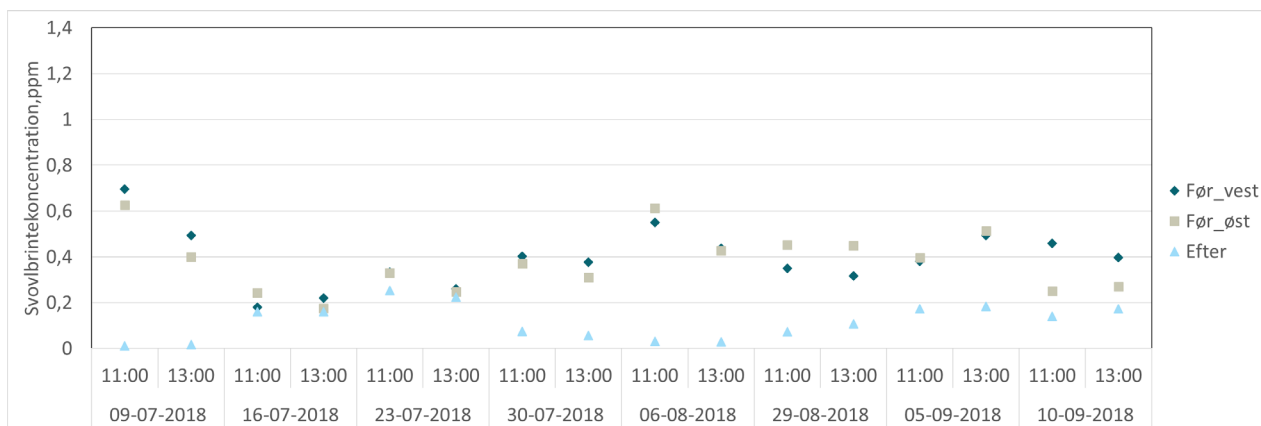
	Sommerkampagne	Vinterkampagne
Antal dage, stk.	8	8
Gennemsnitlig antal dyr, stk.	152 (134-160)	158 (153- 160)
Gennemsnits vægt, kg	72 (38-98)	59 (33-95)
Gennemsnits luftydelse, m <sup>3</sup> /time	13.370 (7.755-15.868)	5.194 (1.738-8.728)
Tryktab over rensere, Pa	119 (46-160)	36 (3-63)
Temperatur i staldrum (døgnmiddel), °C	24,2 (21,1-28,4)	18,8 (16,2-22,0)
Temperatur ude (døgnmiddel), °C	22,4 (17,8-28,2)	7,6 (4,4-12,6)



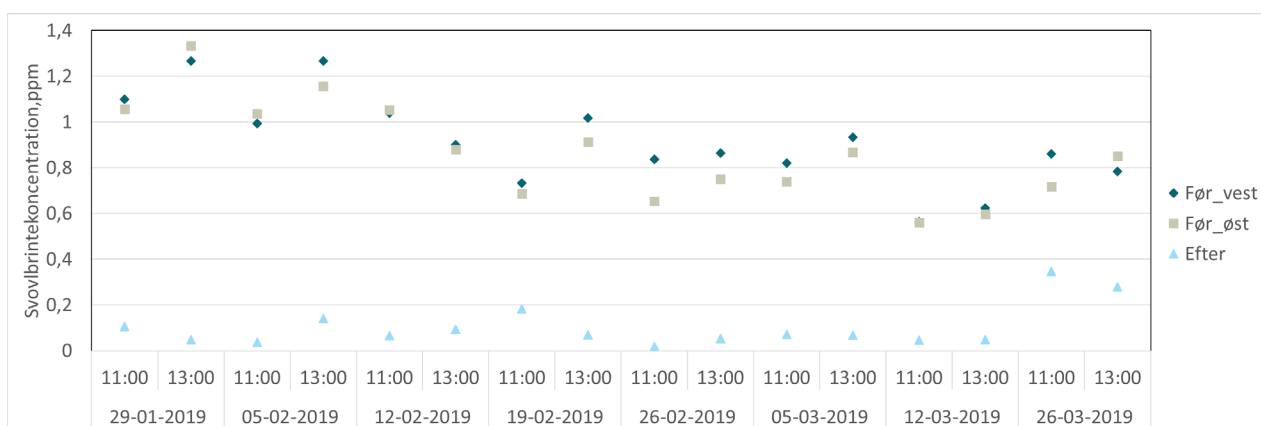
**Figur A5.** Sommermålinger af lugtkoncentration henholdsvis før og efter luftrensere.



**Figur A6.** Vintermålinger af lugtkoncentration henholdsvis før og efter luftrensere.



Figur A7. Gennemsnitlig svovlbrintekonzentration på måledage i sommerkampagnen.



Figur A8. Gennemsnitlig svovlbrintekonzentration på måledage i vinterkampagnen.

Tabel A2. Tilsyn- og servicelogbog igennem måleperioden.

Dato	Hændelse	Varighed
23-03-2018	3 ugers eftersyn: Sprinklerdyse kontrolleret, rør ved pH-sensor og vandniveau-sensor rengjort. Påfyldning af syre.	0,25 time
13-04-2018	3 ugers eftersyn: Sprinklerdyse kontrolleret, rør ved pH-sensor og vandniveau-sensor rengjort. Påfyldning af syre.	0,5 time
(16-04 – 19-04) 2018	Udskiftning af CPU og display på grund af nedbrud.	3,5 time
03-05-2018	3 ugers eftersyn: Sprinklerdyse kontrolleret, rør ved pH-sensor og vandniveau -sensor rengjort. Påfyldning af syre.	0,25 time
25-05-2018	3 ugers eftersyn: Sprinklerdyse kontrolleret, rør ved pH-sensor og vandniveau-sensor rengjort. Påfyldning af syre.	0,5 time
30-05-2018	3 måneders service: pH-elektrode kalibreret, ledningsevne-sensor rengjort, visuelt eftersyn.	1 time
13-06-2018	3 ugers eftersyn: Sprinklerdyse kontrolleret, rør ved pH-sensor og vandniveau-sensor rengjort.	0,5 time
04-07-2018	3 ugers eftersyn: Sprinklerdyse kontrolleret, rør ved pH-sensor og vandniveau-sensor rengjort. Påfyldning af syre.	0,5 time
05-07-2018	Filter rengjort på undersiden.	1,5 time
19-07-2018	Visuelt eftersyn og kontrol af syrebeholdning.	0,25 time
27-07-2018	3 ugers eftersyn: Sprinklerdyse kontrolleret, rør ved pH-sensor og vandniveau sensor rengjort.	0,25 time

23-08-2018	3 ugers eftersyn: Sprinklerdyse kontrolleret, rør ved pH-sensor og vandniveau-sensor rengjort.	0,25 time
31-08-2018	3 måneders service: pH-elektrode kalibreret, ledningsevne-sensor rengjort.	0,5 time
10-09-2018	Påfyldning af syre.	0,25 time
17-09-2018	3 ugers eftersyn: Sprinklerdyse kontrolleret, rør ved pH-sensor og vandniveau-sensor rengjort.	0,5 time
01-10-2018	Visuelt eftersyn.	0,25 time
08-10-2018	3 ugers eftersyn: Sprinklerdyse kontrolleret, rør ved pH-sensor og vandniveau-sensor rengjort samt påfyldning af syre.	0,5 time
30-10-2018	3 ugers eftersyn: Sprinklerdyse kontrolleret, rør ved pH-sensor og vandniveau-sensor rengjort.	0,5 time
23-11-2018	Påfyldning af syre.	0,5 time
29-11-2018	3 måneders service: Sprinklerdyse kontrolleret, rør ved pH-sensor og vandniveau-sensor rengjort, pH-elektrode kalibreret, ledningsevne-sensor rengjort, visuelt eftersyn.	1 time
14-12-2018	Påfyldning af syre og rensning af en dyse.	0,5 time
20-12-2018	3 ugers eftersyn: Sprinklerdyse kontrolleret, rør ved pH-sensor og vandniveau-sensor rengjort.	0,5 time
07-01-2019	Påfyldning af syre.	0,25 time
11-01-2019	3 ugers eftersyn: Sprinklerdyse kontrolleret, rør ved pH-sensor og vandniveau-sensor rengjort samt påfyldning af syre.	0,25 time
22-01-2019	Service besøg af RIMU. pH-sensor udskiftet og kalibreret.	2 timer
28-01-2019	Påfyldning af syre.	0,25 time
08-02-2019	3 ugers eftersyn: Sprinklerdyse kontrolleret, rør ved pH-sensor og vandniveau-sensor rengjort.	0,25 time
01-03-2019	3 ugers eftersyn: Sprinklerdyse kontrolleret, rør ved pH-sensor og vandniveau-sensor rengjort.	0,5 time
23-03-2019	3 ugers eftersyn: Sprinklerdyse kontrolleret og rengjort, rør ved pH-sensor og vandniveau-sensor rengjort samt påfyldning af syre.	1,25 time



Tlf.: 33 39 45 00

[svineproduktion@seg.es.dk](mailto:svineproduktion@seg.es.dk)

Ophavsretten tilhører SEGES. Informationerne fra denne hjemmeside må anvendes i anden sammenhæng med kildeangivelse.

Ansvar: Informationerne på denne side er af generel karakter og søger ikke at løse individuelle eller konkrete rådgivningsbehov.

SEGES er således i intet tilfælde ansvarlig for tab, direkte såvel som indirekte, som brugere måtte lide ved at anvende de indlagte informationer.