



## **Sluttrapport**

Evaluering av faklingsstrategi, teknikker for reduksjon av fakling og faklingsutslipp, utslippsfaktorer og metoder for bestemmelse av utslipp til luft fra fakling

**Utarbeidet for Miljødirektoratet  
CL-2013-29, M-nummer 82/2013**



# BIBLIOTEKSKJEMA

Utførende institusjon

Carbon Limits AS

ISBN-nummer

Oppdragstakers prosjektansvarlig

Anders Pederstad

Kontaktperson i Miljødirektoratet

Sissel Wiken Sandgrind

M-nummer

82/2013

År

2013

Sidetall

95

Miljødirektoratets kontraktnummer

7012018

SPFO-nummer

Utgiver

Miljødirektoratet

Prosjektet er finansiert av

Miljødirektoratet

Forfatter(e)

Anders Pederstad, Joseph D. Smith, Robert Jackson, Stephanie Saunier, Tore Holm

Tittel - norsk og engelsk

Evaluering av faklingsstrategi, teknikker for reduksjon av fakling og faklingsutslipp, utslippsfaktorer og metoder for bestemmelse av utslipp til luft fra fakling

Assessment of flare strategies, techniques for reduction of flaring and associated emissions, emission factors and methods for determination of emissions to air from flaring

Sammendrag - summary

Denne rapporten beskriver resultatene av arbeidet som er gjort i forbindelse med Miljødirektoratets «Fakkelprosjekt 2012». Prosjektet har hatt som formål å kartlegge sentrale problemstillinger knyttet til fakling og relaterte utslipp til luft fra olje- og gassvirksomhet i Norge. Rapporten beskriver og evaluerer status og utviklingstrekk for fakling i Norge, dagens fakkelløsninger og fakkelløsninger, opprinnelsen og kvaliteten på de utslippsfaktorer og metoder som anvendes for å bestemme utslipp til luft fra fakling, resultater av gjennomførte tiltak de siste ti årene, og tiltaksmuligheter og begrensninger for å ytterligere redusere fakling og relaterte utslipp til luft.

4 emneord

Fakkelt teknologi, fakkelløsning, utslipp, BAT

4 subject words

Flare technologies, flare strategies, emissions, BAT

Miljødirektoratet

Postadr: postboks 5672, Sluppen, 7485 Trondheim | Tel: 03400/73 58 05 00 | Faks: 73 58 05 01 | Org.nr: 999 601 391

E-post: post@miljodir.no | Internett: www.miljodirektoratet.no

## INNHold:

1.	SAMMENDRAG.....	4
2.	INTRODUKSJON.....	10
3.	FAKLING OG HMS.....	13
3.1	VARMEBELASTNING .....	13
3.2	STØY.....	14
3.3	UTSLIPP TIL LUFT .....	15
4.	ANVENDTE FAKKELSTRATEGIER .....	24
5.	FAKLING I NORGE.....	28
5.1	UTVIKLING I FAKLING OG TILTAK GJENNOMFØRT SISTE 10 ÅR.....	28
5.2	STATUS FAKLING I 2011 .....	33
6.	FAKKELTEKNOLOGIER/-SYSTEMER.....	37
6.1	KRITERIER SOM ANVENDES VED VALG AV FAKKELTEKNOLOGI .....	38
6.2	TILGJENGELIGE FAKKELTEKNOLOGIER/-SYSTEMER .....	42
6.3	FAKKELTEKNOLOGIER ANVENDT I NORGE.....	51
6.4	VURDERING AV DAGENS TEKNOLOGISTATUS IFT. HVA SOM ER Å ANSE SOM BAT .....	55
6.5	ANBEFALINGER .....	57
7.	METODER FOR Å BESTEMME UTSLIPP FRA FAKLING.....	58
7.1	DAGENS PRAKSIS I NORGE.....	58
7.2	PRAKSIS I ANDRE OLJE- OG GASSPRODUSERENDE LAND .....	60
7.3	VURDERING AV METODER OG STANDARDFAKTORER SOM BENYTTES I NORGE .....	61
7.4	KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER .....	77
8.	TILTAKSMULIGHETER .....	79
8.1	ANALYSE OG VURDERING AV TILTAKSMULIGHETER .....	79
8.2	OVERSIKT OVER TILTAK FOR Å REDUSERE MENGDEN GASS SOM FAKLES .....	82
8.3	OVERSIKT OVER TILTAK FOR Å ENDRE FORBRENNINGSFORHOLDENE I FAKKELEN.....	88
8.4	ANBEFALINGER .....	90
9.	REFERANSER.....	93

## 1. Sammendrag

Denne rapporten oppsummerer arbeidet som er gjort i forbindelse med Miljødirektoratets «Fakkelprosjekt 2012». Prosjektet har hatt som formål å kartlegge sentrale problemstillinger knyttet til fakling og relaterte utslipp til luft fra olje- og gassvirksomhet i Norge. Følgende temaer har vært gjenstand for analyser og vurderinger:

- Status og utviklingstrekk for fakling i Norge
- Fakkelt teknologi/-system
  - Tilgjengelige fakkelt teknologier/-systemer egnet for norske forhold
  - Kriterier for valg av fakkelt teknologi/-system
  - Anvendte teknologier opp mot kravet om BAT
- Tiltaksmuligheter og begrensninger
- Kvaliteten på de metoder og faktorer som benyttes for å bestemme utslipp til luft fra fakling

Gjennom prosjektet har det blitt samlet inn informasjon om utforming av fakkelsystemer, dagens faklingssituasjon, gjennomførte tiltak og tiltaksvurderinger fra de virksomhetene som fakler gass offshore og ved landanleggene i Norge. Leverandører av fakkelt teknologi og relevante myndigheter (Miljødirektoratet, OD og Ptil) har også vært konsultert og bidratt med innspill. En litteraturstudie er gjennomført for å øke forståelsen av hvilke parametre som påvirker utslipp til luft fra fakling. Prosjektets hovedfokus har vært partikler, metan, flyktige organiske forbindelser utenom metan (nmVOC), karbonmonoksid (CO), nitrogenoksider (NO<sub>x</sub>=NO+NO<sub>2</sub>) og svoveldioksid (SO<sub>2</sub>).

### **Status og utviklingstrekk for fakling i Norge:**

Det fakles lite per produsert enhet olje og gass i Norge sammenlignet med andre oljeproduiserende land. Norge har siden 1970-tallet hatt regulering av fakling forbundet med utvinning og produksjon av olje og gass. Petroleumslovgivningen (Petroleumsloven §4-4) inneholder bestemmelser om forbud mot fakling ut over sikkerhetsmessige årsaker, med mindre Olje- og Energidepartementet (OED) godkjenner andre årsaker. Fakling, som eneste avsetning for gass, er ikke tillatt, og anleggenes utforming med hensyn på faklingsbehovet vurderes av Oljedirektoratet (OD) ved behandling av selskapenes utbyggingsplaner. Myndighetene regulerer fakling gjennom utstedelse av faklingstillatelser i de årlige produksjonstillatelsene. Innføring av CO<sub>2</sub>-avgiften i 1991 har gitt virksomhetene (operatørene på norsk sokkel) økonomisk insentiv til å redusere faklingen. Faklingen ble totalt sett betydelig redusert på 90-tallet. Etter 2003 er bildet mer todelt med mindre reduksjoner ved gamle installasjoner og stor variasjon i faklingsrater ved nye anlegg. Totalt sett viser faklingen de ti siste årene en svakt fallende trend, men varierer en del fra år til år.

Gjennom utvikling og bruk av ny teknologi ble det for 15-20 år siden gjennomført en lang rekke tiltak i Norge for å redusere kontinuerlig fakling. Tiltakene ble vurdert å være økonomisk lønnsomme, og har medført at en stor del av det gjenværende potensialet for reduksjon er knyttet til å begrense fakling i

forbindelse med oppstart og nedkjøring av anlegg og avlastning av prosessutstyr ved vedlikehold og driftsforstyrrelser. Lave oljepriser og en noe mer begrenset investeringsaktivitet førte til mindre reduksjoner i faklingen på begynnelsen av 2000-tallet. Oppmerksomhet knyttet til fakling og relaterte utslipp til luft har nå økt igjen både politisk og i industrien.

En gjennomgang av virksomhetenes tiltak for å begrense fakling og relaterte utslipp til luft de siste ti årene, har vist at mer enn 200 tiltak har blitt gjennomført etter 2001. Hovedvekten av tiltakene har vært rettet mot å redusere ikke-kontinuerlig fakling offshore, både indirekte gjennom ulike regularitetsøkende tiltak og direkte gjennom forbedring av driftsprosedyrer og opplæring av operativt personell. Tiltakene som er gjennomført ved landanleggene er ofte knyttet til støy, soting og lukt (forbrenningseffektivitet).

Det er de siste ti årene også gjort flere oppdaterte vurderinger av tiltak spesifikt rettet mot selve fakkelsystemet. De fleste av disse tiltakene ble ikke funnet økonomisk gjennomførbare. Kun 14 tiltak har blitt rapportert gjennomført siden 2001. Hvilken effekt de gjennomførte tiltakene har hatt på mengden gass som fakles, har i liten grad blitt kvantifisert av virksomhetene selv. Effekten av tiltakene er heller ikke estimert i dette prosjektet. Dette skyldes at effekten i stor grad er tiltaksspesifikk, og det foreligger kun et begrenset datagrunnlag.

#### **Anvendte fakkelsestrategier:**

Selskapene som opererer på norsk sokkel og på land har etablert overordnede målsetninger om å redusere energibruk og har utarbeidet prosedyrer for drift og vedlikehold som begrenser fakling ved det enkelte offshorefelt og landanlegg. Kartleggingen av faklingsstrategier i 2012/2013 viste imidlertid at virksomhetenes strategier ikke inneholdt klare målsetninger og tidsrammer for gjennomføring av tiltak som begrenser fakling. Kartleggingen viste også at fakling i større grad nå enn tidligere inngår som en integrert del i virksomhetenes arbeid med energiledelse, hvor mulige tiltak identifiseres og prioriteres opp mot andre investeringer på en systematisk måte. Basert på intervjuene som er gjennomført i dette prosjektet, synes det å være muligheter for å forbedre virksomhetenes arbeid med energiledelse og sikre at denne forankres både lokalt og sentralt i organisasjonen. Felt- og anleggsspesifikke faklingsstrategier er imidlertid nå under utarbeidelse og implementering flere steder.

#### **Fakkelseknologi/-system:**

Fakkelsystemet er en del av innretningenes og landanleggenes sikkerhetssystem, og er en del av overtrykksbeskyttelsen for prosessanlegget samt at det benyttes for trykkavlastning. Fakkelsystemet benyttes også under planlagte operasjoner i forbindelse med oppstart/nedkjøring og trykkavlastning for vedlikehold av prosess utstyr. Fakkelsystemet kan også benyttes for å kontinuerlig håndtere giftige eller korrosive gasser, og andre brennbare gasser det av ulike årsaker ikke anses attraktivt å benytte. Den primære funksjonen til fakkelen er å sørge for sikker og effektiv håndtering av gass i tråd med relevante sikkerhetskrav. Design av fakkelsystemet har også betydning for støy og utslipp til luft av ulike komponenter (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>, nmVOC, CO, SO<sub>2</sub> og partikler).

Fakkelleverandørene har utviklet nye teknologier for å kunne fakle gass på en sikker og miljømessig måte. Ut fra et miljøperspektiv har det viktigste formålet inntil nylig vært å oppnå en høy forbrenningseffektivitet og røykfri drift. Mange teknologier har blitt utviklet i løpet av de siste 60 årene for å oppnå dette. I dag er det et økende fokus på utslipp av NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> og partikler.

Ethvert fakkelsystem må velges og designes for en spesiell anvendelse. Fakkelsystemet velges ut fra tekniske og sikkerhetsmessige kriterier, samt relevante miljøkrav/kriterier. Det er i denne sammenheng viktig å påpeke at miljøkrav ikke blir vektlagt på bekostning av sikkerhet. I tillegg vil kostnadene være av avgjørende betydning for hvilke løsninger som velges. For fakkelsystemer på land skal det også tas hensyn til naboer ved valg av design.

Detaljert informasjon er innhentet for høytrykksfakler, lavtrykksfakler, ventfakler og andre fakler med spesifikke bruksområder (blant annet vedlikeholdsfakler, tankfakler og en H<sub>2</sub>S-fakkel) i Norge. Analyser av utviklingstrekk i anvendelse av fakkelt teknologi viser at nyere anlegg offshore i stor grad har fakkeltgassgjenvinning og opererer uten pilotflamme. Eldre anlegg benytter i stor grad fortsatt pilotflamme. Bruk av nitrogen som spylegass er vanlig for nyere anlegg, både offshore og på land, men det er også en god del eldre anlegg hvor dette benyttes. Praksis offshore går i retning av høyere gasshastighet i brenner (som gir god forbrenning). På land er det i stor grad anvendt fler-dyse tipper i fakler ved anlegg som har startet opp de siste 15 år, mens dette er mindre vanlig offshore. Kartleggingen av fakkelt teknologier i Norge viser at det anvendes en lang rekke ulike design, tilpasset installasjons og anleggsspesifikke forhold.

Ved vurderinger av hva som er å anse som «Best Available Techniques» (BAT), er det viktig å fremheve at fakkelsystemet, sammen med trykkavlastningssystemet, utgjør en kritisk del av sikkerhetssystemet ved et prosessanlegg. I dette prosjektet har eksisterende teknikker som ivaretar disse kravene, vært gjenstand for vurderinger av hva som er å anse som BAT i forhold til redusert fakling og utslipp til luft. Ved BAT vurderinger skal det også tas hensyn til kostnader ved å anvende alternative løsninger, noe som er avhengig av en rekke lokale forhold. Dette gjelder spesielt for eldre installasjoner. Med disse forbehold, er følgende ansett som BAT for nye installasjoner og anlegg på land:

- Vedlikehold, modifikasjoner, oppstart og nedstengninger av prosessanlegg og brønner skal planlegges og gjennomføres slik at fakling minimeres
- I situasjoner med bortfall av primær gassavsetningsløsning, skal produksjonen trappes ned i henhold til en etablert plan/metode som tar utgangspunkt i en avveining mellom sikkerhetsmessige, miljømessige og økonomiske hensyn.
- Fakkeltgassgjenvinning:
  - Gass fra trykkavlastningssystemer med høyt trykk bør gjenvinnes under normal drift

- Gass fra trykkavlastningssystemer med lavt trykk bør gjenvinnes under normal drift der dette er vurdert å være teknisk og økonomisk gjennomførbart og miljømessig hensiktsmessig
- Bruk av spylegass:
  - Nitrogen bør benyttes som spylegass når det er sikkerhetsmessig forsvarlig
  - Der hydrokarbongass benyttes som spylegass, bør det anvendes utstyr som reduserer behovet for spylegass til et minimum
- Drivstofforbruk knyttet til pilotbrenner skal minimeres i den grad det er mulig uten å redusere evnen til å antenne fakkelen under alle forhold
- Ved bruk av luft- og damp-assisterte fakler, skal mengden assistansemedium som anvendes ved fakling kontrolleres for å minimere risikoen for både under- og overforbruk av assistansemedium
- Væskeutskiller skal utformes og vedlikeholdes slik at det til enhver tid er tilstrekkelig kapasitet til å fjerne væskedråper fra gasstrømmen og dermed redusere røykdannelse i fakkelen
- Alle faklingshendelser bør registreres og fordeles på kilder for å sikre effektiv identifikasjon, analyse og prioritering av tiltaksmuligheter knyttet til fakling

Optimal design av fakkeltipp vil i hovedsak være avhengig av lokale installasjons- og anleggspesifikke forhold. Det er begrenset kunnskap om betydningen av alternative fakkelteknologier på dannelsen av de utslippskomponentene som er studert i dette prosjektet (partikler, metan, nmVOC, CO, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>). Det er på nåværende tidspunkt derfor ikke mulig å definere spesifikke designaspekter som BAT.

### **Tiltaksmuligheter og begrensninger:**

Kunnskapsgrunnlaget for å vurdere tiltaksmuligheter knyttet til å redusere fakling og relaterte utslipp til luft er mangelfullt:

- Måledata: Den vitenskapelige forståelsen av hvilke parametere som er styrende for utslippsdannelsen og utslippenes størrelse, er fortsatt noe begrenset for enkelte komponenter. Dette gjelder spesielt partikler, herunder svart karbon («black carbon», BC, også noe upresist kalt sot). Dette skyldes utfordringer knyttet til å gjennomføre utslippsmålinger og begrenset tilgang til eksperimentelle data for å verifisere korrelasjoner og modeller som kan bestemme størrelsen på utslippene.
- Kunnskap: Valg av fakkelteknologi har innvirkning på dannelsen av de utslippskomponentene som er studert i dette prosjektet (partikler, metan, nmVOC, CO, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>). Betydningen vil imidlertid variere utfra gjeldende driftsforhold og type gass som fakles. De fleste fakkeldesign vil gi effektiv forbrenning og tilhørende begrensede utslipp når det fakles innenfor designspesifikasjonen. Begrenset tilgang til kvantitativ informasjon fra fakkelleverandørene medfører at det i praksis er vanskelig å sammenligne fakkelteknologier og velge optimalt design i forhold til reell drifts- og utslippssituasjon.

- Ikke-kontinuerlig fakling: Endringer i prosessdesign og bruk av ny fakkelt teknologi (herunder slukket fakkel) har medført at faklingen ved mange anlegg ikke er kontinuerlig og/eller relativt begrenset. Forskning og praksis indikerer at lave faklingsrater og stor variasjon i faklingsrater kan ha betydning for utslippene av uforbrente hydrokarboner, karbonmonoksid og partikler. Som tidligere nevnt er det utfordrende å kvantifisere hvilke effekter endringer i prosessdesign og bruk av ny fakkelt teknologi har på utslippene til luft. For å kunne vurdere effekten av gjennomførte tiltak og tiltaksvurderinger, anbefales det å fremskaffe utslippsdata som er representative for norske forhold.
- Analyse: Flertallet av virksomhetene registrerer og systematiserer i liten grad hendelser og informasjon om årsaker til fakling. En systematisk registrering av faklingshendelser, dvs. en oversikt over tid om hva som er årsaken til fakling, vil bidra til økt kunnskap og oppmerksomhet om reduksjonspotensialet, og muliggjøre prioriteringer av faklingstiltak i forhold til andre typer tiltak.

Informasjon om virksomhetenes planer og vurdering av tiltaksmuligheter har blitt innhentet, og mer enn 150 innrapporterte tiltaksmuligheter har blitt beskrevet. Informasjonen om tiltakene er imidlertid av varierende kvalitet, og har dessverre ikke gitt tilstrekkelig grunnlag for en vurdering av tiltaksmuligheter og reduksjonspotensial i dette prosjektet. Det har derfor ikke vært mulig å utarbeide en liste over konkrete tiltaksmuligheter og kvantifisere det totale reduksjonspotensialet innenfor rammene av dette prosjektet, i tråd med prosjektbeskrivelsen. Et viktig premiss for å kunne foreta tiltaksvurderinger, er å fremskaffe økt kunnskap om størrelsesordenen av utslippene av CH<sub>4</sub>, BC, NO<sub>x</sub>, CO og nmVOC fra fakling.

Norge har siden 1970-tallet hatt en målrettet regulering av fakling forbundet med utvinning og produksjon av olje og gass. Fakling reguleres gjennom flere lover; petroleumsloven, CO<sub>2</sub>-avgiftsloven, særavgiftsloven, forurensningsloven og klimavotelloven med forskrifter. Miljødirektoratet har virkemidler til disposisjon for å begrense utslipp til luft fra fakling, blant annet gjennom kravsetting i tillatelser i medhold av forurensningsloven. I tillegg gjelder Industriutslippsdirektivet (EU-direktivet 2010/75/EU) som inneholder bestemmelser om energieffektiv produksjon og bruk av beste tilgjengelige teknikker (BAT). Disse virkemidlene er av prosjektet vurdert å være tilstrekkelig for effektivt å kunne regulere utslipp til luft fra fakling. En effektiv regulering betinger imidlertid at kunnskapsgrunnlaget om utslippsnivåer, som er representative for norske forhold, og sammenhengene mellom utslipp til luft og valg av fakkelt teknologi er tilstrekkelig.

Prosjektteamet mener at kunnskapsgrunnlaget på nåværende tidspunkt er for dårlig for å identifisere de beste tiltaksmulighetene for å begrense utslippene av partikler (spesielt BC), CH<sub>4</sub>, nmVOC, NO<sub>x</sub> og CO fra fakling, og anbefaler derfor primært å fremskaffe økt kunnskap.

#### **Kvalitet på metoder og faktorer som benyttes for å bestemme utslipp til luft fra fakling:**

Sammenligning av metoder og faktorer som benyttes i Norge opp mot andre sammenlignbare land, viser at det for noen utslippskomponenter er relativt store forskjeller i utslippsfaktorer som benyttes.



Gjennomgangen av data innhentet fra virksomhetene viser at det ikke er opplagt at nivået på de anbefalte utslippsfaktorene kan forklares ut fra teknologiske eller driftsmessige forskjeller. For flere av utslippskomponentene er det på nåværende tidspunkt ikke mulig å bestemme utslippsfaktorer uten vesentlig usikkerhet i de resulterende utslippsestimatene. Dette skyldes at det i liten grad er tilgang til måledata for fullskala fakler som er representative for norske forhold. Prosjektteamet har derfor følgende anbefalinger:

- Ved estimering av utslippsfaktorer for CH<sub>4</sub>, nmVOC, CO og partikler fra fakling bør det benyttes et konsistent sett av antakelser for gasskomposisjon og forbrenningseffektivitet.
- For å verifisere at nivået på de estimerte utslippsfaktorene for CH<sub>4</sub>, nmVOC, CO og partikler er rimelig, bør det gjennomføres målinger for fullskala fakler eller kontrollerte tester av fakler under forhold som er representative for Norge.
- Utslippsfaktoren for NO<sub>x</sub> på 1,4 gNO<sub>x</sub>/Sm<sup>3</sup>, anbefalt av Sintef for bruk offshore, bør revideres for å bedre reflektere faklingsforholdene som er gjeldende offshore når det gjelder faklingsrater og energiinnhold.
- Utslippsfaktorene som er anbefalt for CH<sub>4</sub>, nmVOC og CO virker lave, og bør revideres (økes) basert på mer konservative antakelser for reell forbrenningseffektivitet under fakling. Dette er understøttet av målinger utført for fakler ved landanlegg med DIAL LIDAR og vil være i tråd med et prinsipp om å anvende et konservativt anslag inntil mer detaljert informasjon er tilgjengelig om det reelle nivået på disse utlippene.
- Grunnlaget for å estimere en utslippsfaktor for partikler (herunder BC og OC) er svært tynt, og faktoren som er presentert for Norge er forbundet med stor usikkerhet. Det anbefales å revidere denne når ytterligere testresultater for forhold som er mer representative for faklingen i Norge er tilgjengelige. Det bør tas et initiativ for å legge til rette for og innrette fremtidige måleprogrammer på en måte som gjør dem nyttige og relevante både i norsk og internasjonal sammenheng.

## 2. Introduksjon

Miljødirektoratet arbeider med problemstillinger knyttet til utslipp til luft fra norske petroleumsinstallasjoner til havs og på land. Dette omfatter utarbeiding av retningslinjer for rapportering av relevante utslipp, løpende oppfølging av virksomheter basert på rapporterte data, utarbeiding av utslippsregnskap, oppfølging av nasjonale mål og internasjonale forpliktelser, og gjennomføring av tiltaksvurderinger og vurderinger av hva som er å anse som beste tilgjengelige teknikker (BAT). Miljødirektoratet arbeider også på oppdrag fra Miljøverndepartementet (MD) med forslag til en nasjonal handlingsplan for å redusere kortlivede klimadrivere (SLCF). For å støtte opp om dette arbeidet, har Miljødirektoratet gitt Carbon Limits AS i oppdrag å gjennomføre et prosjekt for å kartlegge et bredt sett av problemstillinger knyttet til fakling og utslipp til luft («Fakkelprosjekt 2012»). Prosjektet er gjennomført av Carbon Limits AS i samarbeid med Combustion Resources Inc. (Utah, USA). Denne rapporten oppsummerer arbeidet som er gjort i forbindelse med prosjektet.

«Fakkelprosjekt 2012» har hatt som mål å bidra til økt kunnskap om fakling og utslipp til luft, og har omfattet følgende temaer:

- Fakkelsestrategier og teknikker anvendt for å redusere fakling og utslipp til luft
- Tilgjengelige fakkelsestrategier/-systemer egnet for norske forhold
- Kriterier for valg av fakkelsestrategi/-system
- Dagens faklingssituasjon og teknologistatus opp mot kravet om BAT
- Kvaliteten på de metodene og faktorene som benyttes for å bestemme utslipp til luft<sup>1</sup>
- Tiltaksmuligheter, herunder kost-nytte vurderinger og eventuelle barrierer

Gjennomføringen av prosjektet er delt i to hovedfaser, hvor «Fase 1» ble gjennomført høsten 2012, mens «Fase 2» ble slutført ved utgangen av første kvartal 2013. Denne sluttrapporten oppsummerer informasjon, analyser og anbefalinger fra begge faser.

Hovedgrunnlaget for analyser og anbefalinger i dette studiet, er opplysninger innhentet gjennom en spørreundersøkelse gjennomført i to faser på samme måte som prosjektet. Spørreskjema ble sendt ut til offshoreinstallasjoner og landanlegg (til sammen 66 virksomheter og 114 fakler), og oppfølgingssamtaler ble gjennomført med representanter for virksomhetene. Det ble også gjennomført intervjuer med seks ulike leverandører av fakkelsestrategi, og relevant informasjon fra Miljødirektoratet, OD og andre offentlige myndigheter ble samlet inn med bistand fra oppdragsgiver i den grad dette var mulig.

I «Fase 1» av prosjektet ble det gjennomført en omfattende kartlegging av hvilke fakkelsestrategier og fakkelsestrategier/-systemer som benyttes i norsk petroleumsvirksomhet. Formålet med spørreundersøkelsen var å innhente informasjon om kilder til fakling, typiske faklingssituasjoner

---

<sup>1</sup> Prosjektet har hatt et spesielt fokus på utslipp av partikler, metan, nmVOC, CO, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> fra fakling.

(inkludert faklingsrater, gasskomposisjon og varighet) og teknisk design for hver av de 114 faklene som er i drift. **Tabell 1** gir en oversikt over responsgraden og andel fakling i 2011, som det foreligger informasjon om.

**Tabell 1:** Responsgrad for spørreundersøkelsen i «Fase 1» rettet mot anlegg hvor det fakles gass

	Antall fakler (anlegg i drift)	Mottatte svar	Andel fakling i 2011 omfattet av svarene (%)	Svar fra anlegg som snart kommer i drift
Offshore installasjoner	88	87	99 %	4
Landanlegg	26	21	84 %	-
<b>Totalt</b>	<b>114</b>	<b>108</b>	<b>~ 93 %</b>	<b>4</b>

«Fase 1» omfatter anlegg som står for en vesentlig del av faklingen i Norge både offshore og på land, og var gjennomgående av god kvalitet. Dette har gitt en god forståelse av dagens status og har dannet et representativt datagrunnlag for detaljerte analyser.

I «Fase 2» ble andre del av spørreundersøkelsen gjennomført (avsluttet i januar 2013). Hovedformålet var å kartlegge virksomhetenes syn på tiltaksmuligheter (herunder potensialet for utslippsreduksjoner, kostnader og evt. barrierer) og innhente data og vurderinger knyttet til tiltak som har blitt implementert de siste ti år for å redusere fakling og relaterte utslipp til luft. **Tabell 2** gir en oversikt over respons og andel fakling i 2011 i «Fase 2».

**Tabell 2:** Responsgrad for spørreundersøkelsen i «Fase 2» rettet mot anlegg hvor det fakles gass

	Antall fakler (ved anlegg i drift)	Mottatte svar	% av faklingen i 2011 omfattet av svarene	Svar fra anlegg som snart kommer i drift
Offshore installasjoner	88	88	100 %	-
Landanlegg	26	18	69 %	-
<b>Totalt</b>	<b>114</b>	<b>106</b>	<b>~ 93 %</b>	<b>-</b>

Det har blitt innhentet informasjon om 388 ulike tiltak fra virksomhetene, inkluderer ca. 200 tiltak som ble gjennomført i perioden 2002 til 2012 og over 150 tiltaksmuligheter. Kun for 15 av de i alt 388 tiltakene, foreligger det kvantifiserte data for både kost-nytte elementer og innvirkning på fakling og utslipp til luft. Informasjonen som er mottatt i «Fase 2» er derfor hovedsakelig kvalitativ. Virksomhetenes beskrivelser har imidlertid gitt en god oversikt over innsats og utvikling de siste ti årene, og et godt grunnlag for å forstå de prioriteringer som legges til grunn ved vurderinger av tiltaksmuligheter for ytterligere reduksjon av fakling og relaterte utslipp til luft.

**Kapittel 3** inneholder en overordnet beskrivelse av fakling og ulike aspekter relatert til helse, miljø og sikkerhet (HMS) som er nyttig som bakgrunn for de andre delene av rapporten. **Kapittel 4** oppsummerer hvilke strategier som benyttes ved feltene og landanleggene i Norge for å kontrollere og redusere fakling. Resultater av gjennomførte tiltak og dagens status når det gjelder fakling er presentert i **Kapittel 5**. En oversikt over fakkeltknologier egnet for norske forhold, er presentert i **Kapittel 6**, og er basert på

informasjon fra fakkelleverandører. Vurderinger av fakkeltknologier anvendt i Norge opp mot hva som anses som BAT, er presentert i **Kapittel 6.4**. Kvaliteten av anvendte metoder og faktorer for å bestemme utslipp til luft er belyst i **Kapittel 7**. Kunnskap om utslippsnivåer danner et viktig grunnlag for kost-nytte vurderinger av ulike tiltak. Vurderinger knyttet til tiltaksmuligheter er presentert i **Kapittel 8**.

Referanser er i rapporten inkludert i teksten som «(No.)», og referanselisten er presentert i **Kapittel 9**. Referanser til e-poster, telefonsamtaler og lenker til benyttede internettsider er i hovedsak gitt direkte i teksten.

## 3. Fakling og HMS

Formålet med dette kapittelet er å sammenfatte den kunnskapen som foreligger om faktorer som påvirker helse, miljø og sikkerhetsmessige aspekter knyttet til fakling, herunder varmebelastning, støy, forbrenningsforhold og utslipp til luft av ulike komponenter. Disse faktorene kan påvirkes gjennom design og modifikasjoner av fakkelsystemet og prosessanlegget. Kjennskap til de sammenhenger som presenteres i dette kapittelet er viktige for å forstå innholdet i andre deler av rapporten. Dette prosjektet har hatt som formål å kartlegge sentrale problemstillinger knyttet til fakling og relaterte utslipp til luft. Kapittelet avsluttes derfor av en gjennomgang av lover og reguleringer knyttet til utslipp til luft fra fakling.

### 3.1 Varmebelastning

Fakkelsystemet utgjør, sammen med trykkavlastningssystemet, en kritisk del av sikkerhetssystemet ved et prosessanlegg. Fakkelsystemet skal utformes for å hindre eskalering av fare- og ulykkesituasjoner, og må møte en lang rekke krav ift. å sørge for sikker og pålitelig drift. Innretningsforskriften<sup>2</sup> og de standarder det blir referert til gjennom denne, gir bla. føringer for utforming (design) av fakkelsystemer offshore, herunder akseptabel varmebelastning i forhold til objekter og personell.

Når gass brennes i en fakkell vil en andel av varmen som genereres, bli overført til omgivelsene som stålevarme. Beregninger av varmebelastning fra fakkelen er en viktig del av designprosessen, og vil bla. være avgjørende for plassering av fakkeltippen. Strålevarmen som avgis fra fakkelflammen til et annet objekt er avhengig av flammemetemperaturen, konsentrasjonen av komponenter som avgir varme (spesielt sot), flammens størrelse, fasong og posisjon ift. objektet, og egenskapene til mediet mellom flammen og objektet (2).

Pga. flammemetemperaturens betydning ved beregning av varmebelastning<sup>3</sup>, vil enhver parameter som hever flammemetemperaturen (bla. økt energiinnhold og forbrenningseffektivitet) lede til en økning i termisk stråling.

Vind har to motstridende effekter på varmebelastningen fra en fakkell; vind vil både kjøle ned flammen og kunne bøye denne (og dermed øke varmebelastningen ved at avstanden mellom flammen og andre objekter reduseres). Summen av disse to effektene er en reduksjon i varmebelastning ved økende vindhastigheter (3).

---

<sup>2</sup> Innretningsforskriften gjelder til havs og er en av fem HMS-forskrifter. HMS-forskriftene: integrert særregulering for HMS i petroleumsvirksomheten til havs og på enkelte landanlegg; utarbeidet og håndhevet av HMS-myndighetene på sine respektive myndighetsområder i fellesskap.

<sup>3</sup> Varmebelastningen er relatert til absolutt overflatetemperatur i fjerde potens.

Ved bruk av assisterte fakler (beskrevet i **Kapittel 6.2**) er det også to motstridende effekter på varmebelastningen. På den ene side vil bruk av assistanse bedre forbrenningseffektiviteten og heve flammtemperaturer. På den andre side vil injeksjon av damp eller luft øke destruksjonen av sotpartikler. Den andre effekten vil dominere (4).

Ulike parameteres påvirkning på varmebelastningen fra fakling er oppsummert i **Tabell 3**.

**Tabell 3:** Parametere («A») som påvirker varmebelastningen fra fakling («B»)

«B» ↓	«A» →	En økning av parameter «A» gir en økning (↗), en reduksjon (↘), ingen endring (→) eller uavklart (?) effekt på «B»							
		Forbr.eff. (CE)	Flamme- temperatur	Gass densitet	Energi innhold	Hastighet i fakkeltipp	Diameter (dyse(r))	Turbulent miksing	Kryss- Vind
Varme- belastning		↗	↗	→	↗	↗	↘	↘	↘

Ut fra sikkerhetsmessige hensyn er akseptabel varmebelastning på objekter og personell, strengt regulert.

## 3.2 Støy

Støy fra fakling anses som et problem ift. sikkerhet, og vedvarende høye støynivåer vil også kunne ha helsevirkninger. Støynivåer fra fakling er regulert for å unngå farlige situasjoner (f.eks. på helikopterdekk offshore) og for å redusere belastning på personell og nærmiljø. Sistnevnte gjelder landanlegg.

Støy fra fakling genereres hovedsakelig gjennom tre mekanismer: (i) strøm av gass gjennom fakkeltippen (strømningsstøy), (ii) damp/luft injeksjon (strømningsstøy), og (iii) forbrenningen (forbrenningsstøy).

(i) er positivt korrelert med gasshastigheten ut av fakkeltippen (5), mens (iii) øker ved bedre forbrenningseffektivitet og høyere flammtemperaturer (6). Fakling av hydrokarboner gir høye flammtemperaturer og høye støynivåer (både høyfrekvent strømningsstøy («jet screech») og lavfrekvent forbrenningsstøy («combustion roar»). På samme tid vil omgivelsenes evne til å overføre lyd bli redusert pga. endringer i lufttetthet rundt flammen (2). Vind vil kjøle ned røykfanen og øke gasstettheten, noe som kan medføre økt spredning av lyd (2).

Damp-/luft-assistanse vil øke støyproblemet gjennom produksjon av høyfrekvent strømningsstøy (ii). Denne strømningsstøyen kan reduseres ved å injisere damp gjennom flere mindre dyser og ved bruk av akustisk isolering («acoustical shrouding») om nødvendig (7).

Ulike parameteres påvirkning på støy fra fakling er oppsummert i **Tabell 4**.

**Tabell 4:** Parametere («A») som påvirker støy fra fakling («B»)

«B» ↓ «A» →		En økning av parameter «A» gir en økning (↗), en reduksjon (↘), ingen endring (→) eller uavklart (?) effekt på «B»							
		Forbr.eff. (CE)	Flamme-temperatur	Gass densitet	Energi innhold	Hastighet i fakkeltipp	Diameter (dyse(r))	Turbulent miksing	Kryss-Vind
Støynivå ved fakling		↗	↗	↗	→?	↗	↘	↗	↘

Støy fra fakling kan reduseres ved hjelp av endret fakkeltippdesign, både ved bruk av støyoptimaliserte brennere («low-noise burner designs») og implementering av andre kontrolltiltak (optimal løsning er fakkelspesifikk) (6).

### 3.3 Utslipp til luft

Fakling av gass er en viktig kilde til luftforurensning, og medfører utslipp av en rekke ulike komponenter. De viktigste utslippskomponentene ift. størrelse og potensiell påvirkning, er CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC<sup>4</sup>, CO, SO<sub>2</sub> og partikler.

Forbrenningsprosessen i en fakkell er svært kompleks (typisk en ukontrollert flamme åpen for ekstern påvirkning), men kan generelt forstås ved å studere de ulike fysiske prosessene som opptrer under forbrenning av gass. Størrelsesorden på utslippene av ulike forurensende komponenter er avhengig av en rekke fysiske og kjemiske reaksjoner (styrt av bevaring av masse, moment og energi), som igjen er påvirket av gassammensetning, faklingsrate, utforming av fakkelsystemet og eksterne påvirkningsfaktorer. Under følger en kort beskrivelse av to sentrale begreper knyttet til effektiviteten av forbrenningsprosesser og en oppsummering av hva som anses som de viktigste styrende parameterne for forbrenningseffektivitet og utslipp av CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC, CO, SO<sub>2</sub> og partikler ved fakling. Oppsummeringen er basert på en gjennomgang av tilgjengelig faglitteratur og diskusjon med internasjonale eksperter på området.

#### Forbrenningseffektivitet og destruksjonseffektivitet

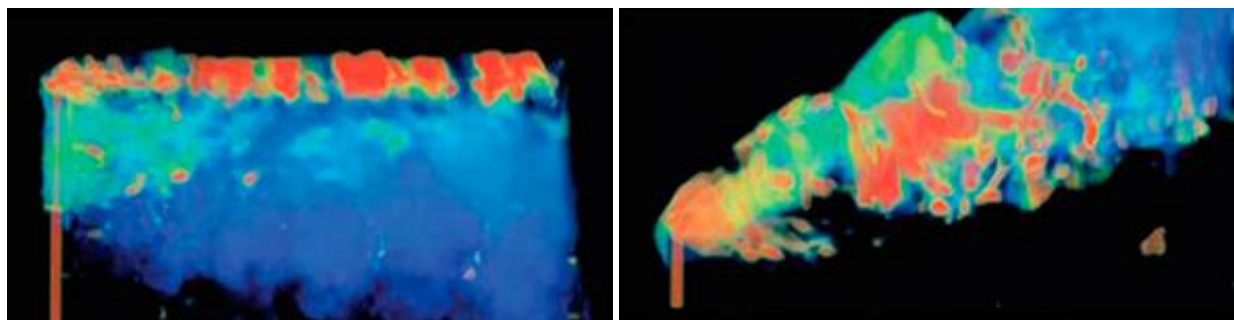
Begrepene forbrenningseffektivitet («combustion efficiency»; CE) og destruksjonseffektivitet («destruction and removal efficiency»; DE) blir ofte sammenblandet, og defineres derfor kort her. Destruksjonseffektivitet er et mål på hvor stor andel av de opprinnelige hydrokarbonene som blir fullstendig eller delvis forbrent (og danner CO og CO<sub>2</sub>), mens forbrenningseffektivitet er et mål på hvor stor andel av de opprinnelige hydrokarbonene som brenner fullstendig og konverteres til CO<sub>2</sub> og vanndamp. Destruksjonseffektiviteten er alltid større eller lik forbrenningseffektiviteten (2).

<sup>4</sup> Uforbrente hydrokarboner, inkludert metan og non-methane Volatile Organic Compounds (nmVOC).

## Parametere som påvirker forbrenningseffektiviteten ved fakling

Forbrenningen i en åpen fakkell er karakterisert ved en inhomogen distribusjon av lokale forbrenningseffektiviteter som utvikler seg over tid (8) (9) (se Figur 1<sup>5</sup>). For å oppnå en nøyaktig bestemmelse av forbrenningseffektiviteten til en fakkell, må en kjenne distribusjonen både horisontalt og vertikalt over flammen/røykfanen. Dette har viktige implikasjoner ift. kvaliteten av modeller og målinger av forbrenningseffektiviteten i en åpen flamme.

**Figur 1:** Modellering av forbrenningseffektivitet i fakler



Generelt vil gasser med lav tetthet og høyt energiinnhold oppnå en bedre forbrenning (7). Siden flammtemperaturer er direkte relatert til reaksjonsraten, vil flammtemperaturer øke ved høyere forbrenningseffektivitet.

Ift. fakkeldesign vil fakkeltipper med stor diameter kunne gi lav forbrenningseffektivitet nær flammesenteret pga. lave oksygenivåer, mens høy gasshastighet generelt vil øke innblanding av luft og dermed øke forbrenningseffektiviteten. Fakkeltipper kan også designes med spesiell geometri for å forbedre mikseringen av gass og luft og dermed øke forbrenningseffektiviteten (10).

Forbrenningseffektivitet kan til en viss grad påvirkes; for assisterte fakler er det påvist at både for lite og for stort forbruk av assistansmedium (damp eller luft), kan redusere forbrenningseffektiviteten (11) (se **Kapittel 6.1** for ytterligere detaljer).

Reduksjon i forbrenningseffektivitet forårsaket av vind, har blitt målt ved laboratorieforsøk for små-skala fakler for relativt lave vindhastigheter (12). Målinger utført på fullskala fakler har derimot vist at forbrenningseffektiviteten ikke er vesentlig påvirket ved vindhastigheter opp til ca. 10 m/s (13). Ved høyere hastigheter vil vind ha en vesentlig påvirkning på forbrenningseffektiviteten ved at flammen vil

---

<sup>5</sup> Figur 1 viser bilder generert fra en Large Eddy Simulation (LES) av to fakler, og distribusjonen av forbrenningseffektivitet i flammen/røykfanen for to fakler. Røde fargetoner er områder med lav forbrenningseffektivitet, mens blå fargetoner viser områder med høy forbrenningseffektivitet.



«rives i stykker». Effekten av høyere vindhastigheter på større fakler (stor diameter i fakkeltipp), blir for tiden mye diskutert i USA<sup>6</sup>.

Ulike parameteres påvirkning på forbrenningseffektiviteten ved gassfakling er oppsummert i **Tabell 5**.

**Tabell 5:** Parametere («A») som påvirker forbrenningseffektiviteten («B») ved fakling

		En økning av parameter «A» gir en økning (↗), en reduksjon (↘), ingen endring (→) eller uavklart (?) effekt på «B»							
«B» ↓	«A» →	Forbr.eff. (CE)	Flamme- temperatur	Gass densitet	Energi innhold	Hastighet i fakkeltipp	Diameter (dyse(r))	Turbulent miksing	Kryss- vind
Forbrennings- effektivitet			↗	↘	↗	↗	?	↗	↘?

### 3.3.1 Utslipp av CO<sub>2</sub>

Fakling utgjør en betydelig kilde til CO<sub>2</sub>-utslipp i nasjonal sammenheng (ca. 1,3 millioner tonn i 2011, noe som representerte 10,9% av CO<sub>2</sub>-utslippene på norsk sokkel (14)). Faklingsutslippene av CO<sub>2</sub> har vært gjenstand for spesifikk regulering og stor oppmerksomhet over lengre tid. Formålet med dette prosjektet har vært å innhente økt kunnskap om utslipp av andre utslippskomponenter fra fakling. Styrende parametere for utslipp av CO<sub>2</sub>, er derfor ikke presentert i detalj.

Utslipp av CO<sub>2</sub> fra fakling er direkte relatert til gassammensetning og forbrenningseffektivitet. Ved fullstendig forbrenning vil alt karbon i fakkeltippen omdannes til CO<sub>2</sub>. Selv om utslipp av CO<sub>2</sub> i seg selv ikke er ønskelig (CO<sub>2</sub> er en klimagass), er det både ut fra sikkerhetsmessige og miljømessige hensyn en målsetning å oppnå effektiv forbrenning med begrensede utslipp av andre (uønskede) utslippskomponenter. Parametere som positivt påvirker dannelsen av andre utslippskomponenter, vil kunne medføre en økning i CO<sub>2</sub>-utslipp (en reduksjon i utslipp av CH<sub>4</sub>, nmVOC og CO vil f.eks. lede til en økning i CO<sub>2</sub>-utslipp).

### 3.3.2 Utslipp av NO<sub>x</sub>

Nitrogenoksider (NO<sub>x</sub>) øker risikoen for luftveislidelser og bidrar til forsurening og skader på materialer, og kan i nærvær av sollys og VOC bidra til dannelse av bakkenær ozon. NO<sub>x</sub> kan dannes ved forbrenning på fire ulike måter; termisk NO<sub>x</sub>, prompt NO<sub>x</sub>, via N<sub>2</sub>O (lystgass) og såkalt brensel-NO<sub>x</sub>. Normalt sett inneholder ikke fakkeltipp kjemisk bundet nitrogen, og brensel-NO<sub>x</sub> er derfor av liten betydning for utslipp fra fakling (15). Studier har også vist at NO<sub>x</sub> dannelse via N<sub>2</sub>O er av liten betydning (16) (17).

Målinger viser at utslippene av NO<sub>x</sub> øker med høyere flammtemperaturer, høyere forbrenningseffektivitet og høyere energiinnhold i gassen (18). Bedre miksing i forbrenningssonen ved

<sup>6</sup> Dette var bla. gjenstand for mye diskusjon ved American Flame Research Committee's (AFRC's) årsmøte i Utah 5. til 7. september 2012.

hjelp av damp-/luft-assistanse vil lede til høyere forbrenningseffektivitet og flammtemperatur, og dermed medføre en økning i NO<sub>x</sub>-utslipp. Studier utført av SINTEF har vist at NO<sub>x</sub>-utslipp fra fakling øker med høyere gasshastighet i fakkeltipp, og reduseres med økende fakkeltipp diameter (19). I den eksperimentelle «skaleringsloven» for NO<sub>x</sub>-utslipp presentert av SINTEF i 2008 («d-scaling law»), er utslipp av NO<sub>x</sub> per masseenhet fakkeltipp negativt korrelert med gasstettheten (20). Data fra Discroll et al. (1992) viser at utslippsfaktoren for NO<sub>x</sub> øker med økende diameter for brennere med små diametre (1.6 til 5.2 mm) (21). Dette er motsatt effekt av hva SINTEF har funnet, dvs. redusert NO<sub>x</sub>-utslipp ved økende fakkeltipp diameter (19). SINTEF påpeker imidlertid at effekten av diameter er usikker, da skaleringsloven ikke har blitt verifisert eksperimentelt for større fakkeltipper (> 50 mm).

Hydrokarbonrike (oksygenfattige) flammer eller flammesoner reduserer NO<sub>x</sub>-utslippet. Det samme gjelder vind, som vil kjøle ned flammen og har en reduserende virkning.

Ulike parameteres påvirkning på NO<sub>x</sub>-utslipp fra gassfakling er oppsummert i **Tabell 6**.

**Tabell 6:** Parametere («A») som påvirker utslipp av NO<sub>x</sub> («B») fra gassfakling (i g/kg)

«B» ↓ «A» →		En økning av parameter «A» gir en økning (↗), en reduksjon (↘), ingen endring (→) eller uavklart (?) effekt på «B»							
		Forbr.eff. (CE)	Flamme-temperatur	Gass densitet	Energi innhold	Hastighet i fakkeltipp	Diameter (dyse(r))	Turbulent miksing	Kryss-vind
Utslipp av NO <sub>x</sub> (g/kg)		↗	↗	↘	↗	↗	↘ ?	↗	↘

### 3.3.3 Utslipp av VOC (metan og nmVOC)

Utslipp av VOC (flyktige organiske forbindelser) skyldes primært ufullstendig forbrenning i fakkeltipp. De samme styrende parametere som for forbrenningseffektivitet, vil derfor også være styrende for utslipp av VOC (metan og nmVOC) (se **Tabell 7**). Utslipp av metan og nmVOC vil være avhengig av andelen av henholdsvis metan og andre hydrokarboner i fakkeltippgassen (i % av volum eller masse avhengig av utslippsenhet). Metan er en potent klimagass med relativt kort oppholdstid i atmosfæren, mens nmVOC kan være kreftfremkallende og bidrar til dannelse av bakkenær ozon.

**Tabell 7:** Parametere («A») som påvirker utslipp av metan og nmVOC («B») fra en fakkeltipp

«B» ↓ «A» →		En økning av parameter «A» gir en økning (↗), en reduksjon (↘), ingen endring (→) eller uavklart (?) effekt på «B»							
		Forbr.eff. (CE)	Flamme-temperatur	Gass densitet	Energi innhold	Hastighet i fakkeltipp	Diameter (dyse(r))	Turbulent miksing	Kryss-vind
Metan- og nmVOC-utslipp		↘	↘	↗	↘	↘	?	↘	↗ ?

### 3.3.4 Utslipp av CO

Karbonmonoksid (CO) er en av de viktigste utslippskomponentene forbundet med ufullstendig forbrenning. Utslipp av CO bør derfor måles for å bestemme forbrenningseffektiviteten ved fakling. Måledata fra fakkelstudier viser at utslipp av CO øker nesten lineært når forbrenningseffektiviteten reduseres, med unntak av for damp-assisterte fakler hvor det fakles gass med lavt energiinnhold (22) (23). Utslipp av CO har helsemessige konsekvenser, og bidrar til dannelse av bakkenær ozon.

**Tabell 8:** Parametere («A») som påvirker utslipp av CO («B») fra en fakkel

«B» ↓	«A» →	En økning av parameter «A» gir en økning (↗), en reduksjon (↘), ingen endring (→) eller uavklart (?) effekt på «B»							
		Forbr.eff. (CE)	Flamme- temperatur	Gass densitet	Energi innhold	Hastighet i fakkeltipp	Diameter (dyse(r))	Turbulent miksing	Kryss- vind
Utslipp av CO		↘	↘	↗	↘	↘	?	↘	↗ ?

### 3.3.5 Utslipp av SO<sub>2</sub>

Svoveldioksid (SO<sub>2</sub>) er en gass som forsurer jord og vann, skader materialer og øker risikoen for luftveislidelser. Svovel er normalt sett ikke tilstede i luft som benyttes ved forbrenning i fakkel (i motsetning til nitrogen som medfører dannelse av termisk NO<sub>x</sub>). Svovel i fakkelgass omdannes til SO<sub>2</sub> under forbrenning, og utslipp av SO<sub>2</sub> er derfor direkte relatert til innholdet av svovel (H<sub>2</sub>S) i fakkelgassen.

### 3.3.6 Utslipp av partikler

Begrepet «sot» blir ofte benyttet for å beskrive denne typen utslipp, men er et lite presist begrep<sup>7</sup>. Ift. fakling består utslipp av partikler (PM) primært av «Black Carbon» (BC) og «Organic Carbon» (OC) og oppstår ved ufullstendig forbrenning av gass. Utslipp til luft av partikler har betydning for lokal luftkvalitet, påvirker klimaet<sup>8</sup> og bidrar til transport av bla. miljøgifter over større avstander (24).

Sotpartikler (inkludert BC og OC) dannes gjennom en kompleks kjemisk og fysisk prosess, hvor partikler vokser og destrueres<sup>9</sup>. Den endelige mengden sot som slippes ut fra en fakkel, er et resultat av de konkurrerende effektene knyttet til dannelse av sotpartikler og oksidering av disse (25)

<sup>7</sup> «Sot» er ofte brukt for å beskrive synlige utslipp (synlig svart røyk), og det er ikke alltid tydelig definert om BC og/eller OC inngår i definisjonen.

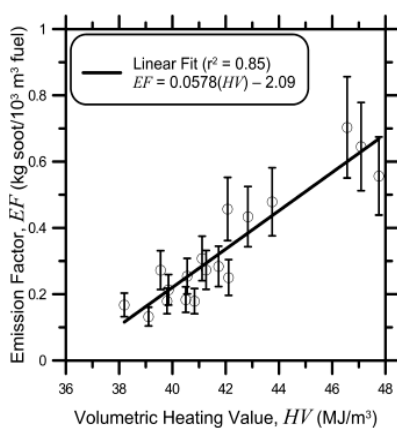
<sup>8</sup> Klimaeffekten varierer med partikkelsammensetning. Utslipp av BC bidrar til global oppvarming ved å absorbere sollys (dette er spesielt viktig når BC blir avsatt på snø/is), mens OC har en avkjølede effekt på klimaet fordi sollyset reflekteres.

<sup>9</sup> Det finnes mye litteratur på sot dannelse, blant annet F. Mauss (Lund Univ), M. Frenklauch (Univ of Calif-Berkely), and R. Lindstedt (Imperial College). En kjemisk reaksjon danner acetylene (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) og fører til at en benzene ring dannes og vokser til en PAH-forbindelse. Tunge PAH-molekyler danner primære sot-partikler. Disse partiklene

I forhold til andre typer utslipp presentert over, er kunnskapen omkring partikkelutslipp fra fakling relativt begrenset. Dette er nylig bekreftet av bla. "CLRTAP Ad-Hoc Expert Group on Black Carbon" og «Arctic Council Task Force on Short Lived Climate Forcers» (26). Ulike internasjonale forskningsmiljøer arbeider aktivt med å forstå sammenhengen mellom den komplekse sotdannelsesprosessen og de turbulente forholdene i en gassfakkell, og det pågår flere forskningsarbeider. Selv om de styrende parameterne ennå ikke er fullt ut kartlagt, er det funnet endel viktige sammenhenger.

Laboratorieeksperimenter utført av Carleton University, har vist at sotdannelse ved fakling øker med økende fakkeltipp diameter, økende gasstetthet og energiinnhold, hvor sammenhengen mellom sotdannelse og energiinnhold har den beste korrelasjonen (25) (se **Figur 2**). Ifølge US EPA (2002) vil alle hydrokarboner som er tyngre enn metan kunne medføre soting.

**Figur 2:** Utslippsfaktor for sot som funksjon av energiinnhold per volumenhet<sup>10</sup> (25)



Lange, umettede og forgreinede hydrokarboner vil sote lettere enn hydrokarboner med mettede og mindre forgreinede kjeder (24). Etylen og andre alkener (olefiner) er i tester funnet å sote mer enn etan og andre alkaner.

Mekanismene relatert til dannelse av partikler har ifølge eksperter, som er konsultert i prosjektet, ingen direkte sammenheng med forbrenningseffektiviteten ved fakling. Aerodyne har i samarbeid med Montana State University nylig utført et studie på vegne av «Texas Comission on Environmental Quality» (TCEQ) ved John Zink's testlaboratorium i Utah (27). Der har det blitt observert at utslipp av partikler (BC

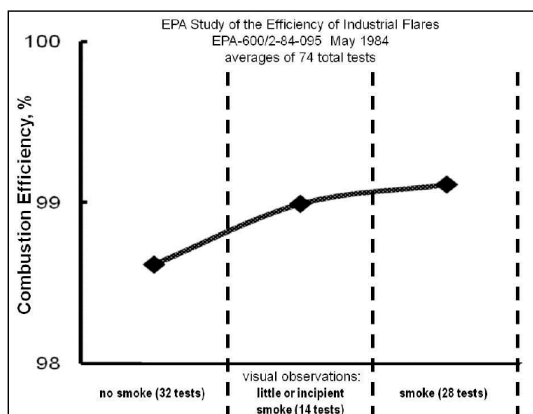
---

vokser så (med molekyler i gass fase og/eller andre PAH'er) og aggregeres (via partikkel-partikkel kollisjoner). Massen av sot reduseres gjennom oksidering hvor det dannes CO og CO<sub>2</sub>. Sot kan også dannes som «graphitic carbon», noe som skiller seg fra PAH formen.

<sup>10</sup> Basert på måledata for brennere («jet diffusion flames») med diameter fra 38,1 mm og oppover og «fire Froude numbers» større eller lik 0,003.

og OC) fra assisterte fakler, viser en økning av partikler ved høy(e) destruksjonseffektivitet(er). Målingene viser at partikkelutslipp fra fakling ikke alltid er et resultat av lav forbrenningseffektivitet. Disse resultatene er i tråd med en eldre publikasjon fra US EPA (se **Figur 3**). James G. Seebold skriver følgende i en nylig publisert artikkel: «data actually suggest that for the best combustion efficiency, you should run the flare at least slightly smoking all the time» (9). «Røykfri» drift er med andre ord ikke noen garanti for å oppnå høyest mulig forbrenningseffektivitet.

**Figur 3:** US EPA studie av forbrenningseffektiviteten til industrielle fakler (1984)



Betydningen som vind har for utslipp av partikler, er relativt usikker. I teorien vil vind redusere flammelengden og medføre at forbrenningsproduktene blir avkjølt raskere og kan forlate forbrenningssonen før de har blitt oksidert. På den annen side har TCEQ studiet (omtalt ovenfor), vist at moderat vind ikke hadde noen signifikant innvirkning på partikkelutslippene.

Høyere gasshastigheter i fakkeltipp vil øke innblandingen av luft og dermed forbedre miksing mellom luft og gass. Dette vil føre til økt oksidering av sot (økt forbruk av luft) og dermed lavere partikkelkonsentrasjoner. Bruk av damp-/luft-assistanse vil også redusere partikkelkonsentrasjonen betydelig. Dette har blitt bekreftet av målinger utført av Aerodyne for damp- og luft-assisterte fakler, hvor det ble brent propan og propylene (23).

Kunnskapen om ulike parameters påvirkning på partikkelutslipp fra fakling er oppsummert i **Tabell 9**.

**Tabell 9:** Parametere («A») som påvirker utslipp av partikler (BC+OC) («B») fra en fakkell

		En økning av parameter «A» gir en økning (↗), en reduksjon (↘), ingen endring (→) eller uavklart (?) effekt på «B»							
«B» ↓	«A» →	Forbr. eff. (CE)	Flamme-temperatur	Gass densitet	Energi innhold	Hastighet i fakkeltipp	Diameter (dyse(r))	Turbulent miksing	Kryss-vind
Utslipp av partikler		?	?	↗ ?	↗	↘ ?	↗	↘	→ ?

Basert på tilgjengelige målinger er det antatt at en svært stor andel (>95%) av partikkelutslippene fra fakling, vil kunne karakteriseres som PM<sub>2.5</sub> (27). Studier som er utført, har benyttet ulike målemetoder

for å kvantifisere partikkelutslipp<sup>11</sup>, og publiserte resultater har vist at fordelingen mellom BC- og OC-utslipp fra fakling varierer en del, men at andelen BC fra fakling er betydelig høyere enn fra forbrenningsmotorer og gassturbiner. Johnsen et al. har estimert at BC og OC utslipp utgjør henholdsvis 80% og 20% av totale partikkelutslipp (basert på bruk av to ulike målemetoder) (25), mens TCEQ studiet har vist at andelen OC utgjorde fra 4 til 20% av totale partikkelutslipp (27).

### 3.3.7 Lover og reguleringer knyttet til utslipp til luft fra fakling

Forurensende utslipp til luft fra fakling faller innenfor virkeområdet til forurensningsloven. Utslipp fra industrien er regulert i EU-direktivet 2010/75/EU (Industriutslippsdirektivet) som erstatter EU's rådsdirektiv 96/61/EF om integrert forebygging og begrensning av forurensning (IPPC-direktivet<sup>12</sup>). Direktivet er gjennom EØS avtalen forpliktende for Norge (28), og er implementert i norsk regelverk blant annet gjennom forurensningsforskriften. Direktivet stiller krav til forurensningsmyndighetenes (Miljødirektoratets) oppfølging av virksomhetene og de plikter virksomhetene har i forhold til miljø. Norges forpliktelser etter industriutslippsdirektivet skal oppfylles ved bruk av forurensningsloven, og direktivet innebærer fastsetting av krav til utslipp fra luft. Forurensningsforskriften stiller nærmere krav til behandlingen av tillatelser etter forurensningsloven<sup>13</sup>.

Direktivet inneholder blant annet bestemmelser om at større industrianlegg skal ha integrerte utslippstillatelser, det vil si at tillatelsene skal omfatte forurensning til vann, luft, avfall m.v., og bestemmelser om bruk av beste tilgjengelige teknikker (BAT)<sup>14</sup> og energieffektivitet (29).

Industriutslippsdirektivets definisjon av BAT fremhever bruk av preventive teknikker ift. andre metoder for å begrense utslipp. EU utarbeider BAT-referansedokumenter (BREF-dokumenter) både bransjevis og på tvers av bransjer som angir hvilke teknikker som vurdert generelt kan anses som BAT. Etter overgangen fra IPPC til industriutslippsdirektivet inneholder BREF-dokumentene BAT-konklusjoner, som konkluderer med hva som skal regnes som BAT innenfor den angitte bransjen. BAT-konklusjonene skal videre inneholde utslippsgrenser forbundet med BAT, og direktivet forplikter myndighetene til å stille tilsvarende eller strengere utslippsgrenseverdier i vilkårene i tillatelser til industrien. Direktivet krever

---

<sup>11</sup> Studier utført av Johnsen et al. ved Carleton University er basert på målinger av BC utslipp ved hjelp av en egenutviklet laserbasert teknikk («sky-LOSA») og en samplingmetode bestående av å samle sot på filtre for å bestemme total partikkelmengde (25). Aerodyne har samlet og analysert prøver av røykfanen («soot particle-aerosol mass spectrometer and scanning mobility particle sizer»), og har kvantifisert fordelingen av både BC og OC ift. partikkelstørrelse.

<sup>12</sup> Integrated Pollution Prevention Control (IPPC)

<sup>13</sup> Forskriftens kapittel 36 er med på å gjennomføre IPPC-direktivet i norsk rett.

<sup>14</sup> Et hovedprinsipp i IPPC-direktivet er at den ansvarlige for en virksomhet plikter å benytte "beste tilgjengelige teknologi" (BAT), og at de utslippsgrenser som fastsettes i en tillatelse, skal baseres på BAT. Artikkel 9 i direktivet sier imidlertid at utslippstillatelsen ikke skal foreskrive bruk av spesielle teknologier, men at dette skal velges gjennom vurdering av en rekke lokale forhold.

også at forurensningsmyndigheten sikrer at kravene overholdes i virksomhetene senest fire år etter publisering av ny eller revidert BREF.

De BREF-dokumentene som er vedtatt før industriutslippsdirektivet trådte i kraft, gjelder videre som veiledende dokumenter inntil de oppdateres. Miljødirektoratet skal i tillatelsene stille krav som er i tråd med BAT, men denne vurderingen vil være mer skjønnsmessig fram til BAT-konklusjoner foreligger på alle områder. Energianleggene offshore er inkludert i BREF-dokumentet for store forbrenningsanlegg (LCP-BREF), men fakling er ikke spesifikt beskrevet der. BAT-vurderinger knyttet til prosessdesign og utforming av fakkelsystemet er inkludert i BREF-dokumentet for raffinerier og gassbehandlingsanlegg (REF-BREF)<sup>15</sup>, men denne omfatter ikke relaterte aktiviteter knyttet til leting, produksjon, transport og markedsføring av produkter. En stor del av faklene i Norge er derfor ikke omfattet. BREF-dokumentet for produksjon av organiske kjemikalier (LVOC-BREF) inneholder også BAT-vurderinger relatert til fakling. Det foreligger også en horisontal BREF knyttet til håndtering av avfallsgass i kjemisk industri som omfatter fakling (CWW-BREF, side 573-585)<sup>16</sup>.

For nye anlegg og utbyggingsprosjekter er det et krav om at de skal drives i samsvar med direktivets krav (inkludert bruk av BAT) fra det tidspunktet virksomheten settes i drift. Valg av utbyggingsløsning kan ha stor betydning for de tekniske og økonomiske konsekvensene ved å begrense utslipp til luft. Operatørene må derfor i god tid før valg og beslutninger om utbyggingsløsninger foreligger og før bindende kontrakter inngås, informere Miljødirektoratet om sine BAT-vurderinger (28). BAT-vurderinger må også inkluderes i konsekvensutredninger, og i søknad om tillatelse til utslipp etter forurensningsloven, hvor operatøren må redegjøre for, og underbygge at, valgte løsninger kan anses som BAT. Ved Oljedirektoratets behandling av utbyggingsplaner (PUD og PAD) inngår en vurdering av anleggenes utforming med hensyn til faklingsbehovet, herunder vurdering av BAT.

Miljødirektoratet ønsker gjennom dette prosjektet en vurdering av hva som anses som BAT for anlegg som fakler gass i Norge. Vurderinger er gjort av teknikker for å minimere faklingsbehovet (prosessdesign og driftsprosedyrer) og av teknikker for å optimalisere forbrenningsprosessen for å redusere utslipp til luft av NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>, nmVOC, SO<sub>2</sub>, CO og partikler<sup>17</sup>.

Forbrenningsprosessen og styrende parametere som er presentert for ulike utslippskomponenter over, kan påvirkes gjennom design av fakkelsystemet. En utfordring ved vurdering av fakkelt teknologi opp mot hva som anses som BAT, er de mange designkravene som stilles til fakkelsystemet (herunder sikkerhets-, helse- og miljøkrav). Ytelse i forhold til å begrense utslipp til luft, er kun ett av mange aspekter som er relevant å vurdere ved valg av fakkeldesign. Basert på samtaler med sikkerhetsmyndigheter (Ptil), leverandører og selskaper, er Carbon Limits' vurdering at ytelse i forhold til utslipp til luft p.t. ikke er et

---

<sup>15</sup> [http://eippcb.jrc.es/reference/BREF/ref\\_bref\\_0203.pdf](http://eippcb.jrc.es/reference/BREF/ref_bref_0203.pdf)

<sup>16</sup> [http://eippcb.jrc.es/reference/BREF/cww\\_bref\\_0203.pdf](http://eippcb.jrc.es/reference/BREF/cww_bref_0203.pdf)

<sup>17</sup> Teknikker for å minimere faklingsbehovet er beskrevet i **Kapittel 8.2**, mens teknikker som kan anvendes for å optimalisere forbrenningsprosessen er presentert i **Kapittel 8.3**.

viktig kriterie (se **Kapittel 6.1** for en bredere gjennomgang). Det er ikke entydig hvordan det metodisk, kan vurderes om en mindre økning i sikkerhetsrisiko er akseptabel sett i lys av reduserte utslipp til luft. Det er også grunnleggende utfordringer knyttet til å gjøre fornuftige avveininger i situasjoner hvor en reduksjon i enkelte utslippskomponenter gir en samtidig økning i utslipp av andre komponenter (i fravær av riktig prising av de samfunnsmessige kostnadene forbundet med alle typer utslipp<sup>18</sup>).

**Kapittel 6.4** inneholder en oppsummering av BAT-vurderinger.

## 4. Anvendte fakkelstrategier

Et viktig formål med prosjektet har vært å dokumentere:

- hvilke strategier (om noen) som benyttes ved offshore feltene og landanleggene i Norge for å kontrollere og redusere fakling
- hvordan disse eventuelt er koblet opp mot virksomhetenes driftsstyring og energiledelse
- konkrete målsetninger for fakling og utslipp til luft av klimagasser og andre komponenter

Basert på en forståelse av dagens situasjon og tilnærming, har prosjektteamet sett på mulighetene for forbedringer i de anvendte fakkelstrategier offshore og på land. Kapittelet avsluttes med anbefalinger av tiltak.

Carbon Limits har foretatt 12 intervjuer med representanter for landanlegg og offshore installasjoner i Norge, inklusive nøkkelpersoner i stabsfunksjoner. Intervjuobjektene ble fordelt på et utvalg av operatører for å få et representativt syn – både norske, utenlandske, store og mindre selskaper. Flere av de intervjuede dekket mer enn ett anlegg. Informasjon foreligger for opp mot 20 ulike anlegg. De fleste intervjuede har miljøansvar for anlegget og noen var støttet av prosessansvarlige i intervjuet.

Faklingsstrategi, mål og tiltak, vil variere mellom anlegg og operatører, men det er i hovedsak åpenbare fellestrekk. Det er verdt å merke seg at flertallet av offshorefeltene på norsk sokkel og anleggene på land har oppnådd betydelige faklingsreduksjoner, og at de enkleste grepene i forhold til å begrense fakling allerede er gjennomført.

---

<sup>18</sup> CO<sub>2</sub>-utslipp fra fakling har gjennom CO<sub>2</sub>-avgiftsloven vært gjenstand for fiskale avgifter offshore siden 1. januar 1991, og er nå også omfattet av kvoteplikt. Kvoteplikten gjelder også for fakler på land. En særavgift på NO<sub>x</sub> ble innført i 2007. Det oppstår avgiftsplikt ved utslipp av NO<sub>x</sub> fra fakler på offshoreinstallasjoner og anlegg på land med mindre utslippskilden (faklene) er omfattet av miljøavtalen om NO<sub>x</sub>. Miljøavtalen om NO<sub>x</sub> regulerer næringsorganisasjonenes forpliktelser ovenfor myndighetene til å redusere sine samlede NO<sub>x</sub>-utslipp. Et NO<sub>x</sub>-fond har blitt etablert for å gi investeringsstøtte til prosjekter som har verifiserte utslippsreduksjoner, og selskapene betaler inn frivillige innbetalinger til fondet basert på sine utslipp (tilsvarende 15 NOK/tNO<sub>x</sub>).



På generelt grunnlag ble det uttrykt at fakling skal reduseres så mye som mulig og at unødvendig fakling ikke skal forekomme. Flertallet av de intervjuede på landanleggene og offshore installasjonene fant det imidlertid vanskelig å uttrykke en overordnet målsetning for reduksjon eller minimalisering av fakling.

De større selskapene har klare definerte overordnede mål og strategier på selskapsnivå, men det er variabelt hvordan dette har blitt implementert på landanleggene og offshore installasjonene. Ut fra intervjuene var det ikke mulig å identifisere klare strategier for hvordan den overordnede målsettingen kunne nås. Dette skyldes enten at strategien ikke var eller bare delvis var kjent, at selskapsstrategien ennå ikke var fullt ut implementert eller formidlet, eller at den var under utarbeidelse og at det på det tidspunktet intervjuet fant sted ikke fantes noen overordnet faklingsstrategi for det enkelte anlegg eller felt.

Noen av de større selskapene har sentrale policies og prosedyrer, som er gjort gjeldende for de enkelte landanleggene og offshorefeltene, og som nedfeller seg i konkrete delmål om hvor lenge og hvor mye som kan fakles før nedstengning eller andre tiltak settes i verk. Hvis grenseverdier overskrides (dvs. faklingsrater offshore og spesifikke utslippsgrenser for landanlegg), skal det rapporteres og forklares internt og til relevante myndigheter. Faklingstillatelsen, som etter søknad gis i medhold av petroleumsløven, synes å være et viktig styringsverktøy for alle operatører offshore. Den ble nevnt av nesten alle som et sentralt verktøy for å håndtere faklingsvolumer.

Mye av faklingen skyldes uplanlagte nedstengninger og hendelser. Det er prosjektteamtes vurdering at ledelsen følger nøye opp og har klare føringer om å få slike hendelser redusert, primært av sikkerhetsmessige og produksjonsmessige grunner, ikke så mye for å minimalisere fakling (som dermed blir en positiv bi-effekt). Rutiner (ved nedstengning, vedlikehold etc.) synes i liten grad å være utarbeidet for å minimalisere fakling. Sikkerhet, driftsregularitet og produksjon er klart mer førende ved slike operasjoner.

Vurdering av fakling inngår normalt i utarbeidelse av planer for energiledelse, som miljøplaner også er en del av. Fakling synes imidlertid ikke å være den mest sentrale delen av slike energiledelsesplaner pr. i dag. Modenhet og hvilken betydning slike planer for energiledelse har, varierer endel mellom selskapene (både offshore og på land), og er tildels i startfasen.

Med unntak av ett selskap, systematiseres og kategoriseres ikke data for fakling. All fakling klassifiseres som "sikkerhetsfakling". Fakling rapporteres kun i dagsrapporter sammen med andre operasjonelle data og hendelser. Systematisering gjøres eventuelt i ettertid (for eksempel ved å gå igjennom dagsrapporter i ettertid, slik det har vært gjort for dette studiet). Selskapene som opererer offshore er opptatt av faklet volum, og i mindre grad av årsakene til fakling. Dette styres, i den grad det er mulig, av faklingstillatelsen gitt i mehold av petroleumsløven. Tatt i betraktning at det ikke foreligger systematisk og tilgjengelig informasjon om årsakene til fakling, er det grunn til å stille spørsmål ved hvordan ledelsen kan prioritere ressurser mellom ulike utslippsreducerende tiltak. En systematisk oversikt over tid, om hvordan

kontinuerlig fakling fordeler seg på kilder, for eksempel pilotflamme, spylegass, glykol re-generering, avgass fra produsert vann, ville være et nyttig verktøy i slike vurderinger.

En betydelig del av den ikke-kontinuerlige faklingen offshore skyldes uforutsette driftsforstyrrelser (ca. 80%). Da dette normalt innebærer produksjonstap, er det rimelig å anta at disse hendelsene gjennomgås systematisk i de fleste selskaper. Ca. 30% av denne faklingen kan tilbakeføres til trykkavlastning i forbindelse med vedlikehold og opp/nedkjøring av anlegg og kompressorer. Dette er kilder med potensial for forbedringer. Mange av feltene har gjennomført tiltak for å forbedre rutiner og strategier for å minimere denne typen fakling.

Prosjektteamets inntrykk etter å ha gjennomført intervjuer og gjennomgått innsendte spørreskjema, er at mye er oppnådd offshore gjennom CO<sub>2</sub>-avgiftsregimet som ble innført i 1991, og at faklingstiltak som har latt seg gjennomføre innenfor CO<sub>2</sub>-avgiften er tatt. Ytterligere forbedringer er av selskapene vurdert til å være mer krevende økonomisk og prioriteringsmessig, og må nøye vurderes mot utilsiktede konsekvenser. Dette kan være noe av forklaringen på at det er en viss prosjekttørke knyttet til fakling og at trykket på faklingstiltak i en periode har vært mindre enn før. Oppmerksomheten og trykket har imidlertid tatt seg opp i det siste. Dette er bekreftet av intervjuene som er gjennomført, og hvor det refereres til nylig igangsatte planer og initiativ. Arbeid med energiledelse er et godt uttrykk for dette. Ett av selskapene opplyser om at fakkelsestrategi ble tatt inn som del av selskapets styrende dokumenter i 2012, hvor det stilles krav om at det skal utarbeides lokale faklingsstrategier for alle operasjonelle enheter (en pågående prosess).

Det er også grunn til å tro at forventninger omkring Klimameldingen førte til ny oppmerksomhet omkring redusert fakling og koblingen mot energiledelse. Ett av selskapene opplyser å ha hatt langsiktige mål helt siden Konkraft rapporten i 2008, hvor industrien påtok seg et mål om å redusere CO<sub>2</sub>-utslippet med totalt 1 million tonn innen 2020. Selskapet jobber nå med å få på plass strategier for det enkelte felt og landanlegg. Dette viser at denne type prosesser og resulterende tiltak er tidkrevende å få på plass. Det var imidlertid ved gjennomføring av dette prosjektet et ikke ubetydelig gap mellom strategier på sentralt hold og den situasjonen som ble beskrevet for de enkelte felt, hvilket demonstrerer at dette er prosesser som tar tid før de resulterer i konkrete tiltak og holdninger<sup>19</sup>. Det viser også viktigheten av kontinuerlig oppmerksomhet, synlighet og tydelighet på alle nivåer.

### **Anbefalinger:**

Tekniske og operasjonelle tiltak for å redusere fakling, kan ha negative effekter for andre miljømål. En anbefaling om tiltak som reduserer faklingsraten kan medføre økning i drivstofforbruk og for enkelte fakler øke både metanutslipp (ved at fakkelen kan kveles og slukkes) og partikkelutslipp ved at forbrenningeffektiviteten forverres. Disse negative korrelasjonseffektene er behandlet i andre deler av

---

<sup>19</sup> Sammenhengen mellom eventuelle sentrale mål og strategier og konkrete mål og planer lokalt, ble av prosjektteamet i flere tilfeller vurdert å være svak eller ikke-eksisterende ved gjennomføring av intervjuene.

denne rapporten, og vil være avhengig av installasjonsspesifikke forhold. Prosjektteamet finner det derfor vanskelig å komme med konkrete anbefalinger om tekniske og operasjonelle tiltak knyttet til eksisterende anlegg og offshore installasjoner.

Det anbefales imidlertid at fakling bør klassifiseres på årsaker, det være seg kategorier eller i hvilke systemer faklingen skjer. Utsagnet «det som måles får oppmerksomhet» er gyldig også for fakling. Økt oppmerksomhet vil også muliggjøre mer systematiske prioriteringer fra selskapenes side, både offshore og på land.

Det er også mulig å forbedre arbeidet med energiledelse og sikre at denne forankres både lokalt og sentralt, og at fakling blir gjort til en mer sentral del av energiledelsesplanene. Ansvar for forbedringer ligger og må ligge hos ledelsen. Uten en klar og kontinuerlig oppmerksomhet fra ledelsen sin side, vil strategiene og planene bli lite effektive og havne på hyllen. Gapet mellom hva som blir uttalt og hva som vektlegges ved måloppfyllelse (insentiver) og som kommuniseres eksplisitt og implisitt internt, kan og bør tettes for å kunne oppnå varige forbedringer på dette feltet.

## 5. Fakling i Norge

Det har blitt gjennomført en lang rekke tiltak for å minimere faklingen ved de ulike felt og landanlegg i Norge. Faklede volumer har vist en svak nedgang de siste ti årene, men varierer endel fra år til år. «Faklingsintensiteten» (definert som faklet volum per Sm<sup>3</sup> o.e. produsert) viser en svakt stigende trend i løpet av den samme perioden.

**Kapittel 5.1** gir en oversikt over gjennomførte tiltak de siste ti år. Dette kapittelet refererer også til teknikker for å redusere fakling og relaterte utslipp til luft som er ytterligere beskrevet i **Kapittel 6**. Dagens status ift. fakling er presentert i **Kapittel 5.2**. Dagens status har sammen med en vurdering av tilgjengelig teknologi, dannet grunnlaget for BAT vurderinger. BAT vurderingene er presentert i **Kapittel 6.4**.

### 5.1 Utvikling i fakling og tiltak gjennomført siste 10 år

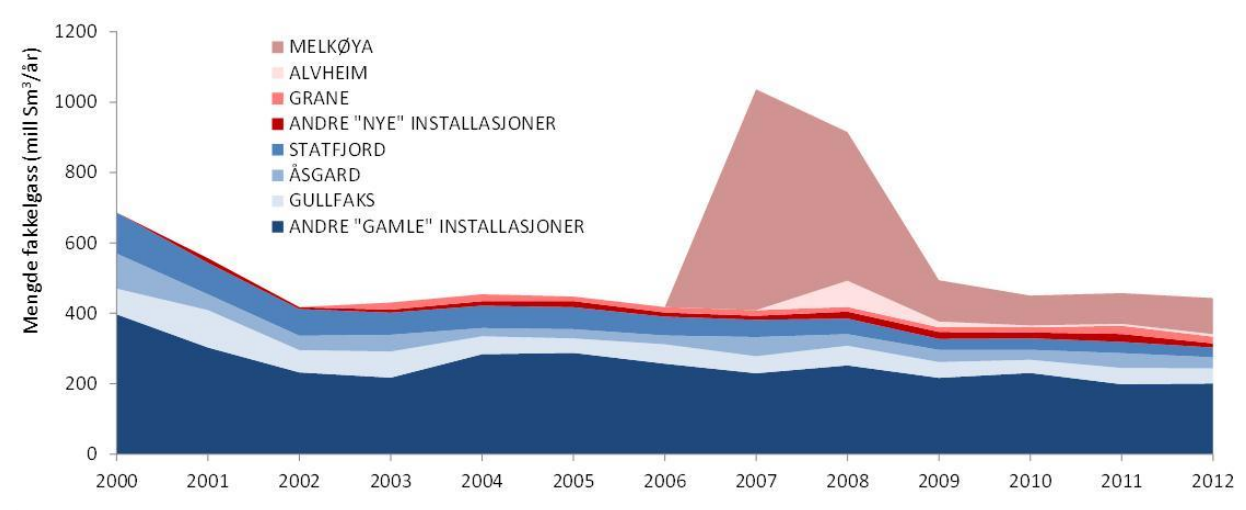
Norge har siden 1970-tallet hatt regulering av fakling forbundet med utvinning og produksjon av olje og gass. Petroleumslovgivningen (Petroleumsloven §4-4) inneholder bestemmelser om forbud mot fakling ut over sikkerhetsmessige årsaker, med mindre Olje- og Energidepartementet (OED) godkjenner andre årsaker. Fakling, som eneste avsetning for gass, er ikke tillatt, og anleggenes utforming med hensyn på faklingsbehovet vurderes av Oljedirektoratet (OD) ved behandling av selskapenes utbyggingsplaner (PUD og PAD<sup>20</sup>). Myndighetene regulerer fakling gjennom at OED utsteder faklingstillatelser i de årlige produksjonstillatelsene. Den langvarige, forutsigbare og strenge reguleringen av fakling har utvilsomt bidratt til at nivået for fakling i Norge er lavt sammenlignet med andre olje og gassproduserende land (14). **Figur 4** viser utviklingen i mengden gass faklet i Norge i perioden 2000 til 2012, inkludert de største bidragsyterne og andre «nye»<sup>21</sup> og «gamle» installasjoner.

---

<sup>20</sup> Planer for utbygging og drift (PUD) og planer for anlegg og drift (PAD) består av en utbyggings- eller anleggsdel og en konsekvensutredningsdel.

<sup>21</sup> «Nye» installasjon er i denne sammenheng definert som installasjoner som ikke var i drift i starten av perioden.

**Figur 4:** Utvikling i mengde gass faklet i Norge siden 2000<sup>22</sup>



I forbindelse med innføringen av CO<sub>2</sub>-avgiftsregimet i 1991, ble det gjennomført en rekke tiltak for å redusere den kontinuerlige faklingen gjennom å utvikle og ta i bruk ny teknologi; bla. fakkelgassgjenvinning og slukket fakkel (dvs. antennelse av fakkel ved behov). Det totale faklingsvolumet var i 1993 i underkant av 30 % lavere sammenlignet med faklingsvolumet i 1989, til tross for kun 10 felt i drift i 1989 mot 20 felt i drift i 1993 (1). Nye feltutbygginger har, siden innføringen av CO<sub>2</sub>-avgiftsregimet, i stor grad anvendt teknologi som begrenser fakling fra kontinuerlige kilder (bla. fakkelgassgjenvinning og bruk av nitrogen som spylegass), og ulike studier har siden tidlig på 90-tallet vist at ca. 60-80% av faklingen skyldes operasjonelle og sikkerhetsmessige årsaker («ikke-kontinuerlig fakling») (1).

Gjennom spørreundersøkelsen i «Fase 2» av prosjektet, har informasjon om tiltak gjennomført i løpet av de siste ti år blitt samlet inn fra virksomhetene som fakler gass i Norge (dvs. totalt 52 ulike installasjoner offshore og på land). Virksomhetene har rapportert om mer enn 200 gjennomførte tiltak, som har påvirket mengden gass som er faklet eller utslipp til luft fra fakling. For flertallet av disse tiltakene foreligger det kun en kvalitativ beskrivelse, dvs. uten kvantifiserte kostnader, reduksjoner i faklede volumer eller utslipp til luft. Det har derfor ikke vært mulig å kvantifisere effekten av gjennomførte tiltak de siste ti år, i tråd med målsettingene for prosjektet.

De innsamlete data knyttet til gjennomførte tiltak har blitt kategorisert som vist i **Tabell 10**.

<sup>22</sup> Kilde: OD

**Tabell 10:** Oversikt over innrapporterte tiltak gjennomført i perioden 2002 til 2012

Hovedkategori:	Underkategori:	# innrapporterte tiltak:
Tekniske tiltak	Tekniske tiltak for å forbedre regularitet	33
	(Økt) fakkellgassgjenvinning	18
	Ulike tiltak for å redusere mengden gass sendt til fakkel	18
Driftsmessige tiltak	Forbedring av prosedyrer og fakkellstrategi	93
	Opplæring av personell	24
Endret fakkeldesign	Tiltak knyttet til pilotbrennere	4
	Redusert bruk av hydrokarboner som spyle-/dekk-gass	2
	Andre tiltak knyttet til fakkeldesign	10

Vurderinger av gjennomførte tiltak er presentert under. Tiltaksmuligheter knyttet til å oppnå ytterligere reduksjoner i faklet gassmengde og relaterte utslipp til luft er beskrevet i **Kapittel 8**. for tiltakskategoriene presentert i **Tabell 10**.

### 5.1.1 Tiltak for å redusere ikke-kontinuerlig fakling

#### Tekniske tiltak – Forbedring av driftsregularitet:

OD påpekte i 2002 at mange anlegg har blitt presset ut over designraten for å oppnå raskere inntjening og større nåverdi av produksjonen, noe som i enkelte tilfeller har medført driftsforstyrrelser og lavere regularitet, og dermed også mer fakling (1). Da det er en betydelig vinn-vinn situasjon knyttet til å unngå uforutsette driftsstanser og produksjonstap, har virksomhetene stor fokus på å opprettholde regulariteten i produksjonen. Regularitetsøkende tiltak er ikke nødvendigvis rettet direkte mot fakling, men er av virksomhetene ansett å representere noen av de aller viktigste tiltakene som kan gjennomføres for direkte eller indirekte å unngå driftsstans med tilhørende fakling.

Virksomhetene har rapportert om 33 ulike tekniske tiltak, som er gjennomført for å forbedre driftsregulariteten. Ifølge virksomhetene gir ikke de innrapporterte tiltakene et riktig bilde av innsatsen som er lagt ned for å forbedre regulariteten de siste ti årene. Dette skyldes utfordringer med utfylling av spørreskjemaet, som ikke fanger opp alle relevante tiltak.

Flertallet av tiltakene innenfor denne kategorien er ikke primært gjennomført med tanke på å redusere fakling. Eksempler på tiltak som er gjennomført er:

- Oppgraderinger av kontrollsystemer/logikk/styresystemer
- Optimalisering av vedlikehold (f.eks. vannvask av turbiner<sup>23</sup>)

<sup>23</sup> Dette er regularitetsøkende fordi man slipper å stoppe turbinen for hyppig vannvask, og det er faklings-reducerende når man ikke behøver å fakle ved stopp av turbinen.

- Generell oppgradering av utstyr
- Robustgjøring av kraftforsyning (produksjon og/eller distribusjon)<sup>24</sup>

Innrapporterte data gir ikke grunnlag for å kvantifisere effekten av denne typen tiltak, fordi faklingsreduksjoner i liten grad har blitt kvantifisert/analysert i detalj av virksomhetene.

### **Driftsmessige tiltak – Forbedring av prosedyrer og fakkelstrategi:**

Virksomhetene har rapportert om 93 gjennomførte tiltak for å forbedre rutiner og prosedyrer og implementere fakkelstrategier på enkeltinstallasjoner. Nesten halvparten av disse (40 tiltak) er gjennomført i løpet av de siste tre år (2010-2012). Eksempler på tiltak er:

- Forbedre oppstarts-/nedstengningsprosedyrer (f.eks. endret rekkefølge av aktiviteter ved oppstart)
- Optimalisere prosedyrer for drift og vedlikehold
- Installasjonsspesifikke fakkelstrategier (bla. etablering av metode/plan for å gjennomføre fakling ved ikke-planlagte hendelser/driftsforstyrrelser)

Effekten av denne typen tiltak har kun for 14 av de i alt 93 tiltakene, blitt kvantifisert av virksomhetene. Den totale reduksjonen som er oppnådd gjennom disse 14 tiltakene, er estimert til ca. 30 millioner Sm<sup>3</sup> per år (tilsvarende ca. 7% av det totale faklingvolumet i 2002). Det har i denne studien ikke vært mulig å kvantifisere effekten av de resterende 79 tiltakene. Den innrapporterte reduksjonen viser imidlertid at denne typen tiltak har bidratt til betydelige reduksjoner i fakling i løpet av de siste ti år.

### **Driftsmessige tiltak – Opplæring av personell:**

Virksomhetene har rapportert om totalt 24 gjennomførte tiltak som gjør operativt personell bedre i stand til å håndtere normale og unormale driftssituasjoner (bla. nedstengninger og uregelmessigheter i prosess, opp-/ned-kjøring av prosessanlegg og drift av kompressorer). Disse tiltakene knytter seg i stor grad til opplæring og bruk av simulatorer for skiftpersonell ved ti installasjoner; 7 offshore og 3 på land. Effekten av denne type tiltak forligger kun for en installasjon, og er estimert til 600 tonn gass/år ved revisjonsstans.

---

<sup>24</sup> F.eks. kraftdeling mellom installasjoner og felt, bla. Gullfaks og Snorre, som gjør at stans på ett sted ikke gjør at hele installasjonen må stenge ned. Det gir også muligheten for optimal turbindrif i forhold til kraftbehov, som igjen leder til mindre fakling og redusert brenngassforbruk.

## 5.1.2 Tiltak for å redusere kontinuerlig fakling

### Tekniske tiltak – Fakkalgassgjenvinning:

I løpet av de siste ti årene er det rapportert om 18 gjennomførte tiltak for å gjenvinne fakkalgass (alle offshore), hvorav 11 knytter seg til valg av design ved nye installasjoner. Fakkalgassgjenvinning er for disse installasjonene ansett som BAT. De 7 resterende tiltakene er gjennomført på eldre installasjoner, og dreier seg bla. om økt gjenvinning fra avgassing av produsert vann, avgassing av glykol re-generering og en kraftstasjon. Den resulterende faklingsreduksjonen er estimert for tre av tiltakene (Statfjord A, Veslefrikk B og Snorre B), og utgjør totalt 11,8 millioner  $\text{Sm}^3/\text{år}$ . Det foreligger ikke datagrunnlag for å estimere faklingsreduksjonen knyttet til de resterende 4 tiltakene.

Det er siden 2002 også rapportert om et forsøk på etterinstallasjon av system for fakkalgassgjenvinning som ikke ga ønsket resultat. Dette tiltaket viste seg å ikke være teknisk mulig basert på prosessmessige forhold, og prosjektet ble derfor avsluttet pga. manglende teknologi.

### Endret fakkeldesign – Tiltak knyttet til pilotbrennere:

Totalt fem tiltak knyttet til pilotbrennere, har blitt rapportert inn. Tre av disse knytter seg til (re-) installasjon av pilotbrennere, mens to knytter seg til utskifting av pilotbrennere med redusert drivstofforbruk.

For å sikre en regelmessig fakkelflamme, benytter enkelte installasjoner betydelige mengder hydrokarbongass (spylegass) i perioder for å holde liv i fakkelen. Tre installasjoner offshore har (re-) installert pilotbrennere for å begrense gassmengden som er nødvendig for å holde liv i fakkelen, spesielt i dårlig vær<sup>25</sup>. Ved bruk av pilotbrenner kan mengden spylegass (naturgass) som var nødvendig for å holde liv i fakkelen reduseres kraftig. Effekten av å (re-)installere pilotbrennere er for to av tiltakene estimert til å redusere faklingen med 3,5 millioner  $\text{Sm}^3/\text{år}$  (gjennomført i 2010 og 2011).

I forbindelse med utskifting av alle fakkalbrennerne på Balder FPU, ble det i 2010 installert et nytt pilot- og elektrisk antennessystem. Drivstofforbruket til de nye pilotene er ca. 1/10 av det høyest rapporterte drivstofforbruket for piloter i Norge, og ca. 1/3 av det gjennomsnittlige rapporterte drivstofforbruket. Et optimistisk anslag tilsier derfor at dette tiltaket kan ha redusert faklingen med opp mot 0,1 – 0,3 millioner  $\text{Sm}^3/\text{år}$ .

### Endret fakkeldesign – Redusert bruk av hydrokarbongass som spyle-/dekk-gass:

Flertallet av de nye installasjonene har valgt å anvende nitrogen ( $\text{N}_2$ ) som spylegass. Det er i løpet av de siste ti årene kun rapportert om ett konkret tiltak, hvor hydrokarbongass er erstattet med  $\text{N}_2$  ved eldre

---

<sup>25</sup> For to av installasjonene har pilotbrenneren vært ute av drift/fjernet pga. korrosjon.



anlegg. Tiltaket ble gjennomført ved metanolfabrikken på Tjeldbergodden i 2012, og er estimert til å utgjøre ca. 1 million  $\text{Sm}^3/\text{år}$ .

### 5.1.3 Oppsummering

Virksomhetene som fakler gass i Norge har rapportert om mer enn 200 gjennomførte tiltak for å redusere fakling og relaterte utslipp til luft i perioden 2002 til 2012. Hovedvekten av tiltakene har vært rettet mot å redusere fakling knyttet til enkelthendelser og driftsforstyrrelser, både indirekte gjennom ulike regularitetsøkende tiltak og direkte gjennom forbedrede driftsprosedyrer og opplæring av operativt personell. Effekten av tiltakene (reduksjonen som er oppnådd) har i liten grad blitt kvantifisert av virksomhetene. Det er likvel grunn til å konkludere med at tiltakene har bidratt til betydelige reduksjoner i fakling i løpet av de siste ti årene. Virksomhetene har for 26 av de i alt 150 tiltakene som er knyttet til enkelthendelser og driftsforstyrrelser, estimert den totale effekten på mengden gass som fakles til ca. 90 millioner  $\text{Sm}^3/\text{år}$ .

Forut for den tiårsperioden som er vurdert i dette studiet (dvs. på nittitallet), ble det gjennomført en lang rekke tiltak for å redusere den kontinuerlige faklingen (bla. fakkeltgassgjenvinning ved Gullfaks A og C, Oseberg A, Heidrun, Varg FPSO og Troll C). I perioden 2002 til 2012 har det blitt rapportert om at det for de fleste eldre installasjoner har blitt gjennomført fornyede vurderinger av tiltak for å redusere den gjenværende kontinuerlige faklingen. Dette gjelder bla. tiltak som fakkeltgassgjenvinning og bruk av nitrogen som spyle/dekk-gass, men uten at det er funnet økonomisk grunnlag for flertallet av disse. Kun 14 tiltak har blitt rapportert gjennomført ved eldre installasjoner i denne perioden. Disse er direkte knyttet til fakkelsystemet (dvs. fakkeltgassgjenvinning, pilotbrennere eller bruk av spyle-/dekk-gass). Basert på innsendt informasjon, anslås effekten på mengden gass som fakles til ca. 15 - 30 millioner  $\text{Sm}^3/\text{år}$ . Anvendte teknologier og fakkeldesign som reduserer den kontinuerlig faklingen, er av virksomhetene vurdert som BAT og er tatt i bruk ved de fleste nye installasjoner de siste ti årene. BAT vurderinger er presentert i **Kapittel 6.4**.

## 5.2 Status fakling i 2011

Den totale faklingen utgjorde i 2011 henholdsvis 337 millioner  $\text{Sm}^3$  offshore (938 000  $\text{tCO}_2$ ) og 203 000 tonn ved landanleggene (396 000  $\text{tCO}_2$ ). For å få en overordnet forståelse av faklingssituasjonen ved de ulike anleggene ble virksomhetene, som del av spørreundersøkelsen i «Fase 1», bedt om å anslå en fordeling av faklingen i 2011 på ulike kilder i %<sup>26</sup>. Det viste seg imidlertid å være relativt utfordrende for virksomhetene, da årsaker til fakling normalt sett ikke blir systematisk vurdert og rapportert (jf. **Kapittel 4**). Virksomhetene var i de fleste tilfeller nødt til manuelt å gå gjennom dagsrapporter for å forsøke å

---

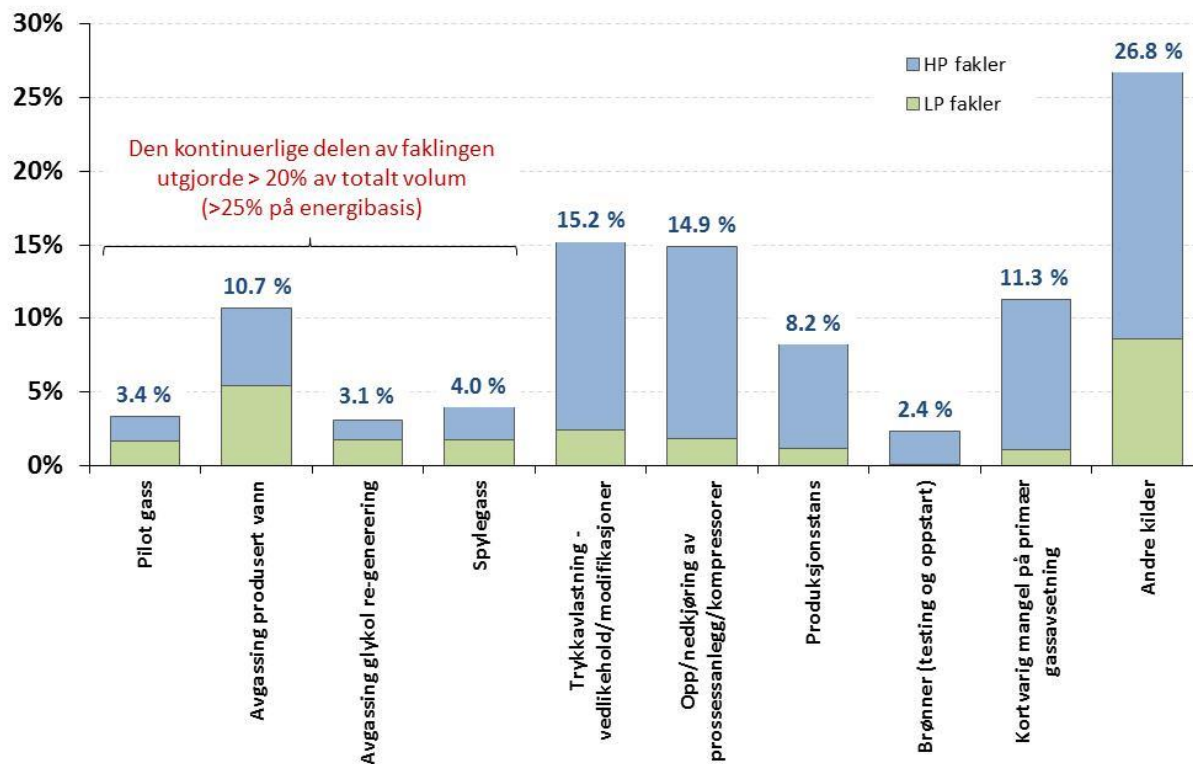
<sup>26</sup> Virksomhetene ble i spørreskjemaet spurt om å anslå andeler ift. total fakling i 2011. Dersom 2011 ga et ikke-representativt bilde av faklingssituasjonen, skulle alternative verdier som angir status med dagens produksjon og teknologi anslås. Det ble bedt om at målte volumer av inert gass brukt som spylegass i evt. perioder med slukket fakkelt ikke skulle inkluderes i beregning av %.

identifisere årsakene til fakling i ettertid. Mange virksomheter påpekte at svarene som var oppgitt, dels var basert på en kombinasjon av faktiske data, målinger og beregninger, og dels på kvalifiserte anslag. Det ble også påpekt at de innsendte anslagene for 2011 ikke var representative for fremtidig fakling ved anleggene. Det siste er naturlig da faklingen kan variere mye fra år til år.

På tross av utfordringene knyttet til å anslå en fordeling på kilder i 2011, har virksomhetene sendt inn estimater for 81 av de 108 faklene det foreligger opplysninger om. Resultatene er vist i **Figur 5** for offshore og i **Figur 6** for anlegg på land. Bidraget fra høytrykksfakler (HP) og lavtrykksfakler (LP) er også illustrert for hver enkelt kilde. En relativt stor andel av faklingen er oppgitt som «andre kilder». Det er grunn til å anta at dette skyldes mangelfull registrering av faklingshendelser og årsak. Disse faklingsvolumene vil i realiteten kunne fordeles på de andre kildene og dermed bidra til å endre «øyeblikksbildet» som er presentert i denne rapporten.

Selv om **Figur 5** og **Figur 6** i beste fall viser et øyeblikksbilde av situasjonen, og dermed ikke er egnet til å trekke noen tydelige konklusjoner, gir de interessante indikasjoner på hvor det fortsatt kan finnes eventuelle muligheter til å redusere faklingen ytterligere. Virksomhetenes grove anslag tyder på at ca. 80 prosent av faklingen offshore skyldes uforutsette/ikke-planlagte hendelser og driftsforstyrrelser (dvs. ikke-kontinuerlig fakling). Ca. 30 prosent av faklingen kan tilbakeføres til trykkavlastning i forbindelse med vedlikehold og opp- og nedkjøring av anlegg og kompressorer. Den kontinuerlige faklingen utgjør ca. 20 prosent, og er i hovedsak knyttet til et begrenset antall kilder (bruk av pilotgass og spylegass/dekk-gass, avgassing fra produsertvannsystemet og glykolregenerering). For landanleggene er anslaget henholdsvis 95 prosent for ikke-kontinuerlige kilder og 5 prosent for kontinuerlige kilder (pilot og spylegass).

Figur 5: Anslått fordeling av faklingen offshore på kilder (2011)<sup>27</sup>

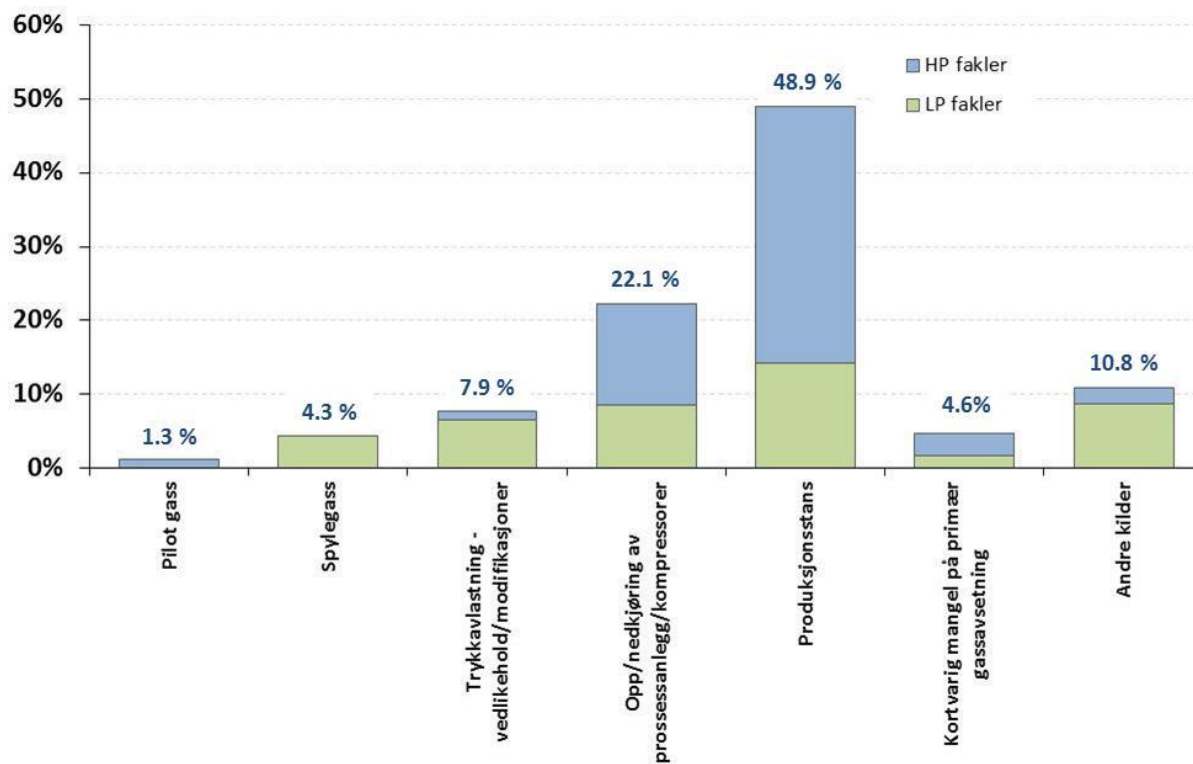


For offshoreinstallasjoner skyldes en relativt stor andel av faklingen i 2011, kortvarig mangel på primær gassavsetningsløsning (anslått til ca 11%). Dette ble oppgitt som en kilde/årsak til faklingen for 32 av 81 fakler. For de fleste faklene utgjorde dette en relativt liten andel av total fakling, og det relativt store bidraget på 11% skyldes et fåtall enkeltsituasjoner som resulterte i betydelige faklingsvolumer (og en høy prosentandel av den årlige faklingen for de respektive anleggene). Ved landanleggene ble det rapportert om at denne årsaken utgjorde en relativt betydelig andel av den totale faklingen ved tre installasjoner.

Tilgjengelige teknikker for å redusere fakling og detaljerte vurderinger av tiltaksmuligheter er beskrevet i **Kapittel 8**.

<sup>27</sup> Basert på anleggenes egne anslag for fordeling av fakling av hydrokarboner (dvs. etter fratrek av nitrogen brukt som spylegass). Andelen i figuren er basert data relatert til en total faklingsmengde på 292 millioner Sm<sup>3</sup> (av totalt 337 millioner Sm<sup>3</sup> faklet i 2011). Evt. rapporterte mengder spylegass ved bruk av N<sub>2</sub> er korrigert av Carbon Limits som del av kvalitetskontroll av innrapporterte data.

Figur 6: Anslått fordeling i faklingen på landanlegg på kilder (2011)<sup>28</sup>

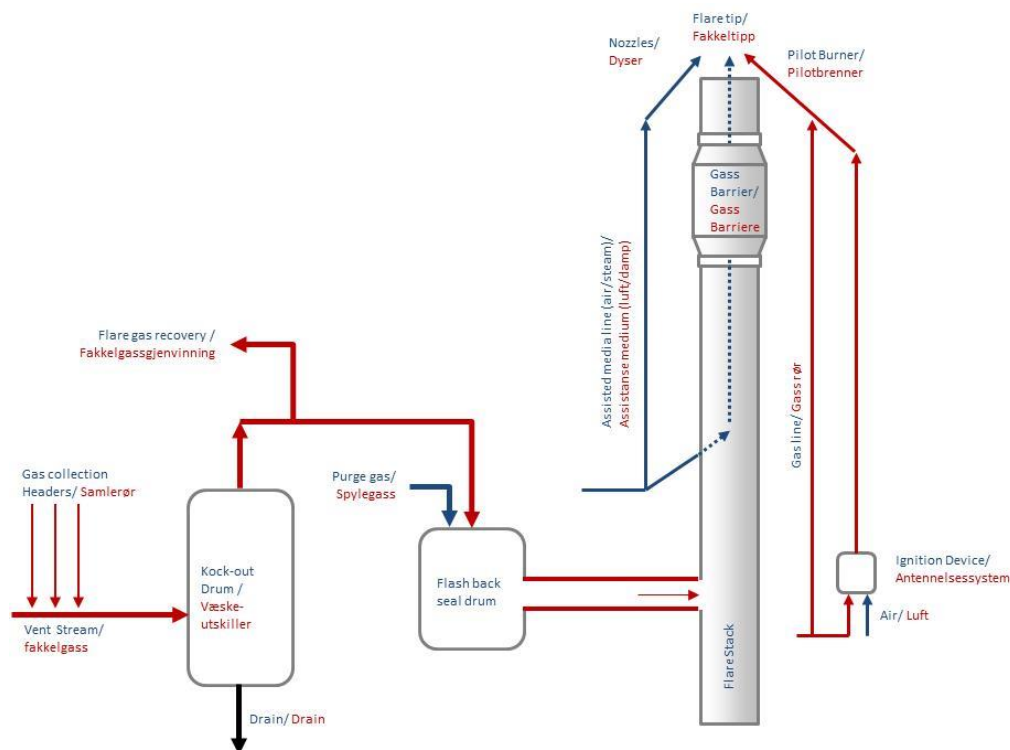


<sup>28</sup> Basert på anleggenes egne anslag for fordeling av fakling av hydrokarboner (dvs. etter fratrek av nitrogen brukt som spylegass). Andelen i figuren er basert data relatert til en total faklingsmengde på 144 000 tonn (av totalt 202 000 tonn faklet ved landanleggene i 2011). Evt. rapporterte mengder spylegass ved bruk av N2 er korrigert av Carbon Limits som del av kvalitetskontroll av innrapporterte data.

## 6. Fakkeltknologier/-systemer

Fakkelsystemet utgjør sammen med trykkavlastningssystemet en kritisk del av sikkerhetssystemet ved et prosessanlegg, og skal utformes for å hindre eskalering av fare- og ulykkessituasjoner. Gasstrømmer gjennom sikkerhetsventiler, sprengblikk (brann/prosess overtrykk), trykkavlastnings-ventiler, kontrollventiler og manuelle dreneringsventiler ledes via samlerør til væskeutskiller og videre til fakkelen hvor gassen brennes (eller slippes uforbrent til atmosfæren (ventileres) ved små gassmengder). Ved oppstart og nedstengninger benyttes fakkelsystemet til å håndtere gass i kortere perioder. Fakkelsystemet kan også benyttes for å kontinuerlig håndtere giftige eller korrosive gasser, og andre brennbare gasser det av ulike årsaker ikke anses attraktivt å benytte til produktive formål. **Figur 7** viser en skjematisk oversikt over et typisk fakkelsystem hvor viktige begreper er introdusert og presentert både på norsk og engelsk.

**Figur 7:** Skjematisk oversikt over et typisk fakkelsystem



Den primære funksjonen til fakkelen er å sørge for sikker og effektiv håndtering av gass i tråd med relevante sikkerhetskrav. Som beskrevet i **Kapittel 3.3**, har design av fakkelsystemet også betydning for støy og utslipp til luft. En viktig del av dette prosjektet har vært å utarbeide en oversikt over tilgjengelige fakkeltknologier/-systemer som er ansett å være relevante for norske forhold, og vurdere de implikasjonene anvendelse av disse teknologiene vil ha for utslipp av ulike komponenter under disse forholdene (NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>, nmVOC, CO, SO<sub>2</sub> og partikler).

Frem til rundt 1940 var det vanlig å slippe gass uforbrent ut i atmosfæren. Da denne praksisen gradvis begynte å endre seg oppsto det et behov for å forbedre brennerdesign, antennessystemer og annet tilleggsutstyr. Dette førte til etablering av en leverandørindustri for fakkelt teknologi. Pga. irregularitet i drift og behov for trykkavlastning, må fakler typisk operere over et bredt spenn av driftssituasjoner; fra maksimal faklingsrate til svært lave gassmengder bestående kun av spylegass. Fakkelleverandørene har jobbet aktivt med å utvikle nye teknologier for å kunne fakle gass på en sikker måte, og gjøre dette på en så miljømessig skånsom måte som mulig. Ut fra et miljøperspektiv har det viktigste formålet inntil nylig vært å oppnå en høy forbrenningseffektivitet og røykfri drift. Mange teknologier har blitt utviklet i løpet av de siste 60 årene for å oppnå dette. I dag er det et økende fokus på utslipp av NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> og partikler.

Prosjektteamet har gjennomført intervjuer med seks anerkjente leverandører av fakkelt teknologi (Argo Flares, Callidus, John Zink, MRW, Tornado og Zeeco), og har hatt samtaler med en rekke internasjonale eksperter på området. Gjennom disse samtaler og studier av faglitteratur, testresultater og nettsider er relevante fakkelt teknologier blitt kartlagt mht. designkriterier, kostnader og ytelse ift. Utslipp til luft. Prosjektteamet har også vurdert generelle utviklingstrender og ulike syn på hva som i dag anses som beste tilgjengelige teknikker for å kontrollere utslipp til luft.

Data, som beskriver anvendte fakkelsystemer, er innhentet som del av spørreundersøkelsen, og var rettet mot norske virksomheter som fakler gass. Disse er gjennomgått og analysert. **Kapittel 6** inneholder en oppsummering av resultater fra datagjennomgangen og intervjuer, og avsluttes med en overordnet vurdering av fakkelt teknologier anvendt i Norge ift. hva som er å anse som BAT.

## 6.1 Kriterier som anvendes ved valg av fakkelt teknologi

Ethvert fakkelsystem må velges og designes for en spesiell anvendelse. Prosessen knyttet til utvelgelse og design krever at leverandøren har tilgang til data på et tilstrekkelig detaljnivå som beskriver de relevante driftsmessige forholdene. En oversikt over data som initielt etterspørres av ulike leverandører, er utarbeidet av Jackson et al. (31). Fakkelsystemet velges og designes ut fra kundens teknologikrav/kriterier og kostnadsforventninger. Designkriteriene kan kategoriseres i fem ulike grupper:

### Tekniske kriterier<sup>29</sup>:

- Designkapasitet (maksimal faklingsrate)
- Faklingsrater
- Fakkelt gasskomposisjon
- Gass trykk og temperatur
- Lokale klimaforhold (lufttemperatur, fuktighet og vind)
- Plass og vektbegrensninger

---

<sup>29</sup> Bla. spesifisert i NORSOK standard P-100, ISO 23251 og ISO 25457

- Tilgjengelighet av elektrisitet, damp, luft, osv.
- Høyde (mhp. nedfall og bakkekonsentrasjoner)

### **Sikkerhetskriterier:**

- Sikker håndtering av gass (fakkelen er en del av trykkavlastningssystemet og må fungere sammen med resten av systemet for å unngå systemfeil)
- Sikker antenning (så gass blir skikkelig antent og ikke akkumuleres og forårsaker eksplosjon eller utslipp av store mengder uforbrente hydrokarboner)
- Varmebelastning (må designes for å opprettholde sikkerhetsmarginer ift. varmebelastning på personell og omgivelser)
- Støy (må designes for å opprettholde akseptable støynivå ut fra et sikkerhetsperspektiv)

### **Miljøkriterier:**

- Utslippsgrenser (fastsatt av forurensningsmyndigheten). Avhengig av anleggets geografiske plassering, kan dette omfatte ulike krav til forbrenningseffektivitet, destruksjonseffektivitet og grenser for utslipp til luft av ulike komponenter.
- Begrensninger knyttet til røykdannelse. Da utslipp fra åpne flammer og røykfaner fra fakler er vanskelige å måle, har «røykfri» drift historisk sett vært det viktigste miljømålet. Et eksempel er USA's regulering av fakler: «Flares shall be designed for and operated with no visible emissions, except for periods not to exceed a total of 5 minutes during any 2 consecutive hours.»<sup>30</sup>
- Støy. I tillegg til at støynivåer over 130 dBA generelt er ansett som et sikkerhetsproblem og støy må begrenses av hensynet til naboer og lokalmiljø, er støy også ansett som et miljøproblem. Støy reguleres i medhold av forurensningsloven for anlegg på land og må tas hensyn til i fakkeldesign.

### **Kostnadskriterier:**

(Designvalg som har implikasjoner på utstyrs kostnader, installasjonskostnader og vedlikeholdskostnader.)

- Type fakkell (hevet, på bakkenivå eller lukket)
- Type fakkeltipp («utility»/rør-fakkell, sonisk, Coanda, antall dyser, damp-/luft-assistert, trinnvis («staged») eller ikke, osv.)
- Støttestruktur (selvbærende, bardun eller tårn/kran)
- Væskeutskiller
- Spylegassystem og utstyr for redusert bruk av spylegass
- Antennessystem (manuelt/automatisk, pilot, ballistisk)
- Måle- og kontrollsystemer (bla. for antennelse og overvåking av pilotbrennere)

---

<sup>30</sup> USA Code of Federal Regulations, Title 40: Protection of Environment, PART 63.11

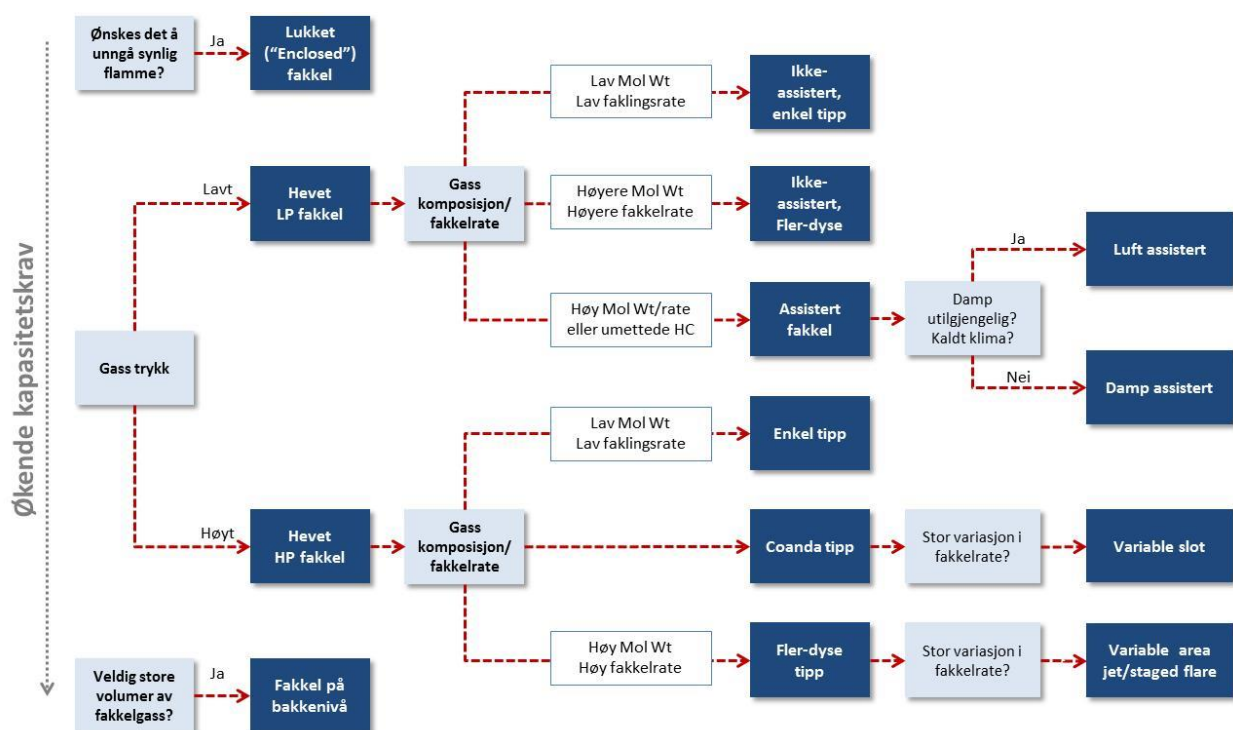
## Lokalmiljøkriterier:

(Aspekter som påvirker lokalmiljøet. Dette er viktige elementer som det tas hensyn til ved kravstilling i medhold av forurensningsloven.)

- Lys (fakler kan lyse opp himmelen i mange kilometers avstand avhengig av størrelse). Sjenanse vil utløse krav, herunder tiltak for å begrense faklingen.
- Lukt (vil utløse krav)
- Utseende (noen naboer kan reagere på synet av en åpen flamme selv i dagslys)
- Støy (vil utløse krav)

Som del av designprosessen, bør alle kriteriene over vurderes. En enkel oversikt over ulike teknologivalg er illustrert i **Figur 8** (fakkelteknologier/-systemer referert til i figuren er beskrevet i **Kapittel 0**).

**Figur 8:** Enkel oversikt over ulike fakkelteknologier og valg av design



Fakkelsystemet velges ut fra tekniske og sikkerhetsmessige kriterier, samt relevante miljøkrav/kriterier. I tillegg vil kostnadene være av avgjørende betydning for hvilke løsninger som velges. For fakkelsystemer på land skal det også tas hensyn til naboer ved valg av design.

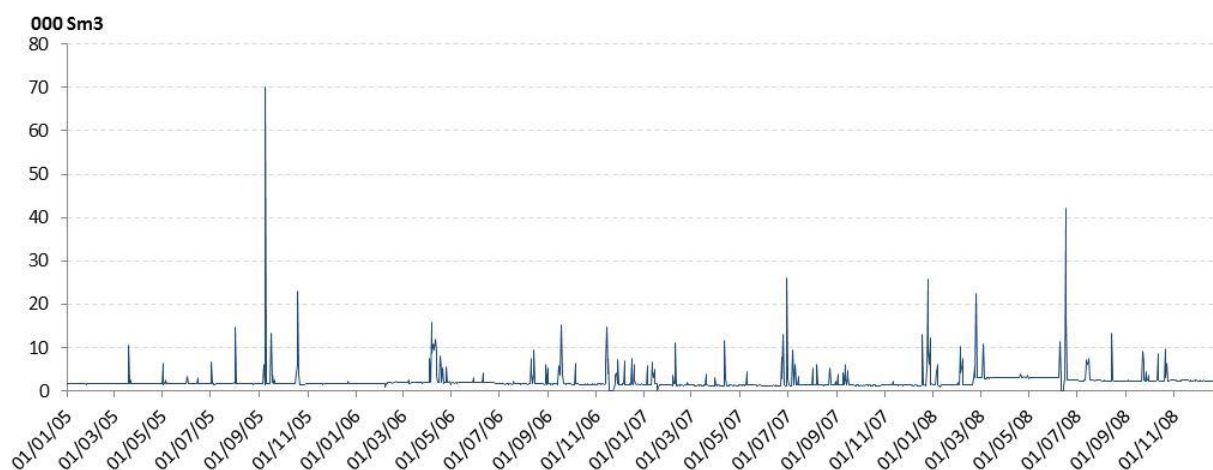
Det er generell enighet om at høy forbrenningseffektivitet (og begrensede utslipp av VOC, CO og partikler), oppnås så lenge det fakles innenfor designspesifikasjonen. Det er derfor avgjørende at det tas



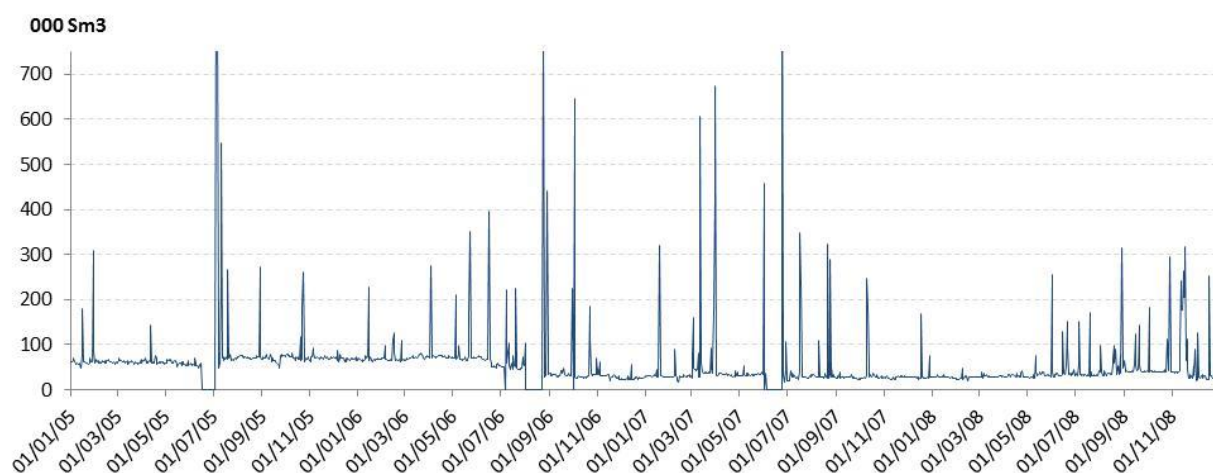
tilstrekkelig hensyn til forventet variasjon i faklingsrater og gasskomposisjoner i designfasen og ved utvelgelse av fakkeldesign.

**Figur 9** illustrerer reelle variasjoner i daglige faklingsvolumer for en lavtrykksfakkel (LP-fakkel) med pilot over en treårsperiode. Fakkelen har en designkapasitet på 5,2 millioner  $\text{Sm}^3/\text{dag}$ . Faklingsratene ligger for de fleste dager på 1 500 - 2 000  $\text{Sm}^3/\text{dag}$  (inklusive pilot) og er ved større faklingshendelser målt til opp mot 70 000  $\text{Sm}^3/\text{dag}$ . **Figur 10** viser daglige faklingsvolumer for en høytrykksfakkel, hvor en betydelig andel av den totale fakkeltgasmengden er fra kontinuerlige kilder (avgassing av produsert vann).

**Figur 9:** Daglig variasjon i faklingsrate, lavtrykksfakkel



**Figur 10:** Daglig variasjon i faklingsrate, høytrykksfakkel



Leverandørene tilbyr en rekke patenterte fakkeltknologier. Disse er beskrevet i **Kapittel 6.2**. Kapitlet inneholder også en generell oversikt over tilgjengelige fakkeltknologier.

## 6.2 Tilgjengelige fakkeltknologier/-systemer

De fleste fakler i Norge er plassert på innretninger offshore (88 stk). Innretningene er normalt utstyrt med en høytrykksfakkel og en lavtrykksfakkel. Endel innretninger har også en ventfakkel. Det er også installert fakler ved ulike typer petroleumsvirksomheter og petrokjemiske anlegg på land (29 stk). Tabell 11 inneholder en oversikt over tilgjengelig fakkeltypene som er i bruk i dag. Disse fakkeltypene er av fakkelleverandørene vurdert til å være egnet for norske forhold. Tabellen etterfølges av en presentasjon av anvendelsesområder, fordeler og ulemper ved ulike fakkeltknologier. **Kapittel 6.3** inneholder en oversikt over fakkeltknologier/-systemer som er bruk i Norge.

**Tabell 11:** Oversikt over tilgjengelige fakkelt teknologier/-systemer som er i bruk i dag og anbefalt av leverandører for norske forhold

Generell beskrivelse av fakkelt type	Fakkeldesign	Anslått kostnadsnivå <sup>31</sup>	Forbrennings-effektivitet (CE) (CH <sub>4</sub> , nmVOC, CO)	Flamme-temperatur (NO <sub>x</sub> )	Røykdannelse og parikkel-utslipp (BC)	Andre fordeler	Andre forhold	Egnet offshore? (i tillegg til land)
Ikke-assisterte, hevede LP-fakler	Fakkeltipp med en dyse (rørfakkel)	100	Referanse case			Lang levetid Enkelt design	Egnet for lave rater, lav Mol Wt.	JA
	Fakkeltipp med flere dyser («multi-tipp»)	150 <sup>32</sup>	Økt CE sammenlignet med rørfakkel	Økt temperatur sammenlignet med rørfakkel	Redusert røykdannelse ift. rørfakkel	Redusert varmestråling	Mer kompleks design, trinnvis operasjon	JA
Ikke-assisterte, hevede HP-fakler	Fakkeltipp med en dyse (rørfakkel)	120	Økt CE sammenlignet med LP rørfakkel	Økt temperatur sammenlignet med LP rørfakkel	Redusert røykdannelse ift. LP rørfakkel	Mindre sensitiv for vind, lavere varmestråling	Egnet for lav Mol Wt. mettede hydrokarboner	JA
	Fakkeltipp med flere dyser («multi-tipp»)	150	Økt CE sammenlignet med HP rørfakkel	Økt temperatur sammenlignet med HP rørfakkel	Redusert røykdannelse ift. HP rørfakkel	Stiv/kort flamme (vind), redusert varmestråling	Mer kompleks design, trinnvis operasjon	JA
	Coanda fakkeltipp (tulipanformet dyse)	200	Økt CE ift. rørfakkel pga. bedre miksing	Bedre miksing gir høyere flamme-temperatur	Redusert røykdannelse for mange typer gass	Bra for gas-væske blandinger, lavere varmestråling	Liten spalte som kan tette seg igjen	JA
	Coanda fakkeltipp med variabel spalte	300	Økt CE ift. Coanda ved lave faklingsrater	Bedre miksing gir høyere flamme-temperatur	Redusert røykdannelse ved lave faklingsrater	Mindre sensitiv for vind	Forventet kortere levetid	JA
	Fakkel med vann-injeksjon		Usikker. For mye vann kan redusere CE	Redusert flamme-temperatur	Redusert røykdannelse	Betydelig reduksjon i stråling og støy	Høy CAPEX, kompleks drift, økt vedlikehold	JA
Assisterte, hevede fakler	Damp-assistert fakkel	100 – 130	Bedre miksing med luft øker CE	Bedre miksing gir høyere lokale flammetemp.	Reduserte BC-utslipp, spesielt tyngre gass og umettede hydrokarboner	Bruk av damp/luft kan øke støyproblemet (high-frequency jet noise).	Damp er normalt ikke tilgjengelig	
	Luft-assistert fakkel	150 – 200	Dårlig CE ved bruk av for mye assistanse	Damp-assisterte gir lavere NO <sub>x</sub> enn luft-assisterte			Ikke vanlig	
Fakler som ikke er hevet	Fakkel på bakkenivå med flere dyser	300 – 600	Veldig høy CE for variable rater	Høy lokal flamme-temperatur	«Røykfri» ved alle faklingsrater	Redusert støy og varme, skjult	Krever store landområder	NEI
	Lukket fakkel («Enclosed flare»)	300 – 1000	Veldig høy CE kan oppnås	Høy temp - NO <sub>x</sub> kan kontrolleres	Begrenset BC for alle rater	Ikke synlig, lav støy og varme	Begrenset kapasitet	JA

<sup>31</sup> Relative kostnader (rørfakkel benyttet som referanse case) oppgitt av teknologileverandører under intervjuer høsten 2012.

<sup>32</sup> Avhengig av utstyrsspesifikasjon (ventiler, kontrollsystemer) knyttet til trinnvis bruk («staging»)

## Høytrykksfakler:

Høytrykksfakler (HP-fakler) er generelt fakler med baktrykk nær 1 barG eller høyere. Et høyt baktrykk tillater bruk av «sonisk»<sup>33</sup> hastighet i brenner. Fordelen med høytrykksfakler er at høy gasshastighet gir god turbulent miksing mellom fakkeltipp og omsluttende luft, som gir god forbrenning.

Miksing mellom gass og luft kan forbedres ved å bruke en fakkeltipp med flere dyser («nozzles»). Denne type fakkeltipp gir mange og mindre utgangsstrømmer («jets») istedet for en stor gasstrøm (ved bruk av rørfakkel), som øker overflaten mellom gass og luft. Fakler med flere dyser gir også en kortere og «stivere» flamme. De korte flammene reduserer varmebelastningen sammenlignet med en rørfakkel med samme kapasitet<sup>34</sup>, og i noen tilfeller kan reduksjonen være opp mot 40%<sup>35</sup>. Selv om kortere flammer kan gi høyere varmestråling fra selve flammen, er den totale varmeavgivelsen fra flammen mindre enn for lengre flammer<sup>34</sup>. Selv om varmen avgis fra et mindre volum, vil bedre miksing mellom gass og luft redusere sotdannelsen. Økt luftinnsug vil også redusere lokale flammtemperaturer. Disse effektene leder til en absolutt reduksjon i varmebelastning. Ulempen med denne typen fakkeltipper er økte kostnader forbundet med et mer kompleks design. Eksempler på fakkeltipper med flere dyser er:

- John Zink Hydra Flare
- Zeeco VariJet Flare
- NAO multi-jet sonic flare

Coanda fakkeltipper er en annen høytrykksdesign som gir bedre miksing mellom gass og luft enn en rørfakkel. Coanda fakkeltipper har en unik utforming, som sammenlignes med en tulipan (tulipanformet dyse). Fakkeltippet forlater utgangsspalten (åpningen) i fakkeltippet med høy hastighet og følger den tulipan-formede overflaten på grunn av «Coanda»-effekten. Når fakkeltippet beveger seg langs overflaten, dannes et lavtryksområde som trekker omsluttende luft inn i området, hvor luften blandes med fakkeltippet. Utgangsspalten i en Coanda fakkeltipp gir typisk sonisk hastighet. Coanda fakkeltipper har meget gode egenskaper ift. å oppnå god miksing, og er et godt design for vanlig naturgass. Denne typen fakkeltipper har også vist seg å fungere bra for gass-væske blandinger med opp mot 75% væske<sup>36</sup>. Fakkeltippet kan utstyres med utgangsspalter med variabelt areal («variable slot»)<sup>37</sup>. Dette gir en veldig god ytelse fordi det oppnås høy gasshastighet ved variable fakkeltipprater (33). De kan derfor operere over et bredt spekter av fakkeltipprater uten røykdannelse og med effektiv forbrenning<sup>38</sup>. Ulempen med Coanda fakkeltipper er kostnaden, og til en viss grad kompleksiteten om det brukes

---

<sup>33</sup> Terminologien «sonisk» skyldes at fakkeltippet oppnår sonisk hastighet (Mach = 1) ved utgangen av fakkeltippet

<sup>34</sup> John Zink HYDRA High Performance Sonic Flare Tip, <http://www.johnzink.com/wp-content/uploads/HYDRA-flare-tips.pdf>

<sup>35</sup> ARGO Flares' nettside, <http://www.argoflares.com/research/introduction/flare-types/>

<sup>36</sup> John Zink Flare Product Guide som finnes på, [www.johnzink.com/wp-content/uploads/production-flares.pdf](http://www.johnzink.com/wp-content/uploads/production-flares.pdf)

<sup>37</sup> Størrelsen på utgangsspalt(e) justeres automatisk.

<sup>38</sup> Baser på Jackson, R.E. og Smith, J.D.'s personlige kommunikasjon med Zeeco og NAO hvor fordeler og ulemper med Coanda fakler ble diskutert

utgangsspalter med variabelt areal (bevegelige deler)<sup>39</sup>. Tulipanformede dyser kan også benyttes i fakkeltipper med flere dyser («multi-point Coanda flare»), og kan inkludere et lavtrykksrør i designet. Et annet eksempel på en «multi-point Coanda flare» er NAO's design (noen ganger referert til som «Hot Dog Tip»).

Vanninjeksjon er også en teknikk som benyttes i forbindelse med høytrykksfakkeltipper, spesielt offshore. Vanninjeksjon reduserer flammemetemperaturen, som igjen reduserer varmebelastningen (strålingen fra flammen). Vanninjeksjon reduserer også støyen fra fakkelen. Prosjektmedarbeider J.D. Smith har selv erfart disse fenomenene ved testing av en «Poseidon» fakkeltipp ved John Zink's testanlegg i USA. Oljeselskapet BP patenterte bruk av vann-injeksjon for en Coanda fakkeltipp i 1987, og har dokumentert en reduksjon i både varmestråling og støy<sup>40</sup>. Vanninjeksjon har også blitt anvendt for andre typer fakkeltipper. Den reduserte flammemetemperaturen, som oppnås gjennom vanninjeksjon reduserer også NO<sub>x</sub>-utslippet fra fakling. Den økte kompleksiteten forbundet med vanninjeksjon medfører høyere investeringskostnader og økte vedlikeholdskostnader.

### **Lavtrykksfakler:**

Lavtrykksfakler er fakler som har et begrenset baktrykk, og derfor ikke har potensial til å kunne danne samme grad av miksing som en høytrykksfakkeltipp. Som for høytrykksfakler, finnes det alternative design av lavtrykksfakler for å oppnå god forbrenning av fakkeltippgass. Disse er kort presentert under.

Ved forbrenning av gasser som i liten grad danner synlig røyk, vil det enkleste designet være en rørfakkeltipp. Rørfakler har en relativt enkel utforming, men består av mer enn kun et rør. I tillegg til fakkeltipprøret, må designet inkludere løsninger som opprettholder en stabil flamme. Ved bruk av pilotflamme må også denne kunne holdes antent ved kryssende vind. Som for høytrykksfakler kan innblandingen av luft forbedres ved å benytte fakkeltipper med flere dyser (istedetfor én).

Når ytterligere miksing er nødvendig for å oppnå tilfredsstillende forbrenning, kan et eksternt medium som damp, luft eller gass benyttes for å assistere forbrenningsprosessen. Fordelen med assisterte fakler er forbedret forbrenningseffektivitet og reduserte utslipp («røykfri» drift er det kriteriet som det oftest refereres til ift. reduserte utslipp til luft). Ulempene med assisterte fakler er kostnadene forbundet med forbruk av assistansemedie og kompleksiteten i design. Pga. kostnadsnivået blir assisterte fakler sjelden benyttet offshore om de ikke er nødvendige for å tilfredsstille miljøkrav. Assisterte fakler er vanlig på land.

### **Damp-assisterte fakler:**

Ved bruk av damp, kan stråler av damp injiseres i forbrenningssonen slik at luft dras inn med strålen. Luften blander seg med fakkeltippgass og gir bedre forbrenning og reduserte utslipp.

---

<sup>39</sup> Enkelte leverandører påpekte at levetiden for denne typen fakkeltipper er noe kortere enn normalt.

<sup>40</sup> US Patent Number: 4,634,370, David A. Chester, British Petroleum Company, Jan. 6, 1987

## **Luft-assisterte fakler:**

Ved bruk av luft-assistanse er det mest vanlig å benytte lavtrykksvifter (2). I Lavtrykksviftene tilfører store mengder luft med lavt trykk gjennom (relativt) store luftkanaler til fakkeltippen, hvor luften blandes med fakkeltippen. Luftkanalene har ofte en større diameter enn røret som fører fakkeltippen opp til fakkeltippen<sup>41</sup>. Selv om denne typen luft-assistanse er mest vanlig, finnes det også design for luft-assisterte fakler der luft forblendes med fakkeltippen før forbrenning (f.eks. John Zink's JZ ZFF fakkeltippen). En annen fakkeltippen som benytter dette prinsippet ble utviklet av Saudi Aramco, og er tilgjengelig under navnet «HPAAS» fakkeltippen gjennom Zeeco<sup>42</sup>.

## **Fakler på bakkenivå:**

Fakler plassert på bakkenivå (dvs. ikke hevede fakler) kan anvendes når nødvendige landområder er tilgjengelige<sup>43</sup>. Denne typen fakler kan bli relativt store i utstrekning av sikkerhetsmessige årsaker. Ved ekstreme variasjoner i fakkeltippen kan fakkeltippen designes for trinnavhengig anvendelse av fakkeltippen («staged») for å oppnå best mulig forbrenningsforhold. Fakler på bakkenivå er typisk utstyrt med en form for beskyttelse rundt fakkeltippen for å beskytte flammen mot kryssende vind og i noen tilfeller for å redusere varme- og støybelastningen på omkringliggende områder. Ved å plassere fakkeltippen på bakkenivå unngås kostnader med støttestrukturer som er nødvendig for hevede fakler. Ulempen er at denne type fakler må isoleres av sikkerhetsmessige hensyn (varmebelastning og støy) og medfører behov for større landområder. Begrenset høyde kan også medføre miljømessige eller helsemessige konsekvenser på grunn av høyere konsentrasjon av utslippskomponenter.

## **Lukkede fakler:**

Lukkede fakler («enclosed flares») benyttes for å redusere varmebelastning på utstyr og personell, og består av en isolert sylinder omgitt av vindbeskyttelse. Fakkeltippen opererer med brennere plassert i bunnen, og hvor luft suges inn via luftehull. Sylindere er åpne i toppen og kan ha luftinntak i sidene eller være hevet fra bakken med luftinntak i bunnen. Termisk oppdrift gjør at luft suges inn og gir god miksing av luft og fakkeltippen. Lukkede fakler er egnet for både høytrykks og lavtrykkssystemer, men har begrensninger ift. fakkeltippen. Fakkeltippen er ofte benyttet på FPSOer og ved landanlegg.

Forbrenningen i en lukket fakkeltippen, er enklere å kontrollere fordi flammen ikke påvirkes av omgivelsene på samme måte som for en hevet fakkeltippen (f.eks. vind). Den lukkede strukturen gir også en termisk

---

<sup>41</sup> Se for eksempel Zeeco's luft-assisterte «AF Series flares» (<http://www.zeeco.com/pdfs/AF.pdf>), John Zink Air assisted Flaring Systems, <http://www.johnzink.com/wp-content/uploads/air-assisted-flaring.pdf> eller Flare Industries' Slot-Flow Air-Assist Flares (SFVP),

<http://www.flareindustries.com/products/elevated-flares/slot-flow-assisted-flares.php>

<sup>42</sup> HPAAS Flare, [http://www.zeeco.com/pdfs/HPAAS\\_Brochure\\_Web.pdf](http://www.zeeco.com/pdfs/HPAAS_Brochure_Web.pdf)

<sup>43</sup> Denne typen fakler er for eksempel anvendt i Australia ([http://www.zeeco.com/case\\_studies/case\\_studies.php](http://www.zeeco.com/case_studies/case_studies.php)), Saudi Arabia (<http://wikimapia.org/23719823/largest-ground-flare-in-saudi-arabia>) og USA.

avgrensning som øker forbrenningseffektiviteten ved at strålevarmen reflekteres tilbake til flammen. En annen effekt er at partikkelutslippet (BC) reduseres. En av fordelene med lukkede fakler, er at varmebelastningen på omgivelsene (utstyr og personell) begrenses. Siden flammen ikke er synlig, er disse faklene i økende grad blitt benyttet i tettbygde strøk hvor synlige, åpne flammer ikke er ønskelig. Denne typen fakler har også god beskyttelse mot vind, og muliggjør målinger av utslipp til luft. Ulempen er at fakkeltypen har begrensninger ift. fakkelerater og medfører vesentlige kostnader (se **Tabell 11**).

### **Fakkelsystemer offshore vs. på land:**

Offshoreinstallasjoner har de samme tekniske utfordringene som er gjeldende på land, men har i tillegg plass og vektbegrensninger og begrenset adgang til hjelpesystemer («utilities»). Bruk av damp-assistert fakkell forutsetter at damp er tilgjengelig, mens luft-assistanse kan være mulig, men er vanskelig å installere pga. plassbehov. Plassbegrensninger gjør at det også kan være utfordringer knyttet til å plassere fakkeltippen i en tilstrekkelig avstand fra utstyr og personell iht. til kravene til varmebelastning og støy. Spesielle tårn og fakkellbommer har derfor blitt utviklet for å håndtere disse utfordringene offshore. Det har også blitt benyttet egne flytende fakkellinnretninger som kan knyttes opp mot den faste installasjonen eller boreriggen ved hjelp av fleksible rør. Fakler med vanninjeksjon benytter som tiligere nevnt tilgjengelig vann for å redusere varmebelastning og støy, og vil dermed redusere kravene til de strukturene (tårn/fakkellbommer) eller flytende innretningene som anvendes. På grunn av redusert varmebelastning, har John Zink rapportert om reduksjon i lengden på fakkellbommen på opp til 70%<sup>36</sup>. Dette kan i noen tilfeller gi kostnadsbesparelser.

Logistikken forbundet med å installere, vedlikeholde og skifte ut fakler, er mer utfordrende og kostbar offshore<sup>44</sup>. Dette gjør at operatørene er mer konservative ved valg av fakkellteknologi – at det velges løsninger med lang levetid framfor løsninger som gir bedre ytelse på andre måter (for eksempel optimal forbrenningseffektivitet og lave utslipp). Noen operatører foretrekker å unngå bruk av fakkelldesign med variabel geometri (variabelt spalteareal) offshore basert på erfaring med økt feilrisiko forbundet med bevegelige deler. Selv om støy kan ha innvirkning på fugler og personell ut fra helse, vil designkravene knyttet til støy offshore, hovedsakelig være forbundet med sikkerhet.

### **Pilotbrennere og antennessystemer:**

Antennessystemer for fakler har tradisjonelt bestått av pilotbrennere. Mange ulike pilotsystemer har blitt benyttet for fakler. Pilotflammen er typisk en forhåndsblendet flamme («pre-mixed flame») med tilstrekkelig størrelse og stabilitet til å kunne holde fakkelen tent, selv under ekstreme forhold. API- og ISO-standarden (API537/ISO25457<sup>45</sup>) krever at flammen skal holdes tent ved vindhastigheter opp til 100

---

<sup>44</sup> Det foreligger også opplysninger om flere sikkerhetskritiske hendelser og tap av liv forbundet med utskiftning av fakkeltipper i Nordsjøen (ved bruk av helikopter).

<sup>45</sup> Referert til i NORSOK standard S-001, jf. veiledningen til § 10 i Innretningsforskriften

mph (45 m/s) ved tørrvær og 85 mph (38 m/s) ved nedbør på 50 mm/time. Fakkelpiloten må også ha tilstrekkelig varmeavgivelse (flamme) for å kunne antenne fakklegassen<sup>46</sup>.

Det er mange forhold som må tas hensyn til i designet av en pilotbrenner, bl.a. gasskomposisjon og trykk, utgangshastigheten til fakklegassen (et intervall) og designet til fakkeltippen. Det har vært en kontinuerlig utvikling i pilotdesign, primært utfra et ønske om å forbedre stabiliteten under vanskelige værforhold og utfra forlenget levetid (34). Pilotbrennere har typisk en levetid på ca 7 år, men levetiden kan være helt opp mot 30 år.

Historisk har pilotflammen blitt antent ved hjelp av en flammefrontgenerator. Flammefrontgeneratoren består av et tynt rør (mindre en 2,5 cm i diameter) som inneholder en gass/luft-blanding. Når denne blandingen antennes vil det genereres en «flammeball» («fire ball») som forplanter seg i røret til pilotbrenneren hvor pilotflammen antennes. Røret kan være over 1500 meter langt.

Det er utviklet et alternativt antennessystem til den tradisjonelle piloten. Dette systemet benytter et retningsrør, hvor det sendes en pellet mot fakkeltippen. Ved utgangen av røret (retningsrøret kan være så langt som 2000 meter) vil pelleten knuse og produsere en sky av gnister som antenner fakkelen. Systemet kalles et ballistisk tennsystem. Fordelen med systemet er at det kan eliminere behovet for en pilotbrenner og dermed redusere utslipp forbundet med brenngassforbruket til den tradisjonelle piloten. Ulempene med systemet er primært relatert til logistikken knyttet til leveranser av pellets og høyere kostnader. Systemet benyttes av mange av installasjonene offshore.

### **Utstyr for redusert bruk av spylegass:**

Ved lave faklingsrater kan luft trenge inn i fakkelsystemet og lede til intern forbrenning i fakkeltippen, og i værste fall lenger nedover i fakkelsystemet. For å forhindre dette benyttes det fakkeltipper med spalteåpninger med variabelt areal og/eller et spylegasssystem. Systemer med variabelt areal, slik som Coanda fakkeltipp med variabel spalteåpning eller Zeeco's VariJet, tillater fakkelen å operere effektivt over et stort intervall av faklingsrater, og kan dermed minimere eller eliminere behovet for bruk av spylegass.

Spylegass kan enten være en inert gass som nitrogen eller en brennbar hydrokarbonholdig gass. Bruk av nitrogen som spylegass er begrenset av den nedre antenningsgrensen («flamability limit») i forbrenningssonen. På grunn av denne begrensningen benyttes ofte brennbare gasser, av og til i kombinasjon med inert gass. Dersom blandingen av spylegass og fakklegass faller under den nedre antenningsgrensen, blir forbrenningen lite effektiv og kan i værste fall lede til ventilering av uforbrente hydrokarboner til atmosfæren. Spyling med hydrokarbongass medfører økte driftskostnader sammenlignet med nitrogen, og kan resultere i økt luftforurensning (med de forbehold som er nevnt over). Flere av installasjonene offshore benytter hydrokarbongass som spylegass, men vanligst er

---

<sup>46</sup> Standarden anbefaler minimum 45,000 BTU/time for de fleste fakler.



nitrogen som spylegass. For landanleggene er situasjonen omvendt, her benytter flertallet av anleggene hydrokarbongass som spylegass.

Det er to hovedtyper av utstyr som kan benyttes for å redusere behovet for spylegass:

- «Velocity seals»: Et «velocity seal» er plassert i fakkelløret og er designet slik at en luftstrøm som trenger inn i fakkeltippen blir snudd 180 grader og dratt ut av fakkeltippen sammen med den reduserte mengden spylegass<sup>47</sup>.
- «Molecular seals»: Et «molecular seal» benytter to 180 graders bend for å danne en sone hvor spylegassen blir stengt inne. Forskjellen i tetthet mellom spylegass og luft danner en sone som forhindrer videre inntrengning. Om bruk av spylegass skulle bli avbrutt i et kort tidsrom, vil den eneste muligheten for luftinntrengning være via diffusjon, som er en relativt treg prosess.

Et «molecular seal» er vesentlig større og dyrere enn et «velocity seal». På den annen side er et «molecular seal» mer effektivt ift. å forhindre luftinntrengning og redusere behovet for spylegass. En analyse av kostnader i et livssyklus-perspektiv, vil avgjøre hvilken løsning som er mest økonomisk. Det er kun kjent at det anvendes «velocity seals» i Norge (ingen innrapporterte data knyttet til «molecular seals»).

### **Væskeutskillere:**

Væskeutskillere benyttes for å fjerne væske som følger med gassen som sendes til fakkell. Det er hovedsakelig tre typer væskeutskillere som benyttes i fakkelsystemer: vertikale og horisontale beholdere («knock-out drums») og separatorene («cyclone separators»). Både vertikale og horisontale væskeutskillere fjerner væskedråper ved hjelp av de samme mekanismene. Når en gass-væske blanding ekspanderer igjennom beholderen, vil strømningsraten avta. Ved riktig design<sup>48</sup> vil strømningshastigheten avta slik at væskedråpene ved tilstrekkelig oppholdstid, separeres fra gassen pga. tyngdekraften og forskjeller i tetthet mellom gass og væske. Væsken samles opp i bunnen av beholderen (horisontale væskeutskillere opprettholder ofte et væskeniå som gjør at beholderen er ca. halvfull (2)), mens gassen forlater væskeutskilleren og ledes til fakkeltippen.

Design av væskeutskillere har ikke endret seg nevneverdig de siste ti årene. Væskeutskillerne fjerner de fleste væskedråper, men er ikke så effektive som separatorene. Vertikale og horisontale væskeutskillere er typisk designet for å fjerne dråper med en størrelse på 300 µm eller større, mens en syklisk separator normalt fjerner dråper med en størrelse over 20 µm (2).

---

<sup>47</sup> Tornado Technologies, Inc. nettside <http://www.tornadotech.com/products/combustion/flares/purge-gas.html>

<sup>48</sup> American Petroleum Institute's API RP-521 inneholder veiledning for design av væskeutskillere

## Kontrollsystemer for fakler:

For å kunne operere faklene tilfredsstillende, er det behov for en rekke kontrollsystemer<sup>49</sup>. Kontrollsystemer er bla. nødvendig for antennelse og overvåkning av pilotbrennere, og det kan være et krav om et kontrollsystem som sørger for at fakkelpiloten(e) alltid er tent. Det er også viktig å kontrollere væsknivået i væskeutskillere. For assisterte fakler er det behov for å kontrollere bruk av assistansemedium. Ved vanninjeksjon bør det kontrolleres at fakkelen brenner tilfredsstillende («røykfri» drift). Det kan også være krav om å måle faklingsrater og energiinnhold. Noen fakler (lukkede fakler) måler oksygen for å sikre tilstrekkelig tilførsel av luft til forbrenningen. Trinnvise fakler («staged flares») er avhengig av kontrollsystemer for å variere mellom antall dyser i bruk, ut fra behov. Spylegassystemet må kontrolleres for å sørge for sikker drift, bla. for å hindre luftinntrengning forsikre om at blandingen av fakkalgass og spylegass ligger over nedre antenningsgrense («flamability limit»).

Målinger og kontroll av flammer er viktig i forhold til pilotbrenneren (at flammen holdes tent) eller for å sikre at fakkalgassen brenner. Pga. flammens posisjon, er det ofte utfordrende å kontrollere om den er tent eller ikke. Flammer resulterer i varme, ionisering av gasser, lyd og lys.

- «Thermocouples» er mye brukt for å måle varmeavgivelse, og krever en god balanse mellom å oppnå rask respons og unngå tidlig utbrenning. Ved å plassere dem for nære flammen vil proben raskt brenne opp, mens responstiden blir større når de plasseres lenger vekk eller bak beskyttende materialer. Utbrenning av en probe kan i mange tilfeller lede til nedstengning av anlegget og er derfor viktig å unngå. Fordelene med «thermocouples» er at de er mye brukt og relativt rimelige.
- Det er også utviklet prober for å måle ionisering av gasser forårsaket av fakkelflammen («flame ionization detection probes»). Denne teknikken krever at to prober er plassert i flammen, og er ikke mye brukt for fakler.
- Optiske sensorer kan måle bølgelengder fra infrarødt til ultrafiolett. Ultrafiolette sensorer, som er mye brukt for kjeler, er også blitt benyttet for lukkede fakler. De fleste optiske sensorer som benyttes for å detektere pilotflammen, anvender et eller flere bånd i det infrarøde området (2). Ulempen med de optiske sensorene, er at de ikke alltid kan skille mellom pilotflammen og fakkelflammen, og målinger kan forstyrres av værforhold (regn, tåke, snø) eller bevegelsen i toppen av fakkelen/fakkeltippen.
- Det er også utviklet prober som benytter de akustiske egenskapene til fakkelen (35). Disse probene har ingen problemer i forhold til utbrenning, og kan skille pilotflammen fra andre lydkilder og er ikke påvirket av værforhold.

Kontroll av dampinjeksjon kan enten være automatisk eller manuell. Noen fakler har fortsatt manuelle ventiler som åpnes og lukkes av en operatør som observerer flammen. Dette kan delvis automatiseres ved å benytte ventiler, som kan kontrolleres fra et kontrollrom ved å observere flammen fra et

---

<sup>49</sup> Se bla. Zeeco's nettside, [http://www.zeeco.com/flares/flares\\_fcs.php](http://www.zeeco.com/flares/flares_fcs.php)

kamera/en video. I begge tilfeller er det en operatør som justerer damptilførselen utfra en visuell vurdering av flammen. Denne typen kontroller er ofte forbundet med for stor dampinjeksjon («over-steaming»), spesielt ved lave faklingsrater. For å unngå «over-steaming» kan optiske sensorer benyttes sammen med ventiler for å automatisk styre dampinjeksjonsraten.

### 6.3 Fakkeltknologier anvendt i Norge

Fakkeltknologier som benyttes i Norge har blitt kartlagt gjennom spørreundersøkelsen rettet mot de virksomheter som fakler gass i Norge. Data er gjort tilgjengelig for totalt 108 fakler (inkludert 4 fakler som er under installasjon ved anlegg som enda ikke er i drift). Kun to fakler er oppgitt å være plassert på bakkenivå, mens to lukkede fakler («enclosed flares») er installert på Skarv FPSO (HP- og LP-fakkel med fakkeltårn som back-up). De resterende faklene er hevede fakler, som fordeler seg på høytrykksfakler, lavtrykksfakler, ventfakler og andre fakler med spesifikke bruksområder (bla. vedlikeholdsfakler, tankfakler og en H<sub>2</sub>S-fakkel). **Tabell 12** inneholder en oversikt over fakkeltknologier anvendt i Norge.

**Tabell 12:** Oversikt over fakkeltknologier anvendt i Norge<sup>50</sup>

Fakkel design:	Totalt:	Type 1:	Type 2:	Type 3:	Type 4:	Div. HP:	Type 6:	Type 7:	Type 8:	Type 9:	Type 10:	Div. LP:	
	122 stk	16 stk	7 stk	4 stk	4 stk	29 stk	4 stk	9 stk	7 stk	4 stk	6 stk	18 stk	
<b>Gasstrykk:</b> (HP/LP)	60 HP 62 LP	60 HP					62 LP						
<b>Slukket:</b> (JA/NEI)	42 JA 62 NEI	JA	NEI			8 JA 15 NEI	JA		NEI			4 JA 14 NEI	
<b>Pilotflamme:</b> (JA/NEI)	61 JA 39 NEI	NEI	JA			16 JA 6 NEI	JA	NEI	JA			9 JA 7 NEI	
<b>Spylegass:</b> (N <sub>2</sub> /HC)	64 N <sub>2</sub> 36 HC	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	HC	HC	10 N <sub>2</sub> 11 HC	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	HC	HC	9 N <sub>2</sub> 7 HC	
<b>Hastighet:</b> (DESIGN)	40 HØY 39 LAV	HØY	HØY	HØY	LAV	7 HØY 7 LAV	HØY	LAV	LAV	LAV	LAV	5 HØY 7 LAV	
<b>Assistert:</b> (JA/NEI)	11 JA 82 NEI	NEI	NEI	NEI	NEI	5 JA 13 NEI	NEI	NEI	NEI	JA	NEI	2 JA 13 NEI	
<b>Assistanse:</b> (TYPE)	6 DAMP 4 LUFT					3 DAMP 2 LUFT				3 DAMP 1 ANNET		2 LUFT	
<b>Antenning:</b> (AUT/MAN)	44 AUT 49 MAN	13 AUT 3 MAN	1 AUT 5 MAN	1 AUT 2 MAN	1 AUT 3 MAN	11 AUT 10 MAN	7 AUT 2 MAN	2 AUT 2 MAN	1 AUT 4 MAN	0 AUT 4 MAN	1 AUT 4 MAN	5 AUT 9 MAN	
<b># dyser:</b> (RØR/FLER)	63 RØR 27 FLERE	10 RØR 5 FLERE	4 RØR 3 FLERE	3 RØR 1 FLERE	3 RØR 1 FLERE	10 RØR 9 FLERE	6 RØR 2 FLERE	3 RØR 1 FLERE	5 RØR 1 FLERE	4 RØR 0 FLERE	6 RØR 0 FLERE	9 RØR 4 FL.	
<b>Diameter:</b> (cm/dyse)	1.32 - 122.0	5.6 - 81.0	5.1 - 90.0	15.2 - 65.0	28.8 - 81.4	1.32 - 122.0	15.0 - 61.0	35.6 - 50.8	5.1 - 50.8	61.0 - 122.0	15.2 - 121.9	3.2 - 40.6	
<b>GCV gass:</b> (MJ/Sm <sup>3</sup> )	12.5 - 85.3	39.4 - 54.6	41.3 - 45.1	40.1 - 57.3	36.7 - 37.5	27.7 - 52.0	45.4 - 83.3	47.7 - 74.9	38.2 - 48.1	38.9	12.5 - 64.1	31.6 - 85.2	
<b>Alder:</b> (design)	1978 - 2012	1988 - 2012	1999 - 2012	1992 - 1996	1982 - 2003	1979 - 2012	1999 - 2012	2007 - 2008	1986 - 2011	2004 - 2010	1982 - 2010	1978 - 2012	
<b>Antall:</b> (siste 5 år)	52 stk	6 stk	3 stk	0 stk	0 stk	13 stk	5 stk	3 stk	4 stk	1 stk	1 stk	3 stk	

<sup>50</sup> Et utvalg designparametre er anvendt for å gruppere faklene inn i fakkeltypen med like karakteristika på disse områdene. De typene hvor det er størst antall fakler er presentert som «Type X» i tabellen.

Anvendelse av teknologi knyttet til hovedtypene av fakler beskrevet i **Kapittel 6.2** er oppsummert under.

### **Høytrykksfakler (HP-fakler):**

Det er tilgjengelig beskrivelser av utforming av fakkeltipp for 43 høytrykksfakler. Av de 43 HP-faklene anvender 30 en fakkeltipp bestående av en enkelt dyse (rørfakler); 4 på land og 26 offshore. Kun 2 av 43 fakler er installert med Coanda fakkeltipp med variabel spalteåpning, en på land og en offshore (Oseberg A og Tjeldbergodden (terminalfakkelen)). Fler-dyse tipper som vil gi bedre miksing med luft er anvendt for 19 av 43 fakler, hvorav 15 er anvendt offshore og 4 på land. 5 av høytrykksfaklene er assisterte (en offshore og 4 på land), hvorav 2 er luft-assisterte og 3 er damp-assisterte. Det er en luft-assistert høytrykksfakkel offshore (Balder FPU).

### **Lavtrykksfakler (LP-fakler):**

Beskrivelser er tilgjengelig for 36 lavtrykksfakler i Norge. En fakkel er lukket (Skarv FPSO) («enclosed»), mens 7 av 36 fakler anvender tipper med flere dyser (4 offshore og 3 på land). Goliat (ikke i drift enda) er den eneste installasjonen offshore med fler-dyse tipp med variabel spalteåpning. Det er benyttet assistanse for 4 fakler, hvorav 2 er luft-assisterte, en er damp-assisterte og en er assistert ved innblanding av høytrykksgass. Det er en luft-assistert lavtrykksfakkel offshore (Balder FPU).

### **Ventfakler:**

Det er totalt 7 ventfakler i Norge, og beskrivelser er kun tilgjengelig for to av disse. Disse er begge hevede rørfakler.

### **Andre fakler med spesifikke bruksområder:**

Av de 12 faklene som har spesifikke bruksområder (bla. vedlikeholdsfakler, tankfakler og en H<sub>2</sub>S-fakkel), er det tilgjengelig informasjon for 5 fakler, 3 på land og 2 offshore. 3 av 5 fakler er installert med Coanda fakkeltipp, hvorav en er plassert på bakkenivå (på Kollsnes). 2 av faklene på land er damp-assisterte (på Kårstø).

### **Pilotbrenner og antennessystem:**

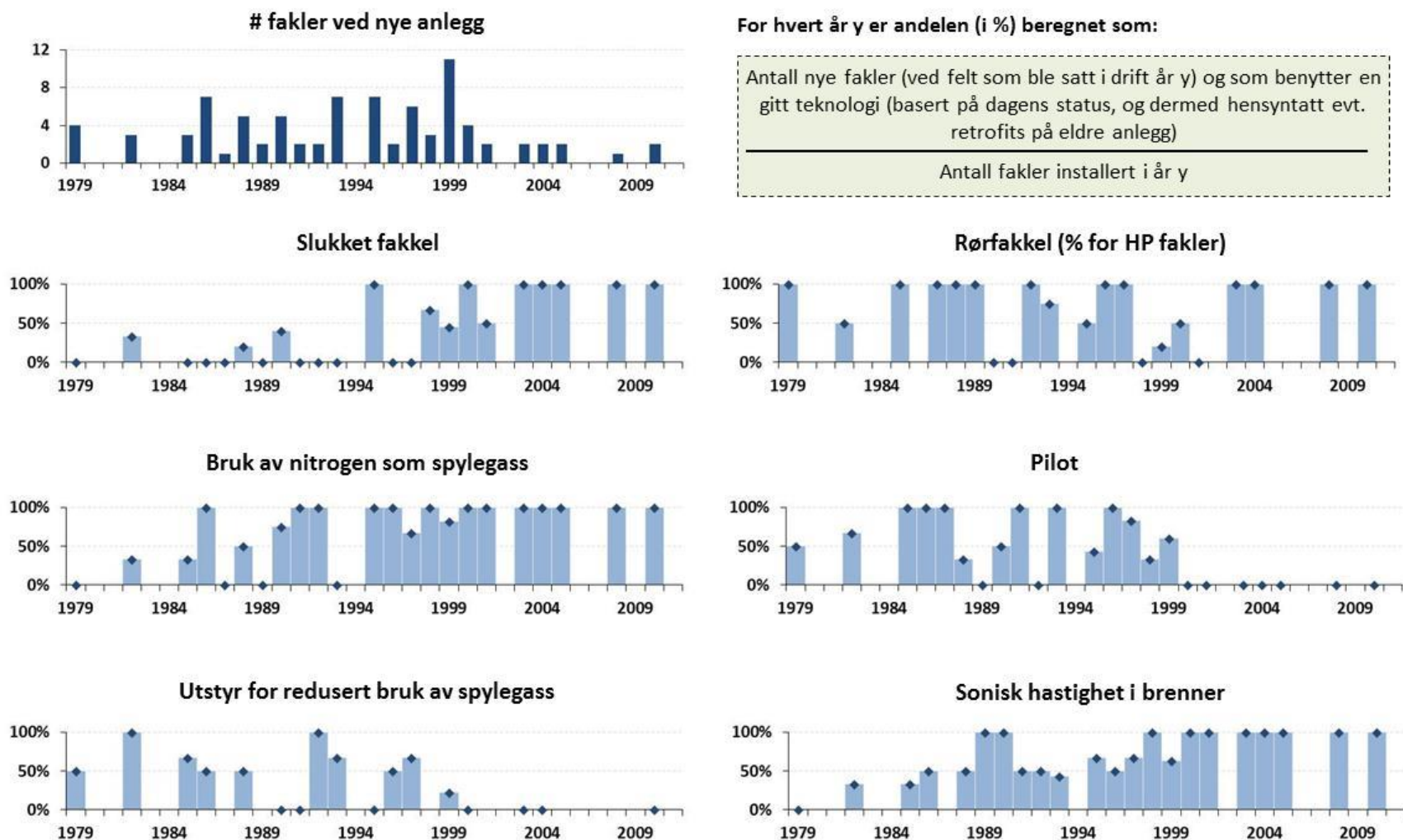
61 av 100 fakler, som det foreligger informasjon om, benytter pilotbrennere for å holde fyr i fakkelen; hvorav 43 offshore og 18 på land. Som det fremgår av **Figur 5** var pilotgass anslått å representere ca. 3,4 % av det fakede volumet offshore i 2011, mens det tilsvarende anslaget for installasjoner på land var 1,4%. Drivstofforbruket for pilotbrennerne varierer mellom 0,3 og 40 Sm<sup>3</sup>/time, hvorav 17 av de 61 pilotbrennerne har automatiske tennsystemer som kan aktiveres dersom pilotflammen skulle blåse ut. Det er oppgitt at 33 fakler opererer uten tent fakkel (slukket fakkel), og disse er utstyrt med ballistisk tennsystem. Alle installasjoner uten tent fakkel er lokalisert offshore, med unntak av anlegget på Nyhamna (Ormen Lange).

### **Spylegass:**

Det foreligger informasjon om type spylegass som anvendes for 100 fakler. Av disse 100 faklene anvender 64 nitrogen som spylegass, mens de resterende anvender hydrokarbongass som spylegass. Flere respondenter har påpekt at hydrokarbongassen bidrar til å holde fyr i fakkelen i tillegg til eller som erstatning for eventuell pilotflamme. Utstyr for redusert bruk av spylegass anvendes for 26 fakler (2 på land og 24 offshore). Alle installasjoner som har fakklegassgjenvinning og slukket fakkell anvender N<sub>2</sub> som spylegass, mens 22 av 58 installasjoner som ikke har slukket fakkell anvender N<sub>2</sub> som spylegass.

**Figur 11** viser en mer detaljert oversikt over dagens teknologistatus basert på oppstartsdato for de anleggene faklene er knyttet til.

**Figur 11:** Anvendelse av ulike teknologier offshore med utgangspunkt i anleggsstart (år)



**Figur 11** illustrerer anvendelsen av ulike teknologier offshore med utgangspunkt i anleggsstart (år)/oppstart av produksjon. Figuren viser, for hvert av årene i perioden 1979 til 2011, hvor mange installasjoner som ble satt i drift det aktuelle året, og hvilken andel av disse som anvender en gitt teknologi. Oversikten omfatter kun de av installasjonene som det foreligger tilgjengelig informasjon om. Antallet varierer noe fra teknologi til teknologi, da informasjonen som er gjort tilgjengelig ikke er konsistent.

De av faklene, som per i dag faller inn under kategorien «slukket» (dvs. uten bruk av pilotflamme og med ballistisk tennsystem (se **Kapittel 6.2** for beskrivelse)), er alle av relativt nyere dato. Denne løsningen har vært anvendt ved alle nye utbygginger siden tidlig på 2000-tallet, mens teknologien i liten grad er anvendt på eldre installasjoner. Disse benytter i stor grad fortsatt pilotflamme.

Bruk av nitrogen som spylegass er vanlig for nyere anlegg, men det er også en god del eldre anlegg hvor dette benyttes. Bruk av utstyr for redusert bruk av spylegass følger en motsatt trend. Det foreligger få eller ingen insentiver per i dag for å benytte dette på installasjoner, hvor nitrogen allerede benyttes som spylegass. Innsendt informasjon viser også at praksisen offshore går i retning av høyere hastighet i brenner. Videre at fakkeltipper med sonisk hastighet i stor grad anvendes ved nyere anlegg (høye utgangshastigheter gir god turbulent miksing mellom fakkalgass og omsluttende luft, som igjen gir god forbrenning). Ift. utforming av fakkeltipper for høytrykksfakler, er det ikke mulig å se noen klar trend knyttet til bruk av mer komplekse design. Dette er ikke overraskende, da behovet og gevinsten ved kompleks design, i stor grad, vil være fakkelspesifikk.

For installasjoner på land er det kun en fakkel som faller inn under kategorien «slukket» (anlegget på Nyhamna (Ormen Lange)). Bruk av nitrogen som spylegass har vært normen for nyere anlegg også på land, med unntak av metanolfabrikken på Tjeldbergodden. Ved anlegget på Tjeldbergodden ble det imidlertid i 2012, gjennomført tiltak for å gå over til å bruke nitrogen som spylegass. Det er ikke utbredt med sonisk hastighet i pilotbrennere på land. Kun høytrykksfakkelen på Nyhamna er oppgitt å ha dette av nyere installasjoner. Alle fakkeltipper ved landanlegg, som har startet opp de siste 15 årene, anvender fler-dyse tipper, med unntak av lavtrykksfakkelen på Nyhamna.

## **6.4 Vurdering av dagens teknologistatus ift. hva som er å anse som BAT**

Ved vurderinger av hva som er å anse som BAT er det viktig å påpeke at fakkelsystemet, sammen med trykkavlastningssystemet, utgjør en kritisk del av sikkerhetssystemet ved et prosessanlegg. Fakkelsystemet må utformes for å hindre eskalering av fare- og ulykkessituasjoner, og må møte en lang rekke krav ift. å sørge for sikker og pålitelig drift med begrenset påvirkning på omgivelsene som beskrevet i **Kapittel 6.1**. Eksisterende teknikker som ivaretar disse kravene vil kunne være gjenstand for vurderinger av hva som er å anse som BAT i forhold til redusert fakling og utslipp til luft.

Ved vurdering av hva som er å anse som BAT, skal det også tas hensyn til kostnader som påvirker lønnsomheten ved alternative løsninger/tiltak som begrenser fakling og utslipp til luft. Kostnadene og lønnsomheten vil avhenge av en rekke lokale forhold, bla. prosessanleggets levetid, fakkalgassmengder

og fakkalgasskvalitet som må håndteres under ulike drifts- og faklingsscenarier. Dette gjelder spesielt for eldre installasjoner (se **Kapittel 8** for ytterligere beskrivelser av tekniske og økonomiske aspekter knyttet til ulike tiltakskategorier).

Med bakgrunn i ovennevnte, vurderes følgende som BAT for nye installasjoner og anlegg på land:

- Vedlikehold, modifikasjoner, oppstart og nedstengninger av prosessanlegg og brønner skal planlegges og gjennomføres slik at fakling minimeres
- I situasjoner med bortfall av primær gassavsetningsløsning, skal produksjonen trappes ned i henhold til en etablert plan/metode som tar utgangspunkt i en grundig avveining mellom sikkerhetsmessige, miljømessige og økonomiske hensyn.
- Fakkalgassgjenvinning:
  - Gass fra trykkavlastningssystemer med høyt trykk bør gjenvinnes under normal drift
  - Gass fra trykkavlastningssystemer med lavt trykk bør gjenvinnes under normal drift der dette er vurdert å være teknisk og økonomisk gjennomførbart
- Bruk av spylegass:
  - Nitrogen bør benyttes som spylegass når det er sikkerhetsmessig forsvarlig, og god forbrenningseffektivitet kan oppnås.
  - Der hydrokarbongass benyttes som spylegass, bør utstyr som reduserer behovet for spylegass til et minimum anvendes
- Drivstofforbruk knyttet til pilotbrenner skal minimeres i den grad det er mulig uten å redusere evnen til å antenne fakkelen under alle forhold
- Ved bruk av luft- og damp-assisterte fakler, skal mengden assistansemedium som anvendes ved fakling kontrolleres manuelt eller automatisk for å minimere risikoen for både under- og overforbruk av assistansemedium
- Væskeutskiller skal utformes og vedlikeholdes slik at det til enhver tid er tilstrekkelig kapasitet til å fjerne væskedråper fra gasstrømmen og dermed redusere røykdannelse i fakkelen
- Alle faklingshendelser bør registreres og fordeles på kilder for å sikre effektiv identifikasjon, analyse og prioritering av tiltaksmuligheter knyttet til fakling

#### **Samsvar mellom hva som anses som BAT og gjeldende praksis:**

De tekniske tiltakene som er presentert over, er i stor grad samsvarende med de design som er valgt for nye utbygginger i Norge de siste årene, både offshore og på land. For eldre installasjoner er situasjonen noe mer blandet. Det er fortsatt mange installasjoner som benytter hydrokarbongass som spylegass og ikke har gjenvinning av fakkalgass. Det kan fortsatt være et potensial for å forbedre prosedyrer og rutiner som har påvirkning på fakling. Tiltaksmuligheter er videre omhandlet i **Kapittel 8**.

Optimal design av fakkeltipp vil i hovedsak være avhengig av lokale installasjons- og anleggspesifikkeforhold. Det er derfor ikke mulig på generelt grunnlag å definere spesifikke designaspekter som BAT. Ved valg av design bør det imidlertid i tillegg til relevante minimumskrav knyttet til sikkerhet, støy og sjenanse, gjøres en vurdering av mulighetene for å begrense utslipp til luft



av relevante komponenter under realistiske driftsscenarier, i den grad det er mulig. Det er i den forbindelse viktig å definere faklingsscenarier som på en god måte beskriver de fysiske forholdene som vil være gjeldende for den største andelen av faklingen, spesielt ved forventning om begrensede faklingsrater over lang tid

## 6.5 Anbefalinger

For nye utbygginger anbefaler prosjektteamet at operatørene (offshore og på land) i tidlig fase av prosjektet (KU-prosessen), informerer Miljødirektoratet om valg av fakkelsystem og tekniske løsninger – at BAT implementeres. Tekniske løsninger bør dokumenteres for et realistisk sett av driftsscenarier, i den grad det er mulig, i forhold til reduksjonspotensialer og utslipp til luft av ulike utslippskomponenter. Da virksomhetenes prosedyrer og strategier knyttet til fakling er forventet å ha stor innvirkning på mengden gass som fakles, bør valg og avveininger dokumenteres og vurderes opp mot beste praksis ved installasjoner i drift.

For eldre installasjoner bør Miljødirektoratet følge opp at det foreligger oppdaterte prosedyrer og strategier som er utformet med tanke på å begrense fakling knyttet til enkelthendelser og driftsforstyrrelser.

Ved planlagt utskiftning av fakkelsystemet og andre større modifikasjoner som medfører endringer i driftsbetingelser, bør det foreligge oppdaterte vurderinger og dokumentasjon knyttet til fakling og relaterte utslipp til luft opp mot hva som er å anse som BAT for nye anlegg, herunder tiltak som ikke er gjennomført ut fra tekniske og økonomiske hensyn.

## 7. Metoder for å bestemme utslipp fra fakling

Et viktig formål med prosjektet har vært å vurdere de metoder og utslippsfaktorer som benyttes i dag for å bestemme utslipp til luft fra fakling i Norge.

Utslipp til luft kan bestemmes på tre forskjellige måter:

- Direkte målinger ved hjelp av detektorer plassert i nærheten av utslippskilden
- Avstandsmålinger («open path»)
- Indirekte målinger ved å kvantifisere parametere som er styrende for utslippsdannelsen (bruk av aktivitetsdata og utslippsfaktorer)

Målinger for å kvantifisere utslipp fra fakler har historisk vært utfordrende pga. store, intense og åpne (uavgrensede) flammer som ofte ikke er lett tilgjengelige for direkte målinger (f.eks. høyt hevet over offshore plattformer). Utilgjengelig plassering gjør tilgang for målinger vanskelig, og den åpne flammen og store røykfanen gjør det også problematisk å definere grensene for det kontrollvolumet som bør måles ved bruk av avstandsmålinger. På tross av disse utfordringene har det vært gjort en rekke forsøk på å karakterisere fakkelytelse som beskrevet i **Kapittel 3.3**. Nye måleteknikker er under utvikling, som Johnson's «sky-LOSA» laserbasert teknikk for måling av BC-utslipp (25) (36) (37), passive FTIR (PFTIR) (38), DIAL LIDAR for måling av metan, nmVOC og NO<sub>x</sub>, og det unike samplingsystemet utviklet av Aerodyne Research Inc. som har blitt anvendt i TCEQ studiet (23).

### 7.1 Dagens praksis i Norge

Direkte målinger eller avstandsmålinger er per i dag ikke egnet for kontinuerlig måling av utslipp fra fakling. Utslippene fra fakling estimeres derfor som produktet av aktivitetsdata og utslippsfaktorer (standardfaktorer og bedriftsspesifikke faktorer). Bedriftsspesifikke faktorer benyttes for CO<sub>2</sub>-utslipp og i noen tilfeller for metan, nmVOC og NO<sub>x</sub> der hvor målinger er gjennomført ved bruk av DIAL LIDAR-teknikken (gjelder anlegg på land). Aktivitetsdata og utslippsfaktorer som benyttes for å bestemme utslipp fra fakling i Norge, er kort beskrevet under.

#### **Aktivitetsdata:**

Ulike aktivitetsdata kan anvendes som parametere i beregning av utslipp (fakling kan f.eks. oppgis i energimengde forbrent, gassvolum eller masse). Valget vil både være avhengig av hva som er styrende for utslippsdannelsen og av praktiske hensyn knyttet til tilgjengeligheten av nøyaktig måleutstyr for å kvantifisere aktivitetsnivået i en gitt periode. I Norge må faklet gassmengde rapporteres årlig i medhold av Forurensningsloven og Klimakvoteloven. For offshore gjelder i tillegg Petroleumsloven og CO<sub>2</sub>-avgiftsloven. Aktivitetsdatene bestemmes i hovedsak ved bruk av ultralydmålere (lydhastighetsmålere). Aktivitetsdataene oppgis i volumenhet (Sm<sup>3</sup>) for offshore og/eller masseenheter (tonn) på land.

Måleutstyret som anvendes for å bestemme fakkalgassmengden, må tilfredstille kravene som følger av klimakvoteregulverket. For offshore gjelder i tillegg kravene som følger av Måleforskriften<sup>51</sup>. Flere av virksomhetene, som benytter nitrogen som spylegass, trekker fra nitrogenmengden som passerer måleutstyret for bestemmelse av fakkalgassmengden. Nitrogenmengden måles oppstrøms fakkelmåleren eller bestemmes gjennom massebalanser eller prosessimuleringer. Metodene har høy usikkerhet, og vil påvirke usikkerheten i bestemmelse av aktivitetsdata for fakkalgass. Virksomhetene har ikke anledning til å trekke fra nitrogen med mindre dette er omsøkt og vurdert av Miljødirektoratet, jf. klimakvoteregulverket.

### Utslippsfaktorer:

Utslippsfaktorer er typisk definert som massen av en gitt komponent (f.eks. g CO, g PM og tonn CO<sub>2</sub>) per energienhet forbrent, volum eller masseenhet. Utslippsfaktorene varierer med gasskvaliteten, utforming av fakkeltippen (design), om fakkelen er assistert, luft/gass forholdet i forbrenningssonen, temperatur, vind og andre variable som beskrevet i **Kapittel 3.3**. De mange faktorene gjør at utslippsfaktorene har stor betydning for usikkerheten i de rapporterte utslippstallene som benyttes i utslippsregnskapet.

For å oppnå en så nøyaktig bestemmelse av utslippene som mulig, må utslippsfaktorene reflektere de gjeldende forbrenningsforholdene i fakkelen ved det aktuelle anlegget/installasjonen. I OLF's veiledning til den årlige utslippsrapporteringen for offshore, er det generelt anbefalt at målinger eller felt-/utstyrspesifikke faktorer skal benyttes så langt det er mulig, og bare der dette ikke er tilgjengelig, kan anbefalte standardfaktorer benyttes (39) (se **Tabell 13**).

**Tabell 13:** OLF's anbefalte utslippsfaktorer for fakling (i kg/Sm<sup>3</sup> som oppgitt i Tabell 24 i (39))

CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	nmVOC
3,73	0,0014	0,0015	0,00020	0,00024	0,00006

For landanlegg er standardfaktorer for fakling av naturgass oppgitt i Tabell 3B i Vedlegg 2 til «Veiledningen til egenrapportering for landbasert industri» utgitt av Miljødirektoratet (40). Faktorene kan benyttes i tilfeller der utslippet ikke måles eller beregnes på annen måte.

**Tabell 14:** Standardfaktorer for utslipp fra naturgass for fakling (i g/kg som oppgitt i (40))

CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	nmVOC
Ikke definert	1,4	Ikke definert	0,020	0,24	0,06

En sammenligning av utslippsfaktorene i **Tabell 13** og **Tabell 14** viser at utslippsfaktorene for NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub> og nmVOC er de samme, gitt en gasstetthet på 1,0 kg/Sm<sup>3</sup>. For N<sub>2</sub>O er den anbefalte faktoren for landanlegg 1/10 av faktoren som er anbefalt av OLF. Dette virker å være en skrivefeil, og avviket bør sjekkes ut ift. de data som danner grunnlag for disse utslippsfaktorene og at eventuelle feil rettes opp.

<sup>51</sup> Se <http://www.lovddata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20011101-1234.html>

Installasjonene offshore benytter i stor grad standard utslippsfaktorer, med unntak av for CO<sub>2</sub> og SO<sub>x</sub>, hvor det hovedsakelig benyttes feltspesifikke faktorer. For anleggene på land er situasjonen noe anderledes; bedriftsspesifikke utslippsfaktorer har i tillegg til CO<sub>2</sub>, blitt etablert for flere fakler basert på tidsbegrensede målinger av bla. NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub> og nmVOC<sup>52</sup>.

I **Kapittel 7.2** er metoder og faktorer som er i bruk i Norge sammenlignet med metoder og faktorer anvendt i andre olje- og gassproduserende land. Vurderinger og anbefalinger knyttet til bestemmelse av de ulike utslippskomponentene er beskrevet i **Kapittel 7.3**.

## 7.2 Praksis i andre olje- og gassproduserende land

Da det per i dag ikke finnes egnede metoder for kontinuerlig måling av utslipp til luft fra fakling, er metodene som benyttes for bestemmelse av utslipp til luft de samme i Norge og andre sammenlignbare land.

Utslippsfaktorene som benyttes for fakling, er i hovedsak oppgitt i masse per energienhet<sup>53</sup> eller masseenhet<sup>54</sup>. Testresultater viser for flere av utslippskomponentene (f.eks. for utslipp av NO<sub>x</sub> (40)), at utslippsfaktorer basert på energi eller masse er mer nøyaktige enn volumbaserte). Andre olje- og gassproduserende land benytter også tidsbegrensede målinger for å bestemme fakkelspesifikke utslippsfaktorer, både i form av prøvetaking i røykfanen og avstandsmålinger ved hjelp av f.eks. DIAL LIDAR eller PFTIR. Omfanget av denne type målinger er imidlertid ikke kjent, og det har heller ikke vært mulig å få bekreftet om disse måleteknologiene har vært benyttet for fakler offshore. De fleste land har etablert standard utslippsfaktorer for de viktigste utslippskomponentene fra fakling. En sammenstilling av disse er presentert i **Tabell 15**.

---

<sup>52</sup> DIAL LIDAR (en metode som benytter lys for å måle kjemiske konsentrasjoner i atmosfæren) har bla. blitt benyttet til å måle konsentrasjoner/utslipp av NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub> og nmVOC fra fakling. Disse tidsbegrensede målingene har dannet grunnlag for å etablere fakkelspesifikke utslippsfaktorer.

<sup>53</sup> F.eks. i USA, hvor utslippsfaktorer for fakling presentert i US EPA's AP-42 er oppgitt i lb/10<sup>6</sup> BTU.

<sup>54</sup> F.eks. i UK.

**Tabell 15:** Standard utslippsfaktorer for å bestemme utslipp fra fakling i ulike land

Utslipps-komponent:	Anbefalt faktor Norge: (37)	Utslippsfaktorer (konvertert til masse <sup>55</sup> per kg gass faklet)				
		Norge:	UK <sup>56</sup> :	USA:	Danmark <sup>57</sup> :	Russland:
CO <sub>2</sub>	3,73	3,52	2,8		2,75	
NO <sub>x</sub>	1,4	1,32	1,2	1,2	1,5	
CH <sub>4</sub>	0,24	0,23	18,0	2,6	0,23	Fakkelspesifikk <sup>58</sup>
nmVOC	0,06	0,06	2,0		0,12	
PM	0,856	0,81		(i µg/liter)	0,0048	
CO	1,5	1,42	6,7	6,8	1,16	
N <sub>2</sub> O	0,02	0,02	0,081		0,02	
SO <sub>x</sub>	Fakkelspesifikk	Fakkelspesifikk	0,0128		0,01	

Som det fremgår av **Tabell 15** er det for enkelte komponenter relativt store forskjeller i anbefalte utslippsfaktorer, spesielt for uforbrente hydrokarboner. Ulikhetene gir en indikasjon på grunnleggende forskjellige antakelser og/eller datagrunnlag i ulike land.

### 7.3 Vurdering av metoder og standardfaktorer som benyttes i Norge

Vurderingene som presenteres i dette kapittelet, er basert på data innhentet fra virksomheter som fakler gass i Norge, samtaler med faklingsekspertene og en bred gjennomgang av tilgjengelig litteratur knyttet til kvantifisering av utslipp fra fakling. Anbefalinger av metoder og faktorer er i hovedsak relatert til teknologiske og fysiske forhold.

Mange av utslippsfaktorene som er i bruk i dag, er basert på faktorer som er presentert i US EPA's AP-42 seksjon 13.5 (41). Disse faktorene har sin opprinnelse fra det omfattende faklingsstudie finansiert av the Chemical Manufacturing Association (CMA) i 1983 (22). Det har vært gjennomført en omfattende forskning på små-skala «laboratorie» fakler i kontrollerte miljøer, hvor fakkeltippdiameteren var 8 cm eller mindre (23). Til sammenligning, har fullskala fakler en diameter i brennerdysen(e) som typisk overstiger 30 cm. Faklene i Norge, som det foreligger informasjon om, har en diameter på 5,8 til 122,0 cm. Det er enighet om at små-skala «laboratorie» fakler med diameter under 9 cm, ikke er

<sup>55</sup> For CO<sub>2</sub> er masseenheter oppgitt i kg, mens det for de andre faktorene er oppgitt i gram (g). Den gjennomsnittlige gassettheten for fakkeltippgass er ikke kjent. Basert på informasjon for 2011 er en gassetthet på 1,06 kg/Sm<sup>3</sup> lagt til grunn i tabellen (basert på data for 69 fakler).

<sup>56</sup> Standardfaktorer for fakling av naturgass og assosiert gass er presentert i Kapittel 8.5 i (42). Disse faktorene er basert på en antakelse om 98% forbrenningseffektivitet.

<sup>57</sup> Utslippsfaktorer for Danmark er oppgitt i masse per GJ. Faktorene er konvertert for sammenligning ved å anta et energiinnhold på 48,4 MJ/tonn.

<sup>58</sup> Utslipp av uforbrent metan fra fakling er avgiftsbelagt. Basert på feltspesifikke data oppgitt i publiserte «Project Design Documents» (PDDer) for prosjekter registrert under «Joint Implementation» (prosjekt mekanisme under Kyoto Protokollen) for å redusere fakling i Russland er utslippsfaktor anslått fra ca 3 til 11 gCH<sub>4</sub>/kg gass.

representative for fullskala fakler. Mangelen på utslippsdata for større fakler har resultert i at mange utslippsfaktorer som er i bruk i dag, er bestemt utfra ikke-representative sett av måledata. Under følger prosjektteamets vurderinger av de metoder og faktorer som er i bruk i Norge i dag.

### 7.3.1 Utslipp av NO<sub>x</sub>

Ved flere av landanleggene har det blitt gjennomført verifikasjonsmålinger (avstandsmålinger) med DIAL LIDAR teknikken for å bestemme utslippsfaktorer for NO<sub>x</sub>. Slike målinger er vanskelige og kostbare å gjennomføre for fakler, men er ansett som en av de mest pålitelige målemetoder for denne typen utslipp. De av landanleggene som har utført denne type målinger, har etablert gjennomsnittlige utslippsfaktorer for NO<sub>x</sub> basert på målinger av røykfanen i en tidsbegrenset periode. Det er ikke kjent om det har vært gjort tilsvarende målinger offshore eller om andre måleteknikker har vært benyttet til å bestemme spesifikke utslippsfaktorer for NO<sub>x</sub>.

For offshore er den anbefalte utslippsfaktoren for NO<sub>x</sub> i dag på 1,4 g/Sm<sup>3</sup>. Faktoren ble i 2008 redusert fra 12 g/Sm<sup>3</sup> til dagens nivå etter anbefalinger presentert i et studie for OD og OLF (nå Norsk olje og gass) utført av SINTEF Energiforskning og add novatech (40) (heretter kalt SINTEF). Bakgrunnen for studiet var økt fokus på denne typen utslipp (bla. innføring av NO<sub>x</sub>-avgift), og at utslippsfaktoren på 12 g/Sm<sup>3</sup> fra 1993 ikke tok hensyn til endringer i faklingsrater, gasskomposisjoner eller fakkelt teknologi. I tillegg var den ca 10 ganger større enn utslippsfaktorer benyttet i andre sammenlignbare land.

I SINTEF-studien i 2008 ble det utviklet en eksperimentell skaleringslov («d-scaling law»). Denne viste god korrelasjon med tilgjengelige data fra laboratorietester av små og mellomstore fakler (<50 mm i diameter) og av resultater fra DIAL LIDAR målinger av fakkelt utslipp fra fire landanlegg, spesielt når det tas hensyn til fakkeldiameteren. Resultatene for damp-assisterte fakler viste størst avvik fra den eksperimentelle skaleringsloven. Det ble derfor ikke anbefalt å benytte «d-scaling law» for hverken damp- eller luft-assisterte fakler.

Med utgangspunkt i daglige faklingsdata (2004/2005) og opplysninger om fakkeldiameter fra fem offshore installasjoner, har SINTEF ved bruk av «d-scaling law» (se Formel 1) estimert NO<sub>x</sub>-faktoren til å ligge i området 1,16 til 2,36 gNO<sub>x</sub>/Sm<sup>3</sup>, med et gjennomsnitt på 2,0 gNO<sub>x</sub>/Sm<sup>3</sup> for disse fem installasjonene (40).

$$EI_{\text{NO}_x} = 0.93 \times \frac{1}{d_0^{0.45}} \times \dot{V}_0^{0.2} \times \frac{1}{\rho_0} \quad (1)$$

Den anbefalte utslippsfaktoren på 1,4 gNO<sub>x</sub>/Sm<sup>3</sup>, ligger i nedre del av det variasjonsvinduet som fremkom i SINTEF-studien. Verdien på 1.4 gNO<sub>x</sub>/Sm<sup>3</sup> er basert på US EPA's AP-42-faktor (EF<sub>NO<sub>x</sub></sub>) på 0,068 lb NO<sub>x</sub>/10<sup>6</sup> BTU (41) og en antakelse om en brutto brennverdi for fakkeltgass på 48 MJ/Sm<sup>3</sup> (se Formel 2 og 3, samt Kapittel 8 i (40)).

$$0.068 \frac{\text{lb NO}_x}{10^6 \text{ BTU}} = 0.029 \frac{\text{kg NO}_x}{10^6 \text{ kJ}} \quad (2)$$

$$0.029 \frac{\text{kg NO}_x}{10^6 \text{ kJ}} \times 48000 \frac{\text{kJ}}{\text{Sm}^3} = 1.4 \frac{\text{g NO}_x}{\text{Sm}^3} \quad (3)$$

Data innhentet i dette prosjektet viser imidlertid et relativt stort spenn i brutto brennverdi også offshore, fra 35 til 112 MJ/Sm<sup>3</sup>, med et gjennomsnitt på 46.6 MJ/Sm<sup>3</sup> og et vektet gjennomsnitt<sup>59</sup> på 41.2 MJ/Sm<sup>3</sup> (tallene er basert på data for 72 fakler).

Dataene som US EPA's EF<sub>NO<sub>x</sub></sub> er basert på, er vist i **Tabell 16**. Disse dataene spenner fra 0,018 til 0,208 lb NO<sub>x</sub>/10<sup>6</sup> BTU, og gjennomsnittsverdien for hele datasettet er 0,068 lb NO<sub>x</sub>/10<sup>6</sup> BTU. Gjennomsnittsverdien per kategori (dvs. damp-assistert (ved høy og lav GCV) og ikke-assistert<sup>60</sup> (ved høy og lav GCV)) er vist i **Tabell 17**. Tabellen viser at gjennomsnittsverdien for de to kategoriene som omfatter gass med lavt energiinnhold (lav GCV) er relativt konsistent med det totale gjennomsnittet (alle data), mens de to kategoriene for energirik gass (høy GCV) avviker. Damp-assisterte fakler gir noe lavere utslipp enn gjennomsnittsverdien ved høy GCV, mens ikke-assisterte fakler har en vesentlig høyere faktor under slike forhold, ca. dobbelt så høy som det totale gjennomsnittet på 0,068. I Texas i USA er det etablert fire standardfaktorer som er sammenlignbare med gjennomsnittsfaktorene i **Tabell 17** (42).<sup>61</sup>

---

<sup>59</sup> Mengden fakklegass rapportert i 2011 er her benyttet som vekter.

<sup>60</sup> Her inngår også luft-assisterte fakler.

<sup>61</sup> De mindre avvikene skyldes eliminering av datapunkter hvor forbrenningseffektiviteten var mindre enn 98%. CMA studiet i 1983 viste at skikkelig opererte fakler typisk hadde en forbrenningseffektivitet over 98%.

Tabell 16: Data fra CMA studiet i 1983 (22)

Fakkel type:	Test No.	Heating Value BTU/SCF	NO <sub>x</sub> konsentrasjon ppm	CO <sub>2</sub> konsentrasjon ppm	Utslippsfaktor NO <sub>x</sub> (EF <sub>NOx</sub> ) lb <sub>m</sub> /10 <sup>6</sup> BTU	Forbrennings- effektivitet (CE) %
Steam Assisted High BTU	1	2,183	3,09	7,052	0,0680	99,96
	2	2,183	2,16	4,719	0,0710	99,82
	3	2,183	3,46	8,159	0,0658	99,82
	4	2,183	1,96	6,616	0,0459	98,80
	8	2,183	1,45	5,400	0,0416	98,81
	7	2,183	1,62	5,224	0,0481	99,84
	5	2,183	2,09	6,115	0,0530	99,94
	67	2,183	3,77	3,758	<b>0,1556</b>	
	17	2,183	1,00	3,493	0,0444	99,84
	50	2,183	0,50	4,220	<b>0,0184</b>	99,45
	56	2,183	0,58	3,120	0,0288	99,70
	61	2,183	1,32	6,273	0,0326	82,18
	55	2,183	0,38	2,012	0,0293	68,95
Steam Assisted Low BTU	57	294	2,68	6,945	0,0598	99,90
	11		3,69	5,269	<b>0,1086</b>	99,83
	11a	305	3,31	6,677	0,0769	99,93
	11b	342	4,17	8,158	0,0793	99,85
	11c	364	4,00	8,210	0,0756	99,82
	59		1,41	5,413	0,0404	98,49
	59a	192	1,30	5,575	0,0362	98,11
	59b	232	1,62	5,090	0,0494	99,32
	60	298	0,99	3,685	0,0417	98,92
	51	309	0,57	3,347	<b>0,0264</b>	98,66
	16		1,87	4,059	0,0714	99,75
	16a	339	1,39	3,236	0,0666	99,74
	16b	408	2,42	5,291	0,0709	99,75
	16c	519	1,57	3,419	0,0712	99,74
	16d	634	2,28	4,458	0,0793	99,78
	54	209	5,00	7,115	0,1090	99,90
	23	267	5,90	8,465	0,1081	100,00
	52	268	0,68	2,622	0,0402	98,82
53	209	2,83	5,741	0,0764	99,40	
Air- & Non- assisted High BTU	26	2,183	5,34	6,270	0,1321	99,97
	65	2,183	2,40	4,878	<b>0,0763</b>	99,57
	28	2,183	8,16	6,078	<b>0,2082</b>	99,94
	31	2,183	4,02	4,568	0,1365	99,17
Air-Assisted & Non-assisted Low BTU	66	158	0,97	2,432	0,0619	61,94
	29		1,06	2,179	0,0754	61,60
	29a	168	1,09	1,529	<b>0,1106</b>	55,14
	29b	146	1,04	2,808	0,0574	65,60
	64	282	1,24	3,282	0,0586	99,74
	62	153	0,68	3,076	<b>0,0343</b>	94,18
	63	289	1,57	4,184	0,0582	99,37
	33	83	0,74	1,857	0,0618	98,24
	32		1,75	3,702	0,0733	98,87
	32a	294	0,63	1,761	0,0555	98,91
	32b	228	2,39	4,811	0,0770	98,86



**Tabell 17:** Analyse av dataene presentert i **Tabell 16**

	Damp-assistert, høy GCV	Damp-assistert, lav GCV	Luft-og ikke-assistert, høy GCV	Luft-og ikke-assistert, lav GCV	Alle data
Gjennomsnitt	<b>0,047</b>	<b>0,068</b>	<b>0,138</b>	<b>0,060</b>	<b>0,068</b>
Maksimum	0,156	0,109	0,208	0,111	0,208
Minimum	0,018	0,026	0,076	0,034	0,018
Standard avvik	0,021	0,032	0,054	0,015	0,039

I et nylig utført studie i Texas (43) er målinger av NO<sub>x</sub>-utslipp fra fakler med lave faklingsrater og fakkeltipp med lave brennverdier (lav GCV), blitt gjennomført for full-skala fakler for både luft- og damp-assisterte fakler. En oppsummering av resultatene er presentert i **Tabell 18**. Resultatet for luft-assisterte fakler er relativt konsistente (sammenlignbare) med resultatene for tilsvarende fakler fra CMA studiet i 1983. Resultatene for damp-assisterte fakler viser betydelig lavere utslipp enn de som ble funnet i 1983. Studiet i Texas viser også relativt god korrelasjon med forbrenningseffektiviteten. Redusert forbrenningseffektivitet er ofte assosiert med lavere flammtemperatur, noe som tenderer til å redusere NO<sub>x</sub> produksjonen. I tillegg vil flere hydrokarbonradikaler («hydrocarbon radicals») reagere med NO<sub>x</sub> molekyler og danne N<sub>2</sub> og O<sub>2</sub>.

**Tabell 18:** NO<sub>x</sub>-utslippsfaktorer for fakkeltipp med lave brennverdier fra TCEQ studiet (43)

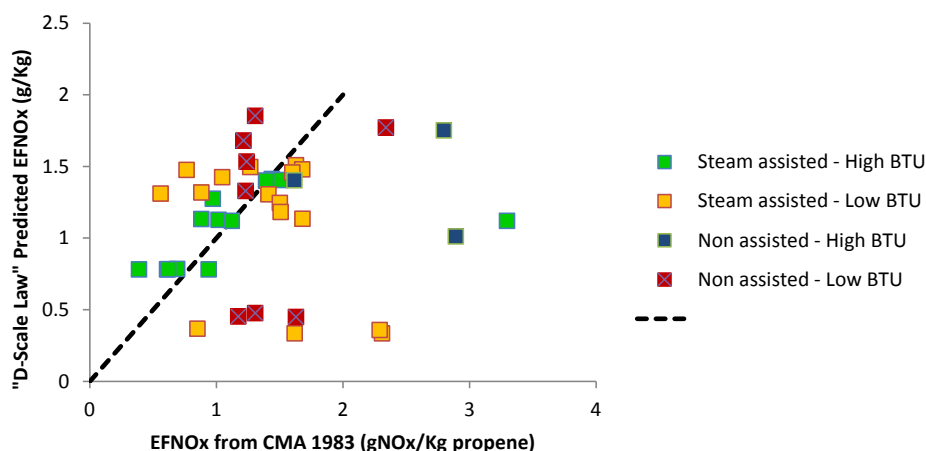
	Damp-assistert, lav GCV	Luft-assistert, lav GCV	Alle data
Gjennomsnitt	<b>0,017</b>	<b>0,056</b>	<b>0,030</b>
Maksimum	0,033	0,083	0,083
Minimum	0,009	0,037	0,009
Standard avvik	0,0065	0,0167	0,0216

Det er basert på informasjon fra CMA studiet fra 1983, mulig å sammenligne målte NO<sub>x</sub>-utslipp med estimerte NO<sub>x</sub>-utslipp for de samme faklingene ved anvendelse av SINTEF's skaleringslov. For å kunne sammenligne resultatene er utslippsfaktorene fra CMA studiet blitt omgjort til massebasis<sup>62</sup>. Basert på informasjon om faklingsrater og fakkeltippdiameter fra CMA studiet, er NO<sub>x</sub>-utslippsfaktorene beregnet ved hjelp av skaleringsloven. Hele datasettet fra CMA-studiet i 1983 er benyttet for sammenligning, da SINTEF i sin studie hadde begrenset tilgang til data for fullskala fakling. Resultatene fra sammenligningen er vist i **Figur 12**.

<sup>62</sup> Ved testene utført for gass med lavt energiinnhold, ble propylene blandet med store mengder nitrogen for å oppnå et lavt energiinnhold. Siden de fleste fakler i Norge har lavt innhold av inert gass (høyt energiinnhold) ble CMA dataene benyttet til å beregne to utslippsfaktorer for henholdsvis den totale gassmengden (inkludert nitrogen) og kun for propylene andelen.

Utslippsfaktorene som er beregnet ved bruk av skaleringsloven er relativt like gjennomsnittsverdiene for hver av de fire gruppene presentert i **Tabell 17**, når kun hydrokarbonandelen benyttes ved omgjøring av CMA-utslippsfaktorene til massebasis. Sammenligningen viser imidlertid at det er størst avvik for luft- og ikke-assisterte fakler med høy GCV. For denne fakkeltategorien gir beregningene med skaleringsloven i gjennomsnitt 1,38 gNO<sub>x</sub>/kg (svært nær dagens Norske utslippsfaktor på 1,4 gNO<sub>x</sub>/Sm<sup>3</sup>). Utslippsfaktoren presentert i CMA studiet var for denne kategorien 2,9 gNO<sub>x</sub>/kg (basert på testdata), dvs. over dobbelt så høy som faktoren estimert med skaleringsloven.

**Figur 12:** Sammenligning av testresultater CMA (1983) og beregninger med «d-scaling law»



Det er vanskelig å definere hvilken metode som er «best» i forhold til å etablere en utslippsfaktor for NO<sub>x</sub> for ikke-assisterte fakler. SINTEF's korrelasjon virker robust. Skaleringsloven har imidlertid ikke blitt verifisert for full-skala fakler med egenskaper som er typiske for offshore fakler i Norge (ift. diameter, gasser med relativt høy gassdensitet og sonisk hastighet i fakkeltipp). Skaleringsloven bør derfor verifiseres mot et større sett med måledata enn hva som foreligger for offshore fakler i Norge per i dag. Som nevnt i Kapittel 3.3 har andre forskere funnet til dels motsatte effekter enn SINTEF ift. betydningen av gasstetthet og fakkeldiameter på utslipp av NO<sub>x</sub>. Sammenligningen av resultatene fra CMA studiet i 1983 og beregninger av NO<sub>x</sub>-utslipp ved hjelp av skaleringsloven, viser at skaleringsloven gir for lave NO<sub>x</sub>-utslipp for ikke-assisterte fakler ved høye GCV-verdier, som er relativt typisk offshore.

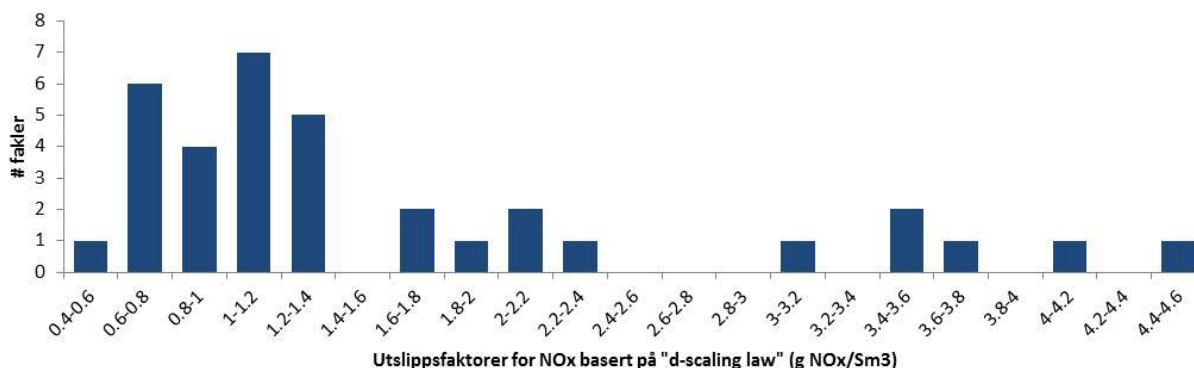
SINTEF anbefaler i sin rapport at dagens utslippsfaktor på 1,4 gNO<sub>x</sub>/Sm<sup>3</sup> kun bør benyttes for offshore fakler, fordi fakler på land benyttes for gasser med større variasjon i energiinnhold og flere av landfaklene er også damp-assisterte (40). Som det fremgår av **Tabell 16** er US EPA-utslippsfaktoren på 0,068 lb NO<sub>x</sub>/10<sup>6</sup> BTU, som er identisk med den anbefalte utslippsfaktoren offshore under en antakelse om et energiinnhold på 48 MJ/Sm<sup>3</sup>, basert på et gjennomsnitt av en lang rekke målinger utført av CMA i 1983 (22). En stor andel av CMA-målingene er utført for damp-assisterte fakler (32 av 47, eller ca 70%). Tas det utgangspunkt i gjennomsnittsfaktoren for fakler med luft-/ikke-assistans og gass med høyt energiinnhold (høy GCV), dvs. 0,138 lb NO<sub>x</sub>/10<sup>6</sup> BTU, som er situasjonen offshore, vil en antakelse om et

gjennomsnittlig energiinnhold på 48 MJ/Sm<sup>3</sup> som er benyttet i SINTEF-rapporten, gi en utslippsfaktor for offshore fakler tilsvarende 2,8 gNO<sub>x</sub>/Sm<sup>3</sup>.

For fakler på land kan representative verdier presentert i **Tabell 17** benyttes for å beregne utslipp for ulike kategorier fakler dersom det ikke foreligger resultater fra fakkelspesifikke målinger ved hjelp av DIAL LIDAR eller andre egnede målemetoder. Bruk av verdiene presentert i **Tabell 17** forutsetter at energiinnholdet i fakkeltippen ved det enkelte landanlegget er kjent, da utslippsfaktorer per i dag oppgis som gNO<sub>x</sub> per tonn gass faklet for anlegg på land.

Basert på daglige faklingsdata for 35 fakler i perioden 2005-2011 (data for 12 til 36 måneder er tilgjengelig for hver fakkeltippen innenfor denne tidsperioden), fakkeltippdiameter og gasstetthet, har skaleringsloven blitt benyttet for å beregne fakkelspesifikke utslippsfaktorer. Fordelingen av utslippsfaktorer, som er beregnet for de 35 faklene, er vist i **Figur 13**. Utslippsfaktorene er konservativt anslått, da faklingsrater, i mangel av detaljerte data om faklingshendelser, er antatt å være jevnt fordelt over døgnet (kontinuerlig fakling). Beregninger for de 35 faklene, viser et vektet gjennomsnitt på ca. 1,6 g NO<sub>x</sub>/Sm<sup>3</sup>.

**Figur 13:** Fordeling av beregnede utslippsfaktorer for NO<sub>x</sub> basert på «d-scaling law»



Ift. utslippsfaktorer for NO<sub>x</sub> har prosjektteamet følgende anbefaling:

Utslippsfaktoren for NO<sub>x</sub> på 1,4 gNO<sub>x</sub>/Sm<sup>3</sup>, som er anbefalt av Sintef for bruk offshore, bør revideres for å bedre reflektere faklingsforholdene som er gjeldende offshore når det gjelder faklingsrater og energiinnhold. Revisjonen bør ta utgangspunkt i en gjennomgang av oppdaterte måleresultater og beregninger utført med SINTEF's skaleringslov.

### 7.3.2 Utslipp av metan (CH<sub>4</sub>)

Ved flere av landanleggene har det blitt gjennomført målinger med DIAL LIDAR teknikken (avstandsmålinger) for å bestemme utslippsfaktorer for CH<sub>4</sub> fra fakling. De av landanleggene som har

utført avstandsmålinger, har etablert gjennomsnittlige utslippsfaktorer for CH<sub>4</sub> basert på målinger i røykfanen i en tidsbegrenset periode. Det er ikke kjent om det har vært gjort tilsvarende målinger offshore eller om andre teknikker har vært benyttet til å bestemme spesifikke utslippsfaktorer for CH<sub>4</sub>.

For de fleste fakler offshore benyttes den anbefalte OLF-utslippsfaktoren på 0,024 g CH<sub>4</sub>/Sm<sup>3</sup>. Som det fremgår av **Tabell 10**, avviker denne faktoren betydelig fra faktorene som benyttes i andre sammenlignbare land. I OLF's veiledning til den årlige utslippsrapporteringen for installasjoner offshore (39), opplyses det om at utslippsfaktoren som er oppgitt i veilederen er hentet fra en rapport fra Kjelforeningen Norsk Energi fra 1994 (44). Det er uklart hvordan utslippsfaktorene for fakling ble beregnet i dette studiet. Rapporten fra 1994 inneholder primært faklingsdata knyttet til fakling av væske fra brønntesting, selv om Tabell 4.3 i rapporten viser til data fra fakling av gass. Utslippsfaktorene som presenteres i Tabell 4.3 i rapporten fra 1994, er også ulike faktorene som anbefales av OLF.

Noe forenklet kan utslipp av CH<sub>4</sub> fra fakling bestemmes ut fra to parametere<sup>63</sup>:

- Andelen metan i fakkalgassen (i gCH<sub>4</sub>/Sm<sup>3</sup>)
- Forbrenningseffektiviteten<sup>64</sup>

Den første parameteren er bestemt av fakkalgasskomposisjonen, mens den andre er vanskeligere å kvantifisere. Ifølge eksperter kan hevede fakler oppnå en forbrenningseffektivitet på mer enn 98% når fakkelen er designet, installert og driftet optimalt (opp til 99,5% avhengig av hvem en spør). Dette er bla. bekreftet i data fra CMA-studiet fra 1983 presentert i **Tabell 16**. Ekspertene er også enige om endel forhold som negativt kan påvirke utslipp av uforbrente hydrokarboner. Følgende situasjoner kan medføre redusert forbrenningseffektivitet og dermed økte CH<sub>4</sub>-utslipp:

- Overforbruk av assistansemedium (kun relevant for assisterte fakler)
- Fakling ved svært lave faklingsrater
- Forsinkelser i antennelse og dårlig forbrenning ved antennelse, gjelder spesielt slukket fakkell
- Fakkalgass med lav brennverdi
- Fakling i sterk vind

---

<sup>63</sup> Tyngre hydrokarboner kan også brytes ned til mer flyktige uten å brenne opp, noe som vil kunne medføre utslipp av metan selv om fakkalgassen i utgangspunktet ikke inneholder noe metan. Dette er bla. rapportert av McDaniel fra CMA studiet i 1983 (22); uforbrente hydrokarboner i røykfanen inneholdt opp til 80 Vol % metan selv om fakkalgassen besto av av en syntetisk miks av propylene og propan.

<sup>64</sup> Forbrenningseffektivitet er ikke noe presist mål på hvor mye uforbrente hydrokarboner som slippes ut fra fakkelen. Med en forbrenningseffektivitet på på 99,5% kan det både være mer eller mindre metan som slippes ut enn 0,5% av fakkalgassens opprinnelige metaninnhold pga. effekten som er beskrevet i fotnote 63. Forbrenningseffektivitet benyttes likevel i de fleste studier for å estimere utslipp av uforbrente hydrokarboner. Prosjektteamet er ikke kjent med at alternative metoder for å kvantifisere denne typen utslipp er vurdert å være mer nøyaktige basert på måldata.

Det finnes store mengder forskningslitteratur knyttet til forbrenningseffektivitet ved fakling, og de mest relevante ble nylig oppsummert i en rapport publisert av US EPA<sup>65</sup>. Forbrenningseffektiviteten er blitt målt for ulike typer fakler, i en lang rekke tester, ved endringer i gasskomposisjon, faklingsrater, utforming av fakkeltipp og bruk av assistanse. Målingene har i hovedsak blitt utført for damp-assisterte fakler. Pohl og Soelberg utførte i 1985 tester for CMA for trykk-assisterte fakler, og har publisert kurver for sammenhengen mellom utgangshastighet og brennverdien som ga stabil flamme. Det har også blitt gjennomført tester ved John Zink's testlaboratorium i Tulsa (Oklahoma, USA) i samarbeid med TCEQ og Dow Chemical Company. Testrapporten fra dette studiet konkluderte med at trykk-assisterte fakler kan oppnå en forbrenningseffektivitet som er minst like gode som damp- og luft-assisterte fakler. Svakheten med studien er at den bare omfatter to ulike fakkeltippdesign (Varner et al. (2007) referert til av EPA<sup>65</sup>).

#### **Overforbruk av assistansemedium:**

Utfordringer knyttet til overforbruk av damp (for damp-assisterte fakler) eller luft (for luft-assisterte fakler) har blitt mye studert de siste årene i USA. Basert på data fra mer enn 300 målekampanjer konkluderte US EPA nylig følgende:

“Using too much steam in a flare can reduce flare performance. Given that many steam-assisted flares are designed to have a minimum steam flow rate in order to protect the flare tip, over steaming has resulted, especially during base load conditions. In addition, operators acting cautiously to avoid non-compliance with the visible emissions standards for flares have liberally used steaming to control any potential visible emissions, also resulting in over steaming in some cases. [Similarly] using too much air in a flare can reduce flare performance.”

US EPA (13) og andre eksperter (11) har utarbeidet anbefalinger knyttet til kontroll av driften av assisterte fakler. Disse knytter seg til den nedre antennelsesgrensen i forbrenningssonen eller netto brennverdi av gass/luft blandingen i forbrenningssonen. Det foreligger ikke tilstrekkelige data til å si noe om situasjonen for de 11 faklene i Norge som benytter damp- eller luft-assistanse. De fleste har rapportert om at det foreligger en eller annen form for optimalisering av injeksjonsraten av damp eller luft, bla. at den assisterte mengden følger faklet mengde (i noen tilfeller også temperatur) eller at det finnes flere vifter hvor noen startes etter behov (gjelder luft-assistanse). Det er imidlertid ikke klart om optimaliseringen er manuell eller automatisk.

#### **Fakling ved svært lave faklingsrater:**

Fakler designes for å ha tilstrekkelig kapasitet til å håndtere de faklingsscenariene som kan inntreffe ved ekstreme hendelser. Veldig ofte opererer de imidlertid med en mye lavere faklingsrate enn det de er designet for, som illustrert i **Figur 9** og **Figur 10**.

---

<sup>65</sup> <http://www.epa.gov/airtoxics/flare/2012flaretechreport.pdf>

Det er gjort tester som viser at forbrenningseffektiviteten raskt reduseres ved veldig lave faklingsrater. Ratene som er analysert, er imidlertid så lave at de ikke er ansett å være relevante for norske forhold. Resultater fra gjennomførte målinger med DIAL LIDAR teknikken ved norske landanlegg, viser imidlertid at forbrenningseffektiviteten er mindre enn 95% ved svært lave faklingsrater.

#### **Forsinkelser i antennelse ved behov for fakling og dårlig forbrenning ved antennelse:**

Utslipp av uforbrente hydrokarboner kan oppstå ved forsinkelser i antennelse (f.eks. i et system med «slukket» fakkell eller om pilotflammen skulle blåse ut). Det er også grunn til å anta at unormalt høye utslipp kan forekomme i en begrenset tidsperiode, fra antennelse til stabil flamme, avhengig av antennelsesprosessen. Praktisk erfaring viser at antennelsesperioden varer fra 10-30 sekunder. Forbrenningseffektiviteten anslås konservativt til ca. 50% i denne perioden.

Antall antennelser per år har økt i Norge som følge av introduksjon av teknologier for «slukket» fakkell (dvs. fakkelen tennes ved behov). Basert på daglige faklingsdata anslås det at antall antennelser offshore ligger på ca 1100 til 1700 per år. Dette kan resultere i opp mot 700 tonn CH<sub>4</sub> i årlige utslipp, som er et grovt anslag<sup>66</sup>. Fordelt på faklet volum offshore i 2011 gir dette et utslipp på 2,1 gCH<sub>4</sub>/Sm<sup>3</sup> som er nesten 9 ganger høyere enn dagens anbefalte faktor (dvs. 0,24 gCH<sub>4</sub>/Sm<sup>3</sup>).

#### **Fakkellgass med lav brennverdi og fakling i sterk vind:**

Forskningsresultater publisert av Johnson et al. (12) viser at forbrenningseffektiviteten kan påvirkes negativt når fakkellgassen har veldig lav brennverdi (f.eks. når nitrogen brukt som spylegass utgjør en stor andel av gassen som sendes til fakkell) eller ved sterk vind. Dette er også erfaringen fra målinger utført på Kollsnes. Som nevnt i **Kapittel 3.3** er det fortsatt usikkert hvilken betydning vind har for større fakler/faklingsrater. Faklingen i Norge er antatt å være påvirket av vindforholdene (spesielt offshore), men det foreligger ikke data eller robuste korrelasjoner for å estimere hvilken innvirkning dette har.

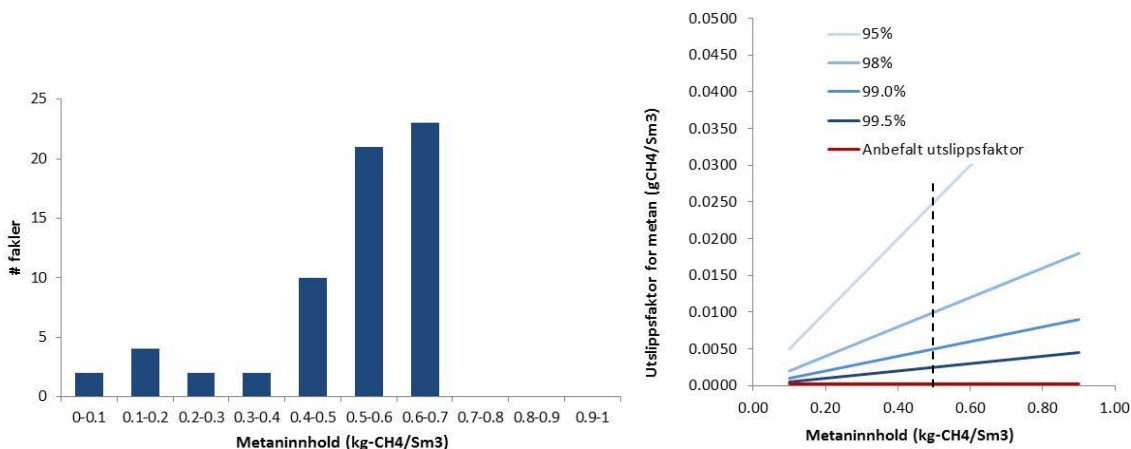
#### **Vurdering av standard utslippsfaktorer for metan offshore og på land:**

**Figur 14 a** viser fordelingen av fakler ift. metaninnhold i fakkellgassen, mens **Figur 14 b** viser hvilket utslag metaninnholdet og antakelser om forbrenningseffektivitet har på utslippsfaktoren for CH<sub>4</sub>. Et vektet gjennomsnitt av metaninnholdet i fakkell gass i 2011 er ca 0,5 kgCH<sub>4</sub>/Sm<sup>3</sup> (vist som stiplet linje i figuren til høyre).

---

<sup>66</sup> Det er benyttet en antakelse om en gass densitet på 1,04 kg/Sm<sup>3</sup> og en Mol Wt. på 25 kg/kmol basert på tilgjengelige data for norske fakler.

**Figur 14:** Metaninnhold i fakkelgass (a) og illustrasjon av utslag på utslippsfaktor (b)



Målinger gjennomført med DIAL LIDAR teknikken ved anlegg på land gir vesentlig høyere utslippsfaktorer enn den anbefalte utslippsfaktoren på 0,24 gCH<sub>4</sub>/Sm<sup>3</sup> for fakler offshore. DIAL LIDAR-teknikken er også benyttet for verifikasjon av forbrenningseffektivitet. Målinger utført for fakler på land viser en forbrenningseffektivitet i området 95,0 til 99,5%. For lavtrykksfakkelen på Snøhvit-anlegget på Melkøya<sup>67</sup> ble det f.eks. målt et utslipp av metan tilsvarende 6,3 gCH<sub>4</sub>/kg, som tilsvarer et utslipp på 8,5 gCH<sub>4</sub>/Sm<sup>3</sup>. Forbrenningseffektiviteten ble for denne fakkelen målt til i overkant av 99% i 2008, mens den for høytrykksfakkelen ble målt til 99,8%. Ved gassbehandlingsanlegget på Kollsnes ble forbrenningseffektiviteten i 2009 målt til 99,5% for høytrykksfakkelen. Her er utslippsfaktoren for høytrykksfakkelen beregnet til 2,95 gCH<sub>4</sub>/Sm<sup>3</sup>.

Det har ikke vært mulig for prosjektteamet å angi en representativ forbrenningseffektivitet for fakling i Norge. Dette på grunn av manglende kjennskap til reelle faklingsrater og gasskomposisjoner, samt begrenset kunnskap om andre forhold som vil påvirke forbrenningseffektiviteten. Prosjektteamet har følgende anbefalinger knyttet til standard utslippsfaktorer for CH<sub>4</sub> i Norge:

- Det bør benyttes et konsistent sett av antakelser for gasskomposisjon og forbrenningseffektivitet knyttet til fakling ved estimering av utslippsfaktor for CH<sub>4</sub> og utslippsfaktorer for andre komponenter som resulterer fra ufullstendig forbrenning (nmVOC, CO og partikler).
- Gjennomføring av målinger for fullskala fakler eller kontrollerte tester av fakler under forhold som er representative for Norge, bør gjennomføres og kombineres med resultater fra modellberegninger for å verifisere at nivået på utslippsfaktorene for CH<sub>4</sub> offshore og på land er rimelige.
- Utslippsfaktorene som anvendes for CH<sub>4</sub>-utslipp fra fakling offshore (0,24 gCH<sub>4</sub>/Sm<sup>3</sup>) og på land virker lave, og bør revideres (økes) basert på mer konservative antakelser hva gjelder reell forbrenningseffektivitet under fakling. Dette er understøttet av målinger utført for fakler ved

<sup>67</sup> [http://www.klif.no/nyheter/dokumenter/statoilhydro\\_hammerfestLNG\\_soknad091208.pdf](http://www.klif.no/nyheter/dokumenter/statoilhydro_hammerfestLNG_soknad091208.pdf)

landanlegg med DIAL LIDAR og vil være i tråd med et prinsipp om å anvende et konservativt anslag inntil mer detaljert informasjon er tilgjengelig om det reelle nivået på disse utslippene.

### 7.3.3 Utslipp av nmVOC

Utslipp av andre uforbrente hydrokarboner vil være påvirket av de samme forholdene som utslippene av metan. Også for nmVOC viser målinger utført med DIAL LIDAR-teknikken vesentlig høyere utslippsfaktorer enn standardfaktoren. For lavtrykkfakkelen på Snøhvit-anlegget ble utslippsfaktoren målt til 2,2 g nmVOC/kg, som tilsvarer 3,0 g nmVOC/Sm<sup>3</sup>. Det må imidlertid nevnes at denne gassen har et høyt metaninnhold og et tilvarende lavt innhold av tyngre komponenter, og vil således ikke være representativ for fakling offshore.

Som for CH<sub>4</sub>, mener prosjektteamet at utslippsfaktorene som anvendes for nmVOC fra fakling offshore (0,06 g-nmVOC/Sm<sup>3</sup>) og på land virker lave, og bør revideres (økes) basert på mer konservative antakelser hva gjelder reell forbrenningseffektivitet under fakling. Dette er understøttet av målinger utført for fakler ved landanlegg med DIAL LIDAR.

### 7.3.4 Utslipp av partikler (sotutslipp)

I 2011 ble utslippsfaktoren for partikkelutslipp (sotutslipp, dvs. «black carbon» (BC)), som benyttes i det norske utslippsregnskapet, oppdatert til 0,856 g PM<sub>10</sub>/Sm<sup>3</sup>. Faktoren er basert på nyere forskning ved Carleton University. Det meste av forskningsarbeidet rundt forståelsen av produksjon av «black carbon» (BC) har til nå vært gjennomført i kontrollerte laboratorietester. Siden BC-utslippene fra fakling er svært variable, er det fortsatt stor usikkerhet knyttet til størrelsen på utslippet.

I Kapittel 3.3.6 er kunnskapen om hva som er styrende parametere for dannelsen av partikkelutslipp oppsummert. Det er på nåværende tidspunkt stor usikkerhet forbundet med estimer av denne typen utslipp, og informasjonen som foreligger om utslippsnivåer, er svært begrenset.

På tross av et bredt litteratursøk har det kun vært mulig å identifisere to kilder som oppgir kvantifiserte utslippsfaktorer for sotpartikler:

- US EPA AP-42 seksjon 13.5 (40) presenterer fire ulike faktorer. Disse er knyttet til om fakkelen danner synlig røyk (soter). Faktorene er basert på CMA-studiet fra 1983 (22) og er oppgitt i µg/liter, hvor volumet det refereres til, er volumet av selve røykfanen (plumen):
  - Ingen røyk: 0 µg/liter
  - Lett røyk: 40 µg/liter
  - Middels røyk: 177 µg/liter
  - Tung røyk: 274 µg/liter



På grunn av måleenheten og bruk av visuelle røykobservasjoner, er ikke disse faktorene ansett å danne tilstrekkelig grunnlag for å utlede en utslippsfaktor per  $\text{Sm}^3$  faklet.

- Laboratorieeksperimenter utført av Carleton University (Johnson et al) har vist at sotdannelsen øker med økende fakkeltippdiameter, gasstetthet og energiinnhold. Best korrelasjon er det mellom sotdannelse og energiinnhold (brennverdi (HV))(25). Korrelasjonen mellom utslipp av «sot»<sup>68</sup> og brennverdi (HV) er presentert i **Formel 4**, og ble utledet fra resultater vist i **Figur 2**:

$$EF_{Sot} = 0.0578(HV) - 0.29 \quad (4)$$

Denne korrelasjonen ligger også til grunn for den norske utslippfaktoren<sup>69</sup>.

I TCEQ-studien utført av Aerodyne ble det også gjort målinger av partikkelutslipp, men det foreligger ingen publiserte resultater som er egnet til å si noe om nivået på utlippene som funksjon av mengden gass faklet (27).

For å kunne vurdere usikkerheten forbundet med å benytte resultater fra fakkeltestene utført av henholdsvis Carleton University og Aerodyne, er testforholdene blitt sammenlignet med norske forhold. Sammenligningen er vist i **Tabell 19**. Denne viser at det er vesentlige avvik mellom forholdene som det ble testet for og aktuelle forhold i Norge. Det må påpekes at ingen fakler i Norge har forhold som er sammenlignbare med de som er testet av Carleton University. Det samme gjelder for fakler i andre land.

---

<sup>68</sup> Pga. målestyret som ble benyttet gjelder korrelasjonen kun BC-andelen.

<sup>69</sup> Utslippfaktoren for partikler på  $0,856 \text{ g PM}_{10}/\text{Sm}^3$  fremkommer ved å legge til grunn en gjennomsnittlig brennverdi på  $48 \text{ MJ}/\text{Sm}^3$  og dele resultatet på 0,8 for å få den totale partikelmengden.

**Tabell 19:** Sammenligning mellom forholdene ved gjennomførte tester og norske forhold

	Aerodyne	Carleton University	Beskrivende for norske forhold? <sup>70</sup>	Betydning for partikkelutslipp
Fakkeltippdiameter	Fullskala	12,7 til 76,2 mm	For 3 av 71 fakler	Usikker betydning
Type fakkell	Luft- og damp-assisterte fakler	Ikke-assistert, sub-sonisk rørfakkell	For 38 av 86 fakler	Stor betydning (synlig røykdannelse)
Gasshastighet	Ikke spesifisert	0,12 til 8,4 m/s	For 31 av 46 fakler	Stor betydning (synlig røykdannelse)
Vind	Opp til 7 m/s	Ingen vind	Vind er rapportert over 8 m/s i gj. snitt	Usikker betydning
Transient regime	Ikke vurdert	Ikke vurdert	>1,000 antenner per år	Usikker betydning, potensielt stor
Energiinnhold	Kun propan og propen	37 til 48 MJ/m <sup>3</sup>	For 37 av 71 fakler	Stor betydning

Prosjektteamet kan ikke se at det foreligger tilstrekkelig grunnlag for å revidere dagens utslippsfaktor på nåværende tidspunkt. Faktoren er basert på det som per i dag er den beste tilgjengelige kunnskapen om forholdet mellom driftsforhold og partikkelutslipp. Det er imidlertid stor usikkerhet knyttet til størrelsesorden for disse utslippene både i Norge og internasjonalt, og publiserte arbeider viser betydelige forskjeller i målte utslippsfaktorer. Det er flere pågående forskningsprosjekter for å redusere denne usikkerheten, men det er usikkert om/når resultatene vil gjøres tilgjengelige og om de vil være representative for norske forhold.

Følgende muligheter foreligger for å fremskaffe økt kunnskap om forholdet mellom driftsforhold og partikkelutslipp for fakler i drift i Norge:

- **Målekampanjer** kan gjennomføres ved hjelp av de måleteknikker som er under utvikling av Carleton University og Aerodyne ved installasjoner på land og/eller offshoreinstallasjoner<sup>11</sup>. Ifølge Carleton University og Aerodyne kan måleteknikkene anvendes ved landanlegg i Norge. Målinger offshore kan være vanskelig å gjennomføre rent praktisk og kan medføre betydelige kostnader (praktiske utfordringer og kostnader vil avhenge av valgt måleteknikk, utforming av installasjonen, værforhold, osv.). Siden det er begrensede muligheter for å kontrollere og endre fysiske parametre for fakler i drift (f.eks. faklingsrate og gasskomposisjon), vil denne typen målekampanjer kun gi informasjon om en begrenset mengde driftsforhold. På den annen side vil det for norske fakler være tilgang på nøyaktige data for faklingsrater (ultralydmålere) og gasskomposisjoner (online GC), som kan gjøre det interessant å utføre målekampanjer i Norge.
- **Målinger i storskala testanlegg**, hvor målinger gjennomføres for representative driftsparametere og ulike fakkeldesign i løpet av en avgrenset tidsperiode. Dette vil imidlertid

<sup>70</sup> Basert på en sammenligning av de forhold som ble testet av Carleton University ift. tilgjengelige data for Norge

kreve tett samarbeid med en eller flere leverandører av fakkelt teknologi og tilgang til et testanlegg som gjør det mulig å teste driftsforhold som er representative for faklingen i Norge.

- **Kvantitativ analyse og verifikasjon av CFD-modeller** vil representere et verdifullt tillegg til fysiske målinger av utslipp, og kan om mulig, legge til rette for modellering av driftsforhold som ikke nødvendigvis er testet og målt fysisk. Det har blitt påpekt av flere eksperter at ingen av de Computational Fluid Dynamics (CFD) modellene som anvendes for å analysere fakling i dag er validert for å kvantifisere utslipp av svart karbon (dvs. at de ikke er egnet for å estimere denne typen utslipp).

Av alternativene over fremstår gjennomføring av et kontrollert testprogram i et stor-skala testanlegg for fakler som det mest interessante på nåværende tidspunkt. Det kan også muliggjøre uttesting av flere alternative måleteknologier og forbedring/verifikasjon av CFD-modeller for bredere anvendelse.

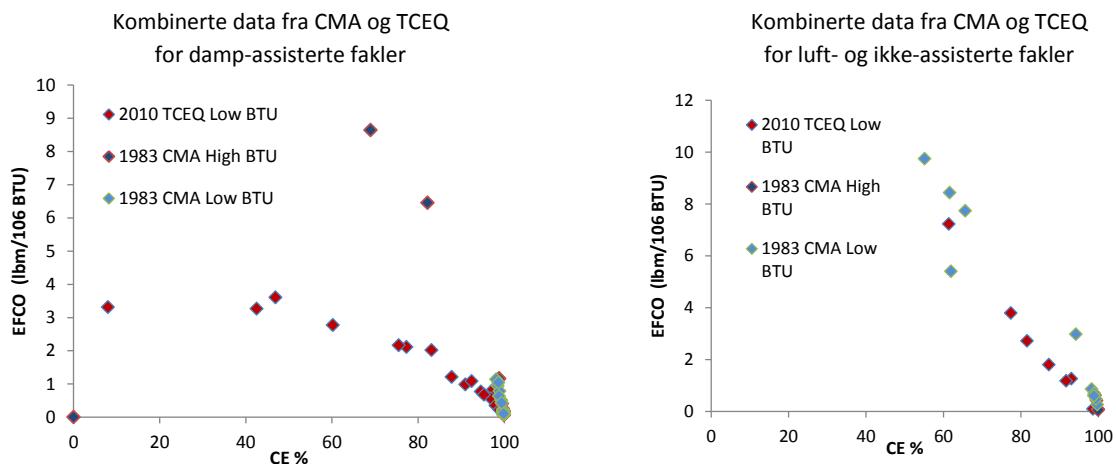
Grunnlaget for å estimere en utslippsfaktor for partikler (herunder BC og OC) er svært tynt, og faktoren som er presentert for Norge er forbundet med stor usikkerhet. Det anbefales å revidere denne når ytterligere testresultater for forhold som er mer representative for faklingen i Norge er tilgjengelige. Carbon Limits anbefaler at det tas et initiativ for å legge til rette for og innrette fremtidige måleprogrammer på en måte som gjør dem nyttige og relevante både i norsk og internasjonal sammenheng.

### 7.3.5 Utslipp av CO

Opphavet til dagens anbefalte utslippsfaktor på 1,5 g CO/Sm<sup>3</sup> er ikke kjent. CO er et av de viktigste produktene av (og indikatoren for) ufullstendig forbrenning, og inngår i formelen for forbrenningseffektivitet. CO må derfor måles for å kvantifisere forbrenningseffektiviteten i en fakkel. Både ved måling i røykfanen og avstandsmålinger, er CO en av måleparametrene. Selv om det per i dag ikke er mulig å kontinuerlig måle utslipp fra fakling er det sannsynlig at noen av de tilgjengelige teknologiene (spesielt PFTIR (36)), kan benyttes i målekampanjer under normale driftsforhold for å etablere en fakkelspesifikk utslippsfaktor.

For å vurdere den anbefalte utslippsfaktoren i Norge, har CO-data fra CMA-studiet (1983) og TCEQ-studiet (2010) blitt gjennomgått for å finne trender i ft. forbrenningseffektivitet. Resultatene er vist i **Figur 15**. Figuren viser målte utslipp av CO som funksjon av forbrenningseffektivitet for damp-assisterte fakler og luft- og ikke-assisterte fakler. Utslippsfaktoren for CO øker tilnærmet lineært når forbrenningseffektiviteten går ned, med unntak av for damp-assisterte fakler, hvor det brennes gass med lavt energiinnhold.

**Figur 15:** Sammenheng mellom utslippsfaktor for CO og forbrenningseffektivitet (23) (22)



Ved å fjerne punktene i **Figur 15** hvor forbrenningseffektiviteten er lavere enn 98%, får vi dataene som er presentert i **Tabell 20**.

**Tabell 20:** CO-utslippsfaktorer fra CMA og TCEQ studiene

	CMA-data fra 1983					TCEQ-data fra 2010		
	Damp-assistert Høy GCV	Damp-assistert Lav GCV	Luft-assistert Høy GCV	Luft-assistert Lav GCV	Alle data	Damp-assistert Lav GCV	Luft-assistert Lav GCV	Alle data
<b>Gj. Snitt</b>	<b>0,3504</b>	<b>0,3465</b>	<b>0,2755</b>	<b>0,5496</b>	<b>0,3715</b>	<b>0,280</b>	<b>0,090</b>	<b>0,185</b>
<b>Maksimum</b>	1,0744	1,0515	0,5766	0,8032	1,0744	0,3412	0,0949	0,3412
<b>Minimum</b>	0,0509	0,0502	0,0497	0,2474	0,0497	0,2180	0,0854	0,0854
<b>Std. avvik</b>	0,3904	0,3308	0,2533	0,1886	0,3226	0,0871	0,0067	0,1205

Det foreligger nødvendige data fra begge studier for å beregne utslippsfaktorer oppgitt i g-CO per masseenhet istedetfor g-CO per energienhet. For damp-assisterte fakler er utslippsfaktoren tilnærmet lik 7,4 g CO/kg gass, både for fakklegass med høyt og lavt energiinnhold (GCV). For luft- og ikke-assisterte fakler med høy GCV er den resulterende utslippsfaktoren på 5,8 g CO/kg gass, mens den ved lav GCV er 11,6 g CO/kg gass. Disse verdiene er endel høyere enn dagens anbefalte faktor i Norge når verdiene over omgjøres til volumbasis (gjennomsnittlig gasstetthet er antatt å ligge noe i overkant av 1 kg/Sm<sup>3</sup>). Basert på korrelasjonene illustrert i **Figur 15** vurderes utslippsfaktoren som er anbefalt for offshore å være konsistent med en antatt forbrenningseffektivitet på mellom 99,7% og 99,9%. Vurderingen er basert på beregninger med et utvalg av de tilgjengelige måledata (all punkter med CE>95%, kun ikke-assisterte fakler, høyt energiinnhold).

Det er prosjektteamets vurdering at dagens utslippsfaktor for CO bør revideres. Ved revisjon av utslippsfaktoren anbefales det å inkludere flere måledata for reelle utslipp fra representative høytrykksfakler.

### 7.3.6 Utslipp av N<sub>2</sub>O

Bakgrunnen for dagens anbefalte utslippsfaktor for N<sub>2</sub>O på 0,022 gN<sub>2</sub>O/Sm<sup>3</sup> er ikke kjent. Generelt har utslippsfaktorer for N<sub>2</sub>O fra fakling vært gjenstand for mye mindre oppmerksomhet enn andre komponenter. Selv om N<sub>2</sub>O ikke er beskrevet i US EPA's AP-42, er det en viktig klimagass som rutinemessig måles ved avgassmålinger, både i USA (45) og i resten av verden (46). Det er ikke funnet tilgjengelig forskningslitteratur som gir utslippsdata for N<sub>2</sub>O fra åpne fakler. PFTIR studiet fra 1994 (38) inkluderte målinger av N<sub>2</sub>O under fakkeltesting, men ingen data er rapportert. Prosjektteamet vurderer at det derfor er behov for ytterligere forskningsarbeid for å få etablert en utslippsfaktor for denne utslippskomponenten fra fakling.

### 7.3.7 Utslipp av SO<sub>x</sub>

En fakkelspesifikk utslippsfaktor for SO<sub>x</sub> kan bestemmes ved måling av SO<sub>x</sub> i avgassen.

Det foreligger ingen anbefalt utslippsfaktor for SO<sub>x</sub>. Da utslippet av SO<sub>x</sub> er direkte relatert til H<sub>2</sub>S-innholdet i fakkalgassen, bestemmes SO<sub>2</sub>-utslippet fra fakling ut fra målt og/eller estimert H<sub>2</sub>S-innhold og ut fra antakelsen om at SO<sub>x</sub> i hovedsak består av SO<sub>2</sub> (39). Dette er også praksisen i Norge. Målinger av H<sub>2</sub>S-innhold i fakkalgassen gjennomføres ved oljeraffinerier. Prosjektteamet vurderer dette som en fornuftig tilnærming inntil alternativ metode er på plass (39).

## 7.4 Konklusjoner og anbefalinger

Sammenligningen av de metoder og faktorer som benyttes i Norge opp mot de faktorer og metoder som benyttes i andre sammenlignbare land viser at det for noen utslippskomponenter er relativt store forskjeller i antatte utslippsnivåer. Basert på gjennomgangen av data innhentet fra virksomhetene, er det ikke opplagt at nivået på de anbefalte utslippsfaktorene kan forklares ut fra teknologiske eller driftsmessige forskjeller. For flere av utslippskomponentene er det på nåværende tidspunkt ikke mulig å bestemme utslippsfaktorer uten vesentlig usikkerhet i de resulterende utslippsestimatene. Dette skyldes at det i liten grad er tilgang til representative måledata for fullskala fakler som er representative for norske forhold. Prosjektteamet har derfor følgende anbefalinger:

- Ved estimering av utslippsfaktorer for CH<sub>4</sub>, nmVOC, CO og partikler fra fakling bør det benyttes et konsistent sett av antakelser for gasskomposisjon og forbrennings-effektivitet.
- For å verifisere at nivået på de estimerte utslippsfaktorene for CH<sub>4</sub>, nmVOC, CO og partikler er rimelig, bør det gjennomføres målinger for fullskala fakler eller kontrollerte tester av fakler under forhold som er representative for Norge. Disse målingene bør kombineres med resultater fra modellberegninger.
- Utslippsfaktoren for NO<sub>x</sub> på 1,4 gNO<sub>x</sub>/Sm<sup>3</sup>, anbefalt for bruk offshore, ligger i nedre del av variasjonsbildet som fremkom i SINTEF (40). Verdien på 1.4 gNO<sub>x</sub>/Sm<sup>3</sup> er beregnet med basis i

en faktor fra US EPA AP-42, som igjen i stor grad er basert på målinger for damp-assisterte fakler. Utslippsfaktoren for NO<sub>x</sub> bør revideres (økes) for å bedre reflektere faklingsforholdene som er gjeldende offshore når det gjelder faklingsrater og energiinnhold. Revisjonen bør ta utgangspunkt i en gjennomgang av oppdaterte måleresultater og beregninger utført med SINTEF's «d-scaling law».

- Utslippsfaktorene som er anbefalt for CH<sub>4</sub>, nmVOC og CO virker lave, og bør revideres (økes) basert på mer konservative antakelser for reell forbrenningseffektivitet under fakling. Dette er understøttet av målinger utført for fakler ved landanlegg med DIAL LIDAR og vil være i tråd med et prinsipp om å anvende et konservativt anslag inntil mer detaljert informasjon er tilgjengelig om det reelle nivået på disse utlippene.
- Grunnlaget for å estimere en utslippsfaktor for partikler (herunder BC og OC) er svært tynt, og faktoren som er presentert for Norge er forbundet med stor usikkerhet. Det anbefales å revidere denne når ytterligere testresultater for forhold som er mer representative for faklingen i Norge er tilgjengelige. Det bør tas et initiativ for å legge til rette for og innrette fremtidige måleprogrammer på en måte som gjør dem nyttige og relevante både i norsk og internasjonal sammenheng.

## 8. Tiltaksmuligheter

«Miljødirektoratets Fakkelprosjekt 2012» har omfattet en kartlegging av tiltaksmuligheter for å redusere fakling og utslipp til luft fra fakling. Formålet med kartleggingen har vært å fremskaffe informasjon om virksomhetenes tiltaksplaner og vurdering av tiltaksmuligheter, herunder kost-nytte vurderinger og eventuelle barrierer. Dette kapittelet inneholder en oppsummering av tiltaksdata og vurderinger innhentet fra virksomheter som fakler gass i Norge, smat prosjektteamets analyser av tiltaksmuligheter.

### 8.1 Analyse og vurdering av tiltaksmuligheter

Mer enn 150 innrapporterte tiltaksmuligheter har blitt beskrevet av virksomhetene. Informasjonen som er gjort tilgjengelig, er imidlertid av varierende kvalitet, og i liten grad kvantitativ.

Virksomhetene har for mange av de identifiserte tiltaksmulighetene, rapportert om utfordringer knyttet til å kvantifisere kost/nytte og reduksjonspotensial. Dette gjelder spesielt tiltak for å forbedre produksjonsregularitet og tiltak for å forbedre prosedyrer og felt-/installasjonsspesifikke fakkelsestrategier. Denne typen tiltak utgjør tilsammen halvparten av de innrapporterte tiltaksmulighetene. Kun 6 av de i alt 150 tiltaksmulighetene, har blitt beskrevet med kvantifiserte installasjonskostnader, driftskostnader, levetid, reduksjonspotensial (fakling/utslipp til luft) og netto nåverdi. Manglende datagrunnlag har vanskeliggjort analysen av tiltaksmuligheter og reduksjonspotensial.

De innrapporterte tiltakene har blitt inndelt i to hovedgrupper, ut fra hvordan de påvirker utslipp til luft fra fakling:

- (i) Tiltak for å redusere mengden gass som fakles
- (ii) Tiltak for å endre forbrenningsforholdene i fakkelen og redusere utslipp av spesifikke komponenter

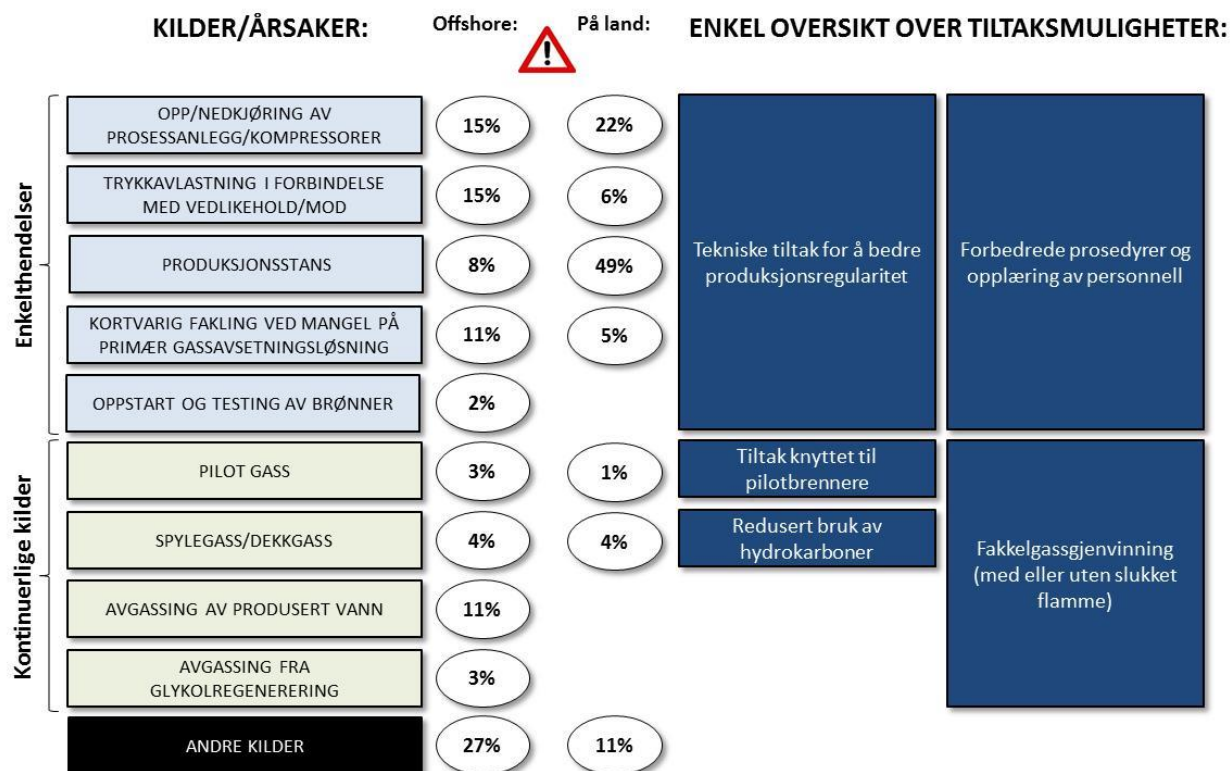
De to hovedgruppene av tiltak er videre inndelt i underkategorier (se oversikt i **Tabell 21**).

**Tabell 21:** Oversikt over innrapporterte tiltaksmuligheter innenfor ulike kategorier

Type tiltak:	Underkategori:	# innrapporterte tiltak:	
i.	Tekniske tiltak	Tekniske tiltak for å forbedre regularitet	14
		(Økt) fakkellgassgjenvinning	29
		Ulike tiltak for å redusere mengden gass sendt til fakkell	2
	Driftsmessige tiltak	Forbedring av prosedyrer og fakkellstrategi	62
		Opplæring av personell	1
	Endret fakkelldesign	Tiltak knyttet til pilotbrennere	1
		Redusert bruk av hydrokarboner som spyle-/dekk-gass	4
		Andre tiltak knyttet til fakkelldesign	2
	ii.	Tekniske tiltak	Valg av fakkellsystem for å optimalisere forbrenning
Driftsmessige tiltak		Kontroll av bruk av assistansemedium	3

Figur 16 viser en forenklet oversikt over kilder/årsaker til fakling og tiltaksmuligheter i hovedgruppe i. Figuren viser også kildenes andel av den totale faklingen (dvs. estimert fordeling, jf. **Kapittel 5.2**). Det understrekes at den estimerte fordelingen på kilder har stor usikkerhet, og at faklingen vil variere fra år til år.

**Figur 16:** Forenklet oversikt over tiltaksmuligheter, kilder til fakling og andel av total fakling per kilde i 2011





For tiltaksmuligheter rettet mot å begrense ikke-kontinuerlig fakling (blant annet opp/nedkjøring av anlegg, vedlikehold, modifikasjoner og driftsforstyrrelser, som tilsammen utgjorde 80% av faklingen i 2011), er det i hovedsak gjennomført kvalitative vurderinger av reduksjonspotensialet. Det foreligger kun et fåtall kvantitative vurderinger.

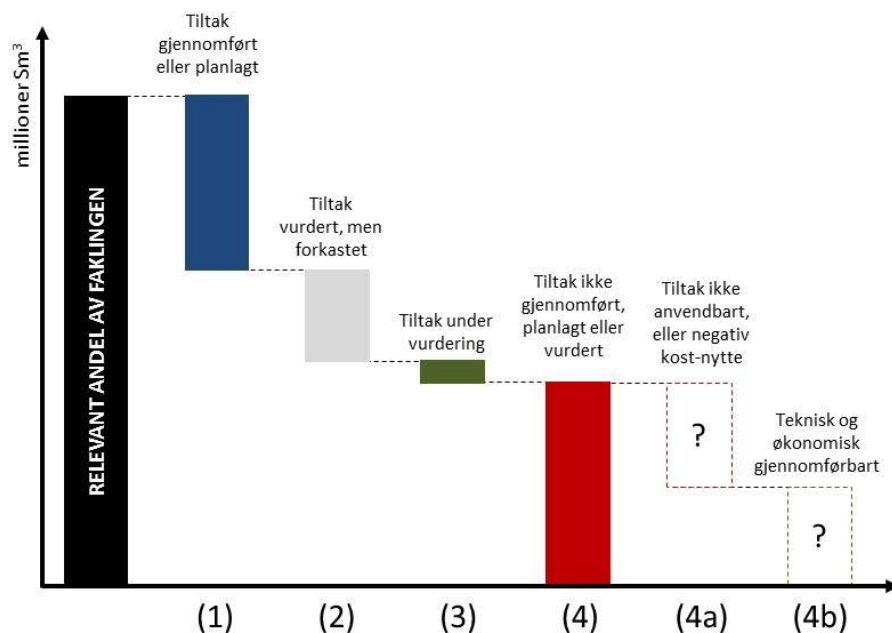
For tiltaksmuligheter som er direkte rettet mot fakkelsystemet, er det benyttet en annen tilnærming ved vurdering av reduksjonspotensial. Metoden er illustrert i **Figur 17**. Basert på innhentet informasjon fra virksomhetene, er det for hver tiltakskategori gjort en vurdering av hvilket faklingsvolum som kan påvirkes av tiltaket («Relevant andel av faklingen»). Dette faklingsvolumet er igjen fordelt på fire underkategorier (vist i **Figur 17**):

- (1) Tiltak gjennomført eller planlagt (dvs. der hvor en investeringsbeslutning er tatt)
- (2) Tiltak vurdert, men forkastet (basert på informasjon fra virksomhetene)
- (3) Tiltak under vurdering (basert på informasjon fra virksomhetene)
- (4) Tiltak ikke gjennomført, planlagt eller vurdert (benyttes for fakler hvor det ikke foreligger informasjon om tiltaksvurderinger). Når tiltaksvurderinger ikke er kjent, kan tiltaket falle i en av to underkategorier:
  - (4a) Tiltak ikke anvendbart, eller negativ kost-nytte
  - (4b) Tiltak teknisk og økonomisk gjennomførbart (representerer et reduksjonspotensial)

Fordelingen av fakkeltassvolumer er gjort med utgangspunkt i innhentet informasjon om årsaker til fakling, anvendt fakkelt teknologi, om gjennomførte tiltak og vurdering av tiltaksmuligheter.

Det er for underkategori (4) forsøkt å belyse reduksjonspotensialet, gitt installasjonsspesifikke forhold og erfaringer fra tilsvarende gjennomførte tiltak. For enkelte installasjoner kan det foreligge tekniske begrensninger (lavt trykk, små og varierende gassvolumer kan for eksempel gjøre at gjenvinning av fakkeltgass er teknisk utfordrende), mens det for andre kan medføre sikkerhetsmessige implikasjoner å gjennomføre tiltak (for eksempel økt fare for slukking av fakkelt eller redusert forbrenning av H<sub>2</sub>S). Også for installasjoner der nevnte utfordringer ikke er av avgjørende betydning, kan det være lav lønnsomhet å gjennomføre tiltak under dagens rammevilkår og forventet driftssituasjon. Tiltak som ikke er anvendbare eller har negativ kost-nytte tilhører underkategori (4a). Det reelle reduksjonspotensialet innen en tiltakskategori knytter seg til underkategori (4b), dvs. de tiltak som både er teknisk og økonomisk gjennomførbare. Det foreligger ikke robuste data for å kvantifisere reduksjonspotensialet for tiltaksmuligheter i underkategori (4b).

Figur 17: Metodisk tilnærming for analyser av tiltaksmuligheter for reduksjon av kontinuerlig fakling



I de neste kapitlene er tiltaksmuligheter innenfor tiltakskategoriene i **Tabell 21** presentert. Her framgår også vurderinger og anbefalinger.

## 8.2 Oversikt over tiltak for å redusere mengden gass som fakles

Med utgangspunkt i dagens faklingssituasjon, er det gjort en vurdering av reduksjonspotensialet som ligger i tiltaksmulighetene knyttet til å redusere mengden gass til fakkell.

### 8.2.1 Tiltak for å redusere ikke-kontinuerlig fakling

#### Tekniske tiltak – Forbedring av regularitet i produksjon:

Som beskrevet i **Kapittel 5.1.1** er det en betydelig vinn-vinn situasjon knyttet til å implementere tekniske tiltak for å forbedre regulariteten i produksjonen – unngå uforutsette driftsstanser og produksjonstap. Eksempler på innrapporterte tiltaksmuligheter i denne kategorien er<sup>71</sup>:

<sup>71</sup> Virksomhetene har selv påpekt at tiltak for å forbedre regularitet i produksjon/produksjonsregulariteten ikke har blitt fanget opp på en god måte i spørreundersøkelsen. Dette skyldes at tiltak for å øke regulariteten i produksjon ikke primært er drevet av formålet om å redusere fakling, og spørreskjemaene har derfor ikke blitt konsistent fylt ut (type innrapporterte tiltak har i noen grad vært avhengig av hvem som har mottatt og og vært involvert i å beskrive de tiltakene som er reflektert spørreskjemaene).

- Oppgradering av styresystemer for turbiner
- Oppgradering av kontrollsystemer
- Generell oppgradering av utstyr (for å redusere uforutsette utstyrsfeil)
- Etablering av dobbeltsikring av løft i brønnumrådet
- Utskiftning av kompressor
- Montere drenering på tetning på kompressor for å redusere antall uplanlagte stanser

En oversikt over tekniske og økonomiske aspekter for denne kategorien tiltak er beskrevet i **Tabell 22**.

**Tabell 22:** Tekniske og økonomiske aspekter knyttet til tekniske tiltak for å forbedre produksjonsregularitet

Effekt på fakkelrate:	Barrierer:	CAPEX:	OPEX:	Nytte:
Tiltaksspesifikk (og vanskelig å anslå) 0,05 til 25 millioner Sm <sup>3</sup> /år	Tiltaksspesifikke	Tiltaksspesifikk 2 til 200 millioner NOK	Tiltaksspesifikk 0 til 8 millioner NOK/år	Økt produksjon Redusert kostnad knyttet til utslipp

Som det fremkommer av **Tabell 22** så omfatter denne kategorien svært ulike tiltak. Effekten av tiltakene vil være felt/anleggsspesifikk. Kvantifisering av reduksjonspotensialet innenfor denne tiltakskategorien har derfor ikke vært mulig. Flertallet av de innrapporterte tiltakene er planlagt gjennomført i løpet av de neste tre årene. Med dagens markedssituasjon har virksomhetene sterke incentiver til å opprettholde regulariteten i produksjonen, og har derfor et kontinuerlig fokus på å identifisere og gjennomføre tiltak for direkte eller indirekte å unngå driftsstans med tilhørende fakling.

### Driftsmessige tiltak – Forbedring av prosedyrer og fakkelstrategi:

Virksomhetene har gjennom spørreundersøkelsen rapportert om 62 ulike tiltak knyttet til denne tiltakskategorien. Eksempler på relevante tiltak er beskrevet i **Kapittel 5.1.1**. På samme måte som for de 93 tiltakene som er gjennomført de siste ti årene, er effekten av å implementere ytterligere tiltak av denne typen, ikke kvantifisert av virksomhetene. Det har også blitt rapportert om utfordringer knyttet til å estimere kostnader, da denne typen tiltak gjennomføres som del av virksomhetenes kontinuerlige forbedringsprosesser eller er knyttet til større energieffektiviseringsprogram.

En oversikt over tekniske og økonomiske forhold knyttet til denne kategorien av tiltak er beskrevet i **Tabell 23**.

**Tabell 23:** Tekniske og økonomiske forhold knyttet til tiltak for å forbedre prosedyrer og fakkelstrategi

Effekt på fakkelrate:	Barrierer:	CAPEX:	OPEX:	Nytte:
Vanskelig å kvantifisere 0,1 til 4,4 millioner Sm <sup>3</sup> /år	Mulig tap av produksjon Kompleksitet ved driftsmessig påvirkning på andre installasjoner	0 til 1 million NOK	0 til 1 million NOK/år	Verdi av gass som ikke fakles og reduserte kostnader knyttet til utslipp

Som vist i **Figur 16**, var en betydelig andel av faklingen i 2011 knyttet til kortvarig mangel på primær gassavsetningsløsning. Mengden gass som fakles ved slike hendelser, er i stor grad påvirket av gjeldende prosedyrer og strategi knyttet til når og hvordan produksjonen skal reduseres eller stenges ned. Det har blitt påpekt av flere virksomheter at konsekvensene av å forsøke å unngå denne typen fakling, ikke nødvendigvis vil ha den ønskede effekten. Ved å alternativt velge og stenge ned for en begrenset periode, vil selve nedstengningen og oppstart av anlegget igjen, kunne resultere i en ikke-ubetydelig fakling. I noen tilfeller vil dette også kreve økt bruk av energikilder og medføre andre typer utslipp. Et eksempel er behovet for å benytte pumper/gass-løft for å få igang produksjonen igjen etter en stans i produksjonen.

Nedstengning av anlegget har også store økonomiske konsekvenser som er forbundet med tap av produksjon. Hva som anses som akseptabelt ift. fakling ved ikke-planlagte hendelser eller driftsforstyrrelser, er nedfelt i virksomhetenes fakkelstrategier. Installasjonsspesifikke forhold vil også ha innvirkning på hva som er en optimal strategi i slike tilfeller. Det er behov for mer detaljerte analyser for å få en forståelse av om avveininger og prinsipper for håndtering av denne type hendelser viser et fornuftig samsvar mellom ulike installasjoner og virksomheter.

Potensialet som ligger i å forbedre prosedyrer og strategier, har vært ansett å være betydelig over lengre tid. OD påpekte i 2002 at «ytterligere reduksjon i fakling kan i stor grad oppnås ved fokus på driftsprosedyrer». I OLFs rapport «Reduksjon av fakling på norsk sokkel» fra 2005, er det maksimale teoretiske reduksjonspotensialet på norsk sokkel estimert til å være rundt 30 prosent av det totale faklingsnivået i perioden 2001-2003. Reduksjonspotensialet er primært knyttet til driftsrelaterte tiltak og planlegging og forberedelse av jobber/inngrep på installasjonene. De samme konklusjonene ble også fremhevet i KONKRAFT rapport No. 5 (2009) (30).

Det er prosjektteamets inntrykk at virksomhetene har gjennomført en lang rekke tiltak for å forbedre prosedyrer og strategier. Vedvarende fokus og det store antall innrapporterte tiltak som er under vurdering og implementering, viser at det fortsatt er et potensial i forhold til å redusere fakling knyttet til vedlikehold og modifikasjoner, oppstart/nedstengning av prosessanlegg og brønner, og håndtering av ikke-planlagte hendelser/driftsforstyrrelser. Opplysningene som er gjort tilgjengelig fra virksomhetene, gir imidlertid ikke et tilstrekkelig grunnlag for å kvantifisere reduksjonspotensialet.

## Driftsmessige tiltak – Opplæring av personnell:

Det er kun rapportert om ett konkret tiltak knyttet til bedre opplæring av skiftgåene driftspersonnell. Tiltaket gjelder kursing av driftspersonnell for å gi bedre forståelse for produksjonsoptimalisering, og er under planlegging. Det har heller ikke for dette tiltaket vært mulig å kvantifisere reduksjonspotensialet.

En ikke ubetydelig andel av faklingen som skyldes utilsiktede prosessutfall og driftsforstyrrelser, er av virksomhetene vurdert å skyldes menneskelige feil. Det er derfor viktig at virksomhetene har et kontinuerlig fokus på god opplæring. Eksempel på tiltak er større bruk av simulatortrening, som gjør driftspersonnell bedre i stand til å håndtere normale og unormale driftssituasjoner (ikke-planlagte nedstengninger og unormal drift, opp-/ned-kjøring av prosessanlegg og bytte av kompressorer, osv.). Det foreligger imidlertid begrenset informasjon for å vurdere reduksjonspotensialet knyttet til å forbedre opplæring av personnell, og kost-nytte aspekter er ikke kjent.

## 8.2.2 Tiltak for å redusere kontinuerlig fakling

### Tekniske tiltak – Fakkeltgassgjenvinning:

Denne tiltakskategorien omfatter to typer tiltak (se **Kapittel 6.2** for ytterligere detaljer):

- Installasjon av system for fakkeltgassgjenvinning
- Installasjon av system for fakkeltgassgjenvinning og slukking av fakkel

Disse løsningene har blitt anvendt i Norge siden 90-tallet, og kan i teorien anvendes for høytrykks- og lavtrykksfakler, både offshore og på land. I praksis har det vist seg å være tekniske utfordringer knyttet til å drifte systemer for gjenvinning av små og variable mengder gass med veldig lavt trykk.

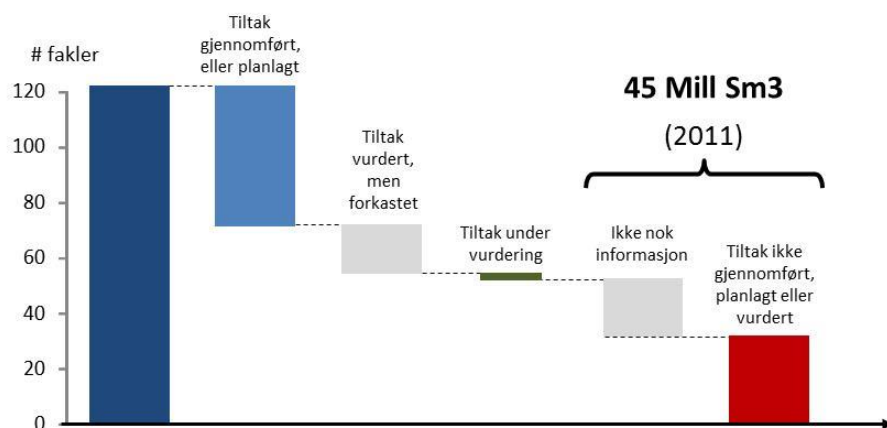
Mange av de eldre installasjonene har gjennomført tiltak for å gjenvinne fakkeltgass, og flere har i tillegg også slukket fakkelen. Fakkeltgassgjenvinning og slukket fakkel er valgt for de fleste nye installasjoner de siste ti årene, da dette har blitt ansett som BAT. Virksomhetene har rapportert om 29 tiltaksvurderinger knyttet til denne tiltakskategorien, hvorav 22, av ulike årsaker, ikke er ansett som teknisk eller økonomisk gjennomførbare. Begrenset lønnsomhet og minimal miljømessig gevinst er av flere virksomheter fremhevet som barrierer for ytterligere tiltak ved eldre installasjoner. **Tabell 24** viser en oversikt over tekniske og økonomiske forhold for denne kategorien tiltak.

**Tabell 24:** Tekniske og økonomiske forhold knyttet til fakkellgassgjenvinning og slukking av fakkel

Effekt på fakkelrate:	Barrierer:	CAPEX:	OPEX:	Nytte:
0,1 til 6 millioner Sm <sup>3</sup> /år per fakkel	Sikkerhet Kost-nytte (levetid) Operasjonelle utfordringer (små og variable mengder)	20 til 300 millioner NOK	1 til 1,5 millioner NOK/år Drift av utstyr (og evt. forbruk av pellets for antenning)	Verdi av gass (som ikke fakles) Reduserte kostnader knyttet til utslipp

Reduksjonspotensialet er forsøkt estimert ut fra informasjon om fakkelsystemene og gjennomførte og vurderte tiltak. Et faklingsvolum på ca. 45 millioner Sm<sup>3</sup> var i 2011 knyttet til installasjoner hvor prosjektteamet ikke er kjent med at det har blitt gjennomført tiltaksvurderinger.

**Figur 18:** Vurdering av gjenværende potensiale for reduksjon i fakling knyttet til økt fakkellgassgjenvinning



Kontinuerlig fakling fra avgassing av produsert vann og avgassing fra glykol regenerering ved seks installasjoner utgjør en stor andel av det uavklarte reduksjonspotensialet på 45 millioner Sm<sup>3</sup>. Det vil være fornuftig å undersøke om det har vært gjennomført oppdaterte vurderinger av å implementere systemer for gjenvinning av fakkellgass ved disse installasjonene.

### Endret fakkeldesign – Tiltak knyttet til pilotbrennere:

Antennessystemer for fakler har tradisjonelt bestått av pilotbrennere. Der pilotbrennere er i bruk, må pilotflammen ha tilstrekkelig størrelse og stabilitet til å kunne holde fakkelen tent, selv under ekstreme forhold (dvs. tilstrekkelig varmeavgivelse til å antenne fakkellgassen). Virksomhetene har kun rapportert om ett konkret tiltak rettet mot pilotbrennere; reduksjon av antall pilotbrennere i drift ved et landanlegg. Det er generelt tre ulike typer av tiltak relatert til pilotbrennere, som kan gi redusert fakling og utslipp til luft:

- Utskifting til ny type pilotbrenner(e), dvs. mer drivstoffeffektive design

- Redusere antall pilotbrennere som er i drift
- (Re)installere pilotbrenner(e)

Med nye typer pilotdesign er det mulig å redusere mengden drivstoff, som er nødvendig for å holde liv i fakkelen, med opp til 85%<sup>72</sup>. Hovedbarrieren for denne typen tiltak er redusert sikkerhet og begrenset lønnsomhet. Utskifting av pilotbrennere forutsetter at anlegget er stengt ned<sup>73</sup>. Pilotbrennere har typisk en levetid på ca 7 år, men levetiden kan være helt opp mot 30 år. Overgang til mer drivstoffeffektivt pilotdesign, bør vurderes ved utskifting av pilotbrennere. Denne type tiltak er i de fleste tilfellene, kun aktuell ved utskifting av hele fakkelelsystemet. Reduksjonspotensialet knyttet til denne type tiltak er imidlertid begrenset sammenlignet med andre typer tiltak.

En tredje type tiltak er (re-)installering av pilotbrenner(e). Som beskrevet i **Kapittel 5.1.2** har det de siste par årene, blitt installert pilotbrennere ved tre installasjoner offshore. Tiltaket er gjennomført for å sikre en mer regelmessig fakkelflamme og dermed redusere mengden gass som brukes for å holde fakkelen tent, spesielt i dårlig vær. Ved bruk av pilotbrenner kan mengden spylegass (naturgass), som er nødvendig for å holde liv i fakkelen, reduseres kraftig. Effekten av å installere pilotbrenner er rapportert til over 2 millioner Sm<sup>3</sup>/år per fakkel. Det er ikke kjent om det er gjort vurderinger av lignende tiltak ved andre installasjoner. Reduksjonspotensialet er også for denne typen tiltak, vurdert til å være begrenset.

### **Endret fakkeldesign – Redusert bruk av naturgass som spylegass:**

For de fleste nye installasjoner og anlegg på land er det valgt å anvende nitrogen (N<sub>2</sub>) som spylegass. Ved flere eldre installasjoner og landanlegg uten systemer for fakkelgassgjenvinning og slukket fakkel, er hydrokarbonholdig gass (HC-gass) anvendt som spylegass. HC-gass er også anvendt som dekk-gass i tanker, men dette er i mindre grad relevant ift. fakling. For virksomheter som anvender HC-gass som spylegass, er det to tiltak som kan medføre reduksjon i mengden gass som fakles:

- Installasjon av utstyr for redusert bruk av spylegass (se **Kapittel 6.2** for detaljer)
- Overgang til bruk av nitrogen (N<sub>2</sub>) som spylegass

**Tabell 25** og **Tabell 26** viser en oversikt over tekniske og økonomiske aspekter knyttet til disse tiltakene.

---

<sup>72</sup> Det er en kontinuerlig utvikling i pilotdesign, primært utfra et ønske om forlenget levetid og forbedret stabilitet under vanskelige værforhold. Pilotbrennere fra midten av 80-tallet var designet, for å brenne omkring 10 Sm<sup>3</sup>/time, mens nye pilotbrennere har et drivstofforbruk ned mot 1,4 Sm<sup>3</sup>/time, ifølge leverandør John Zink.

<sup>73</sup> Det er fremhevet av virksomhetene at det vil være ikke-kvantifiserbare kostnader forbundet med å omprioritere jobber innenfor en kort nedstengningsperiode.

**Tabell 25:** Tekniske og økonomiske aspekter knyttet til installasjon av utstyr for redusert bruk av spylegass

Effekt på fakkelerate:	Barrierer:	CAPEX:	OPEX:	Nytte:
Reduksjon tilsvarende 50 til 90% av spylegassvolumet	Sikkerhet (fare for å slukke fakkelen) Lav lønnsomhet	Tiltaksspesifikk (ikke kjent)	Tiltaksspesifikk (ikke kjent)	Verdi av gass (som ikke fakles) og reduksjon av utslipp

**Tabell 26:** Tekniske og økonomiske aspekter knyttet til overgang til bruk av N<sub>2</sub> som spylegass

Effekt på fakkelerate:	Barrierer:	CAPEX:	OPEX:	Nytte:
Reduksjon tilsvarende 100% av spylegassvolumet	Sikkerhet (fare for å slukke fakkelen) N <sub>2</sub> kan redusere forbrennings-effektivitet (H <sub>2</sub> S, CH <sub>4</sub> ) Lav lønnsomhet	Utstyr for produksjon av N <sub>2</sub> (+ back-up) 20 til 50 millioner NOK	Kostnader knyttet til produksjon av N <sub>2</sub>	Verdi av gass (som ikke fakles) og reduksjon av utslipp Redusert vedlikehold av fakkeltipp

Som for andre typer tiltak, som medfører endringer i fakkelsystemet, krever disse tiltakene kaldt anlegg. På tross av at et betydelig antall installasjoner og flertallet av anleggene på land, fortsatt anvender hydrokarbonholdig gass som spylegass, vurderes reduksjonspotensialet for denne tiltakskategorien til å være begrenset. Reduksjonspotensialet (ca. 95 prosent) er knyttet til et begrenset antall installasjoner. Overgang til bruk av N<sub>2</sub> som spylegass er basert på erfaring ofte vurdert å være et fornuftig tiltak ved større ombygginger og implementering av fakkeldesign med slukket fakkel.

### 8.3 Oversikt over tiltak for å endre forbrenningsforholdene i fakkelen

Dette prosjektet har hatt et spesielt fokus på å fremskaffe økt kunnskap om utslipp til luft av NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, VOC (metan og nmVOC) og partikler fra fakling. Tiltak som bidrar til reduksjon i mengden gass som fakles, er generelt forventet å bidra til en reduksjon i utslipp til luft av ovennevnte komponenter. I enkelte tilfeller vil utslipp av enkeltkomponenter kunne øke på grunn av endrede forbrenningsforhold som beskrevet i **Kapittel 3.3**. Det finnes også spesifikke tiltaksmuligheter knyttet til fakkelsystemet, som i teorien vil kunne ha en positiv innvirkning på utslipp til luft av enkeltkomponenter. Disse er kort presentert under.

#### Tekniske tiltak – Valg av fakkelsystem for å optimalisere forbrenningsforhold:

Som beskrevet i **Kapittel 6.1**, er det mange forhold som avgjør hva som for en gitt installasjon er et optimalt design av fakkelsystemet. Effektiv forbrenning og røykfri drift er mulig å oppnå dersom fakkelsystemet er installert, vedlikeholdt og anvendt i henhold til designspesifikasjonen.

Det er mulig å påvirke utslipp til luft fra fakling ved å anvende alternative fakkeldesign, enten ved utbygging av nye installasjoner eller ved utskifting av fakkelsystemet på eldre installasjoner/anlegg, jf.



**Kapittel 3.3.** Det er imidlertid svært lite kunnskap tilgjengelig omkring utslippseffekten av denne typen tiltak.

Fakkelteknologiene som er beskrevet i **Kapittel 6.2** er modne, og har i mange tilfeller bred anvendelse. Det har til nå ikke vært vanlig å inkludere og vektlegge kvantitative vurderinger av utslipp til luft og av ulike komponenter i forbindelse med valg av fakkelt teknologi. Leverandørindustrien synes heller ikke, på nåværende tidspunkt, å ha tilstrekkelig dokumentasjon/kunnskap knyttet til utslipp til luft av NO<sub>x</sub>, CO, VOC (metan og nmVOC) og partikler ved ulike driftsforhold. Det gjør det vanskelig å kunne gjennomføre en sammenligning av ulike teknologier ved valg av fakkeldesign. Effekten og kostnaden ved å velge fakkeldesign med mer attraktive egenskaper i forhold til å begrense utslipp til luft av relevante komponenter, har derfor ikke vært mulig å kvantifisere.

En veldig overordnet ekspertvurdering av gjeldende forbrenningsforhold ved fakler i drift i Norge, har blitt gjennomført av prosjektteamet (Combustion Resources). Vurderingen har blitt gjennomført for hver enkelt fakkel basert på informasjon om type fakkeltipp, fakkeltippdiameter, karakteristika for den gassen som fakles og hva slags type spylegass som er anvendt. Ekspertenes vurdering er at de fleste fakler har begrenset risiko for dårlig forbrenningseffektivitet. Det er imidlertid for enkelte fakler vurdert å være risiko for dårlig forbrenningsforhold, som kan medføre større utslipp av bla. partikler, metan, nmVOC og CO. Dette gjelder bla. fakler med stor fakkeltippdiameter, lave faklingsrater og høyt væsknivå i fakkeltgassen.

### **Driftsmessige tiltak – Kontroll av bruk av assistansemedium**

Som beskrevet i Kapittel 7.3.2 kan stor bruk av assistansemedium i assisterte fakler medføre redusert forbrenningseffektivitet og dermed økte CH<sub>4</sub>-utslipp. To typer tiltak kan vurderes for å redusere denne risikoen (47):

- i. Opplæring av driftspersonell og kunnskapsdeling
- ii. Monitorering og automatisk kontroll av assistansemedium

En bedre opplæring av driftspersonell kan øke bevisstheten rundt å kontrollere forbrenningsforholdene i fakkelen, spesielt med tanke på å unngå lav forbrenningseffektivitet. Kunnskapen på dette området har økt de siste årene, og nye teknikker er nylig tatt i bruk. Dette gjelder blant annet teknikker som kontrollerer bruk av assistansemedium basert på brennverdi i forbrenningssonen.

Det er imidlertid fortsatt diskusjoner blant forskere med hensyn til detaljforståelsen av hvilke parametre som er styrende for utslippsdannelsen. Virksomheter som har assisterte fakler, bør derfor følge med på hva som skjer på dette området, og sørge for at driftspersonell kan ta i bruk nye forskningsresultater.

Ved bruk av assistansemedium må det gjøres avveininger mellom lys, støy og utslipp. Ved bruk av helt eller delvis manuelle kontrollsystemer, må disse avveiningene gjøres av kompetent driftspersonell.

Alternativet til manuelle systemer er automatiske kontrollsystemer, hvor driftsparametre kontrolleres automatisk, og hvor ytelsen (forbrenningseffektiviteten) optimaliseres basert på tilgjengelige måledata (f.eks. fakkalgassrate, trykk, temperatur, pilot, drivstofforbruk, osv.).

Det er svært begrenset tilgang på kostnadstall for automatiske kontrollsystemer. Automatisk overvåkning av fakkelen og kontroll av assistansemedium har en estimert kostnad på ca. 2 millioner USD per fakkel i USA basert på samtaler med amerikanske eksperter. Dette kostnadsestimatet inkluderer målesystemer som i mange tilfeller allerede kan være installert ved norske installasjoner/anlegg (blant annet nøyaktige målinger av faklingsvolumer og gasskomposisjon).

Det er kun 8 assisterte fakler i Norge (en offshore og syv på land), som benytter luft eller damp som assistansemedium. Flertallet av virksomhetene dette gjelder, oppgir at det foreligger en eller annen form for optimalisering av injeksjonsraten av damp eller luft, bla. at mengden luft eller damp er avhengig av faklet mengde (i noen tilfeller også temperatur), eller at det finnes flere vifter hvor noen startes etter behov (gjelder luft-assisterte fakler). Det er imidlertid ikke klart om optimaliseringen er manuell eller hel-/del-automatisk, og detaljer knyttet til hvordan disse kontrollsystemene er utformet er ikke kjent. Ved et av landanleggene, som har tre fakler, vurderes implementering av «Management Process Control» på dampsystemet. Potensialet som ligger i å forbedre forbrenningsforholdene i assisterte fakler i Norge, er basert på tilgjengelig data, vurdert å være begrenset.

## 8.4 Anbefalinger

Det har ikke vært mulig å utarbeide en prioritert liste over konkrete tiltaksmuligheter innenfor rammene av dette prosjektet. Dette skyldes at tilgjengelig informasjon om barrierer, investeringskostnader, driftskostnader og påvirkning på utslipp til luft, ikke er tilstrekkelig for å kunne gjennomføre kost-nytte-analyser og vurdering av teknisk gjennomførbarhet av spesifikke tiltak. Et viktig resultat fra prosjektet er at størrelsen på utslippene til luft av partikler (spesielt BC), CH<sub>4</sub>, nmVOC, CO og NO<sub>x</sub> fra fakling er så mangelfull at det er umulig å gjennomføre tiltaksanalyser. Prosjektteamet anbefaler derfor at dette kunnskapshullet tettes. Målekampanjer eller målinger i storskala testanlegg som beskrevet i **Kapittel 7.3.4** bør innrettes slik at de omfatter flere utslippskomponenter fra fakling samtidig.

En stor andel av faklingen i Norge skyldes enkelthendelser (opp/nedkjøring av anlegg, vedlikehold og modifikasjoner) og driftsforstyrrelser. Det største potensialet for å redusere fakling og relaterte utslipp til luft er relatert til tiltak for å:

- Forbedre produksjonsregulariteten
- Forbedre drifts- og vedlikeholdsprosedyrer
- Forbedre strategier for håndtering av ikke-planlagte hendelser
- Opplæring av driftspersonnell

### **Tiltak for å forbedre produksjonsregulariteten:**

Med de sterke økonomiske insentiver som dagens markedssituasjon gir, er det grunn til å anta at det er stor oppmerksomhet rundt årsaker til fakling som er relatert til produksjonstap (utfra andre hensyn enn fakling).

### **Drifts- og vedlikeholdsprosedyrer og strategier for håndtering av ikke-planlagte hendelser:**

Det er prosjektteamets vurdering at det fortsatt er et reduksjonspotensial knyttet til å forbedre prosedyrer og strategier og hvordan disse blir fulgt opp. Det er ikke mulig å kvantifisere dette potensialet eller gjøre fornuftige vurderinger av tiltakskostnader basert på tilgjengelige data. For å avklare hvor stort reduksjonspotensialet er, anbefaler prosjektteamet at det gjennomføres en mer detaljert gjennomgang av gjeldende prosedyrer og strategier for enkeltinstallasjoner enn det som har vært mulig innenfor rammene av dette prosjektet. Dette kan gjennomføres av Miljødirektoratet som en integrert del av oppfølgingen av virksomhetenes planer for energiledelse og implementering av strategier relatert til fakling. En grundigere oppfølging vil kunne avklare hvor det fortsatt finnes reelle muligheter for å gjennomføre forbedringstiltak, og bidra til å identifisere hva som er beste praksis under ulike driftsforhold.

### **Tiltak for å redusere kontinuerlig fakling:**

Kontinuerlig fakling utgjør en relativt begrenset andel av den totale faklingen. Brorparten av den kontinuerlige faklingen er knyttet til et fåtall installasjoner og kilder. Prosjektteamet anbefaler å undersøke nærmere om det i den senere tid, har vært gjennomført vurderinger av tiltak for gjenvinning av fakkalgass. Dette gjelder spesielt de installasjonene hvor avgassing av produsert vann og avgassing fra glykol regenerering utgjør en vesentlig del av den kontinuerlige faklingen. Den samme anbefalingen gjelder for de installasjoner hvor bruk av hydrokarbongass som spylegass utgjør en stor andel av den totale faklingsmengden. Både tiltak knyttet til bruk av utstyr for redusert bruk av spylegass og eventuelt (re-)installasjon av pilotbrenner (der dette ikke anvendes) vil være relevante tiltak å vurdere nærmere for disse installasjonene.

Det er prosjektteamets vurdering at endel tiltak i mange sammenhenger ikke vil kunne gjennomføres ved eldre installasjoner på grunn av tekniske begrensninger eller lav lønnsomhet. Større modifikasjoner og endringer i forutsetninger som er av stor betydning (for eksempel forlenget feltlevetid) kan ha innvirkning på tidligere beslutninger knyttet til tiltaksmuligheter. Det anbefales at tiltaksmuligheter knyttet til utformingen av fakkelsystemet revurderes ved større modifikasjoner utfra kravet om BAT.

### **Systematisk identifisering, analyse og prioritering av tiltaksmuligheter knyttet til fakling:**

Virksomhetene, både offshore og landanleggene, systematiserer og kategoriserer i liten grad data om faklingshendelser. Dette representerer som tidligere nevnt en mulig barriere for effektiv identifikasjon, analyse og prioritering av tiltaksmuligheter knyttet til fakling. Prosjektteamet anbefaler at alle installasjoner kartlegger trykkavlastningssystemet og mulige kilder til fakling, og at denne kartleggingen anvendes for å identifisere de detaljerte årsakene til den faklingen som observeres. Utarbeidelse av en

systematisk oversikt over tid, om hva som er årsakene til fakling, vil bidra til økt kunnskap og oppmerksomhet hos de ansvarlige for utarbeidelse av planer for energiledelse. Dette kan lette arbeidet med å kvantifisere reduksjonspotensialet. Når reduksjonspotensialet er kvantifisert, vil det være mulig å foreta fornuftige prioriteringer av faklingstiltak i forhold til andre typer tiltak.

## 9. Referanser

1. *Vurdering av ytterligere reduksjoner av klimagasser i forbindelse med fakling.* **Melhus, M.S.L., Nilsen, A.H., Thorsen, A.J.** s.l. : Oljedirektoratet, 2002.
2. **Zink, John.** *John Zink Combustion Handbook.* 2001.
3. *"Evaluation of the Air-Demand, Flame Height, and Radiation Load on the Wind Fence of a Low-Profile Flare Using ISIS-3D,".* **Smith, J.D., Suo-Ahttila, A., Smith, S.K., and Modi, J.** s.l. : AFRC-JFRC 2007 Joint International Combustion Symposium, Marriott Waikoloa Beach Resort, Hawaii, October 21-24, 2007.
4. *"Prediction of Plume Formation and Dispersion from Gas Flares" .* **Smith, J.D., Suo-Ahttila, A., Jackson, R., and Smith, S.K.** s.l. : 2012 Annual American Flame Research Committee Meeting, Salt Lake City, Utah September 5-7 (2012)., 2012.
5. **Commission, European.** Reference Document on Best Available Techniques for Mineral Oil and Gas Refineries. [Internett] 2003. [Sisert: 13 11 2012.]  
[http://eippcb.jrc.es/reference/BREF/ref\\_bref\\_0203.pdf](http://eippcb.jrc.es/reference/BREF/ref_bref_0203.pdf).
6. **Schorer, C.C. Hantsch & E.** *Prediction of Noise from Industrial flares.* 2008.
7. *EPA Air Pollution Control Cost Manual (Sixth Edition).* s.l. : US EPA, 2007.
8. **Seebold, Jim.** *How Do You Know the Combustion Efficiency of Your Flare Is >98%?* 2011.
9. —. *Combustion Efficiency of Industrial Flares.* 2012.
10. **Jackson, Joseph D. Smith og Robert.** *Informasjon innhentet fra ulike leverandører av fakkelt teknologi.* 2012.
11. **Dr. L. Douglas Smooth, Robert E. Jackson, Dr Joseph D. Smith.** *Combustion efficiency control in single stage, industrial steam assisted open flares.* 2009.
12. **M.R. Johnson, O. Zastavniuk, D.J. Wilson and L.W. Kostiuk.** *Efficiency Measurements of Flares in a Cross Flow .* 1999.
13. **EPA, USA.** *Parameters for properly Designated and operated Flares .* April 2012.
14. **OLF.** *Miljørapport 2012.* s.l. :Oljeindustriens Landsforening (OLF), 2012.
15. *Utslipp til luft fra fakling.* **Husdal, G., Bakken, J., Dagstad, T., Osenbroch, L.H.** s.l. : SFT, 2009.
16. **Williams, F.A., Gordon, A.S., Libby, P.A., Røkke, N.A., Hustad, J.E, Sønju, O.K.** *"Emissions from flares", SINTEF report STF15 F90056.* s.l. : SINTEF, 1990.
17. *Scaling of nitric oxide emissions from buoyancy-dominated hydrocarbon turbulent jet-diffusion flames.* **Røkke, N.A., Hustad, J.E., Sønju, O.K., Williams, F.A.** s.l. : 24th Symposium (international) on Combustion, The Combustion Institute, 1992.
18. **Vincent M. Torres, Scott Herndon, Ezra Wood, Fahad M. Al-Fadhli, and David T. Allen.** *Emissions of Nitrogen Oxides from Flares Operating at Low Flow Conditions.* 2012.
19. *"Improving Accuracy in Calculating NOx Emissions From Gas Flaring", SPE 111561.* **Bakken, J., Langørgen, Ø., Husdal, G., Henriksen, T.S.** s.l. : SPE International, 2009.
20. **Bakken, J., Husdal, G., Henriksen, T.S., Langørgen, Ø.** *Verification of scaling law for calculating NOX emissions from offshore flares - Extended version.* s.l. : SINTEF, 2008.

21. *Nitric Oxide Levels of Turbulent Jet Diffusion Flames: Effects of Residence Time and Damkohler Number.* **Driscoll, James F., Chen, Ruey-Hung and Yoon, Youngbin.** s.l. s.l. : COMBUSTION AND FLAME, 1992, Vol. 88, pp 37-49.
22. **McDaniel, Marc.** *Flare Efficiency Study.* Austing Texas : Engineering-Science, Inc., (for EPA Contract 68-02-3541-6), 1983.
23. **Allen, David T. og Torres, Vincent M.** *TCEQ 2010 Flare Study Final Report.* Austin,Texas : The University of Texas at Austin The Center for Energy and Environmental Resources, 2011.
24. **Anne Finstad, Gisle Haakonsen, Kristin Rypdal.** *Utslipp til luft av partikler i Norge - Dokumentasjon av metode og resultater.* s.l. : Statistisk sentralbyrå, 2003.
25. **McEwen, James D.N. og Johnson, Matthew R.** Black carbon particulate matter emission factors for buoyancy-driven. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 62:3. 2012, ss. 307-321.
26. Discussion paper - BC methodologies for Fugitive emissions (1B) - Version 1 Sep2012. <http://www.tfeip-secretariat.org/>. [Internett] September 2012. [Sitert: 13 11 2012.] <http://www.tfeip-secretariat.org/assets/Other-Documents/EMEP-EEA-Guidebook-Sept2012-drafts/Discussion-paper-BC-methodologies-for-Fugitive-emissions-1BSep2012.pdf>.
27. **Fortner, E.C. et al.** *Particulate Emissions Measured During the TCEQ Comprehensive Flare Emission Study.* 2012.
28. **Petroleumstilsynet.** *Aktivitetsforskriften.*
29. **Miljøverndepartementet.** *Forurensningsloven.*
30. *KONKRAFT rapport no. 5.* 2009.
31. **R.E. Jackson, J.D. Smith, A. Montero.** *"Flare System Design Input Parameters When Requesting Quotes for Flare Systems".* s.l. : CR Internal Report, Sept. 2012.
32. Environmental Protection Act 1990, 1990 c. 43, Part III Statutory nuisances , Section 80A. [Internett] 1990. [Sitert: 15 November 2012.] <http://www.legislation.gov.uk/ukpga/1990/43/section/80A>.
33. *"Water-injected flare tips reduce radiated heat, noise"* . **K. Leary, D Knott, R. Tompson.** 6 May 2002, s.l. : Oil & Gas Journal, 2002.
34. **J. Bellovich, J. Franklin, B. Schwatz.** *"Flare Pilot System Safety"* . s.l. : Process Safety Progress (Vol.26, No.1).
35. **R.E. Schwartz, L.D. Berg, and W. Busman.** *Flame Detection Apparatus and Methods.* U.S. Patent 5,813,849 29 September 1998.
36. *Quantitative Field Measurement of Soot Emission from a Large Gas Flare Using Sky-LOSA.* **Johnson, Matthew R., Devillers, Robin W. og Thomson, Kevin A.** 1, s.l. : Environ. Sci. Technol., 2011, Environ. Sci. Technol., Vol. 45, ss. 345-350.
37. *Sky-Scattered Solar Radiation Based Plume Transmissivity Measurement to Quantify Soot Emissions from Flares.* **Johnson, Matthew R., et al., et al.** 21, s.l. : Environ. Sci. Technol., 2010, Environ. Sci. Technol. , Vol. 44, ss. 8196-8202.
38. **URS Corporation.** *Passive FTIR Phase I Testing of Simulated and Controlled Flare Systems FINAL REPORT.* Houston, Texas : URS Corporation, 2004.
39. *Veiledning til den Årlige Utslippsrapporteringen.* **Husdal, K., Berntzen, R., Myrvang, M.** s.l. : OLF Oljeindustriens Landsforening, 2012.

40. **Bakken, Jorn, et al., et al.** *Verification of scaling laws for calculating NOx emissions from offshore flares - Extended version*. Trondheim, Norway : SINTER Energy Research, 2008.
41. **U.S.A.** AP 42, Section 13.5 Industrial Flares. *AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emission Factors Volume 1: Stationary Point and Area Sources*. s.l. : U.S.A. Environmental Protection Agency.
42. **Smith, Scot og Pettys, Ben.** *Basis for Emission Calculation from Flare Systems*. Broken Arrow, OK : Zeeco, Inc.
43. *Emissions of Nitrogen Oxides from Flares Operating at Low Flow Conditions*. **Torres, Vincent M., et al., et al.** 2012, Ind. Eng. Chem. Res., 2012, 51 (39, ss. 12600–12605.
44. **Energi, Kjelforeningen Norsk.** *OLF Environmental Programme Phase II, Project C 01. Emissions and Discharges from Well testing. Tabell 1.1.* s.l. : OLF, 1994.
45. **North Carolina Division of Air Quality .** *GREENHOUSE GAS EMISSION GUIDELINES: STATIONARY COMBUSTION SOURCES*. s.l. : North Carolina Division of Air Quality, [www.ncair.org](http://www.ncair.org) , 2009.
46. **Registry, The Climate.** *General Reporting Protocol Version 1.1.* s.l. : The Climate Registry, <http://www.theclimateregistry.org>, 2008.
47. **Ostebrot, Andreas.** *OLF Environmental Programme Phase II, Project C 01, Emissions and Discharges from Well testing*. Oslo : s.n., 1994.
48. **MISSING. Smith, Smoot.** 1995.
49. *Nitric Oxide Levels of Turbulent Jet Diffusion Flames: Effects of Residence Time and Damkohler Number .* **Driscoll, James F., Chen, Ruey-Hung og Yoon, Youngbin.** s.l. : COMBUSTION AND FLAME , 1992, Vol. 88. pp 37-49.
50. *Soot Emission Factors from Lab-Scale Flares Burning Solution Gas Mixtures.* **McEwen, James D.N.** 2010.
51. **McEwen, James D.N. og Johnson, Matthew R.** Black carbon particulate matter emission factors for buoyancy-driven associated gas flares. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 62:3. 2012, ss. 307-321.
52. **EPA, US.** *Air pollution contract cost manual .*
53. **UK's Department of Energy and Climate Change.** *EEMS Atmospheric Emissions Calculations*. s.l. : UK's Department of Energy and Climate Change, Downloaded October 2012.
54. **Task Force on Emission Inventories & Projections.** *Discussion paper - BC methodologies for Fugitive emissions (1B) – Version*. s.l. : Task Force on Emission Inventories & Projections, <http://www.tfeip-secretariat.org/>, Sep2012. <http://www.tfeip-secretariat.org/assets/Other-Documents/EMEP-EEA-Guidebook-Sept2012-drafts/Discussion-paper-BC-methodologies-for-Fugitive-emissions-1BSep2012.pdf>.
55. **SINTEF.** *Verification of Scaling laws for calculating NOx emissions from offshore flares- Extended version*. 2008.