

# Vandrensning og klimagasser

Emission af klimagasser fra den biologiske spildevandsrensning, herunder lattergas og metan, udgør som regel langt den største del af de samlede klimaaftryk fra drift af renselanlæg. Der er både regulatoriske tiltag og økonomiske instrumenter på vej for at motivere reduktionen af disse emissioner. Samtidig findes der allerede nu potentielle løsninger, som kan bidrage til at disse reduktioner rent faktisk opnås, hvilket belyses nærmere i denne artikel, sammen med andre væsentlige påvirkninger af klimaaftrykket relateret til spildevandsbranchen.

ANNA KATRINE VANGSGAARD, JACOB  
KRAGH ANDERSEN & JEANETTE  
AGERTVED MADSEN

## Klimaaftryk på renselanlæg

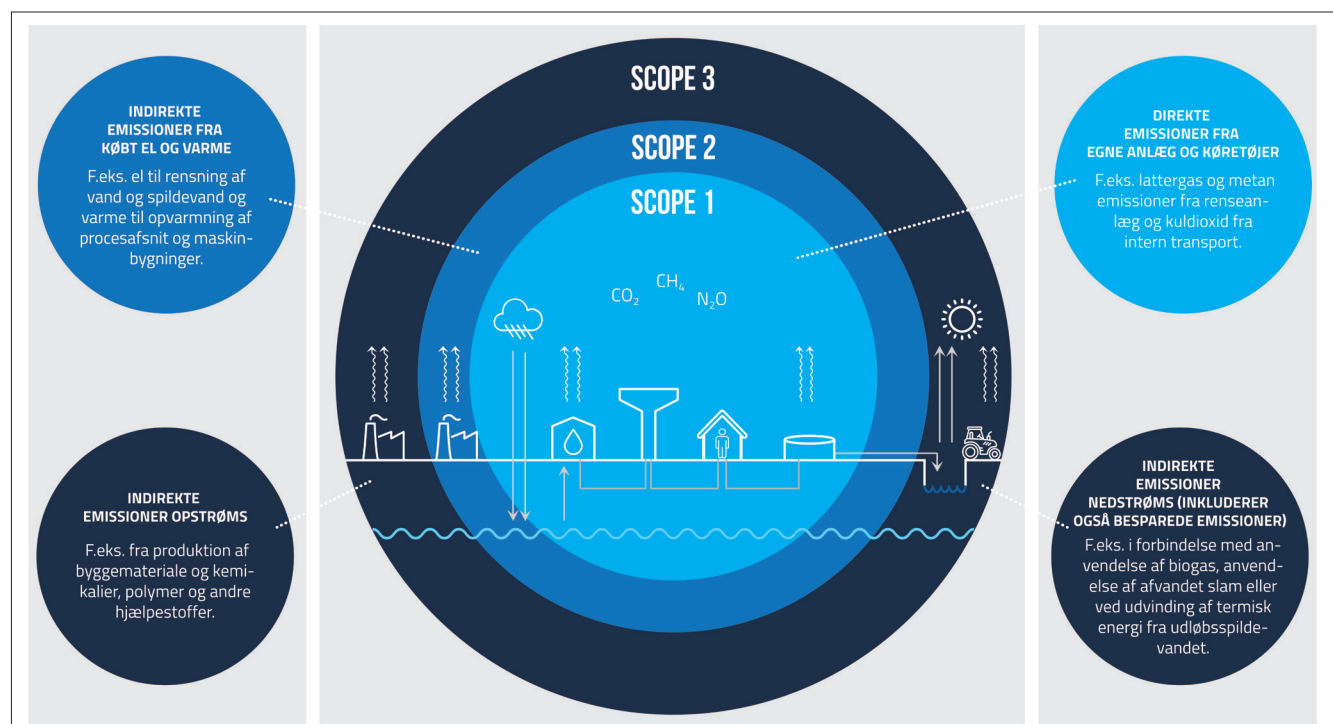
Mange danske forsyningsselskaber har en målsætning om og arbejder målrettet med at nedbringe klimaaftrykket fra især renselanlæg. Klimaaftrykket opgøres i CO<sub>2</sub>-ækvivalenter,

og udover CO<sub>2</sub>-emissioner, bidrager primært lattergas (N<sub>2</sub>O) og metan (CH<sub>4</sub>) til klimaaftrykket.

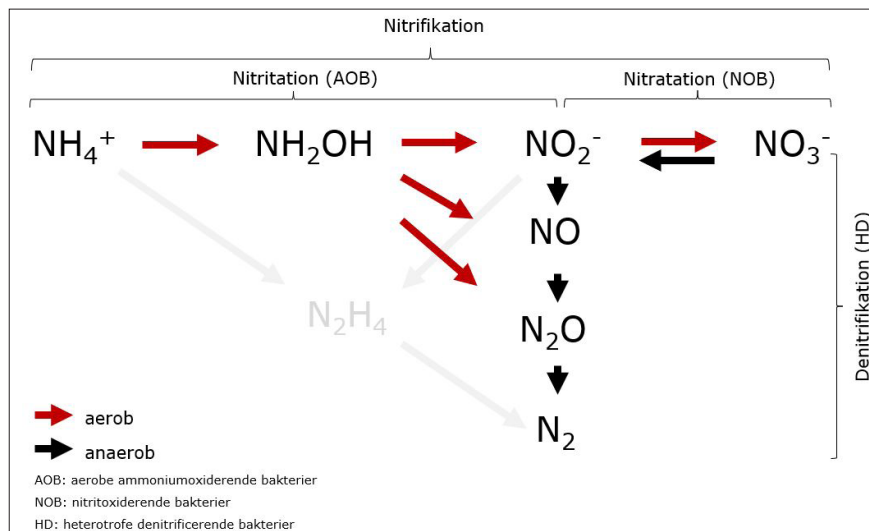
Reduktion af energiforbrug har længe været i fokus, og flere større renselanlæg er i dag energiproducerende. Hermed opnås en reduktion af klimaaftrykket. Der er dog en lang række andre bidragsydere til det samlede klimaaftryk fra renselanlæg. Direkte lattergasudledning er særlig problematisk, fordi lattergas er en meget potent drivhusgas med et

drivhusgaspotentiale som er 273 gange så stort som for CO<sub>2</sub> /1/. Udledningen af lattergas er derfor et væsentligt sted at starte ift. at nedbringe spildevandsbranchens samlede bidrag til den globale opvarmning. Lattergasemissionen kan typisk udgøre >50 % af det samlede klimaaftryk fra et renselanlægs driftsfase.

For de renselanlæg som har udrådning af slam med tilhørende gassystem er der tillige risiko for direkte emission af metan. Metan er ligeledes en potent drivhusgas med et



Figur 1: Definitionen på scope 1, 2 og 3 med udgangspunkt i vandsektoren (figur udarbejdet af Envidan på baggrund af Greenhouse Gas Protocol standards).



Figur 2: Omsætningsveje for kvælstof (ammonium) i rensenlæg.

drivhusgaspotentialer som er 27 gange så stort som for  $\text{CO}_2$  /1/. Emission af metan udgør som regel en mindre andel af den samlede klimaafttryk end lattergas, men den er typisk også en af de største bidragsydere.

### Rammesætning og regulatoriske tiltag

Den danske regering implementerede i 2020 en ny klimalov med en målsætning om at reducere udledning af  $\text{CO}_2$  med 70 procent i 2030 målt i forhold til niveauet i 1990. Dette blev fulgt op af en klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi, som ligeledes blev implementeret i 2020 /2/. Klimaplanen indeholder bl.a. et mål om reduktion af lattergasemissionen (med 50 %) fra danske rensenlæg større end 30.000 PE senest i 2025. Derudover er der regulering på vej ift. emissioner af metan fra rensenlæg.

Disse nationale målsætninger har betydet, at rigtig mange forsyningsselskaber nu justerer fokus fra energioptimeringer til reduktioner af klimagasser. Det faktum, at klimaafttrykket fra det danske el-mix i fremtiden bliver lavere grundet stigende andel af grøn strøm i elnettet, betyder, at det relative bidrag fra bl.a. lattergas og metan til forsyningsselskabernes samlede klimaregnskab bliver større. Det er altså ikke længere tilstrækkeligt at spare på energien eller at producere mere biogas, hvilket bl.a. blev synliggjort med resultatet fra Parismodellen for vandsektoren. Parismodellen blev introduceret af Miljøministeriet i 2021. Et resultat af arbejdet med Parismodellen er branchens ambitiøse mål om en energi- og  $\text{CO}_2$ -neutral dansk vandsektor i 2030. Parismodellen er under revision, og Envidan har netop afleveret anbefalinger til en revision af modellen. I den forbindelse, har et fokusområde været at få en større systematik ind i modellen og lægge sig op ad internationale

standarder, herunder Greenhouse Gas Protocol. En af de grundlæggende ting her er at anvende de såkaldte scopes, herunder scope 1, 2 og 3 og at rapportere undgåede emissioner særskilt.

Disse scopes omfatter direkte  $\text{CO}_2$  emissioner fra en virksomheds produktion (scope 1),  $\text{CO}_2$  emissioner relateret til produktion af den energi, virksomheden køber f.eks. el og fjernvarme (scope 2) samt emissioner relateret til leverandørkæden og emissioner forbundet med anvendelse og bortskaffelse af produkter (scope 3). I Figur 1 illustreres definitioner af scope 1, 2 og 3 med udgangspunkt i vandsektoren.

For de direkte emissioner (scope 1) har både Miljø- og Energistyrelsen støttet projekter til at øge viden om emissioner af lattergas og metan fra rensenlæg. Med tilskud fra MUDP's lattergaspulje har en række forsyningsinstalleret lattergassensorer på rensenlæg og datagrundlaget herfra er opsamlet, analyseret og har resulteret i en ny emissionsfaktor for lattergas på 0,84% af total kvælstof i indløbet til det biologiske rensetrin /3/. I en rapport fra Energistyrelsen er emissionen af metan fra rensenlæg med biogasproduktion opgjort til gennemsnitligt 7,7% af den totale produktion /4/. Begge værdier er høje og har en signifikant påvirkning af den samlede udledning af klimagasser fra rensenlæg. Der forventes regulatoriske initiativer i forhold til nedbringelse af metan fra danske biogasanlæg, hvilket er i tråd med aftalen mellem 104 lande på det seneste COP26 møde i Glasgow (2021), hvor der er opnået enighed om en reduktion af metan på mindst 30% globalt set i 2030.

Drivhusgasserne har politisk bevågenhed og næste skridt, som kan understøtte nedbringelse af  $\text{CO}_2$  emissionerne kan være en gradvis

stigende klimaafgift på op imod 1.500 DKK/ $\text{CO}_2$ , foreslået af Klimarådet, hvilket vil skabe et drive for implementering af nye innovative og klimareducerende teknologier.

### Hvordan opstår klimagasser – lattergas

Lattergas opstår i forbindelse med biologisk rensning af spildevandet på rensenlæg, mere specifikt ifm. reduktion af kvælstof. Kvælstof (ammonium) i spildevandet omsættes ved hjælp af to biologiske processer; nitrifikation, hvor ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) oxideres (med luft) til først nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) og derefter nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) og denitrifikation, hvor nitrat reduceres (uden luft) til frit kvælstof ( $\text{N}_2$ ) når det reagerer med organisk kulstof (COD) fra det rå spildevand (se figur 2).

Lattergas dannes som et utilsigtet biprodukt ved både nitrifikation og denitrifikation.

De hyppigste årsager til dannelse af lattergas er:

1. En høj specifik ammoniumbelastning
2. Nitritakkumulering, som forekommer, når de nitritoxiderende bakterier (NOB) bliver udkonkurreret af de ammoniumoxiderende bakterier (AOB) i nitrifikationsprocessen. Det kan ske ved høje temperaturer, lav slamalder og lave iltkoncentrationer.
3. Mangel på COD, som kan medføre at denitrifikationsprocessen ikke "løber til ende" og producerer  $\text{N}_2\text{O}$ , men i stedet stopper ved  $\text{N}_2$ .

### Hvordan reducerer vi klimagasser – lattergas

Først og fremmest bør det kortlægges hvilken eller hvilke årsager, der ligger til grund for, at der akkumuleres lattergas. Ved hjælp af målere kan emission af lattergas estimeres og variation afdækkes. Afhængig af hvilken eller hvilke produktionsveje, der forårsager høj emission af lattergas, er der forskellige tiltag, som forsyningen kan gøre for at forebygge akkumulering af lattergas. Projekter og forsøg har vist at nedenstående tiltag har en effekt på 30-70 % reduktion af lattergasemissionen.

#### 1. Regulering af beluftningsstyringen

For at forebygge akkumulering af lattergas kan det være en fordel at opretholde en lav kontinuerlig beluftning, da det skaber optimale forhold for simultan nitrifikation og denitrifikation. Hermed undgås akkumulering af nitrit, hvis AOBer skulle udkonkurrere NOBer. Samtidig forbedres forholdene for at eventuelt produceret lattergas straks kan blive omsat igen ved denitrifikationsprocessen. Omvendt kan skift imellem pause og drift med høj beluftning forebygge akkumulering

af lattergas, hvis hovedårsagen til lattergasproduktion er nitritakkumulering. Hvis det er tilfældet, er det fordelagtigt at opretholde en høj iltkoncentration, da det kan forebygge at AOB'er udkonkurrerer NOB'er, hvilket kan reducere eventuel nitritakkumulering.

## 2. Reduktion af den specifikke ammoniumbelastning

Udjævning af indkommende belastning kan ske, hvis regnvand eller sparebassiner er til rådighed.

Et andet alternativ er at øge mængden af slam i de biologiske reaktorer, så mængden af ammonium ikke bliver for høj i forhold til mængden af slam, hvorved slambelastningen reduceres.

## 3. Styr COD/N-forholdet

Ved for lavt forhold imellem COD og kvælstof (N) kan dette reguleres ved at sikre, at der er tilstrækkeligt med COD til rådighed. Dette er vigtigt, så eventuelt akkumuleret lattergas kan fjernes igen i denitrifikationen. COD/N-forholdet kan f.eks. forbedres ved at dosere eksternt kulstof eller ved at regulere udtaget af organisk kulstof i primærtrinnet.

## Hvordan reducerer vi klimagasser – metan

Direkte emission af metan stammer primært fra utilsigtet tab af metan i forbindelse med biogasproduktion fra udrådning af slam. Der produceres også metan i forbindelse med forbehandling, forklaring og biologisk behandling af spildevandet, dog i mindre mængder. Fra biogasanlæg er de primære punktkilder til emission af metan udslip fra rådnetaanke, afkast fra gasmotor og/eller gaskedel, åbne slamlagretanke og afkast fra slamafvanding.

Første skridt for at minimere disse emissioner er at få foretaget en måling, som kortlægger hvilke punktkilder, der bidrager mest på det enkelte anlæg. Når dette er på plads, kan de mest passende tiltag for reduktion implementeres. Tiltag til reduktion kan blandt andet være:

1. Overdækning af slamlagre hvor slammet efterudrådner og danner metan. Afkastet kan opsamles og tilknyttes gassystemet, så det i stedet for at tabes rent faktisk bidrager til den samlede gasproduktion.
2. Tætning af utætheder i rørsamlinger, overtryksventiler og andre identificerede punktkilder.
3. Vakuumpulverisering af de små biogasbobler, som findes bundet i slammet, inden det sendes videre til afvanding.

## Andre fokusområder

Udover direkte emission af lattergas og metan, er der en lang række andre tiltag der kan igangsættes for at nedbringe det samlede klimaaftryk fra spildevandssektoren. For eksempel kan tilsætningen af kemikalier og andre hjælpestoffer optimeres for derigennem at reducere de samlede scope 3 emissioner. Derudover kan anvendelsen af biogas bidrage til undgåede emissioner. På langt de fleste renseanlæg i Danmark bliver biogassen brændt af i en gasmotor, hvor der produceres elektricitet og varme. Denne elektricitet og varme kan således fortrænge fossile energikilder og dermed kan der opnås en undgået emission. Hvis biogassen i stedet anvendes på anden måde, f.eks. ved opgradering og anvendelse i transportsektoren til tung transport, kan de undgåede emissioner forøges. Opgraderet biogas kan erstatte f.eks. naturgas, som har en betragtelig højere emissionsfaktor end elektricitet og varme.

Et andet sted, hvor der er stort fokus i spildevandsbranchen i øjeblikket, er slambehandlingen. Årsagen til dette bunder i udfordringer med spredning af mikroforureninger ved direkte anvendelse af slam på landbrugsjord. Derfor undersøges andre slambehandlingsmetoder og i den forbindelse er der også tilknyttede klimabelastninger og -gevinster. Blandt andet er der mulighed for undgåede emissioner grundet kulstofbinding i jord og fortrængning af fossilt producerede gødningsprodukter. Størrelsen og effekten af disse varierer alt efter hvilken alternativ der vælges, det værende slam på landbrugsjord, slamforbrænding, slammineralisering, pyrolyse eller andet.

Opgørelser af klimaaftryk forbundet med bygge- og anlægsfasen (scope 3 – indirekte emissioner opstrøms) har ikke tidligere fået meget opmærksomhed, men det burde de få grundet deres betydning. Bygge- og anlægsarbejder bidrager på landsplan med hele 30 % af det samlede nationale CO<sub>2</sub>-aftryk, og i vandsektoren bidrager især større anlægsprojekter på afløbssiden samt opførelse af store nye renseanlæg. Det er primært mængden af beton og stål der er de store poster i klimaaftrykket, og her findes naturligvis også optimeringspotentialer og alternative materialer.

Et andet fokusområde i spildevandssektoren er udnyttelsen af den termisk energi (varme) i det rensede spildevand vha. varmpumper, hvilket kan forbedre klimaaftrykket markant. Dette kan være rigtig interessant, hvis der er et fjernvarmenet i umiddelbar nærhed af renseanlægget. Der er dog regulative udfordringer som gør, at det ikke altid giver mening at implementere sådan en løsning.

Her ville det være på sin plads at justere lovgivningen, så sektorkobling i højere grad kan sikres, og de bedste løsninger for natur, miljø og klima kan implementeres.

Sidst men ikke mindst er der et potentiale for, at spildevandssektoren kan spille en rolle i det danske PtX eventyr. Dels kan sektoren levere rensede spildevand til den vandkrævende PtX proces (igennem en række energikrævende rensprocesser), og dels kan sektoren indgå i indirekte anvendelse af brint (fra elektrolyse af vand) sammen med f.eks. kvælstof eller kulstof fra spildevandet til fremstilling af ammoniak eller metan, metanol, diesel eller jet fuel. Endelig kan overskydende ren ilt fra elektrolyseprocessen anvendes i de biologiske renselinier. Påvirkning af det samlede klimaaftryk for sektorkobling til PtX anlæg bør beregnes fra sag til sag.

## Klimafokus vs. bæredygtighed

I vores bestræbelser på, at indfri klimamål må vi ikke få CO<sub>2</sub> tunnelsyn og glemme de øvrige 16 verdensmål eller bæredygtighed generelt. Det faktum, at 80 % af verdens spildevand ikke renses kalder på fokus på andre verdensmål samtidigt. I fællesskab kan vi i vandsektoren understøtte både den grønne omstilling og den danske vandvision gennem demonstration af teknologiske løsninger med eksportpotentiale.

## Referencer

- 1/ IPCC, 2021. Sixth Assessment Report. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/>
- 2/ Klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi 16.juni 2020 <https://www.regeringen.dk/media/9591/afsaetekst.pdf>
- 3/ Miljøstyrelsen 2020. MUDP Lattergaspulje Dataopsamling på måling og reduktion af lattergasemissioner fra renseanlæg. [https://mst.dk/media/207066/rapport\\_n2o\\_endelig.pdf](https://mst.dk/media/207066/rapport_n2o_endelig.pdf)
- 4/ Energistyrelsen 2021. Måltrettet indsats for at mindske metantab fra danske biogasanlæg. [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Bioenergi/metantab\\_rapport.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Bioenergi/metantab_rapport.pdf)

ANNA KATRINE VANGSGAARD, senior procesingeniør, Envidan A/S, [akv@envidan.dk](mailto:akv@envidan.dk)

JACOB KRAGH ANDERSEN, Udviklingschef for bæredygtighed, renseanlæg, Envidan A/S, [jka@envidan.dk](mailto:jka@envidan.dk)

JEANETTE AGERTVED MADSEN, Udviklingschef for renseanlæg, Envidan A/S, [jam@envidan.dk](mailto:jam@envidan.dk)