

Scenarier for en fælles CO₂-infrastruktur

Carbon Capture Cluster Copenhagen

Marts 2024

RAMBOLL

Bright ideas.
Sustainable change.



Introduktion | Rapporten belyser forskellige scenarier for en fælles CO₂-infrastruktur i hovedstadsområdet

C4 er et fællesskab bestående af ARC, ARGO, BIOFOS, Copenhagen Malmö Port (CMP), CTR, HOFOR, Vestforbrænding, VEKS og Ørsted, der blandt andet har til formål at undersøge mulighederne for at etablere en fælles CO₂-infrastruktur i hovedstadsområdet.

Et vigtigt bidrag til at opnå Danmarks klimamål, vil være at indfange og lagre/anvende den CO₂, der udledes fra sektorer, som ikke umiddelbart kan elektrificeres. Når CO₂'en er indfanget, vil det være nødvendigt at transportere den fra punktkilden til lagringsfaciliteten eller dér hvor CO₂'en skal anvendes.

Her vil der være fordele ved at etablere en fælles infrastruktur, frem for individuelle løsninger etableret af hver udleder. En mulig løsning kunne være et netværk af rørledninger på tværs af hovedstadsområdet som et alternativ til en løsning, hvor CO₂'en bliver transporteret med lastbil.

Rapportens omfang

Denne rapport undersøger fire scenarier med henblik på at forstå, hvordan forskellige udformninger af netværket vil påvirke omkostningerne til etablering og drift. Dette er med henblik på at give læseren en forståelse for de forskellige mulige løsninger, givet placeringen af rørinfrastrukturen præsenteret på kortet til højre.

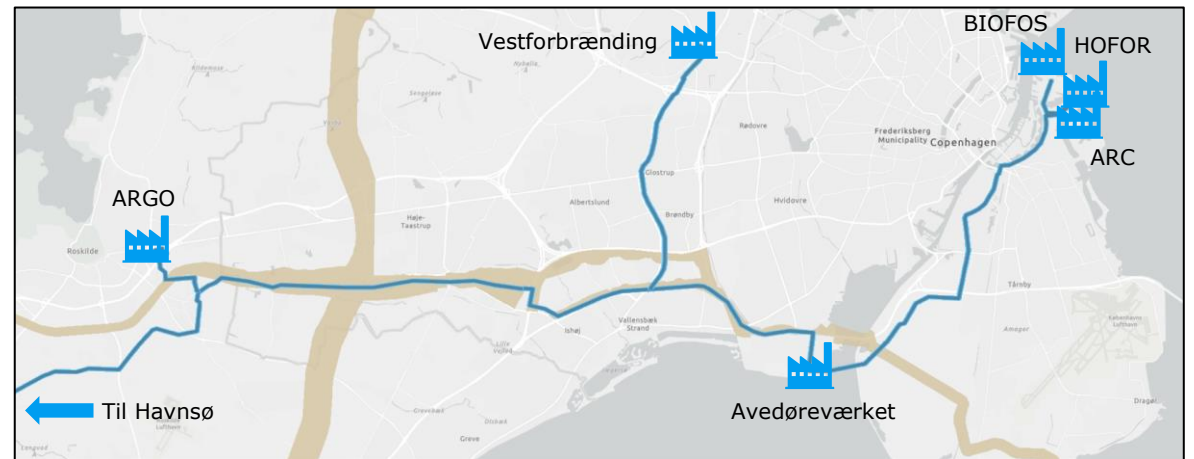
Grundet den tidlige fase, vil tallene præsenteret i denne rapport være behæftet med usikkerhed. Resultaterne skal tolkes som indikationer, der kan anvendes til at belyse dynamikken mellem omkostninger og udformning af netværket, og ikke som et præcist omkostningsestimat.

Som en del af projektet, er der udarbejdet et Excel scenarietværktøj der kan anvendes til at undersøge denne dynamik. Værktøjet tillader opsætning af forskellige scenarier for en fremtidig infrastruktur, og er tilgængeligt på c4cph.dk

Rørledningsnetværket

Infrastrukturnetværket i denne analyse indeholder de seks CO₂-udledende medlemmer af C4: ARGO, Vestforbrænding, Avedøreværket (Ørsted), BIOFOS, HOFOR og ARC. Nedenfor præsenteres rørledningen i analysen, der enten kan have retning mod Havnsø for onshore lagring eller mod CMP for udskibning til offshore lagring.

På baggrund af den kortlagte rørinfrastruktur, præsenteres en række scenarier hvor der fremstilles forskellige konstellationer af CO₂-leverandører, rørledninger, retning og placering af kompressorstationer.



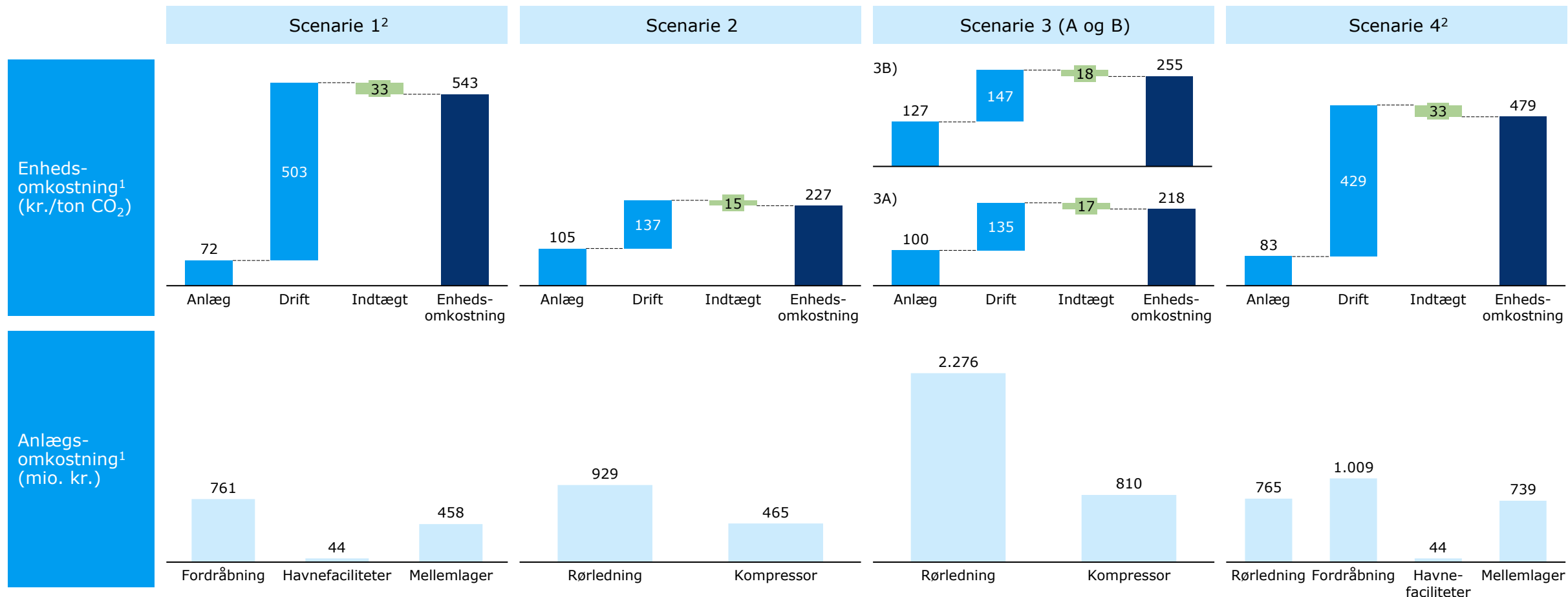
Sammenfatning (1/2) | Et større netværk med retning mod Havnsø vil give den laveste enhedsomkostning...

De udvalgte scenarier

Rambøll har i samarbejde med C4 udvalgt fire scenarier for en fremtidig, fælles CO₂-infrastruktur i hovedstadsområdet. Scenarierne og omkostningsestimaterne er præsenteret nedenfor.

	Scenarie 1	Scenarie 2	Scenarie 3 (A og B)	Scenarie 4
Beskrivelse	<p>Scenarie 1 er en fælles løsning for de tre udledere på Kræftværkshalvøen: BIOFOS, ARC og HOFOR. Der vil i dette scenarie ikke være nogen fælles rørinfrastruktur, da CO₂'en vil blive transporteret til CMP for udskibning til offshore lagring.</p> <p>CO₂'en vil blive omdannet fra gas til flydende form på et fælles fordråbningsanlæg på havnen, for derefter at blive udskibet fra de fælles havnefaciliteter. Der vil yderligere være lagerkapacitet til oplagring af den flydende CO₂, mens den venter på at blive afhentet af skibet.</p> <p>De højere omkostninger i dette scenarie skyldes skibstransport og offshore lagring, der er dyrere end rørført CO₂ og onshore lagring.</p>	<p>Scenarie 2 vil være en fælles rørledning, der transporterer CO₂ til Havnsø for onshore lagring. Rørledningen vil være en højtryksledning (120 bar), der vil kræve at der er decentraliserede kompressorstationer placeret ved hver udleder i netværket.</p> <p>I dette scenarie vil de tre udledere på Kræftværkshalvøen ikke være inkluderet, og der vil dermed ikke være en fælles rørledning under København. Der vil være en hovedledning fra Høje Taastrup til Havnsø, med forgreninger til de 3 udledere inkluderet, Avedøreværket (Ørsted), Vestforbrænding og ARGO.</p>	<p>Scenarie 3 vil inkludere alle 6 udledere i netværket, hvor CO₂'en samles i en højtryksrørledning der løber fra Høje Taastrup til Havnsø for onshore lagring. Fra Vestforbrænding og Avedøre, BIOFOS, ARC og HOFOR vil der være lavtryksrørledninger der fører til Høje Taastrup, hvor der vil være placeret en kompressorstationer, der øger trykket til 120 bar. Der vil yderligere være placeret en kompressorstation ved ARGO for tilkobling til højtryksrørledningen.</p> <p>Scenarie 3A har alle udledere tilkoblet i år 1, og scenarie 3B tilkobling af ARGO, BIOFOS og ARC 10 år senere.</p>	<p>Scenarie 4 vil ligeledes inkludere alle 6 udledere i netværket, men her vil CO₂'en transporteres til CMP for udskibning til offshore lagring.</p> <p>Infrastrukturen vil ikke indeholde rørledningen fra Roskilde til Havnsø, men den resterende rørledning vil være lavtryksrørledning mod CMP og der vil derfor ikke være behov for kompressorstationer. På havnen vil der være et fælles fordråbningsanlæg, lagerkapacitet samt havnefaciliteter til udskibning af CO₂ for at kunne udskibe den flydende CO₂.</p> <p>De højere omkostninger i dette scenarie skyldes skibstransport og offshore lagring, der er dyrere end rørført CO₂ og onshore lagring.</p>
Udledere og CO ₂ -mængder	<p>Dette scenarie indeholder BIOFOS, ARC og HOFOR.</p> <p>Der vil årligt blive transporteret 1,3 mio. tons CO₂.</p>	<p>Dette scenarie indeholder Avedøreværket, Vestforbrænding og ARGO.</p> <p>Der vil årligt blive transporteret 1,0 mio. tons CO₂.</p>	<p>Dette scenarie indeholder alle 6 udledere (med forskellige tidspunkter i 3A og 3B).</p> <p>Der vil årligt blive transporteret 2,0 – 2,3 mio. tons CO₂.</p>	<p>Dette scenarie indeholder alle 6 udledere.</p> <p>Der vil årligt blive transporteret 2,3 mio. tons CO₂.</p>
Omkostning	<p>Totale omkostninger¹ ~ 9 mia. kr.</p> <p>Anlægsomkostninger ~ 1,3 mia. kr.</p> <p>Enhedsomkostning² ~ 543 kr. per ton CO₂.</p>	<p>Totale omkostninger¹ ~ 3 mia. kr.</p> <p>Anlægsomkostninger ~ 1,4 mia. kr.</p> <p>Enhedsomkostning² ~ 227 kr. per ton CO₂.</p>	<p>Totale omkostninger¹ ~ 6 mia. kr.</p> <p>Anlægsomkostninger ~ 3,1 mia. kr.</p> <p>Enhedsomkostning² ~ 218 - 255 kr. per ton CO₂.</p>	<p>Totale omkostninger¹ ~ 14 mia. kr.</p> <p>Anlægsomkostninger ~ 2,6 mia. kr.</p> <p>Enhedsomkostning² ~ 479 kr. per ton CO₂.</p>

Sammenfatning (2/2) | ...men også den største anlægsomkostning ved etableringen af en fælles infrastruktur



Baggrund

Rambøll har estimeret omkostningerne ved en fælles CO₂-infrastruktur, hvor fokus har været på rørledning og kompressor

Baggrund

Rambøll har i dette studie udarbejdet en række byggeklodser, der anvendes til at estimere de samlede omkostninger under forskellige scenarier. Studiet kan anvendes til at undersøge, hvordan etableringsrækkefølgen og CO₂-mængder vil påvirke de samlede omkostninger for projektet, og derigennem skabe et mere oplyst grundlag for de videre drøftelser af udformningen af et fælles netværk.

Fokus i dette studie har været på estimering af omkostningerne forbundet med etablering af rørledning, kompressorstationer og fordråbningsanlæg hvor datakvaliteten er højest. Omkostningerne til havneanlæg, permanent lagring og transport er estimeret ud fra relevante offentlige datapunkter og tidligere Rambøll-rapporter.

Som en del af studiet er der blevet udarbejdet fire konkrete scenarier, som giver et indblik i omkostningerne ved forskellige udformninger af netværket. De fire scenarier er udarbejdet i samarbejde med C4 og dækker over:

1. Fordråbning og udskibning fra CMP uden fælles rørledning for de tre udledere på Kræftværkshalvøen (HOFOR, ARC og Biofos).
2. Decentraliseret kompressorstationer fra Avedøre, Vestforbrænding og ARGO mod Havnsø.
3. Fælles rørledning mod Havnsø med centraliseret kompressorstation ved Høje Taastrup (3A hvor alle udledere tilkobler samtidig, og 3B hvor nogle udledere tilkobler 10 år senere).
4. Fælles rørledning mod CMP hvor CO₂ fordråbes og udskibes til offshore lagring.

Byggeklodser

Rambøll har undersøgt følgende byggeklodser baseret på in-house viden, processimuleringer, omkostningsestimeringer og desktop-research.

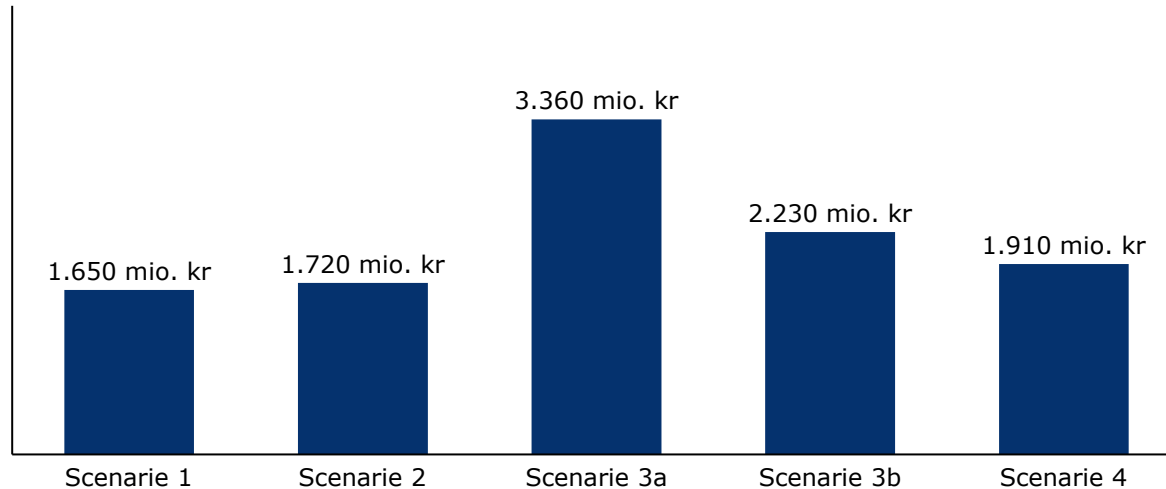
Primær infrastruktur	Rørledninger i gas fase (30 bar)
	Rørledninger i dense fase (120 bar)
Understøttende infrastruktur	Kompressorstationer
	Fordråbningsanlæg
	Mellemlager
	Booster-stationer
	Opvarmning og pumpning
	Havneanlæg (dog ikke selve havnen)
Transport og lagring ¹	Skibstransport
	Lastbiltransport
	Lagring

Set fra et samfundsøkonomisk perspektiv, er en fælles løsning det bedste

Metode

Rambøll har opstillet de samfundsøkonomiske konsekvenser ved etablering af en fælles infrastruktur og sammenholdt dem med individuelle løsninger. De målbare konsekvenser er kvantificeret som nutidsværdier af en 25-årig periode, mens de ikke-kvantificerbare konsekvenser peger i retning af, at større samfundsøkonomisk gevinst ved fælles løsninger, såfremt de var blevet kvantificeret.

Kvantificerbar gevinst ved fælles løsning ift. individuel løsning



Den individuelle løsning

I det alternative scenarie med individuelle løsninger inkluderes omkostningerne:

- Transport med lastbil fra udleder til slutdestination
- Individuelle fordråbningsanlæg ved hver udleder¹
- Mellemlager ved hver udleder
- Omkostninger til permanent lagring, havnefaciliteter og udskibning holdes konstant

Framework for beregning af samfundsøkonomiske værdier²

	Individuelle løsninger	Fælles løsning
Kvantificerbare gevinster		
Driftsomsætning	-	Salg af overskudsvarme
Værdi af CSS	Værdi af lagret CO ₂	Værdi af lagret CO ₂
Scrapværdi	-	Vurderet værdi af vedligeholdt aktiv
Kvantificerbare ulemper		
Etableringsomkostninger	Capex	Capex
Driftsomkostninger	Opex	Opex
Ikke-kvantificerbare konsekvenser		
CO ₂ -udledning	Negativ i drift	Negativ i etablering
Støjgener	Negativ i drift	Negativ i etablering
Ekspropriering	-	Negativ i etablering
Naturtab	-	Negativ i etablering
Vejslid	Negativ i drift	Minimal negativ i etablering
Luftforurening	Negativ i drift	Minimal negativ i etablering
Trængsel på veje	Negativ i drift	Minimal negativ i etablering

Rambøll Noter: ¹CO₂-mængderne holdes konstante mellem scenarierne for at skabe overblik over den direkte besparelse ved at etablere en fælles løsning. Ligeledes holdes de enkelte CO₂-leverancer og slutdestinationen konstante mellem løsningerne. Fordråbningsanlæg indeholder ikke integrering med fjernvarme som vil give en indtægt, men også en højere anlægsinvestering. ²Værdien af CSS er beregnet, som produktet af den årlige lagrede CO₂ og CO₂e-pris fra Finansministeriets Nøgletalskatalog. Beregningerne er følsomme overfor beregningens starttidspunkt, fordi CO₂e-priserne stiger fra år til år. Scrapværdi antager, at aktivets værdi svarer til etableringsomkostningerne og følger prisudviklingen, som konsekvens af løbende vedligehold. Værdierne er inflationskorrigeret og diskonteret til nutidsværdier.

En fælles CO₂-infrastruktur vil have en række fordele og ulemper sammenlignet med individuelle løsninger

Overvejelser om fordele og ulemper

Der vil naturligt både være fordele og ulemper ved at etablere en fælles løsning for transport af CO₂. De tre primære emner der skal overvejes i en senere beslutningsproces er kort beskrevet nedenfor.

Etablering af fælles løsninger

Ved etablering af fælles løsninger vil der være klare fordele ved at anlægge og drifte færre men større faciliteter, fremfor individuelle løsninger. Dette vil lede til en lavere omkostning per ton, da der vil være en faldende marginalomkostning ved etablering af rørledning, kompressorstationer mv.

Ulempen ved fælles løsninger vil være, at der skal opnås enighed omkring udformningen af infrastrukturen, herunder placering af rørledning, kompressorstationer samt en fælles afregningsmodel, der er fordelagtig for alle parter. En sådan proces kan tage tid, og der vil være en risiko for at projektet falder til jorden på grund af manglende enighed, eller at projektet bliver forsinket betragteligt.

De skal ligeledes blive enige om CO₂-specifikationerne for rørledningen, og her kan det være nødvendigt at indgå et kompromis for flere udledere.

Afhængighed mellem leverandører

En fælles rørinfrastruktur har den fordel at man kan opnå stordriftsfordele ved etablering af en fælles læsning.

Ulempen er dog en stor afhængighed mellem de forskellige CO₂-leverandører, da der vil være lav fleksibilitet i netværket. De forskellige infrastruktur-elementer dimensioneres efter forventningerne til fremtidige CO₂-leverancer, og hvis disse i praksis afviger fra forventningerne, vil det betyde en ændring i den faktiske enhedsomkostning for den enkelte.

Netværket skal ses som en helhed, og der skal her så vidt muligt indtænkes forskellige scenarier – både i dimensioneringen og i afregningsmodellen.

Behovet for redundans

Et nedbrud i kompressor- eller fordråbningsanlæg vil have konsekvenser for både leverandører og modtagere, da det vil sætte en stopper for hele værdikæden.

Roterende udstyr så som kompressorer og CO₂-pumper er udsatte for slitage og kan kræve ekstra vedligehold. Det er derfor essentielt at have en reserve for at kunne minimere nedetid, og dermed sikre en velfungerende CO₂-værdikæde.

Ved en fælles infrastruktur reduceres behovet for redundans da der kun vil være behov for redundans ved fælles infrastruktur og ikke flere som ved individuelle løsninger.

For yderligere at minimere omkostningerne, kan det overvejes at komprimere ved flere parallelle spor og dermed reducere størrelse på reserveanlægget.

Tidsperspektivet samt anlægsmetoder og sikkerhed skal tænkes ind i den endelige udformning af infrastrukturen

Etablering af en fælles rørinfrastruktur for transport af CO₂

Processen for etableringen af en rørinfrastruktur til transport af CO₂ på Sjælland vil vare flere år – både med myndighedsprocessen og anlægsfasen. Her skal tidsplanen tænkes ind i overvejelserne omkring udformningen af den endelige infrastruktur, da de forventede CO₂-leverancer kan have forskellige tidshorisonter. Samtidig vil der være sikkerhedsmæssige aspekter samt forskellige anlægsmetoder, der skal overvejes når den endelige infrastruktur skal etableres. Rambøll har ud fra erfaringer beskrevet disse aspekter i nedenstående.

Tidsplan

Etableringen af en rørført CO₂-infrastruktur kan deles op i en myndighedsproces og en anlægsperiode. Myndighedsprocessen inkl. dialog med grundejere kan forventes at tage ca. 2-2,5 år men, afhængigt af den borgernes modstand, tage længere tid. I anlægsperioden kan der ud fra Rambølls erfaringer bygges ca. 40 km om året per anlægshold, så denne vil afhænge af antallet af anlægshold samt hvor meget rørinfrastruktur, der skal anlægges. I byområder kan det forventes, at der anlægges 1-2 meter om dagen i gennemsnit.

Anlægsmetoder

Hvilken anlægsmetode der anvendes vil i høj grad være baseret på, (1) hvilket terræn der arbejdes i, (2) hvilke restriktioner der er givet fra myndighederne samt (3) hvilke fysiske restriktioner der arbejdes med fra eksisterende faciliteter (veje, kabler, bygninger, vandløb osv.). Hvis muligt vil det være at foretrække at lægge røret ned i en åben grav, men ofte er opgravningsfrie anlægsmetoder påkrævet.

Sikkerhed

CO₂ er en farveløs og lugtfri gas, som i høje koncentrationer kan være farlig, hvilket er velkendt. Den er tungere end luft og vil i gasform søge mod lavpunkter i landskabet. Højtryksrør vil udløse CO₂ som vil danne tøris og forme en gassky, hvor lavtryksrør kun vil lække CO₂ i gasform. Sikkerhedsafstandene vil derfor være anderledes for høj- og lavtryksrør, hvor muligheden for at observere lækager også vil være forskellig. Sikkerhedsprofilen vil blive bestemt af konsekvenserne af en potentiel lækage som kan modelleres for de konkrete fysiske forhold og trykket i røret, og sammen med en sandsynlighedsvurdering på rørbrud kan dette danne grundlag for en risikovurdering.



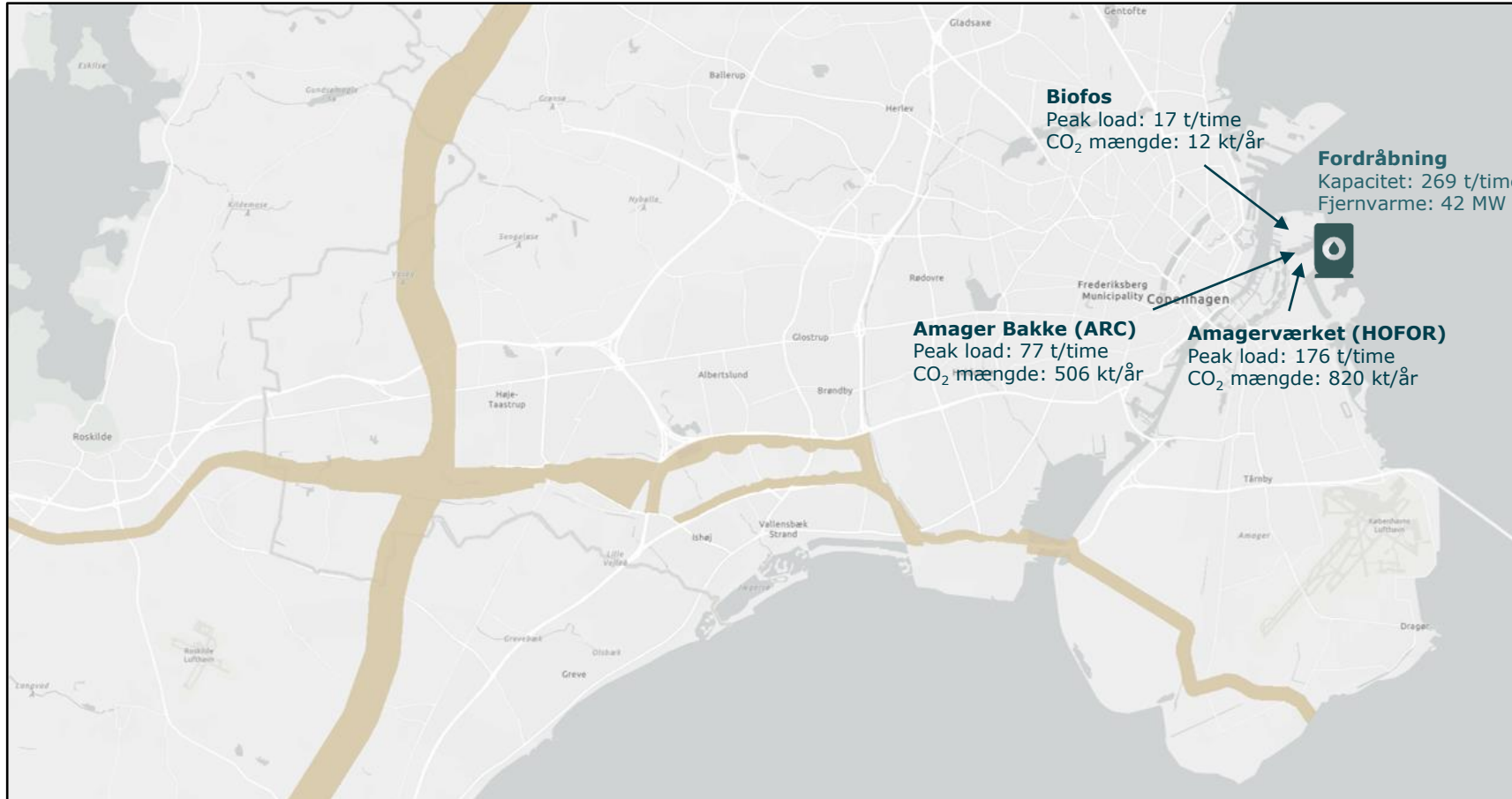
Et område omkring et knækket højtryks CO₂-rør i USA. Den hvide tøris dannes tæt på bruddet, mens udløst gas spreder sig i atmosfæren¹.

En fælles CO₂-infrastruktur på Sjælland vil medføre lavere enhedsomkostninger for transport af CO₂ i de fire scenarier

	Scenarie 1	Scenarie 2	Scenarie 3 (A og B)	Scenarie 4
Fælles infrastruktur	<p>I dette scenarie vil der ikke være nogen fælles rørlednings-infrastruktur, men der vil være et fælles fordråbningsanlæg ved CMP.</p> <p>Efter fordråbning ved CMP vil CO₂'en blive udskibet til offshore lagring og indeholder derfor også den nødvendige havneinfrastruktur til udskibning.</p>	<p>Dette scenarie indeholder fælles rørledning mod Havnsø for lagring. Der vil være decentraliseret kompressorstationer ved Avedøreværket, Vestforbrænding og ARGO, så alle rørledninger vil være højtryk (120 bar). Der vil ikke være rørledninger under København.</p>	<p>I disse to scenarier vil der være en backbone rørledning fra Høje Taastrup til Havnsø for lagring i højtryk (120 bar). I Høje Taastrup vil der være en fælles kompressorstationer der øger trykket fra 20² bar, som der vil være i de resterende rørledninger i netværket, der fører ind til backbone.</p>	<p>Dette scenarie indeholder fælles rørledning mod CMP for udskibning til offshore lagring. Der vil ikke være kompressorstationer, da infrastrukturen udelukkende består af lavtryksrørledninger.</p> <p>Ved CMP vil CO₂'en blive fordråbet og udskibet til offshore lagring og indeholder derfor også den nødvendige havneinfrastruktur til udskibning.</p>
Udledere	<p>Dette scenarie indeholder tre udledere placeret på Kræftværkshalvøen: Amagerværket (HOFOR), Amager Bakke (ARC) og BIOFOS.</p> <p>Yderligere udledere vil kunne inkluderes ved transport af CO₂ med lastbil direkte til havnefaciliteterne på CMP.</p>	<p>I dette scenarie vil de 3 udledere på Kræftværkshalvøen ikke være inkluderet. Der vil være en backbone-rørledning fra Høje Taastrup til Havnsø, hvor yderligere rørledninger vil gå fra de tre udledere - Avedøreværket (Ørsted), Vestforbrænding og ARGO - til backbone.</p>	<p>Disse to scenarier indeholder Amagerværket (HOFOR), Amager Bakke (ARC), BIOFOS, Avedøreværket (Ørsted), Vestforbrænding og ARGO.</p> <p>I scenarie 3A vil alle udledere tilkoble sig i år 1 og i 3B vil HOFOR, VF og Avedøreværket tilkoble i år 1 og de resterende tilkoble sig 10 år senere.</p>	<p>Dette scenarie indeholder Amagerværket (HOFOR), Amager Bakke (ARC), BIOFOS, Avedøreværket (Ørsted), Vestforbrænding og ARGO.</p> <p>Yderligere udledere vil kunne inkluderes ved transport af CO₂ med lastbil direkte til havnefaciliteterne på CMP eller til tilkoblingspunkter i rørinfrastrukturen.</p>
Økonomi	<p>Der vil årligt blive håndteret 1,3 mio. tons CO₂ fra de tre udledere, hvilket vil give omkostninger på ca. 9 mia. kr. over en 25 årig tidsperiode.</p> <p>Den nivellerede omkostning ved håndtering af CO₂ vil være 543 kr./ton³, og give en kvantificerbar samfundsøkonomisk gevinst på 1,7 mia. kr. i forhold til individuelle løsninger fra de tre udledere.</p>	<p>Der vil årligt blive håndteret 1,0 mio. tons CO₂ i netværket, hvilket vil give omkostninger på ca. 3 mia. kr. over en 25 årig tidsperiode.</p> <p>Den nivellerede omkostning ved håndtering af CO₂ vil være 227 kr./ton, og give en kvantificerbar samfundsøkonomisk gevinst på 1,7 mia. kr. i forhold til individuelle løsninger fra de tre udledere.</p>	<p>Der vil årligt blive håndteret 2,0-2,3 mio. tons CO₂ i netværket, hvilket vil give omkostninger på ca. 6 mia. kr. over en 25 årig tidsperiode.</p> <p>Den nivellerede omkostning ved håndtering af CO₂ vil være 218-255 kr./ton, og give en kvantificerbar samfundsøkonomisk gevinst på 2,2 – 3,4 mia. kr. i forhold til individuelle løsninger fra de seks udledere.</p>	<p>Der vil årligt blive håndteret 2,3 mio. tons CO₂ i netværket, hvilket vil give omkostninger på ca. 14 mia. kr. over en 25 årig tidsperiode.</p> <p>Den nivellerede omkostning ved håndtering af CO₂ vil være 479 kr./ton³, og give en kvantificerbar samfundsøkonomisk gevinst på 1,9 mia. kr. i forhold til individuelle løsninger fra de seks udledere.</p>

Økonomiske resultater

Scenarie 1 | Udskibning af CO₂ fra CMP uden fælles rørledning for de tre udledere på Kræftværkshalvøen



● CO₂-leverandør ● Fordråbning

Scenarie 1

Dette scenarie inkluderer de tre udledere på Kræftværkshalvøen, der leverer CO₂ til et fælles fordråbningsanlæg ved CMP for udskibning til et offshore lager.

På havnen vil der være et fordråbningsanlæg med en kapacitet på 269 tons/time, som fordråber CO₂ fra et tryk på 20 barg til 15 barg for udskibning med mellemtryks-skibe.

Kompressor anlægget i fordråbningsprocessen vil være integreret med fjernvarmenettet, hvilket vil skabe en indtægt ved salg af overskydende varme.

Der vil yderligere være mellemlager placeret på havnen til opbevaring af den flydende CO₂, mens det venter på at blive udskibet.

Det forventes at der årligt vil blive transporteret ca. 1,3 mio. tons CO₂ gennem infrastrukturen.

Scenarie 1 | Udskibning af CO₂ fra CMP uden fælles rørledning for de tre udledere på Kræftværkshalvøen

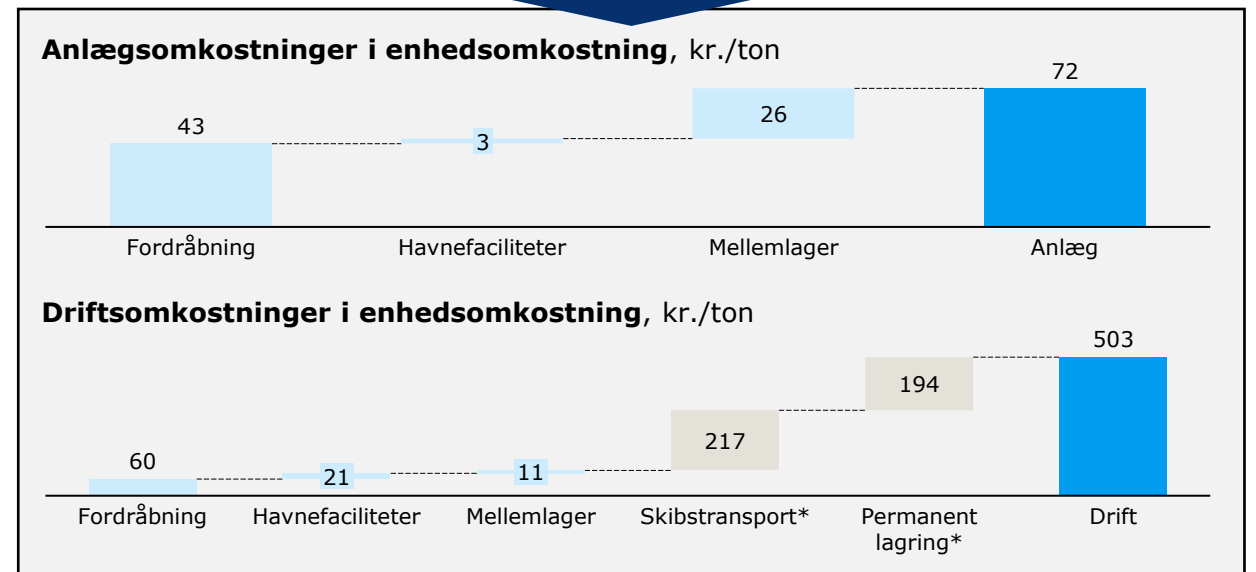
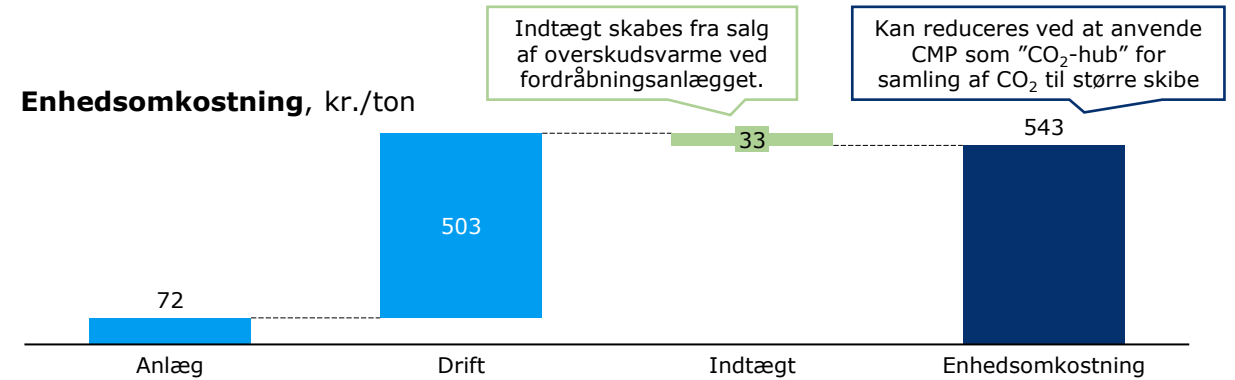
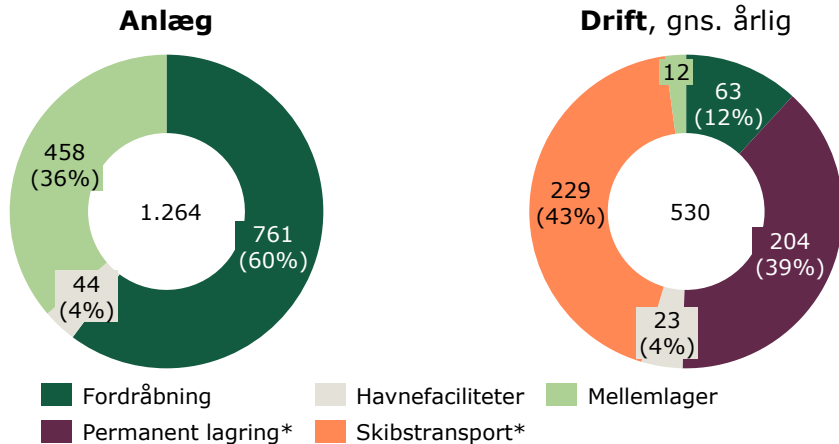
Økonomiske resultater ved scenarie 1

Den indledende anlægsomkostning i dette scenarie vil primært bestå af etablering af det fælles fordråbningsanlæg og mellemlager på havnen. Anlægsomkostningerne vil i dette scenarie være de laveste, men inkluderer dog kun udledere på Kræftværkshalvøen, som betyder, at der ikke vil være behov for fælles rørledninger, når slutdestinationen er CMP.

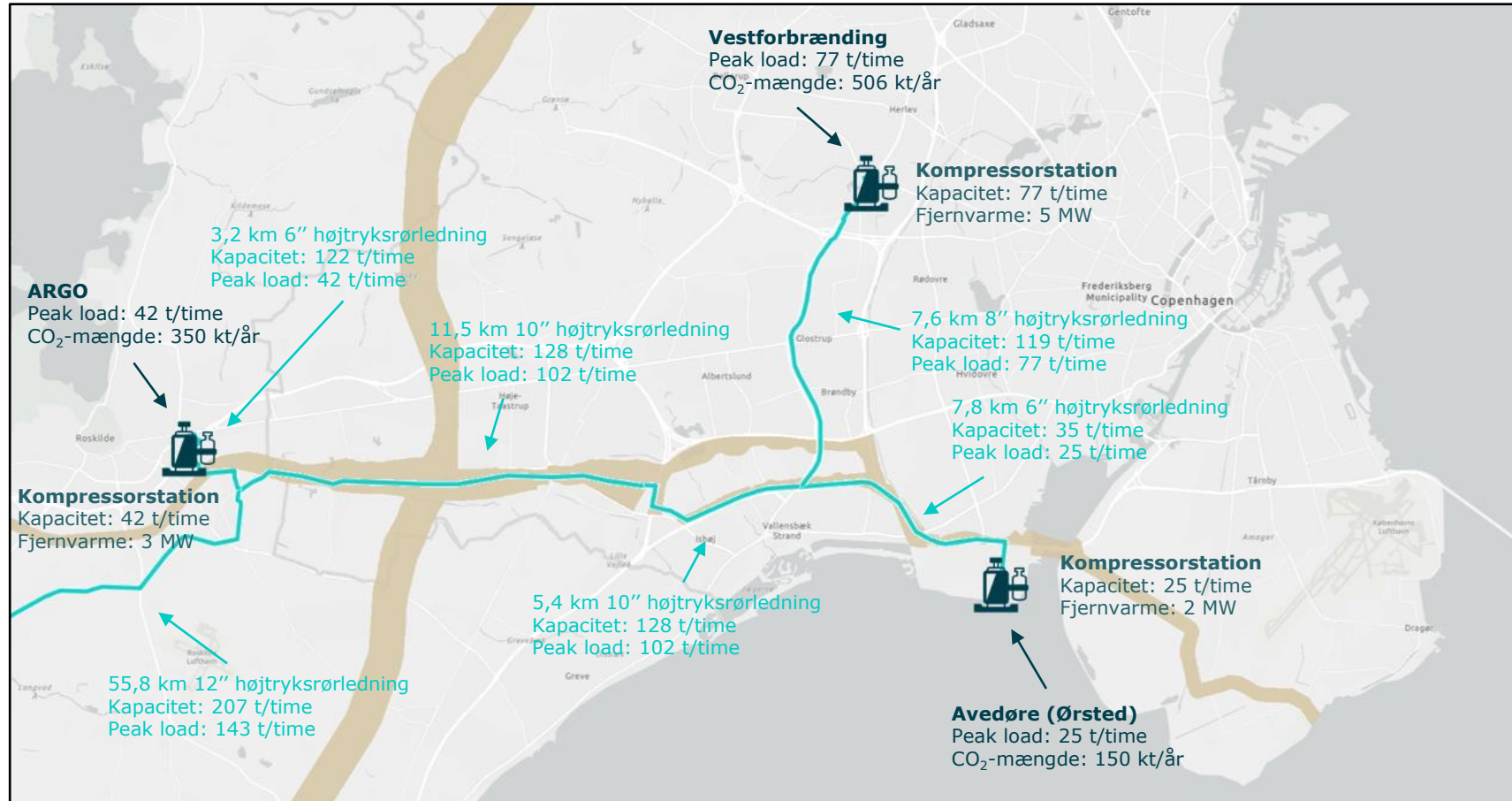
Der vil være driftsomkostninger forbundet med drift og vedligehold af fordråbningsanlæg og mellemlager, hvor fordråbningsanlægget vil skabe en indtægt fra salg af overskudsvarme, men størstedelen af driftsomkostningerne vil være relateret til skibstransport og permanent offshore lagring af CO₂.

Dette scenarie vil have den største enhedsomkostning, som er drevet af en høj omkostning forbundet med skibstransport og offshore lagring.

Anlægs- og driftsomkostninger, mio. kr.



Scenarie 2 | Decentraliseret kompressorstationer fra Avedøre og Vestforbrænding mod Havnsø



● CO₂-leverandør ● Rørledning ● Kompressor

Scenarie 2

Dette scenarie inkluderer CO₂-leverancer fra Vestforbrænding, Avedøreværket og ARGO. Ved hver af de tre udledere vil der være placeret en kompressorstation, der øger trykket fra 30 bar til 120 bar, således at den fælles rørinfrastruktur udelukkende vil bestå af højtryksrørledninger.

Der vil være forskellige størrelser på rørledningerne i netværket, hvor hovedrøret til Havnsø vil have en tykkelse på 12". Rørledninger fra udlederne til hovedrøret vil have størrelser på 6"-10".

I dette scenarie vil det være muligt at yderligere CO₂-leverandører kan tilkoble sig netværket ved de tre kompressorstationer via lastbiltransport. Dette vil dog kræve et anlæg til pumpning, mellemlager, samt en udvidelse af rørledningen hvis der er tale om store mængder.

Enhedsomkostningen til rørledningerne vil være lavere end i scenarie 3A/3B, da omkostningerne til en rørledning på Amager vil have en højere pris per km.

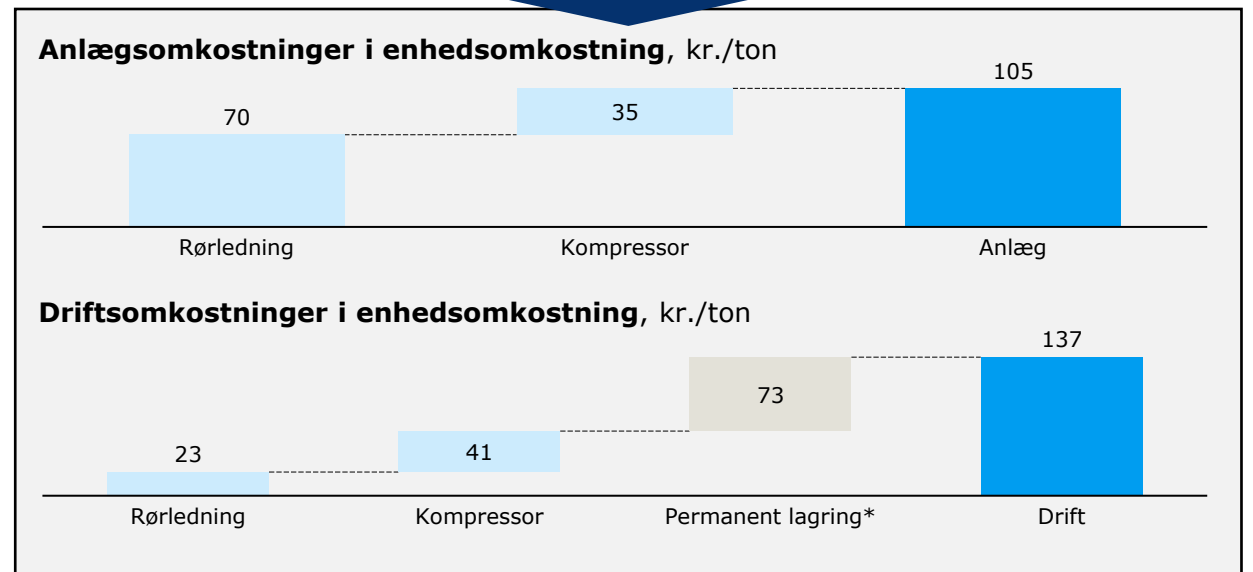
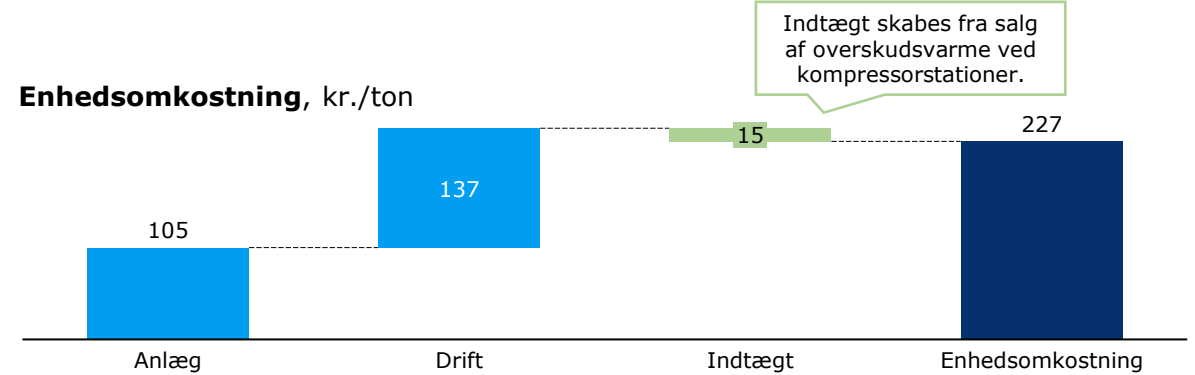
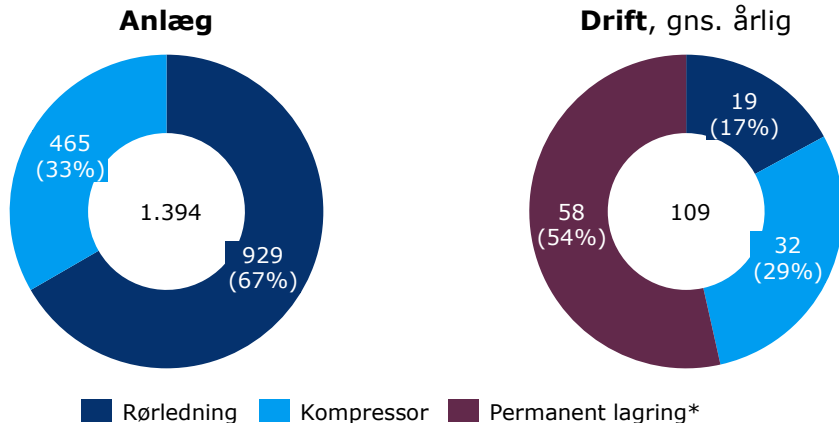
Scenarie 2 | Decentraliseret kompressorstationer fra Avedøre og Vestforbrænding mod Havnsø

Økonomiske resultater af scenarie 2

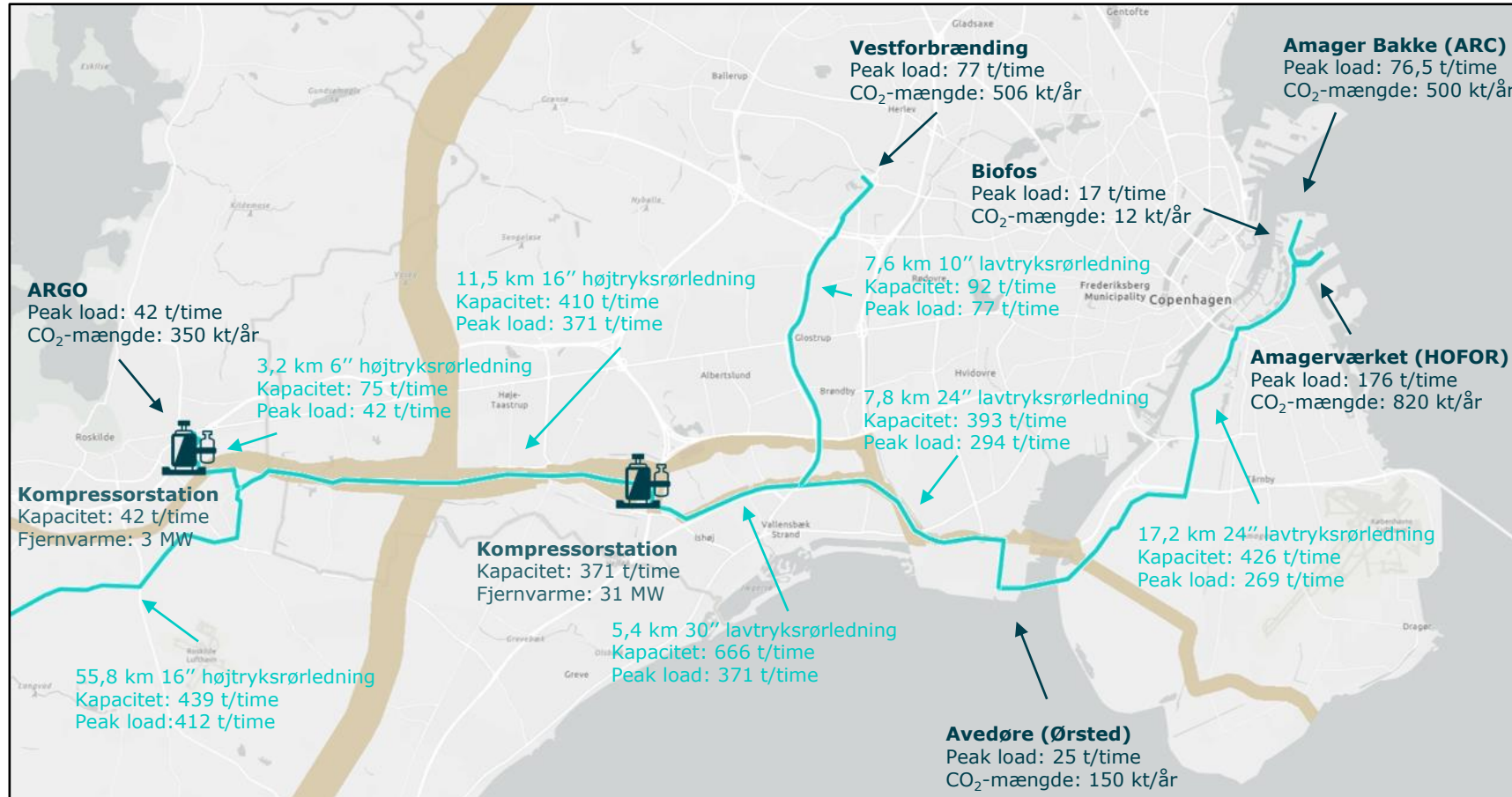
I dette scenarie vil der ikke være omkostninger til et fordråbningsanlæg, men derimod til rørledning og kompressorstationer. To tredjedele af anlægsomkostningen er rørledning, hvor den sidste tredjedel er udgjort af de tre kompressorstationer, der alle vil skabe en indtægt fra salg af overskudsvarme. Ca. 60% af anlægsomkostningen for rørledningen vil være den 56 km lange rørledning mod Havnsø.

Med en lavere årlig CO₂-mængde end i scenarie 3A/B, vil mindre rørledninger betyde at enhedsomkostningen per ton vil stige. Samtidig vil der i dette scenarie dog ikke være en rørledning fra Kræftværkshalvøen til Avedøreværket – værende den dyreste strækning – hvilket driver enhedsomkostningen per ton ned.

Anlægs- og driftsomkostninger, mio. kr.



Scenarie 3 (A og B) | En fælles rørledning mod Havnsø med centraliseret kompressorstation ved Høje Taastrup



Scenarie 3 (A og B)

I scenarie 3 vil der være den mest omfattende rørinfrastruktur, hvor CO₂-leverandørerne på Kræftværkshalvøen, Avedørværket, Vestforbrænding og ARGO vil transportere CO₂'en til Havnsø via en fælles rørledning.

Rørledningerne øst for Høje Taastrup vil alle være i lavt tryk (30 bar), hvor en kompressorstation placeret i Høje Taastrup vil øge trykket fra 30 bar til 120 bar, hvorefter rørledningen mod Havnsø vil være i højt tryk (120 bar). En yderligere kompressorstation vil være placeret ved ARGO, for at muliggøre en tilkobling direkte til højtryksrørledningen.

Dette scenarie vil udnytte de mange forskellige CO₂-leverandører placeret øst for Høje Taastrup ved at samle CO₂'en i én fælles kompressorstation. Rørledningerne i dette scenarie vil være væsentligt større end i scenarie 2, da der her forventes årligt at blive transporteret 2-2,3 mio. tons CO₂.

Her vil der ligeledes være mulighed for at tilkoble yderligere leverandører.

● CO₂-leverandør ● Rørledning ● Kompressor

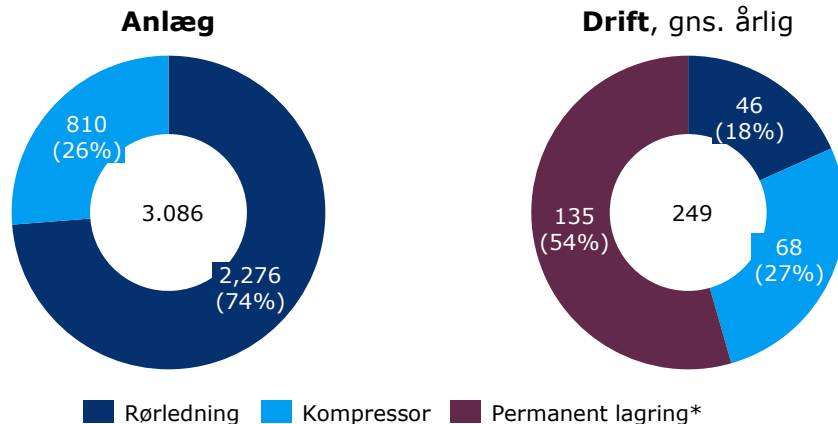
Scenarie 3A | En fælles rørledning mod Havnsø med centraliseret kompressorstation ved Høje Taastrup med simultan tilkobling

Økonomiske resultater af scenarie 3A

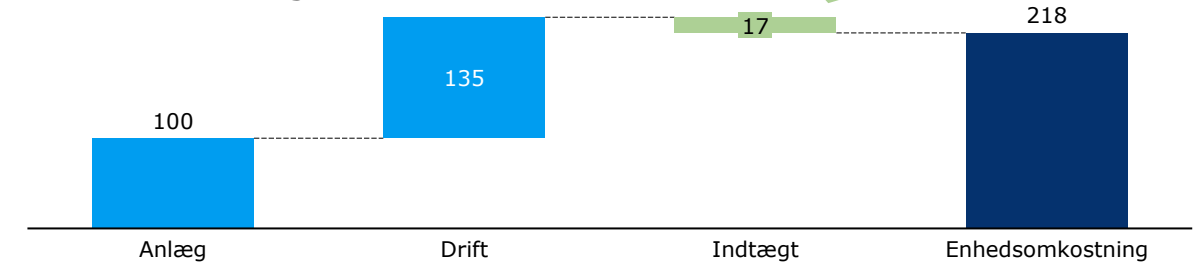
Dette scenarie, hvor alle udlederne er inkluderet, vil give den laveste enhedsomkostning på 218 kr./ton CO₂ håndteret. Ved at udnytte det fulde potentiale af netværket, vil de største skalafordele opstå, da den marginale omkostning er faldende. De to kompressorstationer vil skabe en indtægt ved salg af genereret overskudsvarme, der vil reducere den samlede omkostning for netværket.

Som nævnt i beskrivelsen af scenarie 2, vil den kun mindre reduktion i enhedsomkostningen være et resultat af en forholdsvis dyrere rørledning under København, som dog vil blive opvejet af skalafordele for de resterende infrastruktur elementer. Dette scenarie vil give den største samfundsøkonomiske besparelse, da rørledningen under København stadig vil have en signifikant lavere omkostning end lastbiltransport.

Anlægs- og driftsomkostninger, mio. kr.

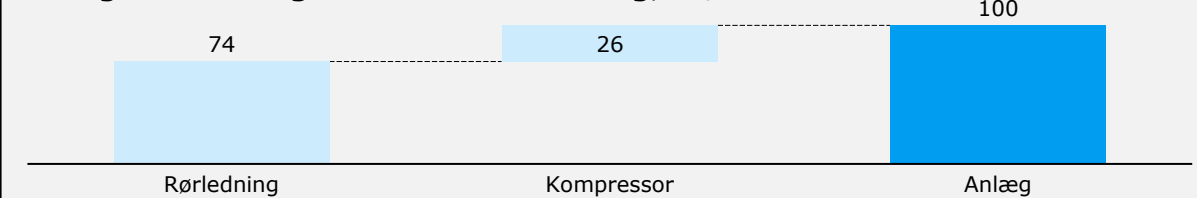


Enhedsomkostning, kr./ton

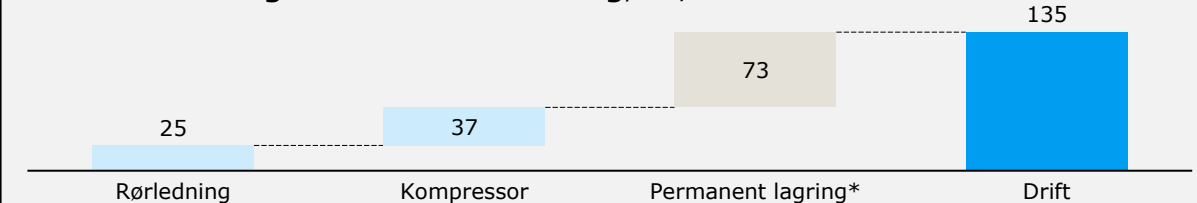


Indtægt skabes fra salg af overskudsvarme ved kompressorstationer.

Anlægsomkostninger i enhedsomkostning, kr./ton



Driftsomkostninger i enhedsomkostning, kr./ton



Scenarie 3B | En fælles rørledning mod Havnsø med centraliseret kompressorstation ved Høje Taastrup med forskellig tilkobling

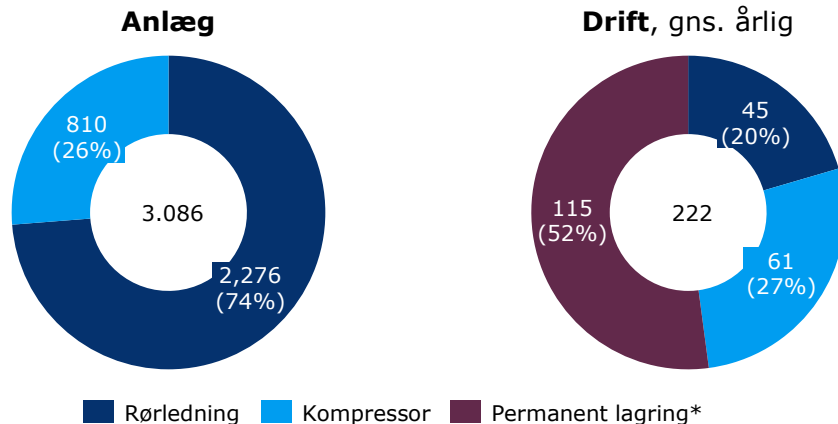
Økonomiske resultater af scenarie 3B

Forskellen på scenarie 3A og 3B er tidslinjen for CO₂-leverancerne i netværket, hvor Avedøreværket, Vestforbrænding og HOFOR tilkobles netværket i år 1, og de resterende leverandører tilkobler sig 10 år senere.

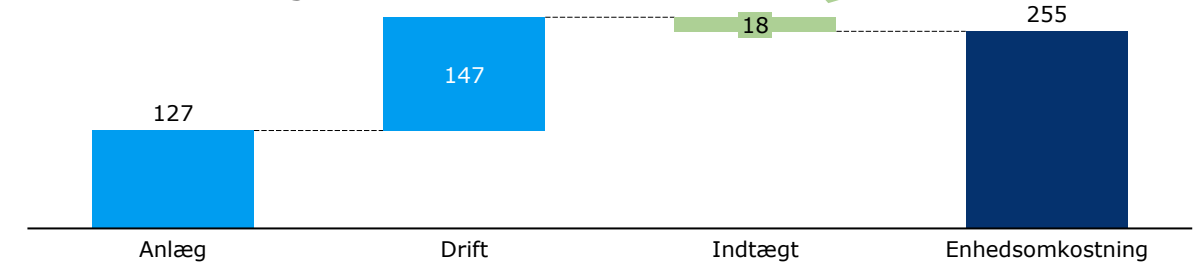
Dimensioneringen af infrastrukturen vil fra år 1 tage udgangspunkt i den fulde mængde, med henblik på at undgå en udvidelse af netværket. Da CO₂-mængderne i de første 10 år vil være lavere, vil det betyde at enhedsomkostningen per ton CO₂ vil stige fra 218 til 255 kr.

Dette understreger vigtigheden af at opnå en enighed om, hvornår de forskellige CO₂-leverandører tilkobles, og at man i et ideelt scenarie ønsker at alle leverancerne starter og slutter i det samme år.

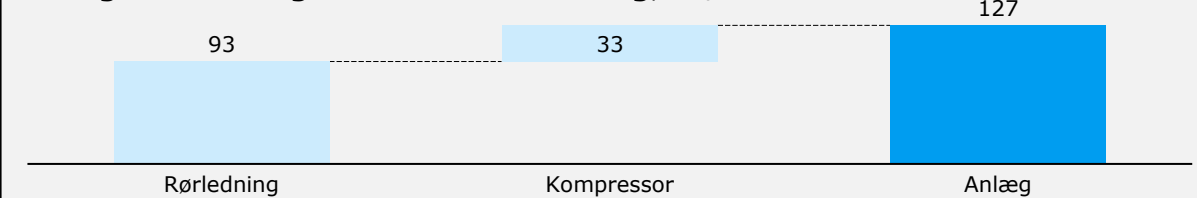
Anlægs- og driftsomkostninger, mio. kr.



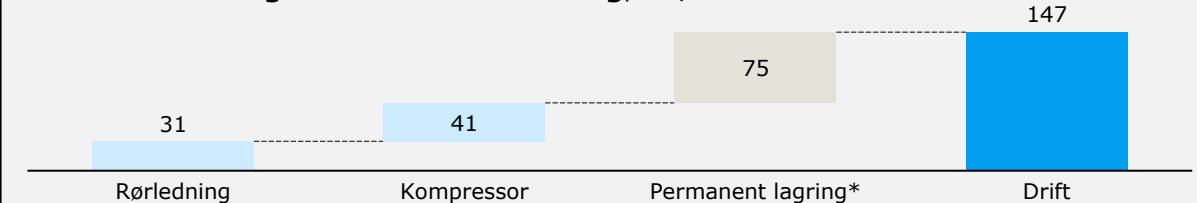
Enhedsomkostning, kr./ton



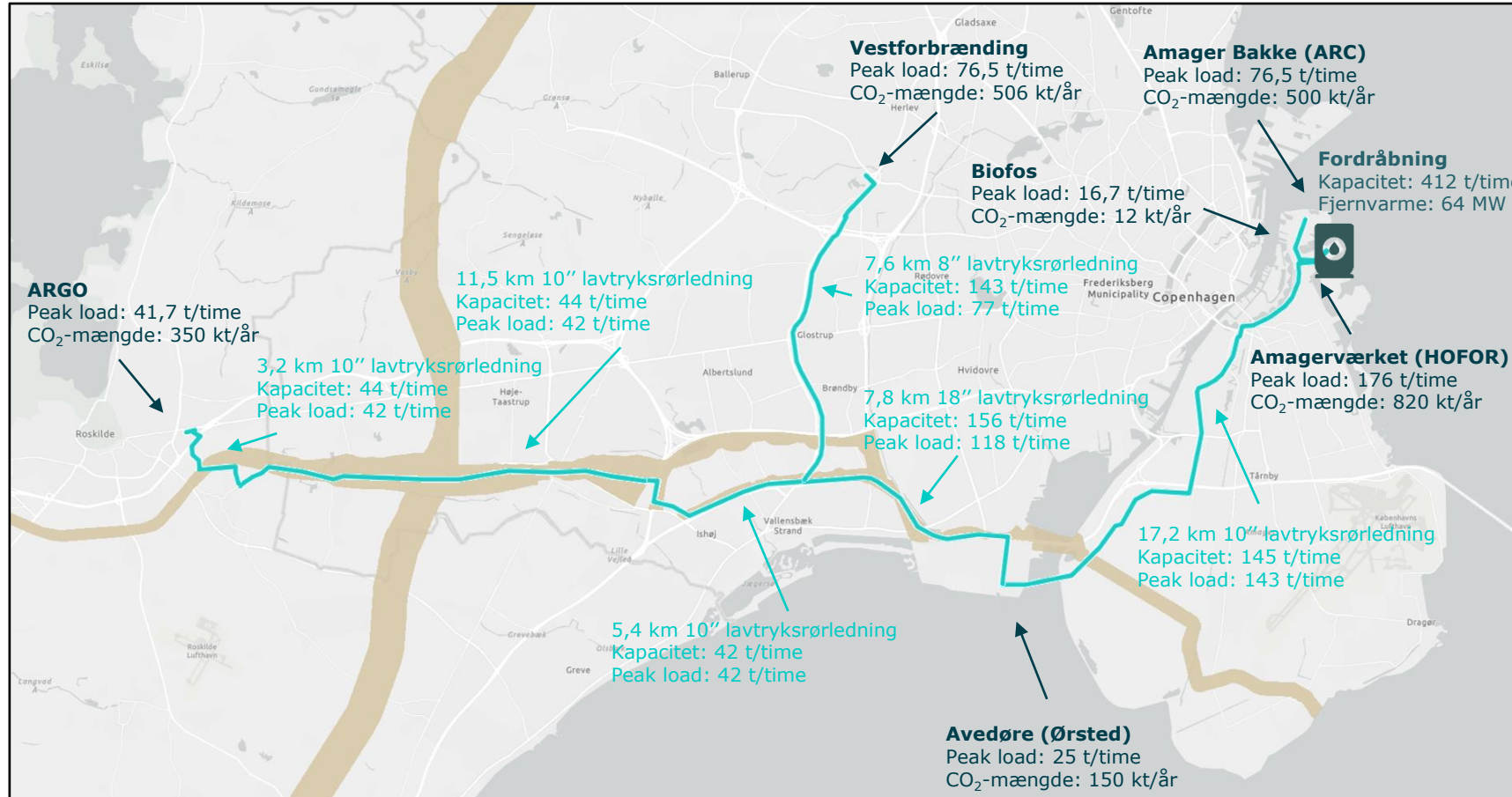
Anlægsomkostninger i enhedsomkostning, kr./ton



Driftsomkostninger i enhedsomkostning, kr./ton



Scenarie 4 | En fælles rørledning mod CMP for udskibning til offshore lagring



● CO₂-leverandør ● Rørledning ● Fordråbning

Scenarie 4

I scenarie 4 vil alle 6 CO₂-leverandører ligeledes være inkluderet, men her vil rørledningen transportere CO₂ mod CMP for udskibning til et offshore lager.

Alle rørledningerne vil være lavtryksrør, og der vil derfor ikke være nogle kompressorstationer til at skabe en indtægt. Der vil dog være et fælles fordråbningsanlæg på havnen, der vil være integreret med fjernvarmen og derigennem skabe en indtægt.

Der vil yderligere være et mellemlager placeret på havnen til opbevaring af den flydende CO₂, men det venter på at blive udskibet.

Det forventes at der årligt vil blive transporteret 2,3 mio. tons CO₂ gennem infrastrukturen.

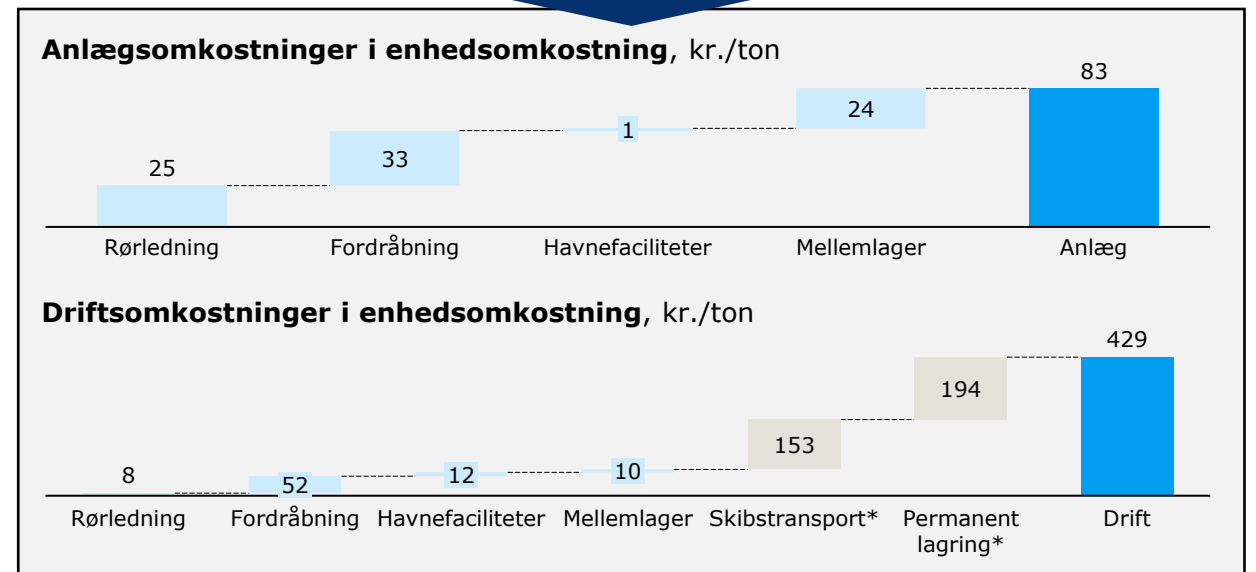
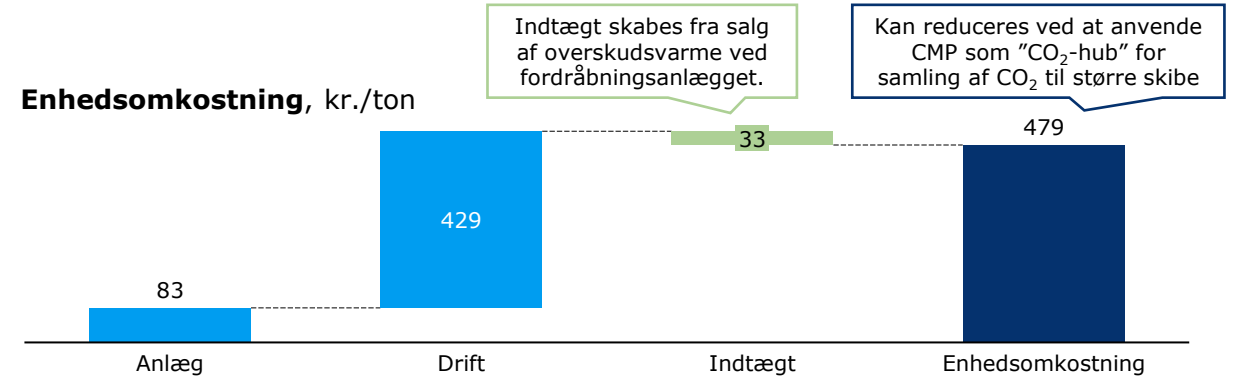
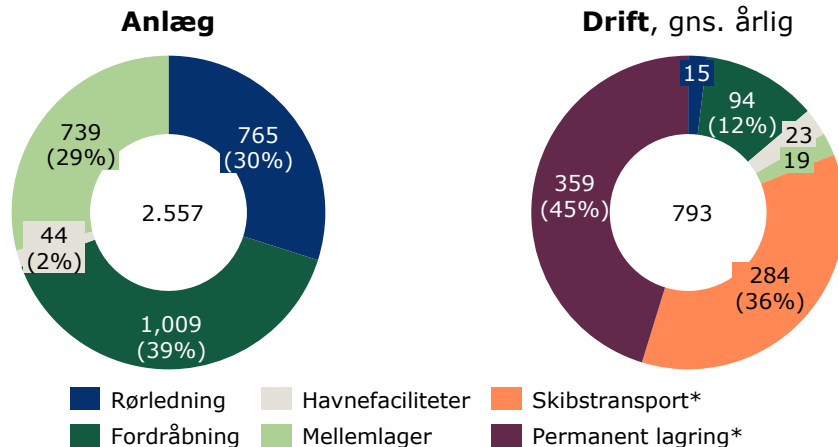
Scenarie 4 | En fælles rørledning mod CMP for udskibning til offshore lagring

Økonomiske resultater af scenarie 3A

I dette scenarie hvor CO₂ transporteres til CMP for udskibning, vil enhedsomkostningen være væsentlig højere end ved transport til Havnsø for onshore lagring. Dette skyldes en højere driftsomkostning, hvor skibstransport og permanent lagring udgør 81% af den gennemsnitlige årlige driftsomkostning.

Anlægsomkostningerne vil være lavere end scenarie 3, da rørledningerne vil være mindre samt der ikke er behov for kompressorstationer. Der vil dog i dette scenarie være en anlægsomkostning ved etablering af fordråbningsanlæg, mellemlager og havnefaciliteter ved CMP. Fordråbningsanlægget vil være integreret med fjernvarmen for derigennem at skabe en indtægt ved salg af overskydende varme.

Anlægs- og driftsomkostninger, mio. kr.



Konklusion | Et større netværk mod Havnsø med samtidig tilkobling vil være at foretrække



Større netværk medfører lavere omkostninger

- Der er klare skalafordele ved etablering af et større netværk, der inkluderer flere CO₂-leverandører.
- Marginalomkostningen til etablering af rørledninger, kompressorstationer og andet infrastruktur vil være faldende.
- Et større netværk, med flere leverandører, vil samtidig medføre en mindre risiko for overkapacitet, da der vil være en mindre afhængighed af den enkelte leverandør.



Simultan tilkobling vil være væsentligt

- For at undgå midlertidig overkapacitet i netværket, vil det kræve at CO₂-leverandørerne tilkobles netværket samtidigt.
- Alternativt skal der findes en afregningsmodel, der kan tage højde for forskellige tilkoblingstidspunkter, således at den enkelte CO₂-leverandør ikke bliver straffet for en midlertidig overkapacitet, der skyldes en forventning om en fremtidig tilkobling.



Retning mod Havnsø vil medføre laveste omk.

- Med nuværende viden, forventes omkostningerne til onshore storage at være lavere end for offshore storage, hvorfor Havnsø vil være at foretrække over udskibning til et offshore lager.
- Samtidig vil offshore storage betyde høje omkostninger til skibstransport, hvor det ikke i samme omfang vil være muligt at udnytte fordelene ved en fælles rørledning.

Resultater fra scenarieanalysen

Der er i denne analyse opstillet fire separate scenarier der hver i sær repræsenterer en potential udformning af en fælles CO₂-infrastruktur.

Resultaterne fra disse 4 scenarier er præsenteret nedenfor:

Scenarie	Enhedsomkostning ¹
Scenarie 1	543 kr./ton
Scenarie 2	227 kr./ton
Scenarie 3A	218 kr./ton
Scenarie 3B	255 kr./ton
Scenarie 4	479 kr./ton

Bilag

Bilag 1 | Oversigt over antagelser anvendt til at estimere omkostningerne i de scenarierne

Antagelser

Bag beregningerne for de forskellige scenarier ligger der en række antagelser, som er anvendt til at estimere omkostningerne. Antagelserne er så vidt muligt holdt konstante på tværs af de præsenterede scenarier. Nedenfor ses en oversigt over antagelserne anvendt i denne analyse.

Rørledning:

- Tab i tryk ved transport: 30 bar til 20 bar, 120 bar til 100 bar
- Standard rørdimensioner anvendes

Kompressorstation:

- Integrering med fjernvarmenet – lukket kredsløb kølemiddel (20% vægt monoethylenglycol vandig opløsning), luftkølere, fjernvarme kølemiddel
- Inkluderer reserve kompressor anlæg
- 80% af varmen genereret går til fjernvarme

Fordråbning (ved udskibning)

- Tryksætning til 15 barg
- Inkluderer reserve kompressor anlæg
- Integrering med fjernvarme

Permanent lagring

- Indsprøjtningshastighed: 3 Mtpa.
- Onshore lagring omkostning ved Havnsø
- Offshore lagring omkostning ved udskibning

Havnefaciliteter:

- En fortøjningsplads der bliver retrofittet
- Inkluderer reservepumpe til påfyldning på skib

Udskibning

- Årlige driftstimer per skib: 8.400 timer/år
- Kapacitet per skib: 7.500 tons i scenarie 1 og 13.000 tons i scenarie 4
- Forventet levetid for per skib: 40 år
- Tid for tur-retur sejlads: 100 timer
- Ekstra skibskapacitet på min. 10%
- Pris for marinediesel: 275 kr./MWh

Mellemlager:

- Minimum 100% buffer lagerkapacitet på havnearealerne

Andre antagelser

- Årlig inflation: 2%
- Diskonteringsrente: 5,5%
- Elpris følger Energistyrelsens KF23 fremskrivninger
- Fjernvarmepris: 210 kr./MWh

Faste årlige OPEX-omkostninger

- Rørledning: 2%
- Kompressor: 5%
- Fordråbning: 5%
- Mellemlager: 2,5%
- Konditionering: 5%
- Booster station: 5%

Bright
ideas.
Sustainable
change.

RAMBOLL