



Punktkilder til CO₂ – potentialer for CCS og CCU

2022-opdatering

Kontor/afdeling

Center for Systemanalyse

Dato

07-02-2023

J nr. 2021 - 8086

MNI/RSMS

Indhold

1	Indledning	2
2	Afgrænsning og metode	2
2.1	Principper for analysen	2
2.2	Omfattede anlæg	3
2.3	Omfattede udledninger	3
2.4	Beregning af fangspotentiale	4
3	Opgørelse af udledninger og fangspotentialer fra punktkilder i Danmark	4
3.1	Opgørelse af udledninger	4
3.2	Opgørelse af fangspotentialer	6
3.3	Sammenligning med punktkildeanalysen fra 2021	8
4	Sektorspecifikke overvejelser	10
4.1	Industri	10
4.2	Affaldsforbrænding	11
4.3	El- og fjernvarmeproduktion	12
4.4	Anlæg til opgradering af biogas	16
	Bilag 1 - Betydning af punktkildestørrelse og antal fuldlasttimer	19

Energistyrelsen

Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København V

T: +45 3392 6700
E: ens@ens.dk

www.ens.dk



1 Indledning

Energistyrelsen udgav i 2021 rapporten "Punktkilder til CO₂ – potentialer for CCS og CCU". Det blev vurderet, at der i 2040 ville være et potentiale fra CO₂-fangst fra punktkilder på ca. 4,5 – 9 mio. ton. Opgørelsen var bl.a. baseret på Energistyrelsens *Klimastatus og -fremskrivning 2021* (KF21).

Dette notat indeholder en opdatering af hovedtallene fra rapporten, baseret på Energistyrelsens *Klimastatus og -fremskrivning 2022* (KF22). Desuden er der foretaget mindre justeringer af den anvendte metode.

Det samlede tekniske potentiale i 2040 for CO₂-fangst fra punktkilder vurderes nu at være på 5,4 – 10,8 mio. ton. De nye tal resulterer således i en øgning af potentialet på ca. 1 – 2 mio. ton. Øgningen i fangstpotentiale skyldes dels, at der med den nye opgørelse tages udgangspunkt i større udledninger, og dels, at der i nogle sektorer er anvendt nye metoder til beregning af potentialet. De største bidrag til øgningen i fangstpotentiale kommer fra el- og fjernvarmesektoren og industrisektoren.

Der er tale om bruttopotentialet, dvs. CO₂-udledninger, der forventes udnyttet til lagring eller produktion af brændsel, er ikke fratrukket i potentialet.

2 Afgrænsning og metode

2.1 Principper for analysen

I denne analyse opgøres den forventede CO₂-udledning fra punktkilder i Danmark. Ud fra punktkildeopgørelsen estimeres det potentiale, der vurderes at være tilgængeligt for opsamling og efterfølgende lagring eller anvendelse i 2025, 2030 og 2040.

I analysen indgår punktkilder i sektorerne affaldsforbrænding, el- og fjernvarmeproduktion, industri samt biogasopgradering. Udledninger fra offshore olie- og gasproduktions-sektoren er ikke indregnet i potentialet for CO₂-fangst, dels fordi udledningerne stammer fra en række mindre kilder, dels fordi olie- og gasaktiviteterne forventes at blive udfaset frem mod 2050.

Opgørelserne tager udgangspunkt i KF22, som indeholder en *frozen policy*-fremskrivning af udviklingen i det danske energisystem frem til 2035. Sektorerne affaldsforbrænding samt el- og fjernvarmeproduktion fremskrives direkte i KF22, mens industri og biogasopgradering er fremskrevet på baggrund af aggregerede forløb fra KF22. Tal for 2040 indgår ikke i KF22, men er i stedet vurderet ud fra tendenserne i KF22 og fremskrevet frem til 2040.



Analysen omfatter eksisterende anlæg samt nye anlæg i det omfang, de indgår i KF22¹. Der er ikke taget stilling til muligheden for etablering af nye anlæg herudover, eksempelvis nye store industrianlæg, som ikke kendes i dag.

Den langsigtede udvikling for alle punktkildernes CO₂-udledninger er behæftet med betydelig usikkerhed. Det bemærkes desuden, at da opgørelsen baserer sig på Frozen Policy-fremskrivningen i KF22 kan nye tiltag såsom afgifter på CO₂-udledning eller tiltag til at reducere biomasseforbruget på kraftvarmeværker medføre, at det tekniske potentiale reduceres.

2.2 Omfattede anlæg

Analysen omfatter kun store punktkilder til CO₂, idet det ikke vurderes at være rentabelt at etablere CO₂-opsamling på fx individuelle gasfyr eller andre meget små, spredte kilder.

Store CO₂-punktkilder kan fx være fossilt fyrede eller biomassefyrede kraftvarmeværker, affaldsforbrænding eller industrianlæg, der enten anvender brændsler til deres processer, eller hvor processen i sig selv udleder CO₂ (eksempelvis cementindustri). Der kan også være tale om mindre kilder som fjernvarmeværker, mindre industrianlæg eller anlæg til opgradering af biogas, hvor CO₂'en allerede i dag separeres fra biogassen og udledes til atmosfæren, inden biogassen fødes ind i naturgasnettet.

Konkret er følgende punktkilder medtaget i analysen:

- alle affaldsforbrændingsanlæg
- alle fjernvarmeværker og kraftvarmeværker
- alle industrianlæg, der er omfattet af CO₂-kvoteordningen
- alle biogasopgraderingsanlæg.

Rene kondensværker (elproduktion uden samtidig varmeproduktion) er ikke medtaget i analysen, da disse anlæg kun har få årlige driftstimer og derfor ikke vurderes at være relevante for CO₂-fangst.

2.3 Omfattede udledninger

I analysen er medtaget udledninger af CO₂ fra fossile brændsler, fra biogene brændsler samt procesudledninger. De biogene udledninger tælles som udgangspunkt ikke med i det nationale CO₂-regnskab ift. opfyldelse af 70-pct. målsætningen². Biogene punktkilder medtages i denne analyse, da det biogene kulstof udgør en ressource, som kan bidrage til reduktion af drivhusgasudledninger i forbindelse med både lagring og anvendelse af CO₂.

¹ Kan eksempelvis omfatte nye biogasanlæg, der etableres som følge af udbud, eller nye fjernvarmeanlæg, der erstatter nedslidte anlæg.

² Negative emissioner som følge af lagring af biogen CO₂ (BECCS) tæller med ved opfyldelsen af de nationale klimamål.



2.4 Beregning af fangspotentiale

Fra fremskrivningen beskrevet ovenfor opnås de samlede udledninger for de forskellige sektorer i 2025, 2030 og 2040. Ikke alle disse udledninger vil kunne fanges i praksis. Derfor afgrænses potentialet på følgende måde:

- Først og fremmest kan typiske amineranlæg til CO₂-fangst i dag opsamle omkring 90 pct. af CO₂-indholdet i røggas. Derfor nedskrives fangspotentialerne for alle sektorer med 10 pct. i forhold til den samlede udledning, på nær biogasopgradering, hvor fangspotentialet består i den CO₂, som allerede udskilles fra biogassen i forbindelse med opgradering.
- Derudover kan antallet af driftstimer for punktkilden have betydning for økonomien ved CO₂-fangst. Baseret på data fra Energistyrelsens teknologikatalog er fangstomkostningerne beregnet ved varierende antal fuldlasttimer (se Bilag 1). Beregningerne viser, at fangstomkostningerne stiger betydeligt, hvis antallet af fuldlasttimer bliver mindre end 2 – 3.000 timer, og der er derfor anvendt et generelt afskæringskriterie på 2.500 fuldlasttimer for fangstanlæg.
- Hvad angår punktkildens størrelse er der anvendt et generelt afskæringskriterie på 50.000 ton CO₂-udledning pr. år. Anlæg med en udledning under denne grænse er ikke indregnet i fangspotentialet. Dog er alle biogasopgraderingsanlæg indregnet uanset størrelse, da CO₂ allerede separeres i processen til biogasopgradering. Det kan overvejes, om grænsen på de 50.000 ton evt. skal sænkes fremadrettet, da data fra teknologikataloget tyder på, at anlægsstørrelsen ikke har så stor betydning for fangstanlæggenes økonomi (se Bilag 1).
- Eftersom udledninger og potentialer er behæftet med en betydelig usikkerhed, er der for hver sektor beregnet et højt og et lavt skøn for fangspotentialet. Det høje skøn er beregnet ud fra ovenstående afskæringskriterier, mens det lave skøn er beregnet som 50% af det høje skøn. Argumenterne for at anvende 50% ved fastsættelsen af det lave skøn er beskrevet nærmere for hver sektor i afsnit 4 – sektorspecifikke overvejelser.

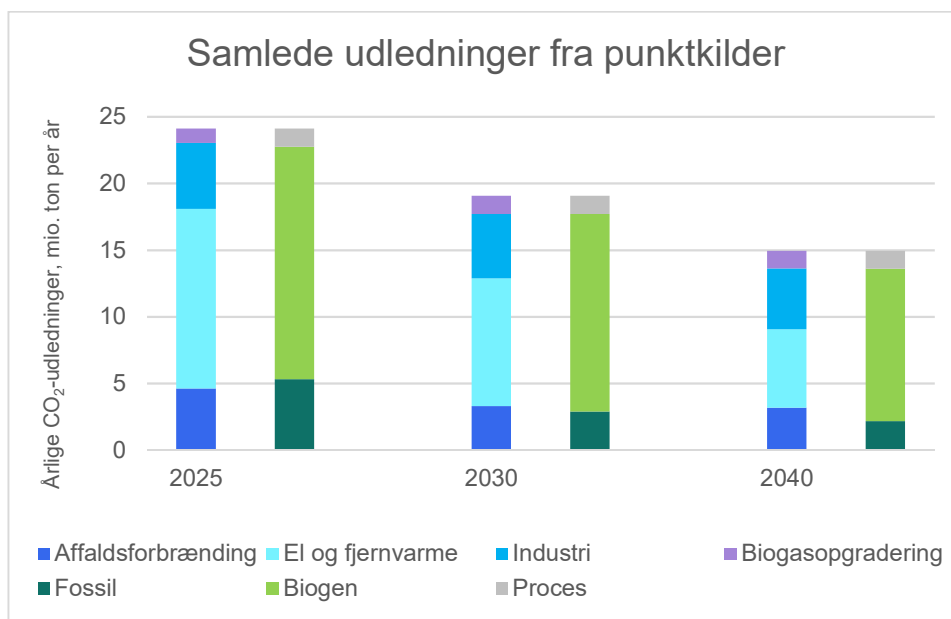
3 Opgørelse af udledninger og fangspotentialer fra punktkilder i Danmark

3.1 Opgørelse af udledninger

I det følgende redegøres for CO₂-punktkilder i Danmark, herunder mængden af CO₂-udledning frem mod 2025, 2030 og 2040 for de fire sektorer affaldsforbrænding, industri, el og fjernvarme samt biogasopgradering.

Den samlede udledning fra de omfattede punktkilder udgør ca. 24 mio. ton CO₂ i 2025, faldende til ca. 15 mio. ton i 2040. Faldet sker først og fremmest i el- og fjernvarmesektoren, og skyldes en kombination af, at en del eksisterende anlæg forventes skrottet frem mod 2040, mens andre anlæg forventes at få reduceret deres driftstid, bl.a. som følge af udbygning med vindmøller, solceller og varmepumper til el- og fjernvarmeproduktion.

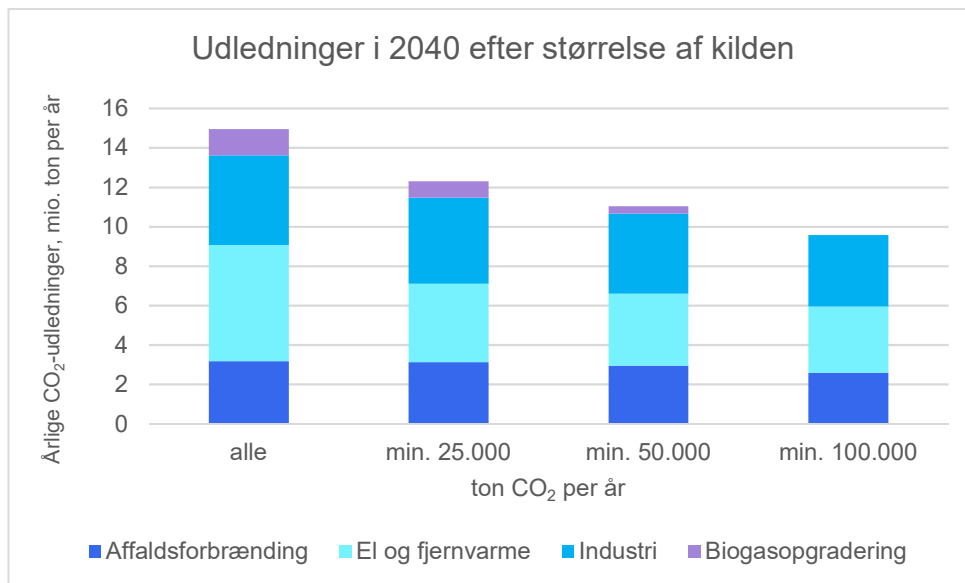
Figur 1 viser den forventede samlede udledning, dels opdelt på sektorer, og dels opdelt på fossile, biogene og procesudledninger.



Figur 1 CO₂-udledninger inkl. fossile udledninger, biogene udledninger og procesudledninger fra sektorer med punktkilder i Danmark. Tallene kan ikke sammenlignes med opgørelser af udledninger i KF22, da biogene udledninger ikke indgår i udledningerne i KF22. Kilde: Energistyrelsen.

En stor del af udgiften til fangst af CO₂ går til investeringer i fangstanlæg, og det er derfor vigtigt for økonomien, at anlæggene kan være i drift i mange år. Det betyder, at det er vigtigt, at kilden til CO₂-udledning er til stede mange år frem i tiden, og der er derfor i denne analyse sat særligt fokus på udledningerne i 2040. Analysen undersøger også de mulige fangspotentialer i 2025 og 2030, men grundet de relativt store investeringsomkostninger kan det være hensigtsmæssigt at undgå investeringer på CO₂-punktkilder som ikke forventes at være i drift i 2040. Figur 2 viser de forventede udledninger i 2040 opdelt efter størrelse af kilden. Igen er denne opgørelse dog behæftet med betydelig usikkerhed, da Frozen Policy fremskrivninger på lang sigt må forventes at ændres som følge af kommende ændringer i rammevilkår m.v.

Figuren viser, at de samlede udledninger i 2040 afhænger af, hvor små punktkilder, der medregnes. 17% af udledningerne stammer således fra kilder, der udleder under 25.000 ton CO₂ om året, mens 9% stammer fra kilder, der udleder mellem 25.000 og 50.000 ton CO₂ om året.



Figur 2 Opgørelse af udledninger i 2040, afhængigt af størrelsen på kilderne, der indgår. Fremtidige biogasopgraderingsanlæg er antaget at have størrelser over 50.000 ton pr. år. Opgørelserne er behæftet med stor usikkerhed, bl.a. fordi potentialerne er opgjort under "Frozen Policy" (KF22).

3.2 Opgørelse af fangspotentialer

Fangspotentialet er opgjort som beskrevet i afsnit 2.4.

Der er forskel på punktkilderne i de fire sektorer, blandt andet i forhold til antallet af årlige driftstimer og i forhold til usikkerheden om, hvorvidt kilderne vil være tilgængelige og velegnede til indfangning af CO₂ i fremtiden. Baseret herpå vurderes det, at fangspotentialet fra punktkilder i 2040 er ca. 5,4 – 10,8 mio. ton pr. år. Dette kunne fordele sig på sektorerne som angivet nedenfor. Heraf forventes op til ca. 3 mio. ton at stamme fra fossile brændsler og procesudledninger i industrien samt fra den fossile andel af det forbrændingsegnete affald, mens op til ca. 8 mio. ton forventes at stamme fra biogene kilder.

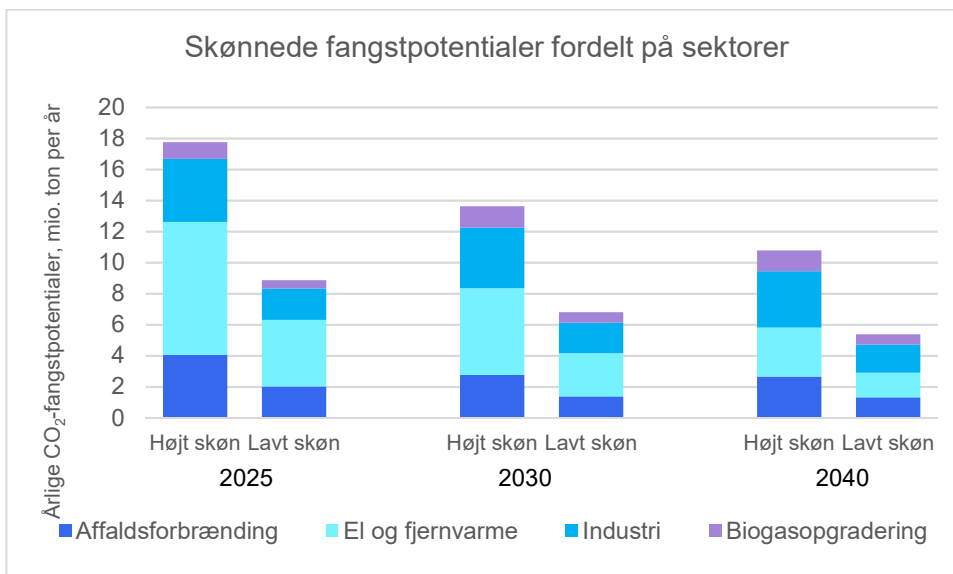
Det estimeres, at nedenstående udledninger vil være teknisk tilgængelige til fangst i 2040 for de forskellige sektorer. Vurderingerne, der ligger til grund for de enkelte potentialeskøn, gennemgås efterfølgende.

- **Affaldsforbrænding:** Ca. 1,3 - 2,7 mio. ton CO₂ pr. år fra anlæg over 50.000 ton per år. Heraf vurderes op til 1,5 mio. tons at kunne komme fra de tre største affaldsværker i Storkøbenhavn.



- **El- og fjernvarmeproduktion:** Ca. 1,6 - 3,2 mio. ton CO₂ pr. år fra anlæg over 50.000 ton per år med driftstider over 2.500 fuldlasttimer per år, hvoraf det største centrale biomassekraftvarmeværk, Amagerværkets Blok 4 forventes at udlede op mod 1 mio. ton alene.
- **Industri:** Ca. 1,8 - 3,6 mio. ton CO₂ pr. år, hvoraf fangspotentiale fra Aalborg Portland udgør langt det største enkeltbidrag, nemlig ca. 2/3 af den samlede mængde. De to raffinaderier i Kalundborg og Fredericia tegner sig for tilsammen ca. en fjerdedel af udledningerne.
- **Biogasopgradering:** ca. 0,7 - 1,3 mio. ton CO₂ pr. år, spredt over mange (>50) mindre punktkilder. Også små biogasanlæg er medtaget, da CO₂ allerede separeres i processen til biogasopgradering.

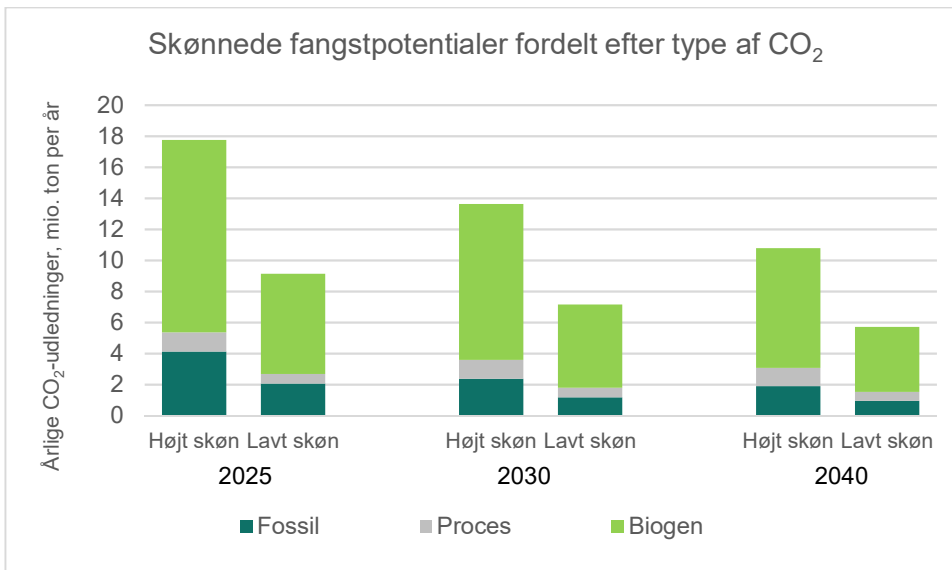
Figur 3 viser højt og lavt skøn for fangspotentialet for 2025, 2030 og 2040, opdelt på sektorer.



Figur 3 Høje og lave skøn for fangspotentialer fordelt på sektorer frem til 2040. Det er behæftet med usikkerhed, hvorvidt punktkilderne vil være til stede i 2030 og 2040, samt hvor meget driftstid – og dermed hvor store udledninger – de enkelte anlæg har på sigt.
Kilde: Energistyrelsen

Fossil eller biogen CO₂

Figur 4 viser fangspotentialet i denne opgørelse fordelt på fossile, biogene og procesudledninger. Det største fangspotentiale kommer fra de biogene kilder, som vurderes at udgøre ca. 3,5 - 6 mio. ton i 2040 under nuværende rammevilkår.



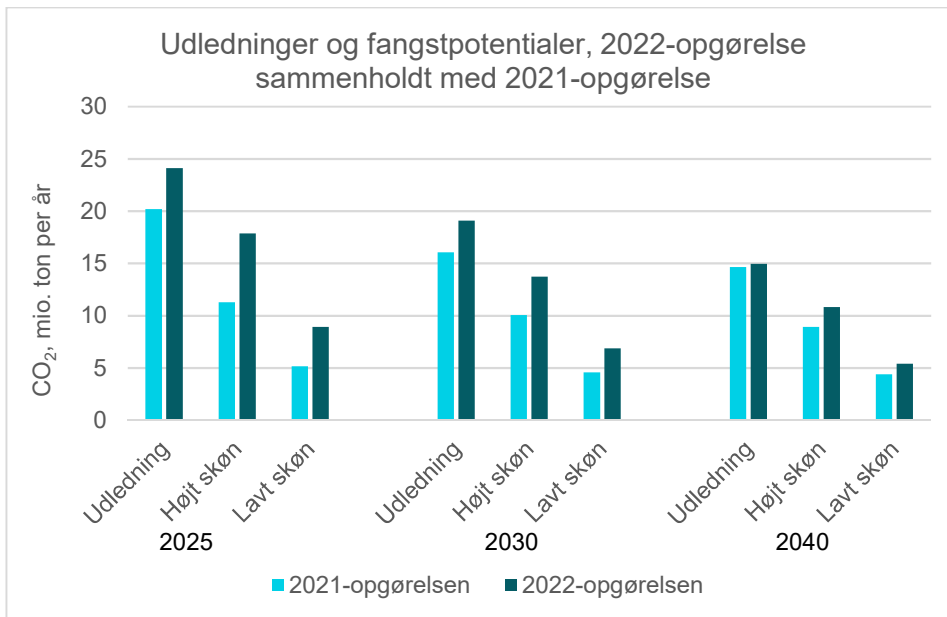
Figur 4 Høje og lave skøn over fangstpotentialer fordelt på biogene, fossile og procesudledninger frem mod 2040. Kilde: Energistyrelsen.

3.3 Sammenligning med punktkildeanalysen fra 2021

I 2021-opgørelsen af fangstpotentialer blev den samlede udledning fra de omfattede punktkilder opgjort til 20,2 mio. ton CO₂ i 2025, faldende til 16,1 mio. ton i 2030 og 14,6 mio. ton i 2040. I 2022-opgørelsen er den samlede udledning opskrevet med ca. 4 mio. ton i 2025, ca. 3 mio. ton i 2030 og ca. 0,3 mio. ton i 2040.

Både det høje og det lave skøn for fangstpotentiale er ligeledes opskrevet fra 2021-opgørelsen til 2022-opgørelsen. Øgningen af potentialet er på 4 – 6 mio. ton i 2025, faldende til 1 – 2 mio. ton i 2040. Øgningen i fangstpotentiale skyldes dels, at der med den nye opgørelse tages udgangspunkt i større udledninger, og dels, at der i nogle sektorer er anvendt nye metoder til beregning af potentialet.

Figur 5 viser udledninger og fangstpotentialer i hhv. 2021- og 2022-opgørelsen.



Figur 5 Udledninger samt høje og lave skøn over fangspotentialer i 2021-opgørelsen og 2022-opgørelsen. Kilde: Energistyrelsen.

De største bidrag til ændringerne i udledning og fangspotentiale kommer fra el- og fjernvarmesektoren, der i de fleste tilfælde står for over halvdelen af stigningen. Udledningerne fra el og fjernvarme er først og fremmest steget fordi de store værker har en større driftstid i KF22 end i KF21, især i 2025 og 2030. Det betyder også, at fuldlasttimetallet for flere af de store anlæg stiger fra under til over afskæringskriteriet på 2.500 timer.

I 2022-opgørelsen er der for el- og fjernvarmesektoren herudover regnet med, at der kan fanges CO₂ fra anlæg med en anlægsbenyttelsestid på under 2.500 timer, ved at antage, at der installeres fangstanlæg med lavere fangstkapacitet, men som til gengæld får et øget fuldlasttimal. Det betyder, at der ikke er kapacitet til at indfange hele mængden af CO₂ i de timer, hvor produktionsanlæggene kører med maksimal CO₂ udledning, men til gengæld opnår selve fangstanlægget 2.500 fuldlasttimer og indgår dermed i potentialet. De fangstanlæg, der indregnes på denne måde, kan bidrage med en fangst på ca. 0,3 mio. ton i 2025.

For sektorerne industri og affaldsforbrænding skyldes ændringerne fra 2021 til 2022 en kombination af nye fremskrivninger af udledningerne og ændringer i beregningen af fangspotentiale.

For biogasopgradering er 2021- og 2022-tallene stort set ens. Her er det dog igen væsentligt at være opmærksom på, at der er tale om brutto-potentialer ud fra KF22, hvor eksempelvis CO₂ fra biogasanlæg, der planlægges anvendt til CCU, ikke er fratrukket i potentialet. Netto-potentialet fra biogasanlæg kan således være væsentligt mindre end det, der opgøres i analysen.



4 Sektorspecifikke overvejelser

Forskellige karakteristika præger de fire sektorer mht. blandt andet antallet af årlige driftstimer og i forhold til usikkerheden om, hvorvidt kilderne er tilgængelige og vel-egnede til indfangning af CO₂ i 2040.

De forskellige sektorer og deres særlige karakteristika ift. CO₂-fangst gennemgås nedenfor, hvoraf det fremgår hvilken tilgang, der er valgt til afskæring i forhold til størrelse og vurdering af egnethed til CO₂-opsamling.

4.1 Industri

Opgørelsen er baseret på oplysninger fra kvoteregisteret for CO₂-udledninger om de 30 største kvoteomfattede industrielle udledere i Danmark. Udledningerne er fremskrevet med udviklingen i sammensætning af brændselsforbrug i delbrancher ifølge KF22, hvilket bl.a. omfatter udviklingen i aktivitetsniveau (vækstforløb) og energieffektivisering/elektrificering. Fremskrivningen frem til 2040 er baseret på en forlængelse af udviklingen i KF22. Forlængelsen frem mod 2040 er ikke en del af den konsoliderede fremskrivning, og er derfor forbundet med væsentlig usikkerhed. Dertil kommer, at KF22 ikke inkluderer effekterne af Grøn Skattereform (CO₂-afgift i industri m.v.), hvilket kan forventes at medføre en markant reduktion i udledningerne og dermed bruttopotentialet for CO₂-fangst.

De omfattede industrielle CO₂-udledere forventes, under ovenstående forbehold, at have samlede udledninger på ca. 5,0 mio. tons i 2025, heraf ca. 4,1 mio. tons fra fossile udledninger og procesudledninger.

Den danske industrisektor er præget af tre meget store udledere (raffinaderier og cementproduktion), og en lang række mindre og meget små udledere, særligt inden for tegl, fødevarerbranchen mv. Efter de tre største udledere, er der kun elleve udledere med mere end 50.000 ton CO₂ om året og herefter yderligere ni udledere med mere end 25.000 ton om året.

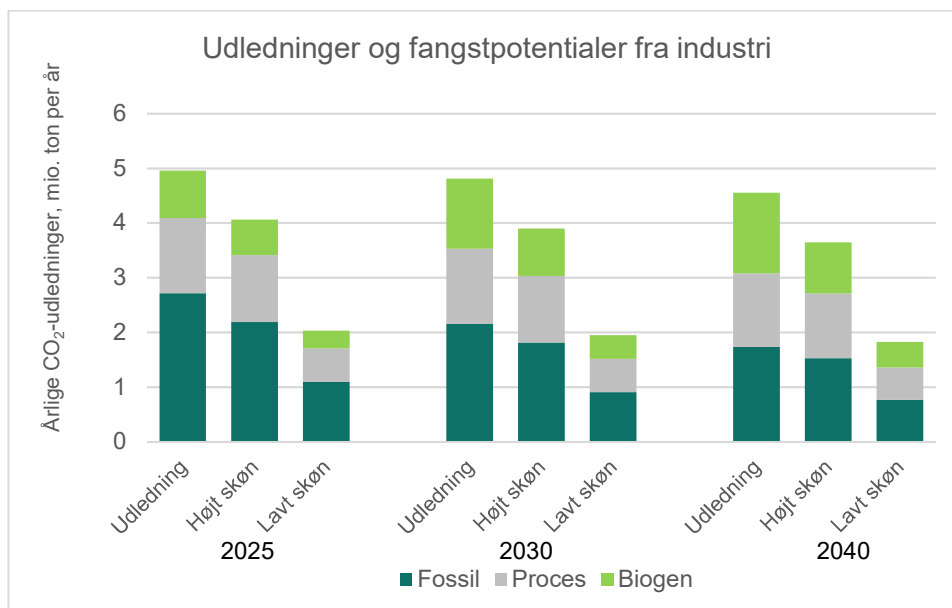
Udledningerne af CO₂ vil kunne blive reduceret som følge af energieffektiviseringer og elektrificering. For nogle af de industrielle udledere er elektrificering ikke muligt, da de industrielle processer foregår ved høje temperaturer og anvendelse af brændsel direkte i produktionsprocessen, eksempelvis i forbindelse med produktion af cement, kalk og glasuld. Disse udledere må forventes fortsat at have et brændselsforbrug (fossilt eller biogent) samt evt. procesudledninger – og dermed CO₂-udledninger – fremover.

Udledningerne er endvidere afhængige af produktionsomfang i de enkelte virksomheder.

Generelt vurderes det dog, at der eksisterer et betydeligt potentiale for omstilling til VE, elektrificering og energieffektiviseringer i industrien, som kan blive realiseret

bl.a. som følge af effekterne af CO₂-afgifter i industrien. Dette taler for, at det langsigtede potentiale for CO₂-fangst i industrien kan være lavere end de fremskrevne udledninger. Dette er her simpelt afspejlet i det lave skøn for industrisektoren. Det lave skøn er antaget at udgøre halvdelen af det høje skøn.

Der antages en minimumsstørrelse på 50.000 ton CO₂ per år for industrielle punkt-udledere i opgørelsen af fangstpotentialet. Det samlede fangstpotentiale i industrien bliver dermed omkring 2-4 mio. ton CO₂ per år, jf. figur 6.



Figur 6 Samlede udledninger og fangstpotentialer for CO₂-fangst i industrien. De samlede udledninger er baseret på oplysninger fra kvoteregisteret, som er fremskrevet på baggrund af KF22 og herefter forlænget frem til 2040. Forlængelsen frem mod 2040 er ikke en del af den konsoliderede fremskrivning, og er derfor forbundet med væsentlig usikkerhed. Opgørelserne inkluderer ikke effekterne af CO₂-afgifter da dette ikke indgår i KF22, hvorfor der med fordel kan anvendes det lave skøn indtil en ny opdatering foreligger. Fangstpotentialer er begrænset til udledere over 50.000 ton CO₂ per år.

4.2 Affaldsforbrænding

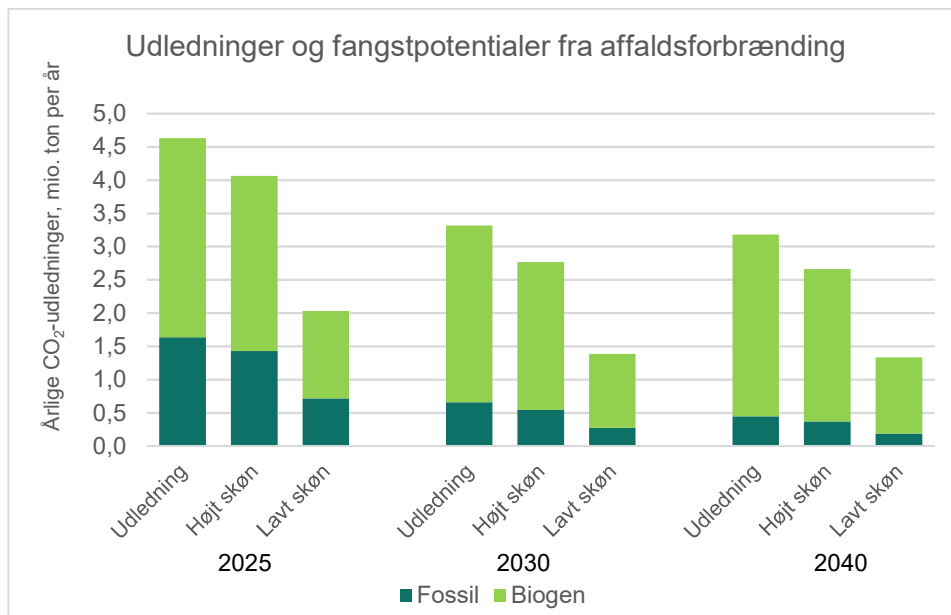
Kapaciteten og produktionen i affaldsforbrændingssektoren er fremskrevet i KF22 frem til 2035, på baggrund af dels et fald i den årlige miljøgodkendte kapacitet til affaldsforbrænding på de 23 nuværende dedikerede og multifyrede affaldsforbrændingsanlæg, og dels en forventet stigning i udsortering af særligt plastaffald til genanvendelse. Udviklingen baseres derudover på forventede løbende nedlukninger af en række ældre udslidte ovnlinjer, samt yderligere nedlukning af kapacitet og implementering af virkemidler som følge af aftalen om *Klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi* fra juni 2020. Frem til 2040 er udviklingen forlænget med tilsvarende frozen policy-antagelser.



Udledningerne fra affaldsforbrænding forventes i KF22 at være 4,6 mio. ton i 2025, og forventes at falde til 3,3 mio. ton i 2030. Herefter vurderes kun et mindre fald frem mod 2040. Fossile udledninger forventes at udgøre ca. 0,4 mio. ton i 2040.

Affaldsforbrændingsanlæg har typisk et højt fuldlasttimetal, da driften i mange tilfælde defineres af behovet for behandling af affald og ikke af et svingende forbrug af el og fjernvarme. Det betyder, at antallet af driftstimer ikke er en begrænsende faktor for etablering af fangstanlæg.

Baseret på ovenstående medtages fangspotentiale fra affaldsforbrændingsværker med en udledning på mere end 50.000 ton CO₂ om året i det høje skøn for fangspotentialet. For værker med flere anlæg / ovnlinjer er udledningerne summeret for hele værket inden kriteriet på de 50.000 ton er anvendt. For affald er der en stor usikkerhed på mængden af affald til forbrænding, bl.a. kan initiativer til øget genanvendelse og regulering af affaldsimporten have betydning for mængden. På baggrund af disse forudsætninger vurderes det skønsmæssigt, at det lave skøn for fangspotentialet kan antages at udgøre halvdelen af det høje skøn. Hermed bliver fangspotentialet på 1,3-2,7 mio. ton per år i 2040, jf. Figur 7.



Figur 7 Samlede udledninger og fangspotentiale for affaldsforbrænding. Fangspotentialet er beregnet for udledere med over 50.000 ton CO₂ per år for det høje skøn og 50% heraf for det lave skøn. Kilde: Energistyrelsen.

4.3 El- og fjernvarmeproduktion

Oplysningerne om CO₂-udledninger fra el- og fjernvarmeproduktion er baseret på data fra KF22-fremskrivningen. Udviklingen er forlænget frem til 2040 ud fra blandt



andet oplysninger i Energistyrelsens Analyseforudsætninger til Energinet 2021 (AF21)³.

Kapaciteten og produktionen i el- og fjernvarmesektoren er fremskrevet i KF22 ved hjælp af modellen DH-Invest på baggrund af brændselspriser, teknologikataloger, samt gældende afgifter og regulering. Frem til 2040 er udviklingen forlænget med tilsvarende frozen policy-antagelser samt en yderligere vurdering af lukninger og erstatning af forældet kapacitet i perioden 2030 til 2040.

Udledningerne fra el- og fjernvarmeproduktion forventes at være 13,5 mio. ton i 2025, og forventes at falde til 9,6 mio. ton i 2030 og 5,9 mio. ton i 2040. I disse tal indgår ikke udledninger fra rene kondensværker (elproduktion uden varmeproduktion). Disse anlæg er ikke medtaget i analysen, da de kun har få årlige driftstimer og derfor ikke vurderes at være relevante for CO₂-fangst.

Den største udleder i sektoren er Amagerværkets Blok 4, som stadig forventes at være i drift i 2040. Det sidste kulfyrede værk forventes at blive udfaset i 2028, og det vil herefter kun være udledninger fra biomasseværker, som potentielt kan indfanges⁴.

Fangst af CO₂ fra kraftvarme- og fjernvarmeværker

Produktionen på kraftvarme- og fjernvarmeværkerne følger i høj grad varmeefterspørgslen, og udledningen herfra er derfor begrænset i sommerhalvåret. Dette reducerer anlæggenes fuldlasttimer, hvilket alt andet lige gør det mindre attraktivt at etablere CO₂-fangstanlæg.

Produktionsprofilen for det enkelte anlæg afhænger desuden i høj grad af, hvilke andre anlæg, der leverer varme til det samme fjernvarmenet. I fjernvarmeområder med affaldsforbrændingsanlæg vil det således typisk være affaldsanlægget, der har første prioritet til at levere varme, og også leverer i sommerperioden, hvor varmeefterspørgslen er lille. Dette begrænser antal fuldlasttimer for de øvrige produktionsanlæg.

I takt med, at varmepumper til fjernvarmeproduktion vinder indpas, kan varmepumperne også være med til at begrænse antal fuldlasttimer for øvrige fjernvarmeanlæg, idet en varmepumpe typisk vil levere den billigste varme, og dermed have første prioritet.

Som beskrevet i metodeafsnittet er det alt andet lige økonomisk fordelagtigt at have et højt antal fuldlasttimer for CO₂-fangstanlægget. En måde at øge fuldlasttallet

³ Energistyrelsens analyseforudsætninger til Energinet, 2021, <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/analyseforudsætninger-til-energinet>

⁴ Der kan fortsat være et forbrug af gas til el- og varmeproduktion, men det vil alt overvejende være på spidslastanlæg med få driftstimer, så det vurderes ikke relevant i forhold til fangst af CO₂.



på for fangstanlæg, der indfanger CO₂ fra varme- og kraftvarmeværker, kan være at reducere kapaciteten af fangstanlægget i forhold til kraftvarmeanlæggets maksimale CO₂-udledning. Dette vil øge fangstanlæggets fuldlasttimal, men vil til gengæld betyde, at der ikke er kapacitet til at indfange hele mængden af CO₂ i de timer, hvor kraftvarmeanlægget kører på max kapacitet.

Om – og i givet fald hvor meget – det er hensigtsmæssigt at reducere fangstanlæggets kapacitet, vil afhænge af den konkrete produktionsprofil for det anlæg, der udleder CO₂. Med henblik på at belyse effekten af reduktion i fangstkapaciteten er der set på produktionsprofilerne i 2040 for de 10 største CO₂-udledere i el- og fjernvarmesektoren.

De 10 største CO₂-udledere i el- og fjernvarmesektoren forventes alle at have udledninger på over 100.000 ton CO₂ hver i 2040, og anlæggenes fuldlasttimal er på mellem 1.860 og 4.370 timer, målt i forhold til deres maksimale CO₂-udledning. 3 anlæg har under 2.500 fuldlasttimer, og hvis det antages, at fangstanlæggenes af hensyn til økonomien skal være i drift i mindst 2.500 timer, må fangstanlæggets kapacitet nedjusteres for disse 3 anlæg. Konkret skal CO₂-fangstanlæggenes kapacitet nedjusteres til mellem 60% og 95% af den maksimale fangstkapacitet for at anlæggenes når op på 2.500 årlige fuldlasttimer.

Med denne nedjustering er det ikke hele CO₂-mængden, der kan indfanges. Samlet set for de 10 anlæg vil 96% af den maksimale fangstmængde⁵ stadig kunne indfanges på trods af, at kapaciteten er nedjusteret for 3 anlæg.

Usikkerhed på potentialet i el- og fjernvarmesektoren

Biomasseværkernes driftsmønster og fremtid særligt i et længere perspektiv er usikkert pga. øget konkurrence fra andre fjernvarmekilder. Hertil kan ændringer i rammevilkår medvirke til, at forbruget af biomasse til el- og fjernvarmeproduktion reduceres yderligere. Begrænsning af forbrug kan medføre færre biomassebaserede punktkilder og lavere CO₂-udledninger. En begrænsning af biomasseforbruget kan tænkes i praksis at bevirke følgende tilpasninger:

1. Biomassebaseret fjernvarme erstattes af varme fra varmepumper, geotermi, overskudsvarme fra PtX-anlæg og evt. andre varmekilder, i højere grad end antaget i KF22-fremskrivningen.
2. Af hensyn til forsyningssikkerhed vedr. både el- og varmeforsyning kan en række biomassefyrede anlæg forventes fastholdt – dog evt. i ændrede roller, hvor de i højere grad anvendes som spidslastanlæg for fjernvarmenettet og spids- og reservelastanlæg i el-systemet. Der vurderes dog også at

⁵ Ved den maksimale CO₂-fangst forstås her CO₂-udledningen gange den antagne fangstrate på 90%. Med nedjusteringen af anlægskapaciteten fanges således 90% x 96% = 86% af den CO₂-mængde, der udledes i røggassen.



være en vis sandsynlighed for, at disse ydelser i stigende omfang bliver leveret af gasturbiner og gasmotorer baseret på biogas. Dette vurderes at kunne medføre et reduceret antal fuldlasttimer for de pågældende anlæg.

3. Der kan muligvis også forventes et langsigtet skift væk fra biomassefyrede kraftvarmeværker over mod biomassekedler til ren varmeproduktion i vinterhalvåret som supplement til varmepumper og overskudsvarme.

Alle tre effekter må forventes at medføre reducerede udledninger af CO₂ fra punktkilderne i el- og fjernvarmesektoren.

En mulig modsatrettet effekt kan opstå, såfremt der etableres et marked for opsamlet CO₂ eller på anden måde gives økonomiske incitamenter til CO₂-fangst. Det kan ikke udelukkes, at sådanne økonomiske incitamenter kan forbedre driftsøkonomien i biomassekraftvarmeværker og biomasse-varmeværker. Dette kan give eksisterende anlæg flere driftstimer, eller give incitamenter til fastholdelse, levetidsforlængelse eller etablering af nye biomasseforbrugende anlæg. Dette er ikke nærmere analyseret her.

De store biomassefyrede værker, som er etableret/konverteret for nyligt, må dog alt andet lige forventes at producere en vis periode fremover.

Opgørelse af fangstpotentiale for el- og fjernvarmesektoren

Baseret på ovenstående vurderes el- og fjernvarmeproducerende anlæg med udledninger over 50.000 ton CO₂ per år at være relevante for CO₂-opsamling. Samtidig vurderes fangstkapaciteten at skulle reduceres i forhold til den maksimale CO₂-udledning for anlæg med mindre end 2.500 årlige fuldlasttimer, som beskrevet ovenfor.

Lige som for affaldsforbrændingsanlæg gælder det for kraftvarme- og fjernvarmeproduktionsanlæg, at der i nogle tilfælde ligger der flere anlæg på samme adresse. Det har derfor været overvejet, om CO₂-udledningen fra disse anlæg også skulle summeres inden afskæringskriteriet på 50.000 ton anvendes. Imidlertid er det typisk sådan, at når der ligger flere anlæg på samme adresse, er der kun ét af anlæggene, der har mange driftstimer, mens de øvrige anlæg er spidslastanlæg, der har meget få driftstimer. Det er derfor ikke relevant at summere CO₂-udledningen fra anlæggene.

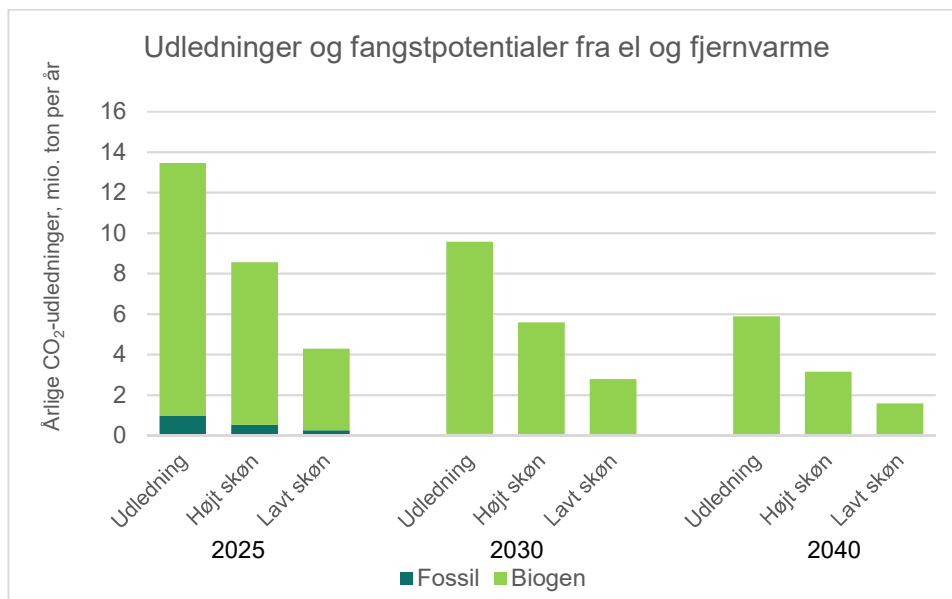
Potentialet for CO₂-fangst fra el- og fjernvarmesektoren er herefter opgjort således:

1. Alle anlæg medtages i potentialet, hvis de har en årlig CO₂-udledning på over 50.000 ton.
2. Det hermed beregnede potentiale nedskrives med 4% for at tage hensyn til, at anlæggene i nogle tilfælde skal dimensioneres for en mindre kapacitet end den maksimale CO₂-udledning for at opnå et fuldlasttimal på mindst 2.500 timer. Det antages således, at de 96%, der er beregnet for de

største anlæg for 2040, vil være gældende også for de mindre anlæg og for alle de omfattede årstal.

3. Det hermed beregnede potentiale udgør det høje skøn. Det lave skøn fastsættes på baggrund af ovenstående usikkerheder til 50% af det høje skøn.

Figur 8 viser det hermed beregnede fangstpotentiale.



Figur 8 Samlede udledninger og fangstpotentiale for CO₂-opsamling fra el- og fjernvarmeproducerende anlæg. Det høje skøn er begrænset til udledere over 50.000 ton CO₂ per år, og det lave skøn er sat til 50% af det høje skøn. Kilde: Energistyrelsen.

4.4 Anlæg til opgradering af biogas

Biogas fra biogasanlæg indeholder generelt omkring 60-70 pct. metan og omkring 30-40 pct. CO₂. Som et led i opgraderingen af biogassen forud for indfødning i gasnettet, separeres og udledes CO₂-fraktionen. Den udledte CO₂ stammer fra biomasseinputtet i anlægget, og opfattes som klimaneutral.

Der er i dag ca. 60 opgraderende biogasanlæg i Danmark. Der er store forskelle på produktionen på de enkelte anlæg og dermed også på CO₂-udledningerne, som vurderes at ligge mellem ca. 1.000 og ca. 60.000 ton per år.

KF22 indeholder en fremskrivning af biogasproduktionen med opgradering frem til 2035. Der forventes en samlet produktion på 40,1 PJ i 2030. CO₂-udledningerne fra opgradering er beregnet på baggrund af fangsteffektiviteter fra Energistyrelsens teknologikatalog. Frem mod 2040 fastholdes produktionen og udledningerne, dog med et mindre dyk i produktionen som følge af ophør af støtte for de ældste anlæg tidligt i perioden.



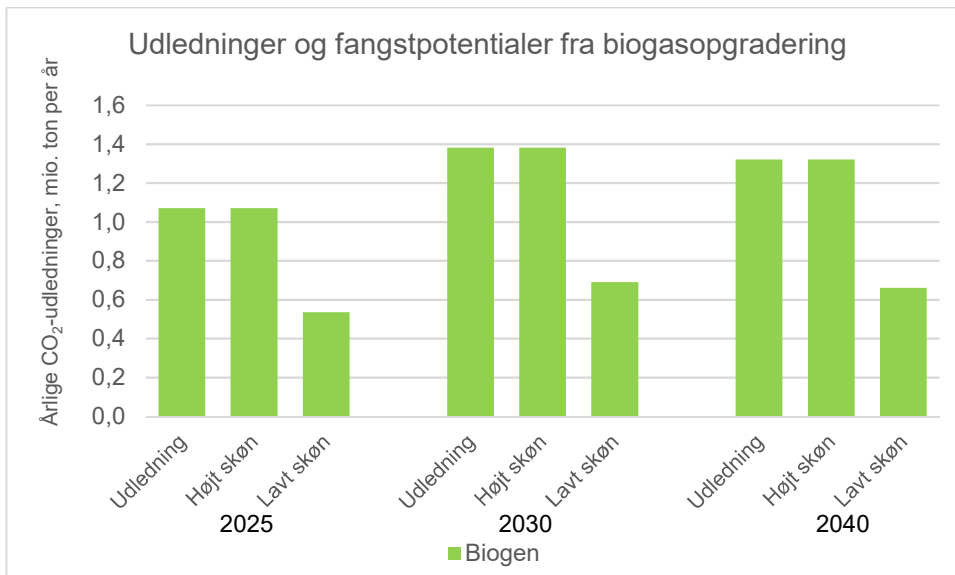
Det forventes, at nye biogasanlæg der får tilskud til indføddning af bionaturgas i gasettet alle vil udlede over 50.000 ton per år.

Den samlede CO₂-udledning fra biogasanlæg med opgradering kan hermed opgøres til 1,1 mio. ton CO₂ i 2025, stigende til 1,3 mio. ton CO₂ i 2040. Dette er igen opgjort som bruttopotentialer pba. KF22, og der er således ikke taget højde for, at flere af anlæggene kan afsætte CO₂'en til CCU eller CCS via støtteordninger eller på markedsvilkår, ligesom eventuelle skift fra aminskrubber-opgradering til e-metanisering ikke er vurderet.

Da CO₂'en allerede i dag separeres fra biogassen, er CO₂-udledningerne fra biogasanlæg i princippet klar til anvendelse, og det samlede fangstpotentiale vurderes derfor at omfatte hele CO₂-udledningen.

Figur 9 viser den samlede udledning og det samlede fangstpotentiale fra biogasanlæg. Alle biogasopgraderingsanlæg er inkluderet i det høje skøn for det samlede fangstpotentiale.

Fremskrivningen af potentialet er behæftet med en vis usikkerhed, specielt med hensyn til, i hvor stort et omfang de eksisterende anlæg vil øge deres produktion og dermed udnytte det loft for biogasproduktion, som de kan få tilskud til. Endvidere kan blandt andet beliggenheden af det enkelte anlæg være en barriere for den fulde udnyttelse af fangstpotentialet, mens anlægsstørrelsen også kan have en vis betydning. Disse forhold er ikke undersøgt nærmere her, og det lave skøn for fangstpotentialet er derfor blot skønsmæssigt anslået til at udgøre 50% af det høje skøn.

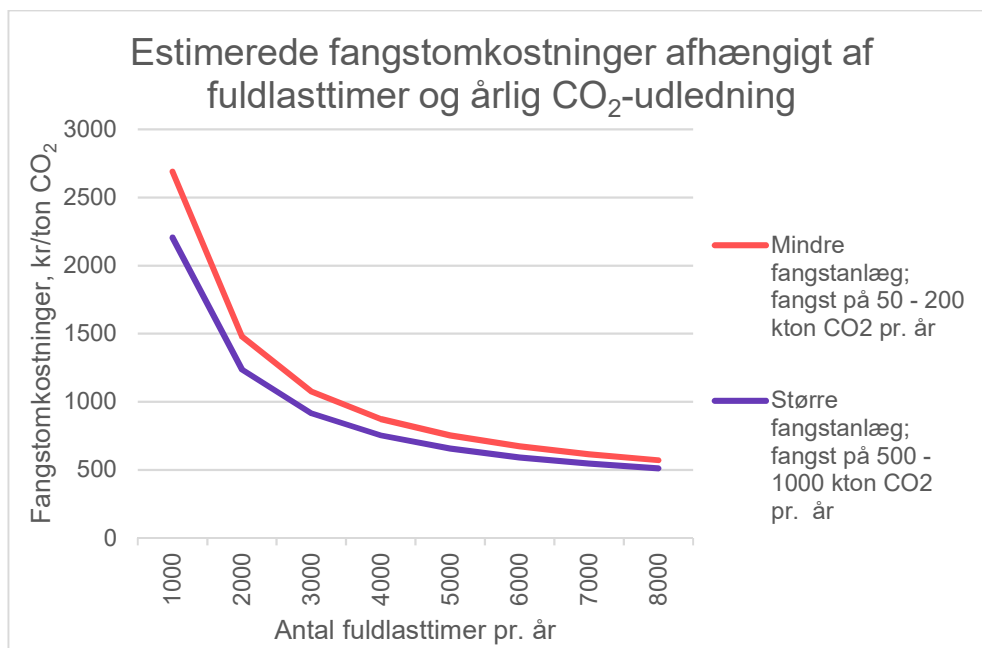


Figur 9 Samlede udledninger og fangstpotentiale for CO₂-opsamling fra biogasopgraderingsanlæg. Det samlede potentiale er baseret på KF22 frem til 2030, hvorefter produktion og dermed udledninger er fastholdt med en mindre justering frem til 2040. Alle eksisterende og forventede nye biogasopgraderingsanlæg er medtaget i potentialet.

Bilag 1 - Betydning af punktkildestørrelse og antal fuldlasttimer

Energistyrelsens teknologikatalog viser, at der må forventes at være en vis storskalaforfordel forbundet med CCS-anlæg⁶. Dette gælder både selve anlægget til fangst og efterbehandling af CO₂ men også for transport og mellemlagring. Dermed må det alt andet lige forventes at være billigere at opsamle, transportere og lagre et ton CO₂ fra én stor punktkilde placeret tæt på andre punktkilder og tæt på lageret end fra mange små kilder placeret langt fra hinanden.

Antal fuldlasttimer har desuden stor betydning for økonomien, jf. Figur B.1, der er baseret på Teknologikataloget. Det ses, at en ændring af fuldlasttimetallet fra 8.000 timer til 1.000 timer for en given anlægsstørrelse giver en 4- til 5-dobling af fangstomkostningerne, mens en reduktion af punktkildens størrelse med en faktor 5 (fra ca. 1 mio. ton CO₂ pr. år til ca. 0,2 mio. ton CO₂ pr. år) kun giver en stigning i omkostningerne på 10 – 20 pct. Tallene er dog meget usikre, og skal derfor tages med et stort forbehold.



Figur B.1 Beregnede fangstomkostninger som funktion af anlægsstørrelse og fuldlasttimetal, baseret på teknologikataloget. Kilde: Energistyrelsen.

⁶ Kilde: Energistyrelsens teknologikatalog for kulstoffangst, -transport og -lagring, https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology_data_for_carbon_capture_transport_and_storage.pdf.