

Redegørelse

VOC emission fra udskibning af råolie Emissionsbegrænsende teknologi

A/S Dansk Shell – Shell Raffinaderiet Fredericia



Distribution: Miljøcenter Odense, DONG A/S, Mærsk Olie og Gas A/S,
R, RP, RT, DSE, RSM

Dato	Revision	Beskrivelse	Udarbejdet af [Ref. Indikator]	Godkendt af; [Ref. Indikator/Navn/Underskrift]
18.06.07	0	<i>Udkast</i>	RSM/HP	RT/JM
22.06.07	A	<i>Redegørelse</i>	RSM/HP	RT/JM
28.06.07	B	<i>Redegørelse</i>	RSM/HP	RT/JM
29.06.07	C	<i>Redegørelse</i>	RSM/HP	RT/JM

The copyright of this document is vested with A/S Dansk Shell, Shell-Refinery, Fredericia, Denmark. All rights reserved. Neither the whole nor any part of this document or software may be reproduced, stored in any retrieval system or transmitted in any form or by any means (electronic, mechanical, reprographic, recording or otherwise) without the prior written consent of the copyright owner.

A/S DANSK, SHELL-REFINERY, DENMARK.

0. Resume

Formålet med redegørelsen er, at undersøge mulige tekniske løsninger for reduktion af VOC emissionen.

I den indledende screening er teknologier baseret på vapour balancing, absorption, membraner og kondensering er i screeningsfasen valgt fra enten pga. relativ lav effektivitet, høje omkostninger eller begrænsninger i kapaciteten. Teknologi baseret på reduktion af flygtigheden er også udeladt, idet denne teknologi allerede er planlagt udnyttet.

Teknologier baseret på termisk oxidation og adsorption vha. kulfilter, med optimering i form af udnyttelse af spildvarme, er vurderet nærmere mht. økonomi og miljø. Endvidere er muligheden for udnyttelse af dampgenvindingsanlæg på skibe undersøgt. Denne løsning viste sig uforholdsmæssigt dyr.

Økonomi og miljø-påvirkning er beregnet for to scenarier baseret på Energistyrelsens prognoser for råolieproduktionen i Nordsøen. Dette betyder projektlevetider på henholdsvis 14 og 30 år.

Teknologien baseret på termisk oxidation, incinerator med varmegenvinding, er identificeret som den foretrukne løsning.

For scenariet med 30 års levetid er de økonomiske nøgletal for miljø og økonomi som skitseret herunder.

De akkumulerede omkostninger beløber sig til 41,9 mill. DKK. Svarende til en omkostning på 649 DKK pt. ton reduceret VOC-emission. Baseret på CO₂-udledningen bliver det tilsvarende tal 144 DKK/ ton CO_{2(ækv)}. Til sammenligning haves marginal omkostning på 3.715 DKK/ton VOC_{red.}, oplyst i rapport udarbejdet for EU kommissionen, samt en kvote pris på 180 DKK/ton CO₂ baseret på Energistyrelsens tal i den Nationale Allokerings Plan.

Den miljømæssige gevinst er en reduktion på 64.496 ton VOC for perioden, efterladende en udledning på 1.316 ton VOC. Dette svarer til en årlig reduktion på 2150 ton VOC/år.

Udledningen regnet i CO_{2(ækv)} reduceres med 290.864 ton i perioden.

Implementering af teknologien forventes at kunne gennemføres på 3 år, forudsat at enkelte strukturelle og afgiftsmæssige problemstillinger kan løses.

Estimaterne er dog forbundet med nogen usikkerhed, ligesom design basis for et VOC-begrænsende anlæg på havneterminalen er usikker, indtil degassing-anlægget er idriftsat. Det har således også tidligere været Vejle Amts holdning, at afvente yderligere tiltag på havneterminalen indtil degassing anlæggets effektivitet er fastlagt.

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	4
1.1	Baggrund og formål	4
1.2	Introduktion	4
1.3	Afgrænsning	5
2	VOC begrænsende teknologier	6
2.1	Genvindingsanlæg på land	6
2.1.1	Reducere flygtigheden	6
2.1.2	Vapour balancing	6
2.1.3	Oxidation	6
2.1.4	Absorption	7
2.1.5	Adsorption	7
2.1.6	Membran separation	7
2.1.7	Kondensering	8
2.2	Genvindingsanlæg på skib	8
2.3	Diskussion	8
3	Strukturelle begrænsninger i Fredericia	10
3.1	Genvinding som energi	10
3.2	Genvinding som kulbrinter	10
4	Aktuelle løsninger for Skanseodden	11
4.1	Beregningsforudsætninger	11
4.2	Økonomi og miljø	13
4.3	Foretrukken teknologi	16
4.4	Implementering	17
5	Konklusion	19

1 Indledning

1.1 Baggrund og formål

I forbindelse med revurdering af miljøgodkendelsen for operation af Skanseodden har Vejle Amt i brev af 6. december 2006 udbedt sig en række redegørelser. Nærværende redegørelse behandler mulige tekniske løsninger til nedbringelse af VOC emissionen fra udskibning af råolie.

Formålet med redegørelsen er, at undersøge mulige tekniske løsninger for reduktion af VOC emissionen. Teknikkerne vil blive vurderet med henblik på deres anvendelighed på Skanseodden.

1.2 Introduktion

Der anløber årligt omkring 140 råolieskibe ved Skanseodden i Fredericia. Alle for eksport af råolie fra de danske felter i Nordsøen. Den typiske laststørrelse er 630.000 bbl, svarende til ca. 100.000 m³. Når råolien lastes til skibene fortrænges tilsvarende mængder luft fra lastrummene. Der lastes pt. maksimalt 5500 m³/time, mens der ved drift med VRU, potentielt vil kunne lastes op til 7000 m³/time. Fortrængningsluften består af en blanding af luft, inert gas og kulbrentedampe (VOC). Fortrængningsluften er hidtil ledt til atmosfære.

Der har tidligere været undersøgt mulig begrænsning af VOC emissionen fra lastning af råolie. Dengang blev Vejle Amt, DONG og Shell enige om, at se på den samlede VOC emission fra råoliehåndteringen i Fredericia. Baggrunden var, at VOC problematikken drejer sig om regional forurenings problematik. Dette førte til udvikling af et projekt til stabilisering af råolien, i daglig tale degassing-anlægget. Anlægget forventes idriftsat i år 2008. Reduktions potentialet var langt større ved at angribe problematikken ved "kilden" frem for isoleret set på Skanseodden. Designbasis for anlægget var en maximal råolieproduktion på 370.000 bbl/d fra Nordsøen, svarende til en årligt udskibet mængde på godt 16 mio. m³. For produktionen på 370.000 bbl/d blev den totale VOC emission fra råolietanke og udskibning estimeret til 14.617 ton VOC/år, hvor bidraget fra udskibningen bidrog med 5.654 ton VOC /år.

Den forventede reduktion i VOC emissionen, som følge af idriftsættelse af degassing-anlægget er estimeret til 10.335 ton på årsbasis. Reduktionen af VOC-emissionen fra udskibning af råolien på havnen er beregnet til 26%, efterladende en emission på 4.180 ton VOC/år ved maksimal råolieproduktion. Disse estimater er dog forbundet med nogen usikkerhed, ligesom design basis for et VOC-begrænsende anlæg på havneterminalen er usikker, indtil degassing-anlægget er idriftsat. Det har således også tidligere været Vejle Amts holdning, at afvente yderligere tiltag på havneterminalen indtil degassing anlæggets effektivitet er fastlagt

Til sammenligning kan nævnes at den årlige VOC-emission i Danmark i 2004 var estimeret til 389.499 ton, fordelt på 273.000 ton metan og 116.499 ton nmVOC (non-metan-VOC).

1.3 Afgrænsning

Redegørelsen er begrænset til at omhandle VOC emissionen i forbindelse med udslibning af råolie. Øvrige VOC emissioner fra havneterminalen er dels behandlet i den miljøtekniske beskrivelse, dels i redegørelsen vedr. BAT.

2 VOC begrænsende teknologier

VOC begrænsende teknologier kan installeres på land og ombord på skibene. I nærværende afsnit gives en generel introduktion til forskellige teknologier til begrænsning af VOC emission. En summarisk sammenstilling findes i tabel 1.

I afsnit 4 gennemgås udvalgte teknologier mere detaljeret i relation til økonomi og miljø med henblik på mulig installation på Skanseodden.

2.1 Genvindingsanlæg på land

Kulbrinterne i fortrængningsgassen fra skibene kan enten begrænses på forhånd, afbrændes med eventuel varmegenvinding eller genvindes som en koncentreret kulbrinte strøm i flydende form. I nærværende afsnit gennemgås mulige landbaserede teknologier til genvinding af kulbrinter.

2.1.1 Reducere flygtigheden

Mængden af VOC der frigives under lastning er bl.a. afhængig af sammensætningen af produktet, som lastes. En reduktion af flygtigheden af råolien vil således bidrage til en reduceret VOC udledning. Teknologi tager hånd om problemstillingen ”ved kilden” og begrænser dermed VOC emissionen fra alle led i råoliehåndteringen. Teknologi reducerer hele spektret af VOC komponenter, med overvægt på de letteste komponenter. Det er nærværende princip, som anvendes i degassing anlægget, som er under opførelse ved DONGs faciliteter på Egeskovvej i Fredericia.

2.1.2 Vapour balancing

Vapour balancing er en metode, hvor returdampe fra skibene ledes tilbage til den tank, der lastes fra. Metoden forudsætter, at der lastes fra fasttagstank eller grotte, hvilket ikke er tilfældet i Fredericia.

2.1.3 Oxidation

Til termisk oxidation af VOC findes forskellige teknikker fra et simpelt flammetårn til katalytisk oxidation. Et simpelt flammetårn har visse ulemper med hensyn til støj- og lys påvirkning af de nærmeste omgivelser. Katalytisk oxidation kan anvendes til efterbehandling, men anvendes normalt ikke til så høje design flow, som er aktuelt på Skanseodden. Termisk oxidation i en indkapslet flare er imidlertid en metode, som er vidt udbredt i USA til kontrol af VOC emissionen fra lastning af skibe.

Ved termisk oxidation kan opnås en omdannelse på ca. 98% af den samlede VOC udledning. Afhængig af fortrængningsluftens sammensætning kan der i perioder være behov for støttebrændsel. Teknologien kan eventuelt kombineres med energiudnyttelse.

Der er specielle sikkerhedsmæssige aspekter at iagttage ved tilkobling af skib til en forbrændingsenhed.

2.1.4 Absorption

Ved absorption ledes fortrængningsluften fra skibet til bunden af en pakket kolonne, hvor den kontaktes i modstrøm med en kølet væskestrøm (absorbent). Kulbrinter fra fortrængningsluften absorberes i væsken, mens den overskydende strøm ledes til atmosfære. Absorbenten ledes til en stripperkolonne, hvor den regenereres. Herved frigives en opkoncentreret kulbrintestrøm, som enten absorberes i en kompatibel væskestrøm eller afbrændes.

Teknologiens effektivitet afhænger af kulbrinte koncentrationen i fortrængningsluften – jo højere koncentration jo højere effektivitet. Ved genvinding med absorption opnås typisk en effektivitet på 70%.

Der sker kun ringe absorption af C1, C2 og til dels C3.

2.1.5 Adsorption

Ved adsorption ledes fortrængningsluften gennem beholdere pakket med aktivt kul. Kulbrinter adsorberes herved på det aktive kul. Den overskydende strøm ledes til atmosfære. Det aktive kul mættes gradvist med kulbrinter. Før fuldstændig mætning regenereres kullene ved at trække vakuum vha. en væskeringspumpe og skylle med en mindre luftstrøm. Herved frigives en opkoncentreret kulbrintestrøm. Denne strøm absorberes efterfølgende i en kompatibel væske.

For at kunne operere kontinuerligt kræves min. to beholdere med aktivt kul. Adsorption er en velkendt teknologi anvendt til dampgenvinding af VOC fra benzin håndtering. Teknologien er først de senere år udviklet til dampgenvinding fra råolie. Såfremt teknologien anvendes i råolieservice, kræves installering af en svovl-guard-bed opstrøms selve adsorptionsanlægget for at undgå forgiftning af de aktive kul.

Adsorption af kulbrinter til aktivt kul er en exoterm proces, der er derfor risiko for udvikling af hot-spots i kulbeholderne.

Teknikken er ikke velegnet til genvinding af C1 og C2 og i begrænset omfang C3. Der kan typisk opnås en genvindingsgrad på 80%.

Ved kombination med anden teknologi til behandling af rest VOC, kan opnås en genvindingsgrad på op til 99%

2.1.6 Membran separation

Ved membran separation ledes fortrængningsluften over en semipermeabel membran, hvor de organiske molekyler passerer membranen, mens uorganiske forbindelser tilbageholdes. Trykforskellen over membranen opretholdes enten ved kompression af den indgående strøm eller ved at trække vakuum på permeat-siden med en vakuum pumpe. Den opkoncentrede kulbrintestrøm absorberes efterfølgende i en kompatibel væske. Membraner i denne type service anvendes normalt ikke ved så store designflow.

Teknikken opfanger ikke H₂S, som derfor ledes ud med den overskydende luftstrøm.

2.1.7 Kondensering

Kondensering kan dels ske ved nedkøling dels ved komprimering. Kondensering er en meget energikrævende proces og vil umiddelbart være mest oplagt ved mulighed for synergi med eksisterende forbrug af flydende kvælstof i større mængder.

Ved kondenseringen genvindes ikke C1 og C2.

2.2 Genvindingsanlæg på skib

I Norge er der de senere år satset meget på udvikling af VRU-anlæg til installation på skibe. Den nyeste teknologi giver mulighed for så godt som 100% reduktion af VOC emissionen i forbindelse med lastning. Den del af VOC'en, som ikke kan genvindes, udnyttes som støttebrændsel i den kedel, som producerer damp til drift af VRU'en.

Udviklingen er drevet af kravet fra de Norske miljømyndigheder om reduktion af VOC emissionen fra de Norske offshore felter. Ifølge vore oplysninger er der således en meget begrænset flåde med VRU ombord, hvoraf de fleste (hvis ikke alle) sejler i langtidscharter på den Norske kontinentalsokkel. Senest har olieselskaberne i Norge opnået forlængelse af implementeringsfristen mht. 80% lastning med VRU på offshore installationer. Årsagen er at man ikke ønsker at investere unødigt i VRU anlæg, som over en kort årrække vil blive overflødige pga. dalende olieproduktion fra de norske felter. På den basis vurderes det, at der ikke pt. er skibe til rådighed med VRU installeret.

2.3 Diskussion

På basis af den generelle gennemgang af VOC begrænsende teknologier udvælges her enkelte teknologier til yderligere gennemgang, med henblik på mulig anvendelse på Skanseodden.

Følgende teknologier udelades ved den videre gennemgang:

- Reducere flygtigheden, da denne teknologi installeres (ved rålieterminalen på Egeskovvej) og idriftsættes i år 2008.
- Absorption, da denne teknologi sammenlignet med Adsorption har en sammenlignelig investeringsomkostning, men til gengæld har et langt højere energiforbrug kombineret med en ringere genvindingsgrad.
- Membranteknologien, da den ikke er velegnet til så store designflow.
- Kondensering, vil kun blive behandlet i forbindelse med anlæg på skibe, da det er en proces med et uforholdsmæssigt stort energibehov. Der ikke er nogen mulighed for synergieffekt på Skanseodden.

Følgende teknologier vurderes med hensyn til økonomi og miljøeffekter i afsnit 4:

- Termisk oxidation i indkapslet flare, da det er en enkel teknik. Teknikken er vidt udbredt i USA. Investeringsomkostninger er forholdsvis lave og omdannelsen høj.
- Termisk oxidation i incinerator med varmegenvinding, da det er en teknik, med høj omdannelse, hvor VOC'en kan udnyttes i form af energi.
- Adsorption vha. aktivt kul, da dette er den teknik, til genvinding af VOC i form af flydende kulbrinter, som tilbyder den bedste genvindingsgrad, og kan anvendes til høje designflow.
- Seneste skibsteknologi, da dette er en integreret løsning, som tilbyder høj reduktionsgrad.

Redegørelse vers. C

Teknologi	Oxidation	Oxidation m. varmegenvinding	Væske absorption	Aktiv kul adsorption	Membran separation	Kondensering	Hamworthy
Effektivitet inkl. C1, C2, C3	98 %	98 %	70 %	80 %	85 %	60 %	99,9 %
Generelt	Omdanner også H2S Sikkerhedsmæssige aspekter mht. tilkobling til skib Behov for støttebrændsel i en del af lasteperioden	Omdanner også H2S Sikkerhedsmæssige aspekter mht. tilkobling til skib Behov for støttebrændsel i en del af lasteperioden.	Injektion af metanol for at forhindre opfrysning. Begrænset effektivitet overfor C1, C2 og til dels C3.	Behov for svovlguard bed for kontrol af H2S og SO2. Begrænset effektivitet overfor C1, C2 og til dels C3. Behov for blæser til at lede fortrængningsluften i land. Bedre effektivitet kan kun opnås ved yderligere behandling af offgassen fra processen.	H2S passerer Stor energi tilførsel med efterfølgende kølebehov. Begrænset effektivitet overfor C1, C2 og til dels C3	Begrænset effektivitet overfor C1 og C2.	Bygger på kondensering. Også effektiv overfor C3-, idet det anvendes som brændsel internt i VRU.
Afledte miljøeffekter	CO ₂ udledning	CO ₂ udledning	Metanol i drænvand.	Bortskaffelse af kul.	Energibehov	Stort energibehov	
Kapacitetsbegrænsninger		Buffertank (energi) til at udligne periodisk drift.	Karakter og tilgængelighed af absorbent	Paralleldrif	Anvendes typisk ved væsentlig mindre designflow. Størrelse af kompressor eller væskeringspumpe.	Kølebehov	Antallet af råolieskibe med VRU installeret
Indikativ CAPEX	Lav	Mellem	Høj	Høj	Mellem	Høj	Høj
Indikativ OPEX	Høj	Høj	Høj	Mellem	Høj	Høj	Høj
Fordele	Omdanner også de letteste kulbrinter. Høj omdannelse	Omdanner også de letteste kulbrinter. Høj omdannelse Energiudnyttelse	Genvinder kulbrinter	Genvinder kulbrinter	Genvinder kulbrinter	Genvinder kulbrinter	Genvinder kulbrinter

Tabel 1: Teknologier til reduktion af VOC emission

3 Strukturelle begrænsninger i Fredericia

Skanseodden ligger i bynært område og ca. 5 km fra raffinaderiet. Placeringen medfører visse strukturelle begrænsninger i forbindelse med genvinding af VOC, både i form af energi og i form af kulbrinter. Endvidere er der et hensyn at tage til den bynære beliggenhed, når der installeres nye anlæg på Skanseodden, både vedrørende miljø og risikovurdering. Her vil en ændret anvendelse af Kemiragrunden muligvis få væsentlig betydning for fremtidige installationer.

3.1 Genvinding som energi

Såfremt VOC'en genvindes i form af energi, opstår et behov for afsætning af denne energi. Skanseodden ligger ikke i umiddelbar nærhed af svær industri, hvor større mængder energi kan udnyttes. Internt på havneterminalen er ligeledes et beskedent energiforbrug. Den eneste mulighed for afsætning er til fjernvarmenettet, TVIS. Her er imidlertid nogle problemstillinger, som kræver yderligere afklaring. TVIS kan pt. ikke aftage mere varme i lavsæsonen. Hvilket efterlader et kølebehov i denne periode, eller stiller specielle krav til design, så udstyret kan drives uden varmegenvinding i perioder. Udnyttelsen til fjernvarmenettet vanskeliggøres endvidere af, at der er tale om diskontinuerlig drift. Denne problemstilling kan muligvis løses ved installation af en akkumuleringstank.

3.2 Genvinding som kulbrinter

Genvindes VOC'en som kulbrinter, er der flere potentielle løsninger. Kulbrinterne kan enten absorberes i en kero eller gasoliestrøm og pumpes til raffinaderiet for videre behandling. Denne løsning vil imidlertid kræve installation af lagertank på havneterminalen til opbevaring af absorbent. Endvidere vil løsningen optage kapacitet både i en rørledning til raffinaderiet, samt i procesanlæggene.

Alternativt kan VOC'en absorberes i råolie. Om dette er en mulig løsning, kræver et uddybende studie af råoliens karakter. Der kan være behov for køling af absorbenten. Såfremt de genvundne kulbrinter kan reabsorberes i råolien, kan de ledes retur til skib.

4 Aktuelle løsninger for Skanseodden

4.1 Beregningsforudsætninger

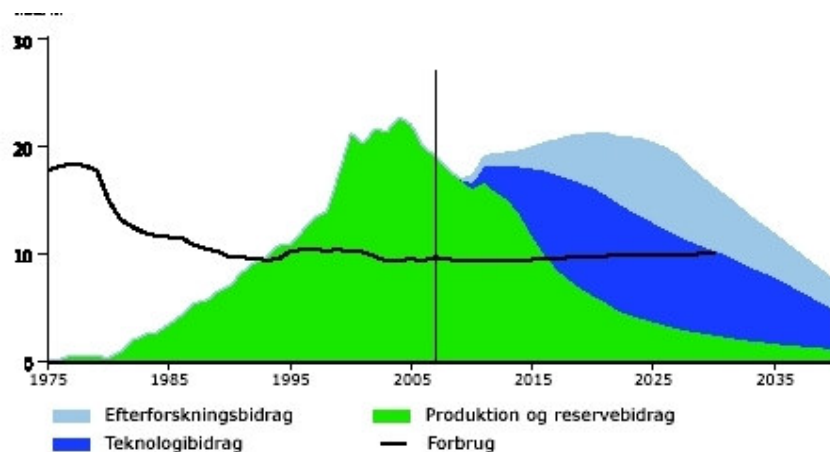
Til vurdering af økonomi og miljøbelastning for de alternative løsningsmuligheder er valgt to scenarier baseret på produktionsprognoser for råolieproduktionen i den danske del af Nordsøen. Prognosen for mængden af udskibet råolie beregnes ved at fratække 65.000 bbl/d fra prognosen for råolieproduktionen. De 65.000 bbl/d svarer til Shell raffinaderiets forbrug af råolie. I figur 1 ses en grafisk fremstilling af de nyeste prognoser, som blev offentliggjort d. 14. juni 2007 af Energistyrelsen.

Scenarium 1 er baseret på produktionsprognosen for reservebidraget alene. Ifølge denne prognose vil udskibning af råolie fra Skanseodden ophøre i år 2024.

Scenarium 2 er baseret på produktionsprognosen for reservebidraget plus teknologibidraget. Ifølge disse tal vil udskibning af råolie fra Skanseodden ophøre omkring år 2040.

Der er således tale om projektlevetider på henholdsvis 14 og 30 år.

Prognoserne er svagt overestimeret da de tilgængelige data inkluderer produktionen fra Hess Consortiet, som ikke ledes til Fredericia.



Figur 1: Energistyrelsens prognoser for produktion af råolie fra de danske felter i Nordsøen. (Juni 2007)

Tal for forventet VOC emission er baseret på rapporten : "Danish Oil and Natural Gas (DONG), VOC emission in the Fredericia Area, Final Report, May 19 2005" udarbejdet af Entec UK Limited og Tractebel Gas Engineering. Rapporten er udarbejdet i forbindelse med udvikling af Degassing-projektet, og dermed det bedste estimat vi har for fremtidig VOC emission. Det skal dog bemærkes, at beregning af emission ved udskibning af råolie er behæftet med stor usikkerhed. Det oplyses, at den anvendte metode ventes at estimere med en usikkerhed på +/- 30 %. I rapporten er VOC emissionen baseret på maksimal produktion fra Nordsøen. VOC emissionen for scenarium 1 og 2 er fundet ved interpolering. Data fremgår af tabel 2.

VOC emission fra udskibning af råolie efter idriftsættelse af degassing-anlægget.	Bidrag fra udskibning uden VOC begrænsende teknologi på Skanseodden		
	Max. udskibning 16.744.794 ton råolie/år	Scenarium 1 (2011-2024)	Scenarium 2 (2011-2040)
Emission, total VOC, ton/år	4.180	1.387	2.194
Fordelt på metan, ton/år	610	202	320
Fordelt på nmVOC, ton/år	3.570	1.185	1.874
Emission CO _{2(ækv)} , ton/år	23.515	7.805	12.341

Tabel 2 : VOC emission fra råolielastning, efter opstart af degassinganlæg (nmVOC = VOC eksklusiv metan)

Der vil således være en samlet VOC emission i perioden for scenarium 1 og 2 på henholdsvis 19.425 ton VOC og 65.812 ton VOC og en samlet CO_{2(ækv)}-emission på henholdsvis 109.274 ton og 370.225 ton. .

Til vurdering af kapitalinvesteringernes størrelse (CAPEX) er indhentet indikative priser fra leverandører baseret på en lasterate på 7.000 m³/h. Disse priser ekskluderer udgifter til fundering, hjælpeanlæg, projektudvikling, tilkobling til skib og tilpasning til Shells Design Engineering Practices (DEP). Derfor er de oplyste kapitalinvesteringer ganget med 2 og anvendt som beregningsgrundlag.

Driftsomkostninger (OPEX) er beregnet på basis af oplysninger fra rapporten ”Measures to Reduce Emissions of VOCs during Loading and Unloading of Ships in the EU” udarbejdet af AEA Technology for EU kommissionen, tallene dækker udgifter til drift og vedligehold, dog eksklusiv udgifter til eventuelt forbrug af støttebrændsel og udgifter til aktivt kul. Disse tal er derfor lagt til, ligesom indkomst i forbindelse med salg af varme er godskrevet.

Forbrug af støttebrændsel for indkapslet flare er estimeret til 1 ton propan pr. udskibning. Samme tal er anvendt for de øvrige teknologier med forbrænding. Prisen for brændsel er sat til 390\$/ton propan, svarende til 2.246 DKK/ton. Prisen er baseret på en råoliepris på 50\$/bbl (Brent dated).

Ved beregning på løsninger med varmegenvinding er det antaget, at varmen kan afsættes til TVIS i 9 måneder om året. Prisen efter skat er konservativt sat til 10 DKK/GJ. Der regnes med en effektivitet på 65%. Brændværdien for gassen er sat til 46 GJ/ton. Udgifter til eventuelle CO₂-kvoter er ikke medregnet.

Ved beregning på løsninger med adsorptionsteknologi er antaget, at den genvundne VOC kan reabsorberes i råolien. Omkostninger til udskiftning af kul er sat til 500.000 DKK/år.

Estimaterne må betragtes som +/- 50% estimater.

Ved beregning af udledningen af CO₂-ækvivalenter (CO_{2(ækv)}) er medtaget bidrag fra forbrænding af VOC og støttebrændsel, samt bidrag fra udledning af metan og nmVOC. CO₂ udledningen svarende til den eksporterede varme er godskrevet. For metan er anvendt en CO₂-ækvivalent faktor på 21, mens der for nmVOC er anvendt en faktor 3. Ved forbrænding er antaget at det er metan der passerer uforbrændt. CO₂ bidrag fra elforbrug er ikke medtaget.

4.2 Økonomi og miljø.

De i afsnit 2 identificerede teknologier er blevet vurderet med henblik på økonomi og miljømæssige effekter. Der er således udført beregninger for følgende løsningsmodeller:

- Termisk oxidation i indkapslet flare
- Termisk oxidation i incinerator med varmegenvinding
- Adsorption vha. aktivt kul
- Adsorption med efterfølgende forbrænding af rest VOC.
- Adsorption med efterfølgende forbrænding af rest VOC og varmegenvinding
- Seneste skibsteknologi udviklet af Hamworthy

Den samlede omkostning i perioden er beregnet for scenarierne 1 og 2 er præsenteret i henholdsvis tabel 3 og 4.

For scenarium 1 varierer de samlede omkostninger fra 22 mill. DKK til 101 mill DKK for landbaserede anlæg.

For skibsbaseret anlæg er kapitalinvesteringen 173 mill DKK. De høje omkostninger skyldes, at der pt. ikke er overkapacitet af skibe med VRU installeret. Denne løsning vil derfor kræve installering af nye VRU anlæg på det antal skibe, som betjener Fredericia. Det vil sige minimum 3 anlæg. Løsningen vil på grund af de høje omkostninger ikke blive videre behandlet.

For scenarium 2 varierer de samlede omkostninger fra 28 mill DKK til 114 mill DKK.

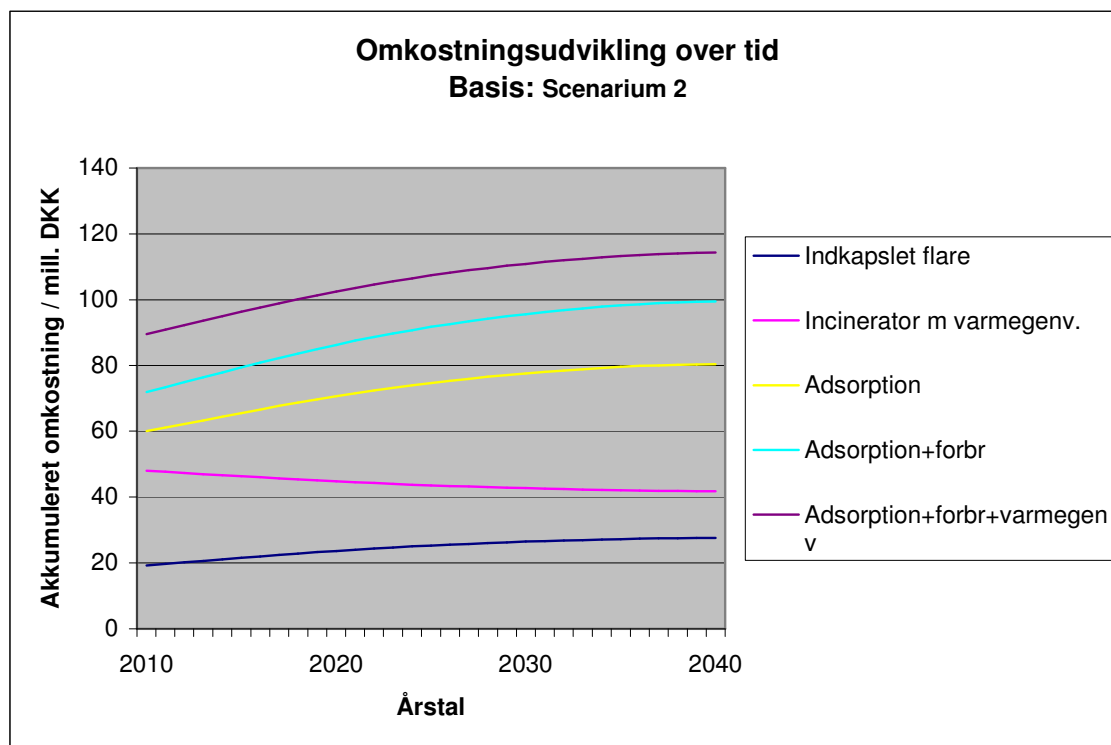
Scenarium 1 (2011-2024)			
Teknologi	CAPEX/mill. DKK	OPEX/mill. DKK	Samlet omkostning mill. DKK
Indkapslet Flare	19,3	2,9	22,2
Incinerator m. varmegenvinding	48,0	-1,4	46,6
Adsorption	60,0	9,5	69,5
Adsorption m. forbrænding	71,9	11,8	83,7
Adsorption m. forbrænding og varmegenvinding	89,6	11,0	100,6
VRU på skib	172,8	i.o.	i.o.

Tabel 3: Oversigt omkostninger Scenarium 1

Scenarium 2 (2011-2040)			
Teknologi	CAPEX/DKK	OPEX/DKK	Samlet omkostning mill. DKK
Indkapslet Flare	19,3	8,3	27,6
Incinerator m. varmegenvinding	48,0	-6,2	41,9
Adsorption	60,0	20,4	80,4
Adsorption m. forbrænding	71,9	27,6	99,4
Adsorption m. forbrænding og varmegenvinding	89,6	24,8	114,3
VRU på skib	172,8	i.o.	i.o.

Tabel 4: Oversigt omkostninger Scenarium 2

I figur 2 ses en grafisk fremstilling af omkostningernes udvikling over tid for de forskellige teknologier. Det ses at teknologien incinerator med varmegenvinding har dalende akkumulerede omkostninger, hvilket favoriserer teknologien ved lang projektlevetid.



Figur 2: Omkostningsudvikling over tid baseret på scenarium 2.

I tabellerne 5 og 6 er de økonomiske data udtrykt, som omkostning i DKK pr ton reduceret emission både for VOC (VOC_{red}) og $CO_{2(\text{ækv})}$. Tallene er sammenstillet med miljødata for VOC- og CO_2 -udledning.

Omkostningerne udtrykt som DKK/ton VOC_{red} . varierer for scenarium 1 mellem 1.165 DKK/ton og 5.230 DKK/ton. For scenarium 2 ligger omkostningerne mellem 428 – 1.755 DKK/ton VOC_{red} .

I dokumentet "Measures to Reduce Emissions of VOCs during Loading and Unloading of Ships in the EU" udarbejdet af AEA Technology er angivet en marginal omkostning for reduktion af VOC emission på 500 EUR/ton VOC svarende til 3715 DKK/ton. Ses på scenarium 1 falder kun "indkapslet flare" og "incinerator med varmegenvinding" under denne grænse. Ved længere projektlevetid (scenarium 2) falder alle de undersøgte teknologier under denne grænse.

Omkostningerne udtrykt som DKK/ton reduceret CO_{2(ækv)}-udledning varierer for scenarierne mellem 144 og 1.824 DKK/ton CO_{2(ækv)}. Til sammenligning kan nævnes at CO₂-kvoteprisen i den Nationale AllokeringsPlan for Danmark (2007) er estimeret til 180 DKK/ CO₂-kvote. Det er således kun incinerator m. varmegenvinding, som falder under denne grænse.

Teknologi	Scenarium 1 (2011-2024)					
	Omkostninger, DKK/ton VOC _{red}	Reduceret VOC emission, ton i perioden	Aktuel VOC emission, ton i perioden	Omkostninger, DKK/ton CO _{2(ækv, red)}	Reduceret CO _{2(ækv)} udledning, ton i perioden	Aktuel CO _{2(ækv)} udledning, ton i perioden
Indkapslet flare	1.165	19.036	388	524	42.349	66.925
Incinerator m. varmegenvinding	2.449	19.036	388	543	85.850	23.424
Adsorption	4.475	15.540	3.885	1.824	38.119	71.154
Adsorption m. afbrænding	4.354	19.230	194	913	91.751	17.522
Adsorption m. afbrænding, og varmegenvinding	5.230	19.230	194	975	103.141	6.133

Tabel 5: Scenarium 1: Omkostninger i DKK pr. ton reduceret emission, sammenholdt med data for VOC- og CO_{2(ækv)}-emission.

Teknologi	Scenarium 2 (2011-2040)					
	Omkostninger, DKK/ton VOC _{red}	Reduceret VOC emission, ton i perioden	Aktuel VOC emission, ton i perioden	Omkostninger, DKK/ton CO _{2(ækv, red)}	Reduceret CO _{2(ækv)} udledning, ton i perioden	Aktuel CO _{2(ækv)} udledning, ton i perioden
Indkapslet flare	428	64.496	1.316	193	143.481	226.744
Incinerator m. varmegenvinding	649	64.496	1.316	144	290.864	79.360
Adsorption	1.528	52.649	13.162	623	129.150	241.074
Adsorption m. afbrænding	1.526	65.154	658	320	310.858	59.366
Adsorption m. afbrænding, og varmegenvinding	1.755	65.154	658	327	349.446	20.778

Tabel 6: Scenarium 2: Omkostninger i DKK pr. ton reduceret emission, sammenholdt med data for VOC- og CO_{2(ækv)}-emission.

Der er ikke entydig sammenhæng mellem omkostning og emissioner.

Adsorption (alene) udleder den største mængde VOC og CO_{2(ækv)} til atmosfæren. Baggrunden er, at adsorption ikke reducerer udledningen af de letteste komponenter, herunder metan. Samtidig ligger omkostningerne på 4.475 DKK/ton VOC_{red} (sc. 2: 1.528 DKK/ton VOC_{red}), hvilket er næsthøjeste værdi for de sammenlignede teknologier. Kombinationen af forholdsvis ringe emissionsreduktion og høje omkostninger gør, at adsorption(alene) ikke er den foretrukne løsning.

Indkapslet flare har i begge scenarier det næsthøjeste emissionsniveau både mht. VOC- og CO_{2(ækv)}-emission, men de laveste omkostninger, udtrykt som DKK/ton VOC_{red}.

Incinerator m. varmegenvinding og adsorption m. forbrænding har et lavt VOC-emissionsniveau og et middelhøjt CO_{2(ækv)} emissionsniveau. Omkostningsniveauet for adsorption m. forbrænding er derimod dobbelt så højt, som for incinerator med varmegenvinding.

Adsorption m. forbrænding og varmegenvinding har laveste emissionsniveau, men højeste omkostningsniveau. Denne løsning er således ca. fem gange dyrere end billigste løsning.

For alle løsninger, på nær adsorption(alene) gælder, at genvindingsgraden på den samlede mængde VOC ligger over 90 %.

På basis af de præsenterede data anbefales det, at arbejde videre med løsningen baseret på incineration med varmegenvinding.

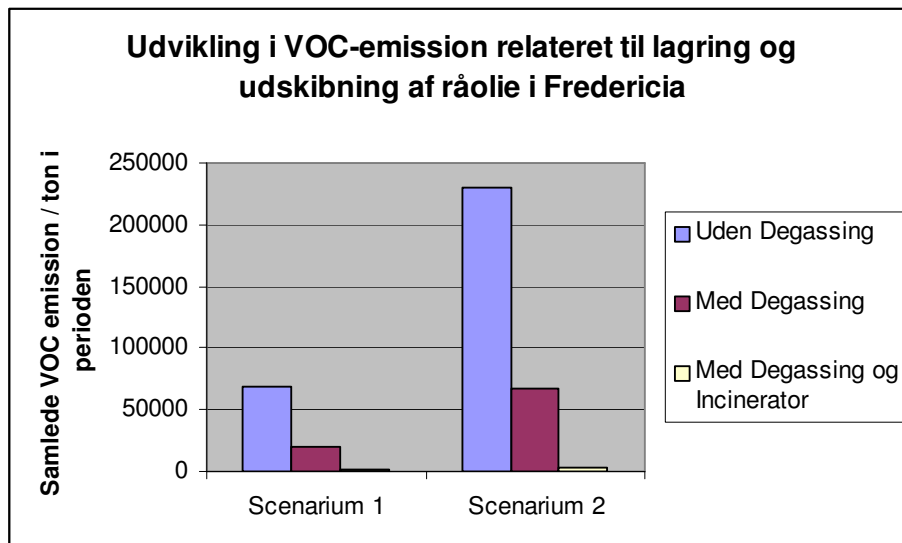
4.3 Foretrukken teknologi.

På basis af dataene fremstillet i afsnit 4.2 er den foretrukne teknologi termisk oxidation. I dette tilfælde en incinerator med varmegenvinding og export af spildvarme til fjernvarmesystemet, TVIS.

Det er en løsningsmodel med høj reduktion af VOC-emissionen. Emissionen reduceres op mod 98%. For scenarium 1 betyder det en reduktion fra 19.425 ton VOC i perioden til 388 ton VOC. For scenarium 2 betyder det en reduktion fra 65.812 ton VOC til 1.316 ton VOC.

Teknologien er ligeledes effektiv mht. reduktion af CO_{2(ækv)}-emissionen, idet forbrændingsvarmen udnyttes til fjernvarme. For scenarium 1 reduceres for perioden fra 109.274 ton CO_{2(ækv)} til 23.424 ton CO_{2(ækv)} og for scenarium 2 fra 370.225 ton CO_{2(ækv)} til 79.360 ton CO_{2(ækv)}. En miljømæssig god løsning med et, i forhold til adsorptionsteknologierne, lavt omkostningsniveau.

For helhedens skyld er udviklingen i den samlede VOC-emissionen relateret til oplagring og udskibning af råolie i Fredericia afbilledet i figur 3. Tallene er opgjort på baggrund af scenarierne 1 og 2. Figuren viser reduktionen i VOC-emission relateret til implementering af VOC-begrænsende teknologier. For scenarium 1 sker der således en reduktion fra knap 70.000 ton VOC, til omkring 20.000 ton VOC ved drift af degassing-anlæg, og yderligere til under 1000 ton ved implementering af incinerator med varmegenvinding. For scenarium 2 er tallene 230.000 ton, 68.000 ton og 3000 ton.



Figur 3: Udvikling i VOC-emission som følge af implementering af VOC-begrænsende teknologi.

De økonomiske tal viser følgende billede:

Omkostningen for reduktion af ét ton VOC-emission er beregnet til 2.449 DKK/ton VOC og 649 DKK/ton VOC for henholdsvis scenarium 1 og 2. Sat i relation til reduktionen i $\text{CO}_2(\text{ækv})$ -udledningen bliver tallene 543 DKK/ton $\text{CO}_2(\text{ækv})$ og 144 DKK/ton $\text{CO}_2(\text{ækv})$. Til sammenligning kan nævnes marginale omkostninger på henholdsvis 3.715 DKK/ton VOC_{red} og 180 DKK/ CO_2 -kvote.

Det bør nævnes, at økonomien i løsningen er følsom overfor prisen på propan, tilsvarende må dog forventes en kompensation som følge af ændring i prisen på spildvarme. Endvidere er det en forudsætning for implementering af løsning med varmegenvinding til fjernvarmesystemet, at afgiftsforholdene bliver revideret i forhold til tidligere udmeldinger omkring udnyttelse af spildvarme.

4.4 Implementering

Projektforløbet for implementering af anlæg til reduktion af VOC emissionen fra lastning af råolieskibe er skitseret i tabel 6. Beskrevet i korte træk, er der afsat 6 måneder til udvikling af designbasis og et +/- 30% estimat, herudover er der afsat 9 måneder til detailed engineering, 2 mdr. til +/- 10% estimat og godkendelse, og til sidst 18 måneder til konstruktionsfasen. Konstruktionsfasen er forholdsvis lang, da der er specielle begrænsninger omkring arbejde på Skanseodden, når der lastes skibe. Det forventes således, at det vil tage ca. 3 år at gennemføre projektet. Der er dog visse usikkerheder forbundet med definitionen af designbasis, idet sammensætningen af fortrængningsluften ændres efter opstart af degassing-anlægget i 2008. Om dette har væsentlig betydning i forhold til design kræver afklaring i samarbejde med en potentiel leverandør.

Nedenfor er skitseret det forventede projektforløb fra endeligt valg af teknologi til opstart af anlæg.

Projektforløb - År 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fastlægge designbasis (4 mdr.)	■	■	■	■								
Gate review +/- 30% estimat (2 mdr.)					■	■						
Detailed Engineering (9 mdr.)							■	■	■	■	■	■
Gate review +/- 10% estimat (2 mdr.)												
Konstruktion (18 mdr)												

Projektforløb - År 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fastlægge designbasis (4 mdr.)												
Gate review +/- 30% estimat (2 mdr.)												
Detailed Engineering (9 mdr.)	■	■	■									
Gate review +/- 10% estimat (2 mdr.)				■	■							
Konstruktion (18 mdr)						■	■	■	■	■	■	■

Projektforløb - År 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fastlægge designbasis (4 mdr.)												
Gate review +/- 30% estimat (2 mdr.)												
Detailed Engineering (9 mdr.)												
Gate review +/- 10% estimat (2 mdr.)												
Konstruktion (18 mdr)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Tabel 7: Projektforløb for installation af emissions-begrænsende-teknologi på Skanseodden.

5 Konklusion

Der findes mange teknologier, som principielt kan anvendes til genvinding af VOC. Når der er tale om genvinding af VOC fra lastning af råolie til skib begrænses udvalget dog. Teknologier baseret på vapour balancing, absorption, membraner og kondensering er i screeningsfasen valgt fra enten pga. relativ lav effektivitet, høje omkostninger eller begrænsninger i kapaciteten. Teknologi baseret på reduktion af flygtigheden er også udeladt, idet denne teknologi allerede er planlagt udnyttet.

Teknologier baseret på termisk oxidation og adsorption vha. kulfilter, med optimering i form af udnyttelse af spildvarme, er vurderet nærmere mht. økonomi og miljø. Endvidere er muligheden for udnyttelse af dampgenvindingsanlæg på skibe undersøgt. Denne løsning viste sig uforholdsmæssigt dyr.

Økonomi og miljø-påvirkning er beregnet på basis af to forskellige prognoser for produktionen af råolie fra den Danske del af Nordsøen. Scenarie 1 er produktionsprognosen for reservebidraget alene, mens scenarie 2 er produktionsprognosen for reservebidraget plus teknologibidraget.

På basis af de foretagne beregninger blev en teknologi baseret på termisk oxidation (incinerator med varmegenvinding) identificeret som en miljømæssig god løsning med et, i forhold til adsorptionsteknologien, lavt omkostningsniveau. De samlede omkostningerne for de undersøgte løsninger varierer med en faktor 5 fra billigste til dyreste alternativ.

For incinerator med varmegenvinding så tallene ud som følger:
Omkostningen for reduktion af ét ton VOC-emission er beregnet til 2.449 DKK/ton VOC og 649 DKK/ton VOC for henholdsvis scenarium 1 og 2. Sat i relation til reduktionen i $\text{CO}_2(\text{ækv})$ -udledningen bliver tallene 543 DKK/ton $\text{CO}_2(\text{ækv})$ og 144 DKK/ton $\text{CO}_2(\text{ækv})$. Til sammenligning kan nævnes marginal omkostninger på henholdsvis 3.715 DKK/ton VOC_{red} og 180 DKK/ CO_2 -kvote.

Den miljømæssige gevinst er for scenarium 1 en reduktion af VOC emissionen på 19.036 ton i perioden, tilsvarende for scenarium 2 er 64.496 ton. Den tilbageværende udledning for de to scenarier er henholdsvis 388 ton VOC og 1.316 ton VOC. Dette svarer til årlige reduktioner på respektiv 1360 ton VOC/år og 2150 ton VOC/år.

Det samlede billede for reduktion i VOC-emissionen fra lagring og udskibning i Fredericia viser for scenarium 2 at VOC emission ville ligge på 230.000 ton VOC i perioden uden VOC-begrænsende teknologier i drift, tallet reduceres til 68.000 ton ved idriftsættelse af degassing anlægget og ved implementering af incinerator med varmegenvinding reduceres emissionen yderligere til 3000 ton.

Til sammenligning vil Danmarks VOC emission for scenarium 2 være 11.685.000 ton, baseret på udledningstal for 2004.

Udledningen regnet i $\text{CO}_2(\text{ækv})$ reduceres med henholdsvis 85.850 ton og 290.864 ton for scenarierne 1 og 2 i perioden.

De akkumulerede omkostninger for den foretrukne teknologi er for de to scenarier henholdsvis 46,6 mill DKK og 41,9 mill DKK.

Økonomien i løsningen er følsom overfor prisen på propan, som varierer med skiftende råoliepriser, det må dog forventes at denne ulempe opvejes af tilsvarende variationer i energiprisen på fjernvarme.

Realisering af projektet beror på forudsætningen om, at TVIS kan aftage varme, og at de strukturelle problemer omkring den ikke-kontinuerlige drift kan løses. Endvidere er det en forudsætning for varmegenvinding til fjernvarmesystemet, at afgiftsforholdene bliver revideret i forhold til tidligere udmeldinger omkring udnyttelse af spildvarme.

Implementeringstiden forventes at være omkring 3 år.

Estimaterne er dog forbundet med nogen usikkerhed, ligesom design basis for et VOC-begrænsende anlæg på havneterminalen er usikker, indtil degassing-anlægget er idriftsat. Det har således også tidligere været Vejle Amts holdning, at afvente yderligere tiltag på havneterminalen indtil degassing anlæggets effektivitet er fastlagt.