

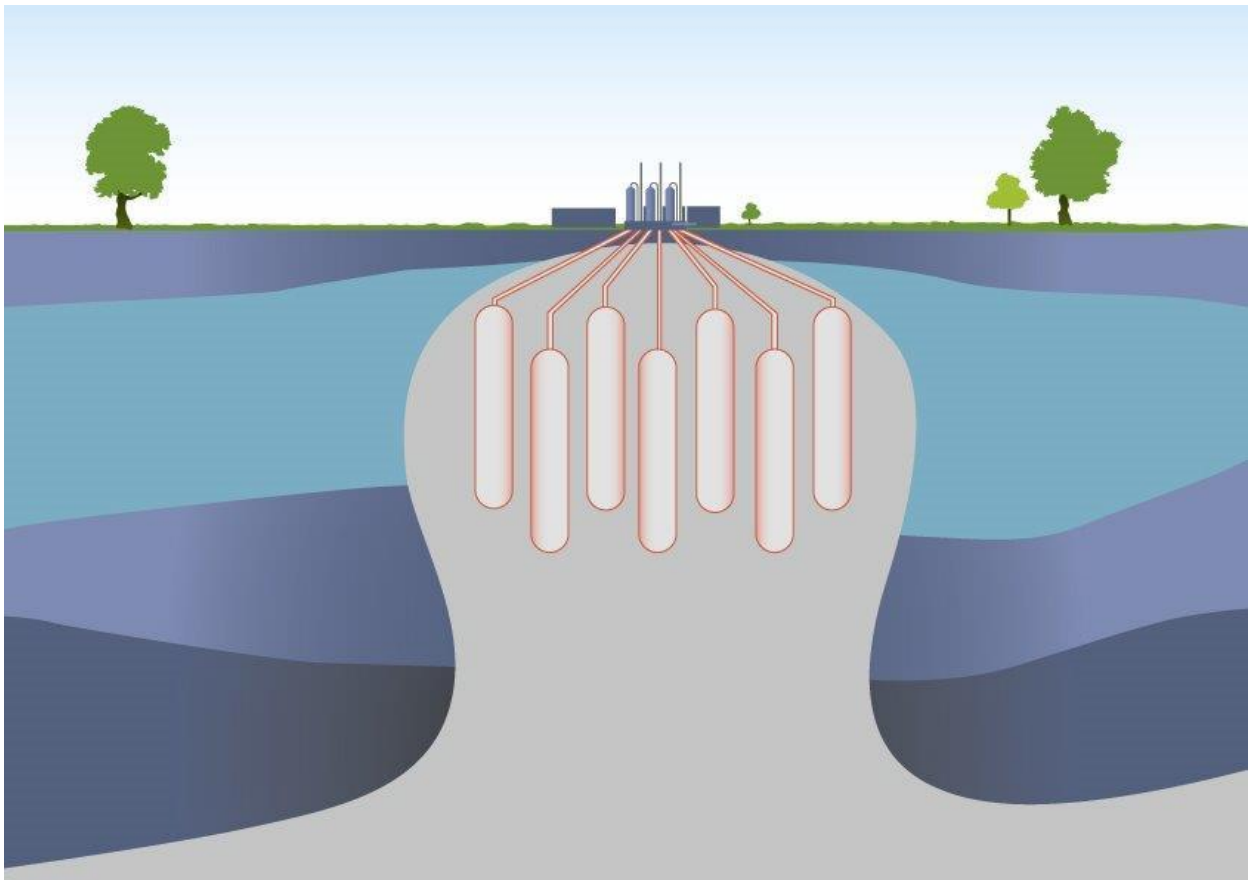
Notat: Stenlille versus Havnsø – lagring af metan og CO₂

Dette notat er udarbejdet for at sammenligne lagringen af metan, der sker i Stenlille, med den planlagte deponering af CO₂ i den såkaldte Havnsø-struktur.

Klima-, Energi- og Forsyningsministeren, Energistyrelsen og GEUS benytter naturgaslageret i Stenlille som argument for, at en kommende deponering af CO₂ i Havnsø-strukturen kan regnes for sikker. Der henvises til, at der i Stenlille ikke er sket større udslip fra undergrunden.

De danske gaslagre

Der er to store gaslagre i Danmark – et i Lille Torup i Nordjylland og et i Stenlille på Sjælland. Gassen er for 90 % vedkommende metangas (CH₄) resten er højere kulbrinter, der fortrinsvis kommer fra Nordsøen (fossilgas=naturgas). Biogas, der er en blanding af metan (ca. 55 %) og CO₂ (ca. 45 %) tilføres også efter stribning for CO₂. Biogassen produceres i biogasanlæg ud fra madaffald og landbrugsafgrøder som f.eks. majs. I mange anlæg tilsættes desuden gylle.

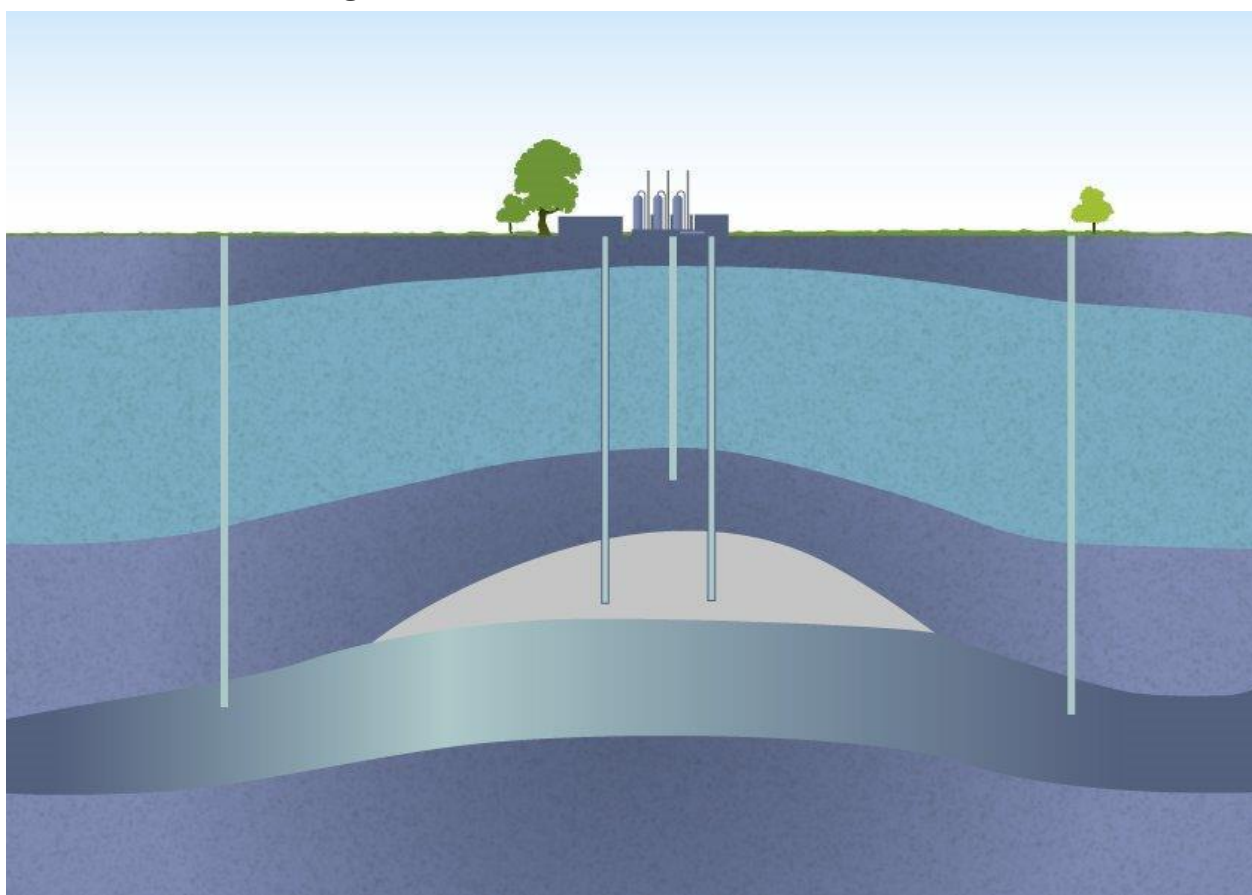


Salthorstformationen ved Lille Torup. Den underjordiske salthorst er cylindrisk, og dens diameter og højde er ca. 5 km. Kilde: Gas Storage Denmark.

Kun rensset metan må lukkes ind i naturgasnettet, så CO₂ og andre forureninger skal først fjernes. Gaslagrene fungerer som en buffer til naturgasnettet.

Lille Torup lageret består af 7 kaverne udskyllet i en salthorst. Den samlede lagerkapacitet i de 7 "tanke" er på 302 mio. Nm³ metangas. Nm³ er normalkubikmeter, hvilket vil sige gas ved 0 grader celsius og 1 atm tryk.

Stenlille lageret er en helt anden type lager, med en samlet lagerkapacitet på 584 mio. Nm³ metangas. [Gas Storage Denmark](#)



Akviferformationen ved Stenlille. Akviferformationen er en stor underjordisk "pude" 1.500 – 1.600 m under overfladen og dækker et areal på 14 km². I modsætning til Lille Torup er gaslagringsanlægget i Stenlille et akviferreservoir, der er oprettet i Gassum-sandstensformationen. Den gode opbevaringskvalitet af Gassum-sandstensformationen blev grundlagt i den sene Trias for 209-201 millioner år siden. Gassum-sandstensformationen findes udbredt nord og syd for Ringkøbing-Fyn-højderyggen med en maksimal tykkelse på ca. 200 m og forekommer på dybder fra ca. 500 m ved Skagen og Rødby til mere end 3.000 m i Himmerland. Det overliggende 300 m tykke lag af lersten stammer fra Fjerritslev-formationen, som blev dannet under den sene Jurassic og tjener som et effektivt "låg", der holder gasen fanget i den porøse sandstensstruktur. Kilde: Gas Storage Denmark.

Havnsø-strukturen er af samme type som beskrevet ovenfor, men tykkelsen af sandstenen og det overliggende lerlag, vurderes p.t. af Equinor ud fra seismiske data. Equinor vil efterfølgende sammenholde disse data med trykforsøg med vand samt prøver udtaget i forbindelse med den planlagte 1,9 km dybe efterforskningsboring ved Særslev.

Det er samme Gassumformation der strækker sig fra Stenlille ud under området ved Jyderup og Havnsø (Havnsø-strukturen), Røsnæs og Storebælt og skrår op i Jylland inkl. byen Gassum (heraf navnet). Gassum er en sandstensstruktur med saltvand i stenens hulrum og det er i disse hulrum, der kan lagres CH₄ eller CO₂ ved at presse saltvandet væk.

LIGHEDER

mellem CH₄-lageret i Stenlille og et CO₂-lager i Havnsø-strukturen

Både metan og CO₂ er gasser der kan presses sammen til væske, hvorved de fylder mindre. Temperaturen i undergrunden stiger med dybden og det samme gør trykket. Når gasserne presses ned i sandstenen, skal de derfor ”tempereres” til samme temperatur og tryk som findes i den dybde, der skal injiceres i. De injiceres begge som væsker, der skal fortrænge det tunge salte vand der findes i sandstensens hulrum. Det kræver et ekstra tryk at flytte dette vand.

En mindre del af den flydende CH₄ såvel som CO₂ der presses ned, vil blive opløst i vandet i undergrunden, mens langt størstedelen, vil findes som væske. For CO₂'s vedkommende vil en meget lille del udfældes som kalkminerale, men det er en meget langsom proces, der vil tage flere tusinde år, inden disse processer får kvantitativ betydning.

Massefylden af den sammenpressede CH₄ hhv. CO₂ vil være markant mindre end massefylden for det salte vand. Begge vil derfor søge opad, billedlig talt som en ballon, der holdes ned under vand. Det er grunden til, at der skal være et tæt lerlag uden forkastninger eller sprækker over sandstensstrukturen. Det skal forhindre de ”lette” væsker i at komme op til overfladen igen. Man taler om et tæt lerlag, men der vil til stadighed ske bevægelse via diffusion op i laget.

Når store mængder CH₄ eller CO₂ presses ned i undergrunden vil der opstå et opløft, der ved overfladen kan måles som en landhævning. Hvis der findes forkastninger op gennem lagene, kan det stress injektionen bevirker medføre forskydninger langs forkastningerne, og det vil kunne registreres som en rystelse eller jordskælv. Forkastninger og utætte brøndboringer vil være de første steder man kan forvente udslip, men hertil kommer alt det vi ikke ved om, hvordan undergrunden reagerer på tilførsel af store mængder flydende CH₄ eller CO₂.

FORSKELLE

mellem CH₄-lageret i Stenlille og et CO₂-lager i Havnsø-strukturen

Stenlillelageret udgør, ligesom Lille Thorup-lageret, en buffer til det danske naturgasnet. Når man først én gang har lavet storskalaforsøget med at presse store mængder flydende metan ned under Stenlille og det er gået godt, og man derefter tager gas ud hhv. injicerer inden for de samme afprøvede variationer i volumener og tryk, så kan man håbe, at der ikke fremover sker uventede reaktioner i eller udslip fra lageret.

I Havnsø-strukturen skal der derimod kun ske deponering. Strømmen af CO₂ går kun én vej ved tilførsel af mere og mere CO₂ til undergrunden indtil lageret er fyldt. Operatøren skal i den proces sikre, at der ikke presses mere CO₂ ned, end at trykket i lageret holder sig under det tryk man har beregnet, at den beskyttende lerkappe kan holde til. Hvis trykket nedefra bliver for stort, risikerer lerkappen at slå revner og CO₂ fra depotet at stige op.

Sker der udslip til overfladen, vil CH₄ stige til vejrs, mens CO₂ vil lægge sig i kældre og lavninger.

Fysiske forhold

Molekylvægtene er hhv. 16, 29 og 44 for metan, atmosfærisk luft og CO₂. I undergrunden i 1500 m dybde vil vægtfyllden være i størrelsesordenen 250 kg/m³ for metan og i størrelsesordenen 700 kg/m³ for CO₂. Til sammenligning har det omgivende salte porevand en vægtfylde på ca. 1185 kg/m³. Tallene er omtrentlige fordi de afhænger af de konkrete forhold i undergrunden. F.eks. stiger saltindholdigheden med dybden. Det bliver med andre ord mere og mere salt jo dybere

man kommer ned. I 1500 m dybde i Gassumformationen er vægtfylden af det salte vand ca. de nævnte 1185 kg/m³ (GEUS-rapport 2024/25 CCS2022-2024 WP1: The Gassum structure).

Det indebærer, at både flydende metan og CO₂ i dybden vil søge opad samtidig med at de udvider sig og får endnu mindre vægtfylde når tryk og temperatur falder mod jordoverfladen.

Ved overfladen vil metan, som er lettere end den atmosfæriske luft, stige til vejrs, mens CO₂, som er tungere end atmosfærisk luft, sive ind i kældre, eller ved rolige vindforhold, lægge sig i lavninger.

CH₄ kan brænde ved 5-15 volumenprocent og store oplag af metan er omfattet af risikobekendtgørelsen. CO₂-oplag kan ikke brænde og er ikke omfattet af risikobekendtgørelsen.

Sundhed

Ved blot få procent CO₂ får man hovedpine og risikerer at miste bevidstheden. Menneskets udåndingsluft har ca. 3,8 % CO₂. Indåndingsluften skal derfor have et lavere CO₂-indhold for at kroppen kan komme af med CO₂. En CO₂-koncentrationer i luften på 10 % gør det umuligt at komme af med CO₂en og mennesker og dyr bliver kvalt. Kun hvis CO₂ blæses væk/aktivt opblandes eller ventileres væk, kan man undgå generne fra CO₂-udslip.

Metan udgør ikke en akut sundhedsrisiko ved lave koncentrationer f.eks. 1-2 % i luft. Men ved stigende koncentrationer, f.eks. i lukkede rum, vil det være fortrængningen af den atmosfæriske luft og dermed mangel på ilt i luften (normalt indhold er ca. 21 %), der er problemet. Hvis iltprocenten falder til under 10 % ved høje koncentrationer af metan, opstår bevidstløshed på få sekunder til minutter og derefter åndedrætsstop.

Kvantitative forskelle

Stenlille naturgaslageret fremhæves ofte som eksempel på, at undergrundslagring er en velafprøvet og sikker teknologi, som derfor også kan bruges til

deponering af CO₂ i undergrunden. Nogle store forskelle er i den forbindelse de mængder vi taler om og de berørte arealer i dyblen og i overfladen.

Mængdemæssigt: Gas Storage Denmark oplyser at kapaciteten i Stenlille akviferen er 584 mio. m³ metan (CH₄). Samtidig fremgår det af deres hjemmeside, at den maksimale lagringskapacitet er lidt under 10.000 MWh ([Gas Storage Denmark](#)), hvilket er brændværdien af den lagrede naturgas. Ud fra disse tal kan man slutte, at de 584.000.000 m³ er opgjort som Nm³ dvs. ved 0 grader C og 1 atm tryk. Massefylden af CH₄ ved 0 grader C og 1 atm tryk (altså ca. ved jordoverfladen) er 0,717 kg/m³. Dvs. mængden af metan der max kan lagres i Stenlille er $584.000.000 \text{ Nm}^3 \times 0,717 \text{ kg/m}^3 / 1000 = \text{ca. } \mathbf{0,4 \text{ Mt CH}_4}$
Altså **0,4 millioner ton metan.**

Til sammenligning ønsker CO₂ Storage Kalundborg at nedpresse 12 Mt CO₂ per år altså 30 gange det samlede Stenlillelager årligt. GEUS har beregnet, at det samlede lager i Havnsø-strukturen kan rumme **306 Mt CO₂**, altså **765 gange mere end det samlede Stenlillelager**. Der er p.t. kritik af GEUS for at have overvurderet CO₂-lagringspotentialet i den danske undergrund (Magnus Bredsdorf, Politiken 25. oktober, 2025; Orientering om CO₂-lagringspotentiale fra Lars Aagaard til KEF-udvalget KEF Alm. del Bilag 16 j.nr.2024-5014, 10-10-2025). De politiske CCS-aftaler er derved indgået på et forkert grundlag. Om fejlvurderingerne også gælder Havnsø-strukturen, må afvente de konkrete undersøgelser.

Deponeringen af CO₂ kan kun ske, hvis det er muligt at fortrænge en tilsvarende volumen salt porevand i undergrunden. Dette vand kan ikke komme op på grund af kappen. Mod dybden er trykket større, så det fortrænges sandsynligvis ud til siderne i strukturen. Det er uvist, hvad der sker med dette vand, og hvordan det vil kunne påvirke trykforhold og vandbevægelser uden for kappen, f.eks. ved de såkaldte spill points. Vil det fortrængte vand levere et tilstrækkeligt opadgående tryk således, at salt porevand presses op og blandes med det primære ferske grundvand, der anvendes til drikkevand?

Arealmæssigt: Om Stenlille oplyser Gas Storage Denmark, at metan er spredt til et areal i undergrunden der svarer til 14 km² på overfladen. Til sammenligning

har GEUS estimeret, at lagring af 306 Mt CO₂ i Havnsøstrukturen, vil spredes til ca. 120 km² på overfladen til lands og til vands (GEUS Rapport 2020/46 – Evaluation of the CO₂ storage potential in Denmark). Ud fra disse tal, vil et kommende CO₂ lager i Havnsø-strukturen have mindst 8,5 gange større arealudbredelse end naturgaslageret i Stenlille, men rumme op til 765 gange mere gas målt i Mt.

Det bør føre til eftertanke, når blot 0,4 Mt CH₄ kan sprede sig så meget i undergrunden, at det svarer til hele 14 km² på overfladen, mens en langt større mængde CO₂ ”kun” forventes at sprede sig til 120 km². Forklaringen på metans langt større spredning i undergrunden skal evt. findes i den relativt mindre massefylde på ca. 250 kg/m³ for metan, mod ca. 700 kg/m³ for CO₂, i 1500 m dybde. Metanens spredning kan evt. også skyldes de mange boringer. Metan pumpes op flere forskellige steder, mens der tilsvarende injiceres flere andre steder. Derved kan der ske en aktiv spredning af metanen, som ikke vil ske på tilsvarende vis i et CO₂-lager. Spredningen af CO₂ kan også være undervurderet.

Når GEUS har beregnet et overfladeareal på ca. 120 km² for Havnsø-strukturen, og med spredningen af metan i Stenlille in mente, hvor meget mere ud til siderne, inkl. overskridelse af spill points, vil vi så kunne forvente for Havnsø-strukturen, herunder spredning fra land ud under Nekselø Bugt og andre marine arealer, hvor Helsinki Konventionen ellers forbyder det?

At der i Stenlille, indtil videre, ikke er sket brud på forseglingen, men kun små uheld med pumper og rør, er ikke et bevis for, at deponering i Havnsø-strukturen automatisk kan regnes for sikker.

Det betyder, at sandsynligheden for at Equinor og GEUS overser uregelmæssigheder i geologien under det 120 km² store område (sprækker i lerlaget, forkastninger m.m.) er stor, i forhold til da man i sin tid skulle vurdere området ved Stenlille. Hver lokalitet er unik i forhold til uregelmæssigheder i undergrunden. Det er derfor useriøst på forhånd at udtale sig skråsikkert omkring risici ved lagring af CO₂ i Havnsø-strukturen, på baggrund af undersøgelser foretaget i Stenlille.

Kemi i undergrunden ved CO₂-deponering

CH₄ og CO₂ opfører sig fysisk og kemisk på forskellig vis. Metan reagerer ikke kemisk med sandstenen og det overliggende lerlag, mens det i høj grad er tilfældet med CO₂ (GEUS Rapport 2003/41, Chemical and Physical Interaction of CO₂ and Carbonate Rock, a GESTCO contribution, Dan Olsen and Niels Stentoft).

Der er mange mekanismer, der kan føre til CO₂-udslip (Gholami R. et al. 2021, Leakage risk assessment of a CO₂ storage site: A review. Earth-Science Reviews, Volume 223, December 2021, 103849). Et underbelyst dilemma er, at CO₂ helst skal "tørres" inden injektion, dvs. vandet i CO₂en skal fjernes, for at undgå korrosion af rør. Men når store mængder "tør" CO₂ kommer i kontakt med lerkappen, vil der ske optagelse af vand fra lerkappen, som derved "udtørres" med risiko for sprækkedannelse til følge (Damen K. et al. 2003, Health, safety and environmental risks of underground CO₂ sequestration. Overview of mechanisms and current knowledge. Report NWS-E-2003-30, ISBN 90-393-3578-8, December 2003, p.7). Et andet dilemma er renhedsgraden af den injicerede CO₂.

I Stenlille arbejdes der også på at lagre CO₂ fra biogasanlæg under metanlageret. De to lagre forudsættes ikke at forurene hinanden i væsentlig grad. Først bruger man energi på at adskille stofferne, hvorefter man bringer dem tæt sammen igen! [Lagring af CO₂ i den danske undergrund](#)

Seismik

I Stenlille er der gennemført seismik, der dækker hele det begrænsede område og der er foretaget 20 boringer til verificering af undergrundens sammensætning.

I Havnsø er den planlagte seismik gennemført på under 80 % af området. Der er ikke på noget tidspunkt tidligere foretaget boringer i Havnsø-strukturen og der planlægges kun 1 efterforskningsboring inden injektion. Alle hidtidige opgørelser over hvor meget CO₂ der kan deponeres i et kommende Havnsø-depot, bygger på seismik fra Havnsø sammenholdt med data fra boringerne ved Stenlille ca. 30 km væk.

I forbindelse med de seismiske undersøgelser der blev udført i 2025, nægtede mange lodsejere at give CO2 Storage Kalundborg (CSK) adgang til at udføre seismik på deres ejendomme. Det betød, at der ikke kunne foretages målinger som planlagt. Der er derfor seismiske "datahuller" i materialet og dermed en dårligere verificering af undergrundens opbygning i forbindelse med udarbejdelsen af den krævede 3D-model af undergrunden.

En anden stor svaghed i CSK's datamateriale opstod ved at miljøforeninger klagede over Kystdirektoratets dispensation til CSK, om at de kunne udføre seismik inden for strandbeskyttelseslinjen. Det betød ifølge Equinor, at ca. 20 % af undersøgelsesområdet ikke kunne undersøges som planlagt. I stedet for udførte CSK deres seismiske undersøgelser fra randene af strandbeskyttelseslinjen, hvilket formodentlig må have givet dårligere resultater.

Dette dårligt undersøgte område ligger tilfældigvis ved toppen af Havnsø-strukturen, som den injicerede flydende CO2 vil søge op imod. Hvis datamaterialet for netop dette kritiske sted er mangelfuldt, kan det ikke verificeres om der findes forkastninger eller andre uregelmæssigheder i eller omkring strukturens top, og enhver deponering i området vil være risikabel.

SAMMENFATNING

Klima-, Energi- og Forsyningsministeren, Energistyrelsen og GEUS kan ikke benytte naturgaslageret i Stenlille som argument for, at en kommende deponering af CO2 i Havnsø-strukturen kan regnes for sikker af bl.a. følgende grunde:

- I modsætning til CH4 danner CO2 syre med vand og angriber materiellet i brøndene samt mineralerne i undergrunden.
- Hvis CO2 slipper op til jordoverfladen, kan det medføre sundhedsfare i langt højere grad end CH4.
- CO2 vil ved udslip medføre forsurening af vandmiljø og biotoper, hvilket ikke er tilfældet med metan.
- Variationerne i tryk og temperatur i Stenlille er kendte i modsætning til situationen ved CO2-deponering i Havnsø-strukturen. Her skal der

etableres et meget stort tryk, der skal fortrænge tungt saltholdigt vand, så længe deponeringen foregår.

- Mængden af metan der findes i Stenlille-lageret, er kun ca. 0,4 Mt, mens CSK planlægger at nedpresse samlet 306 Mt i Havnsø-strukturen. Det er ca. 765 gange mængderne i Stenlille.
- Voluminerne af tungt salt vand der skal fortrænges i undergrunden, vil være i ca. 275 gange større for Havnsø end for Stenlille. I Stenlille sker ingen yderligere fortrængning, mens det er uvist, hvad der sker i Havnsø med de enorme voluminer salt porevand (ca. 0,437 km³), herunder om der risikerer at blive presset salt grundvand op i de primære grundvandsmagasi-ner.
- Udbredelsen på overfladen i Stenlille er på ca. 14 km², mens udbredelsen for Havnsø-depotet forventes til at blive ca. 120 km².
- Med det langt større overfladeareal såvel som volumen i undergrunden der skal undersøges i Havnsø i forhold til Stenlille, følger en langt større risiko for, at man teknisk eller menneskeligt overser uregelmæssigheder eller forkastninger i undergrunden. Risikoen for fejl i undersøgelserne er med andre ord langt større for Havnsø-depotet end for Stenlille-lageret, og dermed risikoen for udslip.
- Med deponering af CO₂ i Havnsø-strukturen, vil kun tiden vise, i hvilket omfang der sker landhævning og evt. jordskælvsaktivitet.

Disse forhold taler for, at gaslageret i Stenlille ikke kan bruges som begrundelse for, at befolkningen ikke skal være bekymret for et kommende CO₂-affaldsde-pot. Tværtimod kan man sige, at der er god grund til bekymring, som følge af de mange forskellige risikoelementer som er omtalt ovenfor.

De mange ukendte faktorer gør, at man ikke bør drage konklusioner angående sikkerheden, på baggrund af lageret i Stenlille og inden der foreligger grundige undersøgelser af hele Havnsø-strukturen. Og selv med sådanne undersøgelser i hånden, har vi vanskeligt ved at se, hvordan et 306 Mt CO₂-depot nogensinde kan garanteres sikkert for mennesker og natur.

Havnsø den 11. december 2025, info@miljohf.dk