



CO2 FANGST PÅ DANSKE AFFALDSENERGIANLÆG

HOVEDRESULTATER

Nils Chr. Holm

Divisionsdirektør Rambøll Energi

RAMBØLL

Bright ideas. Sustainable change.

FORMÅL OG BAGGRUND

- Dansk Affaldsforening har i efteråret 2019 publiceret et visionsnotat "*CO₂ -NEUTRAL AFFALDSENERGI I 2030: Forslag til klimabidrag fra cirkulær økonomi og ren energi*"
- En vigtig del af visionen er etablering af CO₂ fangst på danske affaldsenergianlæg
- Formål er at få kvalificeret de indledende økonomiske vurderinger af CO₂ fangst og lagring
- Størst fokus på økonomien i CO₂ fangstprocessen med proces-/energisimuleringer
- Skøn over økonomien for forskellige af transport- og lagringsscenerier

Hele proceskæden: CO₂-fangst, komprimering, tørring, transporterering, midlertidig lagring og endelig lagring i undergrunden kaldes under et **CCS – Carbon Capture & Storage**



NOGLE REFERENCETAL

- Klimarådet (Marts 2020):
 - CCS er *"umiddelbart er svært at komme uden om"*
 - *"Prisen er overkommelig"* ~ 1.050 DKK/ton
 - CO₂ Fangst ~ 700 DKK/ton; Transport og lagring ~ 350 DKK/ton
 - 4,5 Mtpa i 2030
- Regeringens Klimaplan (September 2030)
 - *"CO₂-fangst og -lagring eller -anvendelse er et samfundsmæssigt effektivt redskab"*
 - CCS fra store punktkilder: 1.350 DKK/ton
 - Potentiale i 2030: 4-9 Mtpa
- IEA (*)
 - *"Reaching net zero will be virtually impossible without CCUS"*
 - 2030 (SDS): 840 Mtpa CO₂ fanget – 640 Mtpa lagret / 200 tpa "used"
 - 2050 (SDS): 5.600 Mtpa CO₂ fanget – 5.230 Mtpa lagret / 370 tpa "used"

(*) Energy Technology Perspectives 2020
Special Report on Carbon Capture, Utilisation and Storage

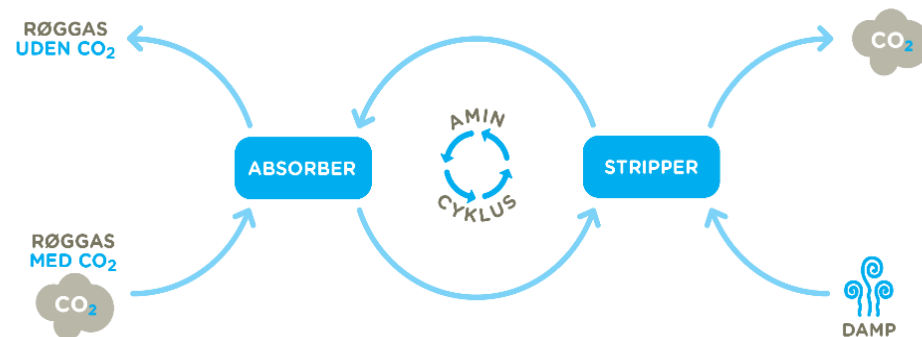
ANALYSENS REFERENCENLÆG

Antagelser

- Affaldsenergianlæg – to typiske størrelser
 - 10 t/h ~ 80.000 tpa affald
 - 30 t/h ~ 240.000 tpa affald
- Placeret 50 km fra havn/lager
- Røggaskondensering til en røggastemperatur på 40 °C er installeret
- Retur- og fremløbstemperaturerne i fjernvarmen er 40 °C og 90 °C
- Dampudtag på anlæggets turbine kan levere lavtryksdamp til at drive fangstprocessen
- Fangstanlæggets hovedkomponenter er i overvejende grad placeret udendørs

FANGSTTEKNOLOGI

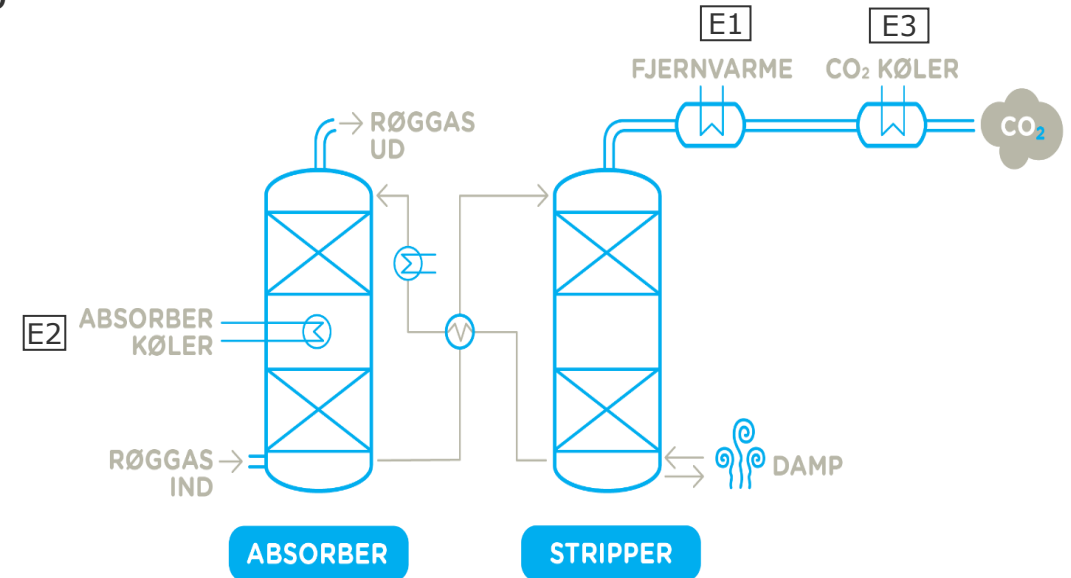
- Forskellige nye fangstteknologier er under udvikling. Nye oxy-fuel løsninger kan også komme på tale i forbindelse med større brintproduktionsanlæg.
- Disse teknologier kan potentielt modnes i løbet af de kommende år. Nogle ser økonomisk lovende ud.
- CO₂ fangst med aminskrubning er en kommercielt tilgængelig teknologi. Den anses pt. som den bedste teknologi på markedet i forhold til driftsøkonomi, sikkerhed for driftskapacitet, tilgængelighed og samlet system sikkerhed i anlæggets samlede levetid.
- HZI - Aker Carbon Capture MOU



“Yesterday, Aker Carbon Capture and Hitachi Zosen Inova (HZI) signed a Memorandum of Understanding (MoU) aimed at accelerating carbon capture solutions in the waste to energy industry in Europe” ()*

CO2 FANGST OG ENERGIOPTIMERING

- **Antaget:** 1.000 kg affald => ca. 1.100 kg CO₂ og en fangstrate på 85 %:
 - 9,4 t/h ~ 75.000 tpa CO₂
 - 28,2 t/h ~ 226.000 tpa CO₂
- **4 anlægsscenarier er analyseret**
 - E0: Referencescenarie uden CO₂-fangst
 - E1: CO₂-fangst på anlægget uden varmepumpe
 - E2: CO₂-fangst på anlægget med varmepumpe på absorber
 - E3: CO₂-fangst på anlægget med maksimal varmepumpe



ENERGIPRODUKTION UNDER DE FORSKELLIGE SCENARIER

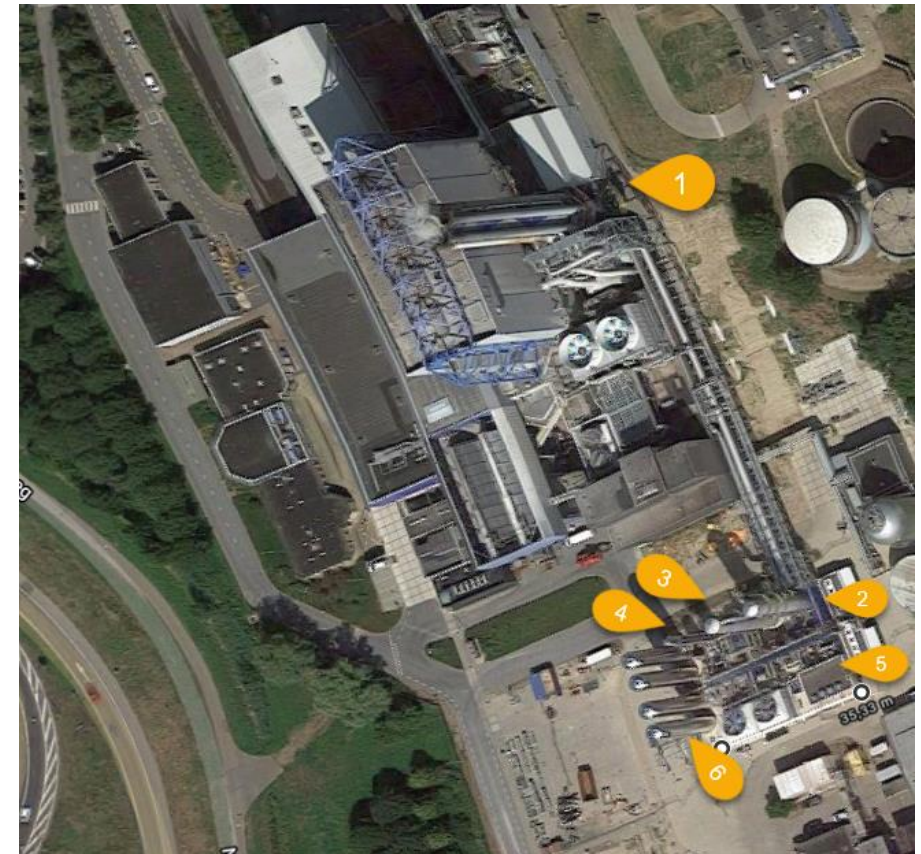
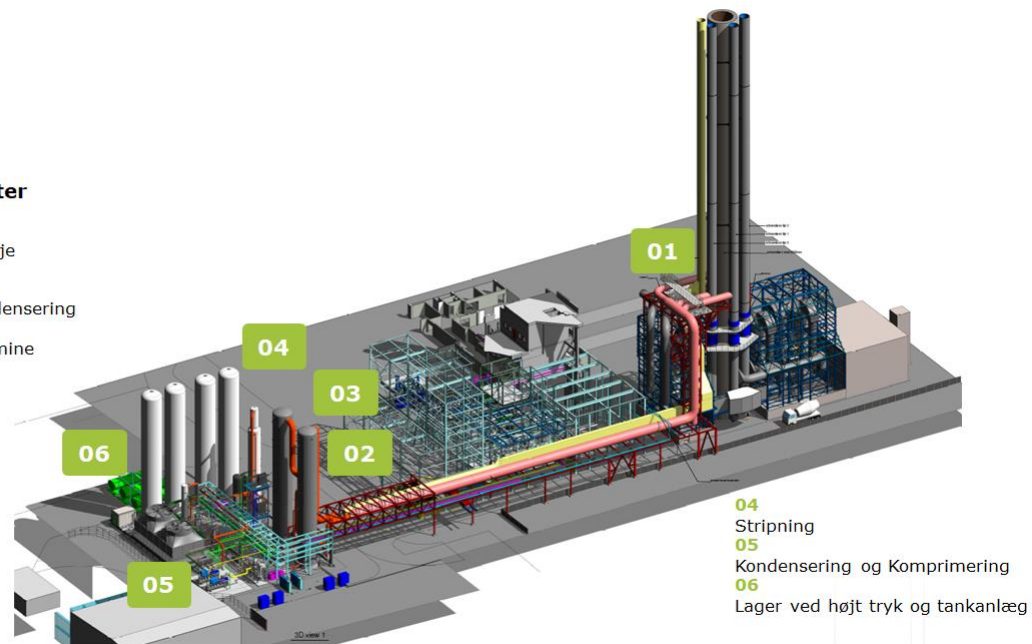
SCENARIO	E0	E1	E2	E3
Anlægsstørrelse <i>ton affald/h</i>	30	30	30	30
Varmepumpe	Nej	Nej	lille	stor
CO ₂ <u>fanget</u> <i>ton CO₂/h</i>	0	28,23	28,23	28,23
<u>Indfyret energi, affald</u> <i>MW</i>	91,7	91,7	91,7	91,7
Elproduktion, brutto <i>MW_{el}</i>	22,4	17,7	17,5	17,5
Egetforbrug, estimeret <i>MW_{el}</i>	2,1	2,4	2,8	2,9
CC + varmepumpeforbrug <i>MW_{el}</i>	0	0,2	6,1	8,2
Elproduktion, netto <i>MW_{el}</i>	20,3	15,1	8,6	6,4
Fjernvarmeproduktion <i>MW</i>	73,3	61,4	80,8	87,7
<u>Elvirkningsgrad, netto</u>	22,1%	16,5%	9,4%	6,9%
Energivirkningsgrad, netto	102,1%	83,4%	97,5%	102,5%

DUIVEN, HOLLAND

CO2 FANGST PÅ AFFALDSENERGIANLÆG – 100.000 TPA

Komponenter

- 01 Nye Røggasveje
- 02 Konstant kondensering
- 03 Capture på Amine

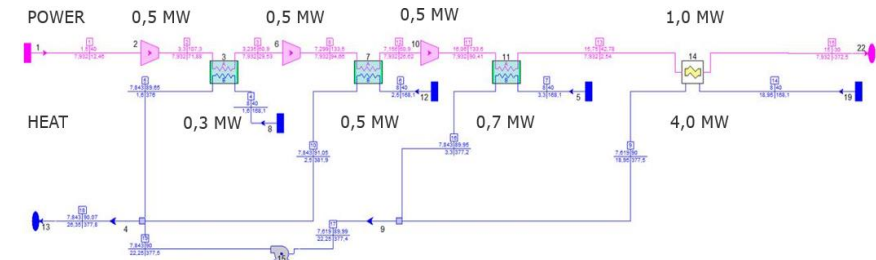


ELFORBRUG OG VARMEPRODUKTION VED LIQUIFACTION OG TRYKSÆTNING

TIL TANKVOGN:

Energiforbrug/-produktion ved liquefaction af CO₂ til 15 bar/-30 °C

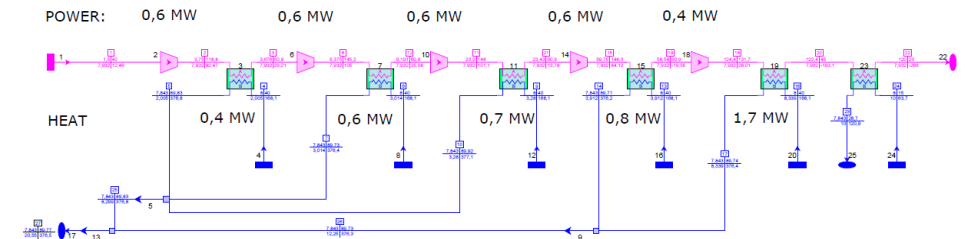
El-forbrug på ca. 2,5 MW, og der genereres varmeproduktion på ca. 5,5 MW, hvoraf ca. 100 % kan udnyttes til direkte fjernvarmeproduktion.



TIL RØRTRANSPORT:

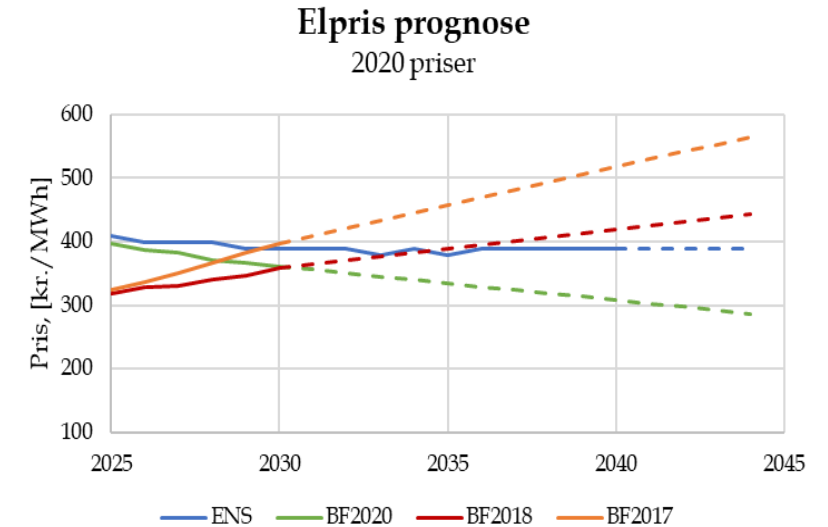
Energiforbrug/-produktion ved tryksætning af CO₂ til 130 bar/45 °C

El-forbrug på ca. 2,8 MW, og der genereres varmeproduktion på ca. 4,3 MW, hvoraf ca. 100 % kan udnyttes til direkte fjernvarmeproduktion



ØKONOMI – CENTRALE BEREGNINGSFORUDSÆTNINGER

- Varmen har prioritet og kan afsættes hele året
- Drift 8000 h / år
- Varmepriser på nuværende niveau 62,2 kr./GJ (gennemsnitlig varmepris i branchen)
- Elpris: ~ 400 DKK/MWh
- El til fangst, varmepumpe og liquifaction regnes som egetforbrug
- Kalkulationsrente: 4% (real)
- Planperiode: 15 år
- Uden afgifter & CO₂ kvoteomkostninger



ENS: Energistyrelsens beregningsforudsætning for samfundsøkonomiske analyser

Output: Enhedsomkostninger (Levelized Cost of Carbon Capture and Storage)

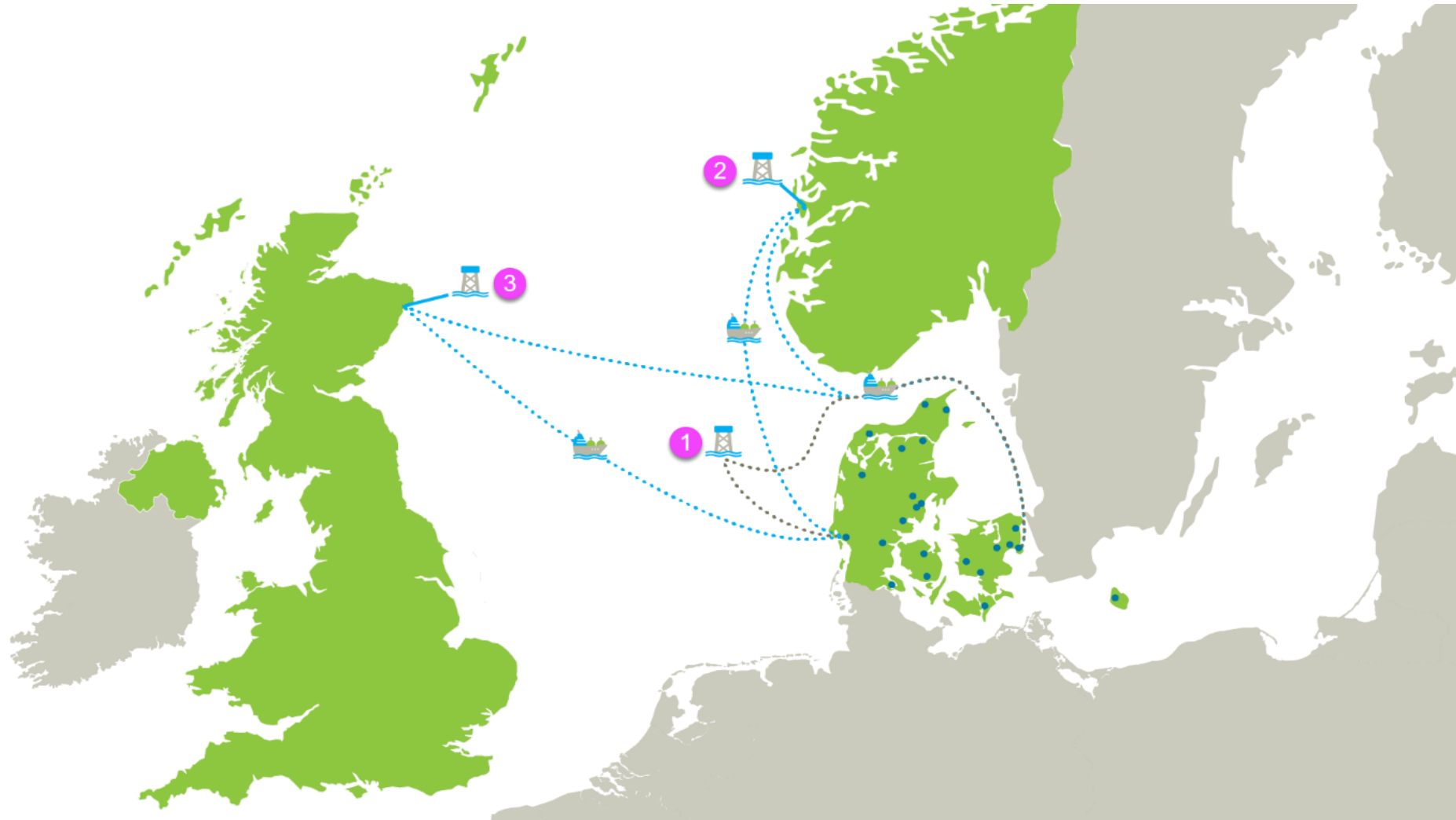
SAMLEDE FANGSTOMKOSTNINGER

Anlægsøkonomi før 2030			
SCENARIO	E1	E2	E3
Anlægsstørrelse ton affald/h	30	30	30
CO ₂ fanget ton CO ₂ /h	28	28	28
Varmepumpe	nej	lille	stor
Investering			
CAPEX (MDKK)	379	456	484
Heraf varmpumpe (MDKK)	0	78	105
Energiudgifter / indtægter			
Tabt el-salg (MDKK/år)	17	37	45
Tabt varmesalg (MDKK/år)	21	-13	-26
Samlet energiudgift (MDKK/år)	38	24	19
Energiudgift (DKK/ton CO ₂)	169	106	84
Driftsudgifter			
Totale driftsudgifter (vedligehold, personale, amin etc.), (MDKK/år)	13	14	15
Samlede fangstomkostninger			
Enhedsomkostninger (DKK/ton CO₂)	379	354	345

Konklusioner

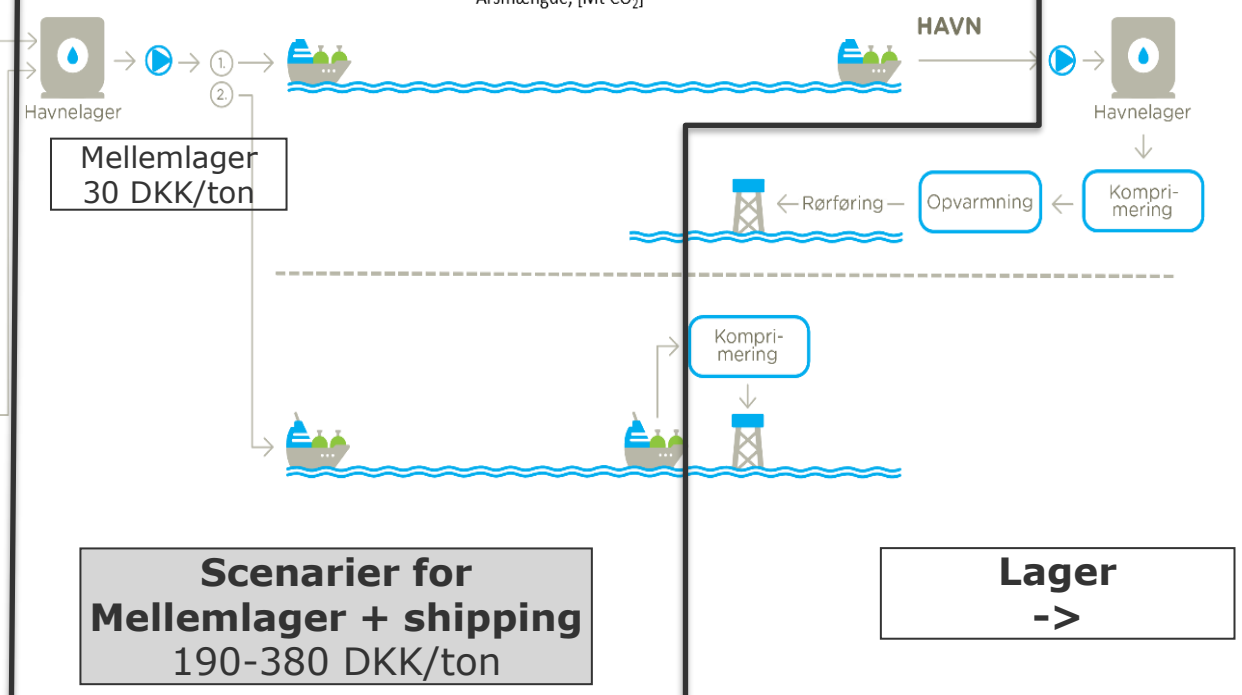
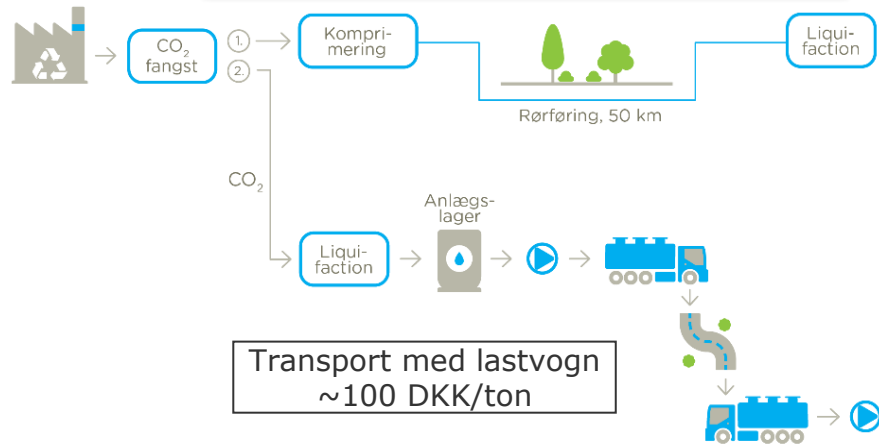
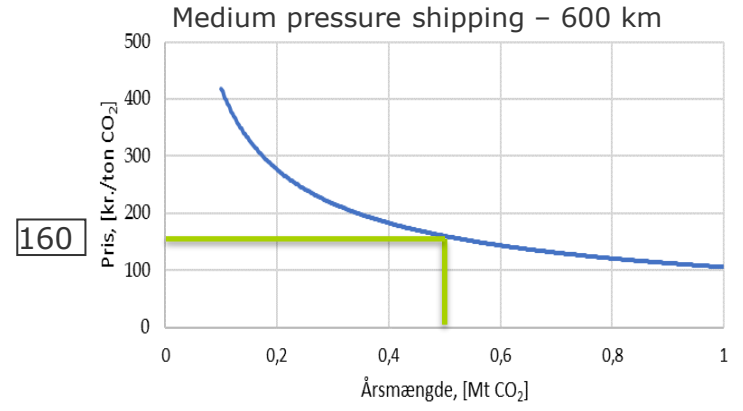
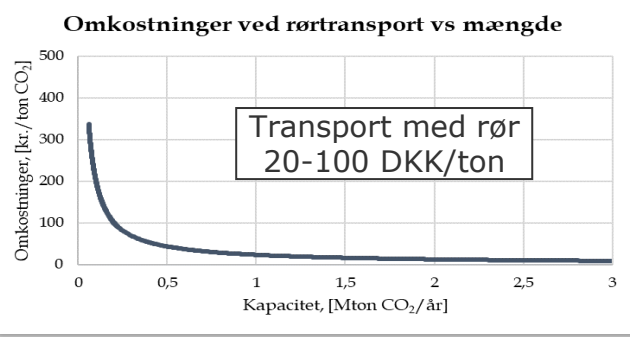
- Stor varmpumpebestykning er billigst under forudsætningerne
- 345 DKK/ton CO₂ før 2030
- 305 DKK/ton CO₂ efter 2030

TRANSPORT OG LAGRING



LAGRING OFFSHORE

ENHEDSKOSTNINGER FOR TRANSPORT



Scenarie-
omkostninger

Landtransport
100 DKK/ton

Scenarier for
Mellemlager + shipping
190-380 DKK/ton

Lager
->



LAGRING OFFSHORE: ENHEDSOMKOSTNINGER

- Der er ikke et marked for CO₂ lagring i dag
- **The Cost of Subsurface Storage of CO₂ - Zero Emission Platform (ZEP) (Dec. 2019)**
 - **ZEP analyse 2011:** 2-20 EUR/ton i en moden industri. *"Lager på land har en pris i den nederste ende - lagring til havs i den højere ende af området"*.
 - **Pale Blue Dot, UK, 2016:** 13-20 EUR/ton. *"Transport- og lagringsomkostningerne kan reduceres betydeligt ved at genbruge og dele rørledninger mellem flere brugere (klynger)"*.
 - **Køreplan for udviklingen af CCS i Holland (EBN-Gasunie, 2010 og 2017):** 2-10 EUR/ton under antagelse af fuld skala for transport og lagring i en moden industri.
- **US EPA:** 30% af offshore cap < 150 DKK/ton
- **ACORN, UK:** ~ 150 DKK/ton (før 2030)
- **Northern Light, Greensands**

Valgte scenarier for lageromkostninger

- Før 2030: 150-340 DKK/ton
- Efter 2030: 125-200 DKK/ton

LAGRING ONSHORE

Scenarie med direkte transport til stort onshore lager

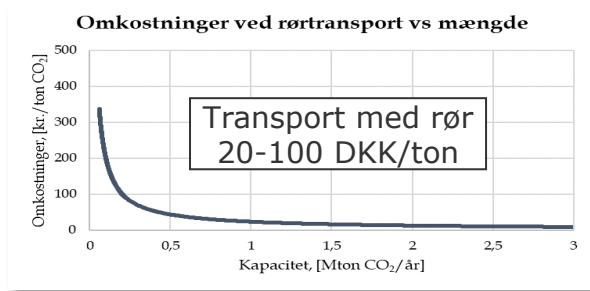
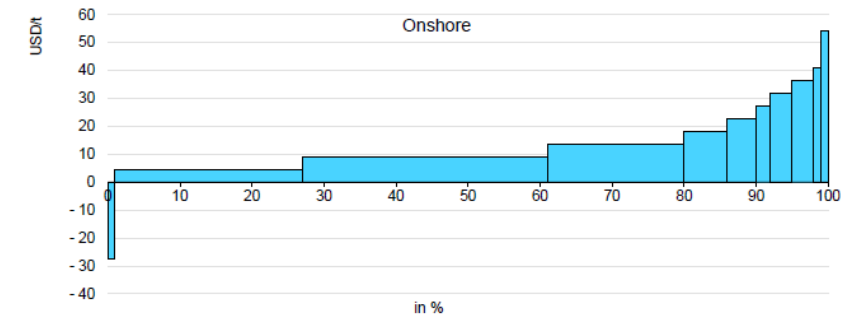
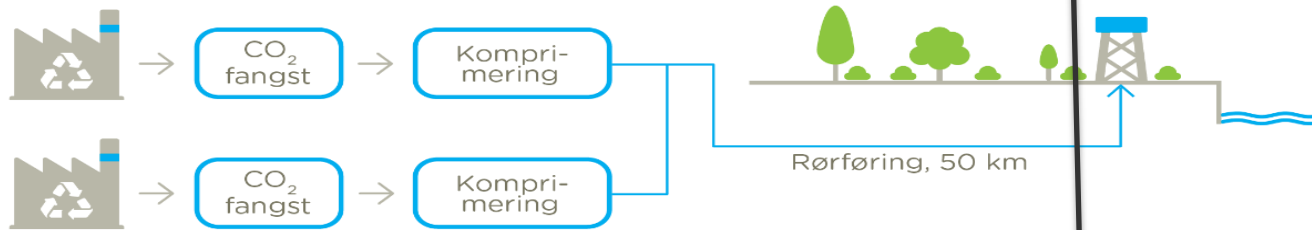


Figure 3.10 Indicative CO₂ storage cost curve for the United States (onshore and offshore)



Source: Based on US EPA (2018), Inventory of U.S Greenhouse Gas Emissions and Sinks 1990-2017.



- **US EPA(2018):** 60% < 10 USD/ton
- **ZEP analyse 2011:** 2-10 EUR/ton
- I et modent marked. Skala er vigtig.

Transportscenarier

- Før 2030: 100 DKK/ton
- Efter 2030: 20 DKK/ton (fælles rør)

Scenarier for lageromkostninger

- Før 2030: 150 DKK/ton
- Efter 2030: 85 DKK/ton

SAMLET SCENARIO OVERBLIK

DKK/ton CO2	Fangst	Land-transport (50km)	Sø-transport	Lager	Total (afrundet)
Før 2030					
Lager offshore	345	100	190-380	150-340	820-1160
Lager onshore	345	100	Na	150	600
Efter 2030					
Lager offshore	305	100	185-330	125-200	740-940
Lager onshore	305	20	Na	85	410

NB: Disse tal inkluderer hverken effekt af sparede CO₂ kvoter (EU's ETS) eller mulige indtægter fra negative CO₂ emissioner

EU carbon price rises to all-time high



KONKLUSIONER

- CO₂ fangst er en kendt teknologi der kan indbygges på affaldsenergianlæg i Danmark
- CO₂ fangst estimeres til at koste 350 DKK/ton CO₂ før 2030 og 300 DKK/ton CO₂ efter 2030
- Dette niveau er lavere end ofte antaget i DK
- Skala er vigtig for omkostningsniveauet på land og skibstransport
- Prissætning af off-shore lagre er pt. usikker
- Internationale studier indikerer offshore lageromkostninger på 75-150 DKK/ton (modent marked)
- Vores bud på de billigste skibstransport+lager scenarier flugter med Klimarådets antagelse (350 DKK/ton CO₂)
- Mange affaldsenergianlæg i DK vil potentielt med offshore lagring kunne levere CCS billigere end antaget af Klimarådet og i Klimaplanen
- En stor og veludnyttet onshore lagerløsning i Danmark kan gøre CCS endnu billigere – potentielt 400 DKK/ton CO₂ efter 2030