

Undersøgelse af teknologier til reduktion af metan opsamlet i en lille luftmængde fra kvægstalde

Mads Skjærbæk, Stine Grønborg og Mia Stenbryggen Nielsen, SEGES Innovation

STØTTET AF

Mælkeafgiftsfonden

Hovedkonklusion

Flere teknologier udviser fremtidigt potentiale for håndtering af metan i lave koncentrationer i luften fra metanhuset, og andre teknologier kan bidrage til en opkoncentrering af metanen, inden den behandles. Der er på nuværende tidspunkt ikke tilgængelig teknologi der på fornuftig vis kan kobles på metanhuset.

Sammendrag

En af kvægsektorens helt store udfordringer er at nedbringe metanemissionen. Den enteriske metan er den største enkeltkilde fra kvægområdet. Der er derfor behov for at kigge på teknologier der kan minimere denne eller reducere den efter udledning.

Metangas er yderst vanskelig at håndtere på grund af både den kemiske sammensætning og fysiske størrelse af molekylet. Når metangassen først er fortyndet i staldluften, er den på nuværende tidspunkt svær at opkoncentrere igen. Derfor er der kigget på løsninger til at opsamle den udledte metan fra koens udånding når den hviler i sengebåsen igennem metanhuset. Når der er opsamlet luft med en højere metankoncentration er der behov for en teknologi der kan rense og fjerne metan.

Formålet med denne undersøgelse var at afdække om der findes teknologier der kan fjerne metan fra luft opsamlet i metanhuset, og hvilke teknologier der er interessante for fremtiden. Undersøgelsen viste at der på nuværende tidspunkt ikke er nogen løsninger der er tilstrækkelig langt i udviklingen til at blive implementeret på nuværende tidspunkt. Der er dog fundet flere teknologier der udviser potentiale og forventes at kunne benyttes i fremtiden, såfremt virksomhederne udvikler dem i den retning. En grundig evaluering af virksomheder og teknologier til fremtidig reference er samlet i dette notat.

Baggrund

Den enteriske metan emission fra kvæg er den største enkeltkilde fra mælkeproduktionen. For at løse klimaudfordringerne for kvægområdet skal den enteriske metanproduktion håndteres. En metode til dette vil være at udvikle teknologi, der kan opsamle metan, så den efterfølgende kan renses ud af luften.

Størstedelen af metan udledes ved koens hoved og kun en mindre del (ca. 20% af den samlede metanemission) dannes via gyllen i stalden. Metangas er yderst vanskelig at håndtere på grund af både den kemiske sammensætning og fysiske størrelse af molekylet. Når metangassen først er fortyndet i staldluften, er den på nuværende tidspunkt næsten umulig at opkoncentrere igen. Derfor vil en opsamling direkte ved koens hoved være bedste mulighed for at opsamle mest muligt metan.

I 2022 blev et projekt (105520 finansieret af MAF) igangsat med det formål at udvikle en metode til at opsamle metanen, som koen udleder gennem udånding. Koen bruger ca. 10-12 timer af døgnet i sengebåsen og ca. 6 timer ved foderbordet. I projektet blev der bygget et metanhus i to sengebåse, hvor køerne frivilligt havde mulighed for at placere sit hoved i metanhuset, når de anvendte sengebåsene. Metanhuset fungerer som et delventilationsprincip hvor der ventileres en del af koens samlede ventilationsbehov. I projektet lykkedes det således at udvikle en prototype, som koen frivilligt vil anvende. Metanmålinger fra ventilationen viste, at det var muligt at samle en høj koncentration metan i en lille mængde luft (100 m³/time/ko) sammenlignet med luft fra det åbne staldrum.

I 2023 og 2024 er der fortsat videreudviklet på prototypen af sengebåsene og i 2025 er metanhuset afprøvet i fuldskala i en malkekvægsbesætning, hvor der både etableres metanhuse i en enkelt sengebåserække, dobbeltsengebåserække og ved foderbordet. Det er oplagt at opsætte metanhuset ved foderbordet, da køerne tilbringer ca. 6 timer af døgnets timer ved foderbordet og opsamlingstiden af metan for et helt døgn øges betragteligt. Metanhuset er fortsat under udvikling med henblik på mere nøjagtig fangst af metan fra køerne. Opsætningen og testen af metanhusene i fuldskalabesætningen er finansieret af Mælkeafgiftsfonden 102072.

I projektet er der fokus på at undersøge opsamlingsgraden af metanen samt om køerne fortsat frivilligt vil anvende metanhuset. Herudover er formålet med projektet at undersøge mulige teknologiske løsninger til at håndtere den opsamlede metan fra metanhusene. Selvom det er en mindre luftmængde metanen opsamles i, så er der alligevel tale om en forholdsvis stor samlet luftmængde fra en bedrift med f.eks. 500 køer, hvilket betyder håndtering af 50.000 m³ luft pr. time.

I 2024 foretog SEGES Innovation den første screening lavet, hvor der blev:

- Taget kontakt til danske universiteter
- Taget kontakt til danske firmaer, som muligvis havde et produkt
- Efterlyst teknologier fra andre brancher på SEGES Innovation LinkedIn profil

Dette arbejde er sammenfattet i et tidligere notat, som dette notat bygger ovenpå.

Formålet med dette notat er at beskrive mulighederne for at reducere metanen fra luften med de teknologiske løsninger, der enten allerede er udviklet eller er under udvikling i 2. kvartal af 2025. Der udarbejdes en liste over virksomheder der enten besidder teknologi der kan være relevant, eller arbejder direkte på håndteringen af lav koncentration metan.

Materialer og metoder

Følgende materialer har været brugt som udgangspunkt for en dybdegående afsøgning af relevante teknologier:

- Tidligere notat fra SEGES Innovation vedrørende emnet (Grønborg et al. 2024) - <https://projekt.seges.dk/maelkeafgiftsfonden/maelkeafgiftsfonden-2024/102072>
- Screening af teknologier fra 2018 foretaget af Global Methane Initiative - https://www.globalmethane.org/documents/partners_cmm_tech_db_2018apr_eng.pdf
- Review foretaget af Wageningen University vedrørende emnet (Kuipers et al. 2025) - <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030225002978>

På baggrund af dette, er der foretaget en online screening ved hjælp af almindelige søgeværktøjer såvel som med kunstig intelligens.

Dette har ledt til en inddeling af teknologier som ses i Tabel 1. Virksomhedens teknologi bliver kort beskrevet, samt der gives en udviklingsstatus for teknologien baseret på online tilgængelig viden. Der bliver yderligere foretaget en grov subjektiv vurdering af hvor vel teknologien kunne passe sammen med metanhuset. Teknologierne bliver tildelt vurdering: Lav-Moderat-Høj.

Tabel 1. Oversigt over de teknologikategorier, som der er blevet screenet efter.

Teknologikategori	Beskrivelse
Fotokatalysator	Lys (ofte UV) er en essentiel del af denne type teknologi sammen med en fotokatalysator.
Adsorbenter og katalysator	Forskellige katalysatorer kan sænke temperaturen hvorved metan kan oxideres. Dette kan gøres i spil med adsorbenter, der binder metan og kan øge koncentration.
Membran teknologi	Membraner med lav permeabilitet for N ₂ , CO ₂ og O ₂ . Pointen med membran teknologi, er at kunne sortere andre gasser væk fra metan.
Imitation af metan i troposfæren	Kunstig imitation af processen i troposfæren hvor UV-lys reagerer med ozon, skaber oxygen molekyler der reagerer med vand og danner OH radikaler, som så reagerer med metan.
Imitation af metan i jorden	Disse teknologier benytter sig som regel af enten kompost/jordlag eller biofiltre til at imitere processen ved nedbrydelse af metan i jorden.
Diverse	Teknologier som falder uden for de overnævnte kategorier

Resultater og diskussion

Følgende er virksomheds-/teknologilisterne, delt op i seks kategorier. Efterfølgende, kommer en liste over danske interessenter og til sidst, en opsummering af de teknologier der anses for mest relevant i forhold til metanhuset.

Fotokatalysator

Den første type metan behandlende teknologi, baserer sig på brug af lys, som regel i bestemte bølgelængder, sammen med en fotokatalysator ($\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$). Eksempler på fotokatalysatorer: TiO_2 , ZnO_2 , Ag-ZnO , og AgO . Denne type teknologi er meget tidlig i sit stadie, og de fleste laboratorieprøver er lavet i en begrænset mængde luft. Denne type teknologi, virker til at have lang vej før det er praktisk anvendeligt i forbindelse med behandling af luft i landbrug. Listen over virksomheder ses på Tabel 2.

Tabel 2. Teknologier der involverer en fotokatalysator

Virksomhed	Teknologibeskrivelse	Udviklingsstatus	Egnethed
MARS Technology LLC (USA) marstechnology.info/	Autoterm katalytisk vægreaktor til ikke-oxidativ kobling af metan (NOCM), der omdanner metan til aromater, ethylen og brint ved hjælp af lysassisteret opvarmning og nye silica-baserede katalysatorer.	Pilotudvikling – laboratorieprototyper under støtte fra DOE; kommerciel demonstration målrettet 2026-2027.	Lav–moderat. Reaktoren er optimeret til >1 vol % CH_4 ; behandling af 100 ppm kræver for-koncentrering eller meget stort overfladeareal.
Susteon Inc. / Stanford University (USA) https://www.susteon.com/	Væskefase-fotokatalytisk proces, der konverterer metan direkte til methanol over bifunktionelle halvlederkatalysatorer - modulært anlæg til udnyttelse af fakkelgas.	Proof-of-concept (DOE-projekt DE-FE0031867, 2020-2025); på vej mod pilotdemonstration.	Moderat. Væskereaktoren kan behandle fortyndede gasser. Ved 100 ppm er produktiviteten lav, men mulig med længere opholdstid.
Syzygy Plasmonics Inc. (USA) https://plasmonics.tech/	Rigel™ plasmonisk fotokatalytisk reaktor, der bruger LED-lys og antennekatalysatorer til dampreforming af metan til brint eller syngas.	Kommercielle demonstrationsenheder i drift siden 2024 med partnere som Equinor og Sumitomo.	Lav. Processen kræver højt CH_4 -deltryk (naturgas, biogas); ikke økonomisk ved 100 ppm-strømme.

Levidian Nanosystems Ltd. (UK) https://www.levidian.com/	LOOP mikrobølge-plasma spalter metan til ren brint og grafen af høj kvalitet	Kommerciel – første industrielle enhed online ved ADNOC Gas Habshan-anlægget (jan 2025).	Lav. Plasma-processen kræver >20 vol % CH ₄ for stabilt plasma; uegnet til ppm-niveau luft.
University of Science & Technology of China (CH) https://www.ustc.edu.cn/	Cu-doteret TiO ₂ -fotokatalysator muliggør havvandsassisteret halogenering af metan til methylhalider under synligt lys.	Laboratorieforskning med kinesisk patent (2023)	Moderat. Demonstreret ved 1 vol % CH ₄ . Kinetik ved 100 ppm er ikke verificeret, men fotokemien kan fungere i mikroreaktorer.
Jilin University – PNOCM-gruppen (CH) https://www.jlu.edu.cn/	Fotokatalytisk ikke-oxidativ kobling af metan (PNOCM) over konstruerede oxidkatalysatorer til C ₂ ⁺ -kulbrinter og brint.	Akademisk forskning (TRL 2-3).	Lav. Studier udført ved procentniveau CH ₄ . Tilpasning til 100 ppm er endnu ikke vist.

Adsorbenter og katalysator

Den anden type metan behandling, er ved brugen af adsorbenter og katalysatorer. Med en effektiv katalysator, er det muligt at oxydere metan ved betragtelig lavere temperaturer end de naturlige 1500 °C. Effektive katalysatorer er metaloxider og ædle metaller som for eksempel palladium og platin. Yderligere, kan zeolitter og MOF (metal organic frameworks), benyttes som adsorbenter uden katalytisk aktivitet, hvad der muliggør opsamling og koncentrering af metan. Denne type teknologi viser på nuværende tidspunkt et større potentiale i behandling af stald luft, især grundet muligheden for koncentrering af metanen. Teknologilisten ses på Tabel 3.

Tabel 3. Teknologier hvor der benyttes adsorbenter og katalysatorer, men uden brug af lys.

Virksomhed	Teknologibeskrivelse	Udviklingsstatus	Egnethed
Johnson Matthey – COMET https://matthey.com/	Palladium-baserede oxidationskatalysatorer (COMET) til fuldstændig oxidation af metan i fortyndede luftstrømme (VAM) og methanslip fra motorer ved ~400-600 °C	Pilot-/demonstrationsfase. Feltforsøg under ARPA-E REMEDY 2024-25, kommerciel lancering forventes 2025-26.	Høj-moderat. Udviklet specifikt til lave CH ₄ -niveauer (<500 ppm). 100 ppm kan oxideres ved forvarmning.

Clariant – EnviCat™ https://www.clariant.com/	EnviCat™-serien af Pd/Pt-katalysatorer til oxidation af metan, CO og VOC i stationære motorer og industrielle afkast.	Kommerciel. Globale installationer i procesindustri og kraftværker.	Moderat. Kræver >350 °C gas-temperatur; effektiv ved ppm-niveau med ekstern varme.
Umicore – DNX®/DNO® https://fcs.umicore.com	Metalmonolit-katalysatorer til metan- og VOC-oxidation i motor- og forbrændingsanlæg med lavt trykfald og høj	Kommerciel. udbredt i marine- og kraftgenerator-systemer.	Moderat. Samme varmebehov som andre Pd-systemer.
Honeywell UOP – Zeolit Adsorbenter https://uop.honeywell.com/	Zeolit 13X har primært høj kapacitet for CO ₂ med høj selektivitet over CH ₄ . adsorption af CH ₄ ved lave partialtryk er meget begrænset/negligierbar	Kommerciel med >70 års driftserfaring.	Lav. Kapacitet meget lav ved 100 ppm. Kræver stort leje eller for-koncentration.
Zeochem – Molekylesigter https://zeochem.com/	13X, 5A, ZEOflair zeolit-adsorbenter med teoretisk kapacitet og hurtig masstransport.	Zeochem er en etableret, global leverandør af molekylesigter og tilbyder komplet procesrådgivning og teknisk support	Lav. Samme begrænsninger som Honeywell ved 100 ppm.
Dürr – Oxi.X RV (VOCSIDIZER) https://www.durr.com/	Flammeløs, regenerativ termisk oxidator til VOC/HAP-kontrol. Dokumenteret VOC-destruktion typisk 97,5–99,7 %	Kommerciel. Installeret i kulminer, lossepladser m.m.	Moderat. For metan er selvbærende drift typisk først ved ~0,2 vol % CH ₄ . Ved lavere koncentrationer er ekstern energi nødvendig, og ved ~100 ppm bliver energibehovet betydeligt.
Mosaic Materials (Baker Hughes) – MOF-adsorbenter https://mosaicmaterials.com/	Metal-organiske netværk (MOF) med høj selektivitet. Under udvikling til metan- og CO ₂ -fangst ved atmosfærisk tryk.	Udviklingsstadiet. Laboratorie- og pilotskala 2024-25.	Teoretisk. Ingen offentlige data for 100 ppm endnu
CDTi Advanced Materials – Oxidationskatalysatorer https://cdti.com/	Pd-baserede katalysatorer til reduktion af metan, CO, VOC og formaldehyd i lean-burn naturgas-motorer.	Kommerciel nicheleverandør i Nordamerika.	Moderat. Optimeret til >400 °C; kan anvendes til ventilationsluft med ekstern opvarmning.

Topsoe A/S – https://www.topsoe.com/	Pd- eller Pt-baserede katalysatorer på alumina-monolitter kan initiere CH ₄ -oxidation omkring 300 °C, afhængigt af design og betingelser. Høj svovltolerance er set i visse designoptimeringer, men ingen officielle data fra Topsoe er tilgængelige	Anlæg i drift oplyst via personlig kommunikation	Moderat-høj – 80-95 % fjernelse ved 300 °C, 1-2 kWh kg ⁻¹ CH ₄ .
BASF Environmental Catalyst https://catalysts.basf.com/	BASF tilbyder monolitiske oxidationskatalysatorer (typisk i cordierit-strukturer), der udnytter lavt trykfald og god termisk robusthed—karakteristika gældende for emissionskatalysatorer generelt	Under OASE-mærket har BASF over 500 referencer globalt for gasbehandlingsanlæg, men det er ikke dokumenteret, at disse omfatter metanoxidation i naturgasmotorer eller lignende applikationer	Moderat-høj – Velegnet til ~100 ppm CH ₄ med inline el-forvarmer. typisk konvertering >90 %.
Babcock & Wilcox MEGTEC https://www.babcock.com/	Regenerativ Flow-Reversal Thermal Oxidizer (FRTO) med keramisk leje, som periodisk vendes. Selvdrevet når CH ₄ ≥0,2 % (~2 000 ppm).	Kommerciel teknologi anvendt i VAM-projekter (Australien, Kina, USA) siden 2000'erne.	Høj – dokumenteret skalerbar til meget store luftstrømme.

Membran teknologi

En tredje tilgang til håndteringen af metan, er ved hjælp af membranteknologi. Da metan er svært at arbejde med, er metoden i stedet at filtrere andre gasser væk fra metan, og derfor benyttes membraner med lav permeabilitet for N₂ til koncentration af metan. Også filtrering af CO₂ og O₂ kan gøres med membraner. Denne form for teknologi er anvendt i høj grad i biogasindustrien, og der er derfor flere teknologileverandører i branchen. Udfordringen her består igen i den lave koncentration af metan, som de fleste af disse systemer ikke er egnede til at håndtere. Der bliver dog arbejdet på membraner, så som SAPO-34, der kan håndtere meget lave koncentration af metan, men disse er langt fra kommercielt niveau, og vil kræve flere års forskning. For teknologileverandører for relevant membranteknologi, se Tabel 4.

Tabel 4. Teknologier hvor der benyttes membraner til isolering af metan.

Virksomhed	Teknologibeskrivelse	Udviklingsstatus	Egnethed
Evonik Industries – SEPURAN Green / NG https://www.membrane-separation.com	Hulfiber-membranmoduler til CO ₂ -fjernelse og metanberigelse i biogas og naturgas.	Kommerciel siden 2011. >1 000 anlæg globalt.	Lav. Kræver %-niveau CH ₄ -partialtryk; ved 100 ppm er flux ubetydelig uden for-koncentration.
Air Liquide – MEDAL Membrane Systems https://advancedseparations.airliquide.com/	Polymermembraner (MEDAL og PEEK-Sep™) til fjernelse af CO ₂ , H ₂ S og vand fra natur- og biogas.	Kommerciel. >2 000 systemer installeret globalt.	Lav. Designet til højere CH ₄ -koncentrationer; ineffektiv ved 100 ppm i luft.
Membrane Technology & Research (MTR) – Polaris https://mtrinc.com/carbon-capture/	Polaris høj-selektive polymermembraner til CO ₂ -fangst og metan-genvinding.	Pilot- og demonstrationsanlæg. Modning mod kommerciel lancering.	Lav-moderat. Mulig i vakuum- eller sweep-konfiguration, men meget store arealer kræves ved 100 ppm.
Air Products – PRISM Membrane Solutions https://membranesolutions.com/	Hollow-fiber PRISM moduler til metan-berigelse, CO ₂ -fjernelse og nitrogenproduktion.	Kommerciel. Mange komplette gasbehandlingssystemer i drift.	Lav. Optimeret til naturgas (>5 % CH ₄); begrænset separation ved ppm-niveau.
Honeywell UOP – Separex https://uop.honeywell.com/	Separex polymermembraner til fjernelse af CO ₂ og sure gasser med høj metangenvinding.	Kommerciel siden 1980'erne. Hundrevis af naturgasinstallationer.	Lav. Kræver højt CH ₄ -indhold for drivkraft.
UBE Corporation – Polyimidmembraner https://www.ube.com/	Hollow-fiber polyimidmembraner til effektiv CO ₂ -separation og biomethanproduktion.	Kommerciel. Leverancer til biogas- og naturgasopgraderingsanlæg.	Lav. Flux for 100 ppm CH ₄ er for lav til praktisk brug.

GENERON IGS – Membranmoduler https://www.generon.com/	Tilpassede membransystemer til metan/CO ₂ -separation i olie- & gasindustrien.	Kommerciel. Flere moduldesign og polymerer tilgængelige.	Lav. Bruges til %-niveau CH ₄ ; ikke økonomisk ved 100 ppm.
--	---	--	--

Imitation af metan i troposfæren

Den fjerde tilgang, er ved at efterligne den nedbrydelse af metan der finder sted i troposfæren. Den primære mekanisme består i at UV-lys reagere med ozon, skaber oxygen molekyler der reagerer med vand og danner OH radikaler, som så reagerer med metan. Teknologier der bruger dette koncept, er ret nye og i begrænset mængde, men der er i Danmark en interessant virksomhed der arbejder med konceptet. For oversigt over aktører med denne form for teknologi, se Tabel 5.

Tabel 5. Teknologier der imiterer den naturlige proces for reduktion af metan i troposfæren.

Virksomhed	Teknologibeskrivelse	Udviklingsstatus	Egnethed
Ambient Carbon (Danmark) – MEPS™ https://ambientcarbon.com/	MEPS-systemet anvender UV lys og natriumklorid til at danne hydroxyl og klor radikaler, som oxiderer metan ved stuetemperatur.	Pilot. Feltprototype kører i kvægstalde og planlægger større enhed i 2026.	Moderat. Designet til 10-100 ppm CH ₄ . 100 m ³ /h kan opnå >50 % fjernelse med lavt energiforbrug. Mangler skalerbarhed.
Bennu Climate (USA) https://www.bennuclimate.com/	Fotokemisk reaktor, der replicerer naturlig radikal-kemi (OH/Cl) til at destruere metan. Testet ombord på fragtskib.	Udviklingsfase. Havnepilot afsluttet 2024, skalering pågår.	Moderat. Udviklet til ppb-ppmv; ved 100 ppm kræves højere UV-intensitet men skalerbart.
Blue Dot Change (USA) https://www.bluedotchange.com/	Jern Salt Aerosol-uddeler monteret i skorstene på skibe. FeCl ₃ + sollys producerer Cl-radikaler, som nedbryder metan.	Tidlige feltforsøg (Lomar Labs 2023-24). Søger finansiering til større test.	Lav. moderat for punktkilder; primært til diffus atmosfærisk CH ₄ , ikke kanalført luft.
AMR AG (Schweiz) – EAMO https://amr.earth/	Enhanced Atmospheric Methane Oxidation via udledning af ferric-klorid aerosoler, der under UV danner radikaler.	Laboratorie & modellering. Planlægger tårn- eller skibspilot efter 2026.	Lav. Konceptuelt til <5 ppm i friluft; upraktisk til 100 ppm i kanalsystemer.

ClearSign Technologies https://clearsign.com/	Electrostatic-Flame kombinerer ikke-termisk plasma og flammeløs forbrænding; danner $O\cdot/OH\cdot$ radikaler og oxiderer CH_4 ved 200-350 °C med minimal NO_x .	Demonstrationsenhed (1 000 Nm^3/h) installeres på et kraftvarmeværk i 4. kvartal 2025.	Lav. Energiforbrug $\sim 3 \text{ kWh kg}^{-1} CH_4$, men ikke egnet til lave koncentrationer.
CanMilk (EU-horizon projekt) ledet af VTT https://canmilk.eu/	Udvikler et non-termisk plasma-katalytisk system til reduktion af metan i malkekvægstalde via oxidationsprocesser, inspireret af troposfærens naturlige kemi.	Horizon Europe-projekt (2022–2026), konsortium bestående af aktører fra Finland, Belgien, Tyskland, Nederlandene og Storbritannien.	Moderat – Meget lovende approach til $\sim 100 \text{ ppm}$ niveau i ventilationsluft, men stadig på tidligt forsknings- og pilotniveau (TRL 3–5)

Imitation af metan i jorden

Den femte tilgang er ved at efterligne den nedbrydelse af metan der finder sted i jorden – Disse teknologier benytter sig som regel af enten kompost/jordlag eller af deciderede biofiltre. Hvor disse teknologier kan være velegnede til lave koncentrationer af metan, er udfordringen som regel størrelsen på "filteret" der skal til at håndtere de meget store mængder luft. Se virksomheder og teknologier på Tabel 6.

Tabel 6. Teknologier der imiterer den naturlige proces for reduktion af metan i jorden.

Virksomhed	Teknologibeskrivelse	Udviklingsstatus	Egnethed
Windfall Bio (USA) https://www.windfall.bio/	Anvender naturlige metanotrofe bakterier, der podes i jord eller kompostlag og omdanner CH_4 til biomasse samt fikserer N_2 til gødning («methane-to-value»).	Skalering. Kommerciel pilotproduktion af mikrobekultur annonceret jan 2025.	Høj. Udviklet specifikt til 10-200 ppm CH_4 ved stald- og lossepladsluft; $< 3 \text{ kWh kg}^{-1} CH_4$ fjernet.
Newlight Technologies – AirCarbon (USA) https://www.newlight.com/	Fermenterer metan (fra f.eks. biogas eller landbruget) med metanotrofe	Kommerciel nicheproduktion. Aftale med CNX Resources om metanleverancer.	Lav. Kræver %-niveau CH_4 -gas. Ikke egnet til 100 ppm uden for-koncentrering.

	mikrober til PHB-bioplast, som udvindes som AirCarbon-granulat.		
Calysta – FeedKind (USA/CN) https://calysta.com/	Single-cell protein (SCP) produceret af <i>Methylococcus capsulatus</i> i kontinuerlige bioreaktorer drevet af naturgas/metan.	Første industrianlæg (Calysseo JV) i Chongqing i drift siden 2023. EU- og Kina-godkendt foder.	Lav-moderat. Bioreaktorer kræver >2 % CH ₄ . 100 ppm kan ikke drives økonomisk.
BIOREM Inc. (Canada) https://www.biorem.biz/	Modulære bio- og biotricklingfiltre med specialiserede mikrobielle konsortier til oxidation af CH ₄ , H ₂ S og VOC.	Kommerciel. >1 000 installationssites globalt, inkl. landbrugs- og affaldsanlæg.	Moderat. Biofiltre kan designes til 100 ppm ved 100 m ³ /h, men kræver fugt- og temperaturstyring.
COWI A/S (DK) – Biomet-projekt https://www.cowi.com/	Engineering af biofiltersystemer med kompost/stenlag til oxidation af CH ₄ fra kvæg- og svinestalde.	Demonstration i danske svinefarme (2024-29) sammen med DTU og SEGES.	Moderat-høj. Designet til staldluft på 50-150 ppm. Prototyper viser >50 % fjernelse.
SCS Engineers (USA) – Biocover/Biofilter https://www.scsengineers.com/	Design og implementering af biocovers og passive biofiltre på lossepladser for mikrobiologisk CH ₄ -oxidation.	Kommerciel konsulent og EPC med fuld-skalaprosjekter i Nordamerika.	Moderat. Typiske flux 0,3-1 g CH ₄ m ⁻² h ⁻¹ (~30-150 ppm ækv.). Systemer kan tilpasses 100 m ³ /h punktstrømme
Anua Clean Air (IE) https://www.anuacleanair.com/	Biotricklingfilter med syntetisk pakkemateriale og specialiseret metanotrof biofilm. Integreret fugt- og pH-kontrol.	Kommercielt standardprodukt. flere installationer på gylleanlæg i Irland siden 2022.	Moderat. Opnår >50 % fjernelse ved 80-150 ppm CH ₄ i 100 m ³ /h, hvis indløb befugtes.
AirClean Environmental (NL) https://aircleanenvinc.com/	Containeriseret kompost-/lava-biofilter med aktiv luft cirkulation og frostbeskyttelse. Modulstørrelser 5–200 m ³ /h.	Pilot på hollandsk svinefarm 2024-2025.	Moderat. Op til 60 % CH ₄ -oxidation ved 100 ppm. Blæserenergi <0,5 kWh kg ⁻¹ CH ₄ .
I.A.C. Filtration (DE/US) https://iac-intl.com/	Storskala biofilter med proprietært "BioShell" medie og recirkulerende fugtsystem. Designet til VOC og metan.	Demonstrationsprojekt i Nederlandene (80 ppm, 150 m ³ /h) siden sep 2024.	Moderat. Modelberegninger viser 70 % fjernelse ved 100 ppm med 40 s opholdstid.

Diverse

Nye tilgange til håndtering bliver løbende udviklet, så som plasma baseret oxidation eller enzym baseret omsætning. For en liste over disse virksomheder, se Tabel 7.

Tabel 7. Virksomheder og teknologier der siger efter at håndtere metan på andre måder end i de tidligere gennemgåede kategorier.

Virksomhed	Teknologibeskrivelse	Udviklingsstatus	Egnethed
Daphne Technology SA (Schweiz) – SlipPure™ https://daphnetech.com/	Plasma-katalytisk system (non-thermal plasma + proprietær katalysator) til oxidation af metanslip i motorudstødning ved 300-400 °C.	Demonstrationsfase. Lloyd's Register AiP 2024 og DOE-pilot i samarbejde med Williams Gas.	Moderat. Kræver opvarmet gas, men kan fjerne >60 % CH ₄ ved ppm-niveau med <4 kWh kg ⁻¹ .
CarbonBridge Inc. (USA) – Biokatalytisk MeOH https://carbon-bridge.com/	Proprietær »bubble-less« bioreaktor med metanotrofe bakterier, der omdanner CH ₄ + CO ₂ til methanol ved atmosfærisk tryk.	Seed-fase. ARPA-E finansieret lab-pilot (0,1 m³/h) i 2024, containerdemo planlagt 2026.	Lav-moderat. Mikrobiel kinetik understøtter ppm-niveau, men gas-væske overførsel begrænser. Kræver høj kontaktflade.
Rotoboost AS (Norge) – Thermo-Catalytic Decomposition (TCD) https://www.rotoboost.com/	Flydende metalkatalyse ved 600-800 °C splitter metan til H ₂ og fast kul (turquoise H ₂) og eliminerer metanslip.	Pilot ombord på LNG-tankskib 2024; ABS & LR godkendelser i proces.	Lav ved 100 ppm. Processen kræver >10 vol % CH ₄ . Upraktisk til fortyndet ventilationsluft uden for-koncentration.
Aether Biomachines https://www.aetherbio.com/	Stabiliseret metan-monooxygenase i gas-membran reaktor til CH ₄ →MeOH.	Lab (TRL 2-3).	Lav på nuværende tidspunkt. Enzymaktivitet ved ppm-niveau er vist, men skala mangler.
REPAIR (EU-horizon projekt ledet af KTH (Sweden) https://repair-eu.com/	Kombination af adsorbenter, katalysatorer og oxidationsprocesser til at efterligne naturlige fjernelsesmåder.	Forskningskonsortium (2022–2026), med laboratorieudvikling, modelberegninger og tidlige pilots.	Moderat – Projektet adresserer direkte lav-ppm CH ₄ -behandling og N ₂ O, men er stadig på

	Der arbejdes både med fangst og koncentration af fortyndet metan samt katalytisk omdannelse til CO ₂ ved lavere temperaturer end konventionel forbrænding.		laboratorie- og modelniveau (TRL 3-4).
--	---	--	--

Danske interessenter

Flere danske virksomheder er enten i gang med at udvikle teknologi til håndtering af lav-koncentration metan i luft, men yderligt er der nogle danske virksomheder der med deres ekspertise og teknologi, kunne være interessante at involvere i fremtidige projekter. For en liste over den danske interessant liste, se Tabel 8.

Tabel 8. Danske interessenter inden for behandling af metan fra metanhuset.

Virksomhed	Teknologibeskrivelse	Udviklingsstatus	Egnethed
Topsoe A/S – https://www.topsoe.com/	Pd- eller Pt-baserede katalysatorer på alumina-monolitter kan initiere CH ₄ -oxidation omkring 300 °C, afhængigt af design og betingelser. Høj svovltolerance er set i visse designoptimeringer, men ingen officielle data fra Topsoe er tilgængelige	Anlæg i drift. Oplyst via personlig kommunikation.	Moderat-høj – 80-95 % fjernelse ved 300 °C, 1-2 kWh kg ⁻¹ CH ₄ .
Ambient Carbon ApS	Fotokemisk radikal-system (MEPS™) til CH ₄ -nedbrydning ved stuetemperatur.	Pilot i kvægstalde; kommercialisering mål 2026.	Moderat. Designet til 10-100 ppm CH ₄ . 100 m³/h kan opnå >50 % fjernelse med lavt energiforbrug. Mangler skalerbarhed.
COWI A/S	Engineering og EPC for biofiltre og RTO-systemer (Biomet-projekt).	Demonstration 2024-29 sammen med DTU/SEGES.	Moderat-høj ved biofilter-design.
Novozymes A/S (Chr. Hansen / Novonosis)	Enzym- og mikrobiel udvikling. Potentiel leverandør af stabiliseret metan-monooxygenase eller bioforstærkere.	Forskningssamarbejder pågår (TRL 2-3).	Langsigtet - lovende til lav temp.

DTU Kemiteknik	Forskning i katalytisk CH ₄ -oxidation og non-thermal plasma-reaktorer.	Flere PhD- og pilotprojekter 2023-25.	Forskning. Potentiel partner på test.
Aarhus Universitet – Dept. Biological & Chemical Engineering	Biofilter- og metanotrof-kinetik, SAPO-34 membran-screening.	Aktivt forskningsprogram.	R&D-partner.
ROCKWOOL A/S	Stenuld-granulat kan anvendes som inert biofilter-medie med høj porøsitet.	Produkt tilgængeligt; testet i små biofiltre.	Høj som biofilter-substrat.
Danish Technological Institute (DTI)	Pilotfaciliteter til RTO/biofilter-test, godkendelses-målinger.	Kommerciel testrådgiver.	Høj til uafhængig verifikation.
AgroGas A/S	Leverer fakkelløsninger til dækkede gyllelagre	Aktiv leverandør til danske landbrug siden 2018.	Moderat – Kræver øget koncentration af metan til omkring 1000 ppm.
SKOV A/S	Avancerede ventilations- og klimastyringssystemer til stalde; potentielt platform for integreret metan-behandling.	Global markedsleder i svine- og fjerkræventilation. Er med i projektet vedrørende AmbientCarbon	Høj som integrationspartner.
Unibio A/S	U-loop fermentering af naturgas/metan til single-cell protein (U-Protein®).	Demofabrik i Kalundborg.	Lav-moderat – kræver %-niveau CH ₄ , men relevant som dansk metan-valoriseringscase.

Vurderinger

Følgende er der en vurdering af de teknologier der dømmes mest egnede til håndtering af luft fra metanhuset, baseret på opsamlingen af teknologier præsenteret tidligere i dette notat.

1. Lav-temperatur Pd/Pt katalytisk oxidator

En statisk honeycomb-katalysator oxiderer CH_4 til CO_2 ved 280-320 °C. Varme kan leveres fra spildvarme eller elpatron.

Primære leverandører: Topsoe, BASF Environmental Catalyst, Johnson Matthey

Teknologimodenhed: TRL 8.

Styrker: • Enkelt design, ingen bevægelige dele • Høj konvertering >90 % ved moderat temp. • Lavt trykfald i ventilationskanal	Udfordringer / risici: • Kontinuerlig opvarmning påkrævet (~300 °C) • Følsom for svovl • Pd-prissensitivitet påvirker OPEX	Integration & driftsovervejelser: • Kan monteres i rustfri sektion af udsugningen • Kan startes/stoppes automatisk efter behov
--	---	---

2. MEPS™ fotokemisk radikal-system

UV-LED-bestråling af aerosoler fra saltvand danner OH- og Cl-radikaler, som oxiderer CH_4 til CO_2 ved rumtemperatur.

Primære leverandører: Ambient Carbon

Teknologimodenhed: TRL 6; fuldskala kommerialisering forventes 2027

Styrker: • Drift ved stuetemperatur – intet brændsel • Lavt energiforbrug (<1 kWh kg⁻¹) • Ingen ædelmetaller eller høje tryk	Udfordringer / risici: • Salt tåge → risiko for korrosion • Skalerbarhed >5 000 m³ h⁻¹ ikke bevist • Afhængig af luftfugtighed	Integration & driftsovervejelser: • Plast- eller GRP-reaktor anbefales • Regelmæssig påfyldning af NaCl-opløsning
---	--	--

3. Metanotroft biofilter

Luft passerer gennem et porøst medie koloniseret af metanotrofe bakterier, som ved 20-40 °C oxiderer CH_4 til CO_2 .

Primære leverandører: Windfall Bio, BIOREM, COWI – Biomet

Teknologimodenhed: TRL 7; anvendt til VOC, CH_4 -piloter kører

Styrker: • Meget lavt energiforbrug (blæsere)	Udfordringer / risici: • Stort arealbehov	Integration & driftsovervejelser: • Spray-fugtstyring via PLC
--	--	--

• Lavt CAPEX • Ingen høje temperaturer eller brændsel	• Ydelse falder under 10 °C (skur/foropvarmning) • Risiko for kanalisation hvis mediet tørrer	• Muligt at indbygge i eksisterende gyllekanaler • Kvartalsvis biomassesampling
--	--	--

4. Non-thermal plasma-katalytisk oxidator

Elektrisk felt skaber radikaler, som sammen med en downstream katalysator oxiderer CH₄ ved 200-350 °C.

Primære leverandører: Daphne Technology, ClearSign Technologies, CanMilk projekt

Teknologimodenhed: TRL 6; demonstration 2025–26

Styrker: • Kompakt (<20 m³) og lynhurtig opstart • Kan drives på vedvarende el • Lav NO_x-dannelse	Udfordringer / risici: • Elektrodeslitage (10 000 h) • Højfrekvent elektronik kræver EMC-skærmning • Energi 2-3 kWh kg⁻¹ afhængig af virkningsgrad	Integration & driftsovervejelser: • Installation tæt på udsugningsventilator • On-line højspændingsmonitorering • Operatøruddannelse i HV-sikkerhed
---	--	--

5. Drainvent

Drainvent-konceptet kobler staldluft på eksisterende drænrør under marken. Undertryk fra ventilationsanlæg (≈ -100 Pa) trækker luften 30-50 m ud gennem rørene, hvor metan og ammoniak oxideres biologisk i ilt- og fugtig topjord. En landmand i Holland har et system kørende, hvor det afprøves.

Primære leverandører: -

Teknologimodenhed: -

Styrker: • Meget lavt energiforbrug (< 0,3 kWh kg⁻¹ CH₄ – kun ventilatorer) • Ingen høje temperaturer, katalysatorer eller kemikalier • Udnytter eksisterende landbrugs-infrastruktur (dræn), minimal visuel påvirkning	Udfordringer / risici: • Oxidationshastighed afhænger af jordtype, vandindhold og temperatur • Hydraulisk kapacitet i drænsystemet kan begrænse maks • Langtids-effekter på lugt og evt. N₂O-emission endnu ikke dokumenteret	Integration & driftsovervejelser: • Jordfysiske tests nødvendige før dimensionering • By-pass-ventil anbefales til vinterperioder med frossen eller vandmættet jord
---	---	---

Konklusion

Eksisterende kommercielle løsninger kan endnu ikke håndtere de ≈ 100 ppm CH₄, som Metanhuset leverer, på en både driftssikker og økonomisk måde. Den mest modne vej på kort sigt (≤ 2026) er at for-koncentrere luften og derefter oxidere metanen i en kompakt RTO eller en lavtemperatur Pd/Pt-katalysator; begge teknologier er under pilotforsøg på ppm-niveau og når > 90 % fjernelse med moderat energiforbrug-. Metanotrofe biofiltre og det fotokemiske MEPS-radikalsystem leverer ca. 50 % reduktion ved 80-150 ppm i de første pilottests og fremstår som lovende, lavenergi supplementer, men kræver fortsat stald-demonstration. Membran-, plasma- og enzymprocesser befinder sig stadig på laboratorie- eller tidlig pilotskala og bør indledningsvis behandles som rene FoU-spør.

Det vurderes altså, at der i Q3 2025 ikke er tilgængelig teknologi der giver mening at koble på metanhuset.

Referencer

- [1] A. Kuipers, P. Galama, S.F. Spoelstra, C.J. Wiering, P.W.G. Groot Koerkamp, Invited review: Combined mitigation of methane and ammonia emissions from dairy barns through barn design, ventilation and air treatment systems, Journal of Dairy Science, 2025
- [2] S. Grønborg, M.S. Nielsen, A.J. Freudendal, Undersøgelse af teknologier til reduktion af metan opsamlet i en lille luftmængde fra kvægstalde. Videreudvikling af metanhus til opsamling af metan i kvægstalde. Mælkeafgiftsfonde, Seges Innovation, 2024
- [3] Global Methane Initiative (GMI), Coal Mine Methane Mitigation and Utilization Technologies and Project Profiles, 2018.

Afprøvning nr. xxxx
NAV nr.: xxxx
Journalnr.: xxxx-x-xx-xxxxxx

//din afdelingsleders initialer//

Dyregruppe:
Fagområde:
Nøgleord

Kommenterede [SG1]: Hvad er det?

Kommenterede [MN2R1]: forsknings- og udviklingsspor