

En analyse av utslipp knyttet til naturgassens verdikjede, brukt i aluminiumsindustrien

Ine Høines

Bacheloroppgave i Energiteknologi
Bergen, Norge 2020



En analyse av utslipp knyttet til naturgassens verdikjede, brukt i aluminiumsindustrien

Ine Høines

Institutt for Maskin- og Marinfag
Høgskulen på Vestlandet
NO-5063 Bergen, Norge

Høgskulen på Vestlandet
Fakultet for Ingeniør- og Naturvitskap
Institutt for maskin- og marinfag
Inndalsveien 28
NO-5063 Bergen, Norge

Omslag fotografi © Norbert Lümmer

English title: An analysis of emissions in the natural gas value chain

Forfatter, studentnummer: Ine Høines, 571985

Studieprogram: Energiteknologi

Dato: 25. mai 2020

Rapportnummer: IMM 2020-M79

Veileder ved HVL: Ståle Bright Pettersen

Oppdragsgiver: Gasnor

Oppdragsgivers referanse: Leiv Arne Marhaug

Antall filer levert digitalt: 2

Forord

Denne bacheloroppgaven er et avsluttende prosjekt ved Institutt for Maskin- og Marinfag (IMM) ved Høgskulen på Vestlandet (HVL). Oppgaven er blitt skrevet det siste semesteret av et treårig bachelorstudium i Energiteknologi, og tilsvarer 20 studiepoeng. Hensikten med oppgaven er å beregne og å analysere utslippene knyttet til verdikjeden for naturgass. Oppgaven har til tider vært utfordrende, samtidig som den har vært både givende og svært lærerik.

Etter et personlig ønske om å samarbeide med et lokalt firma på Haugalandet, ble oppgaven skrevet alene. Oppgaven kom til etter et møte med oppdragsgiver, Gasnor, våren 2020. Tiden oppgaven skulle utarbeides (våren 2020) ble ikke helt som forventet, grunnet pandemien Covid19. Dette har ført til noen små begrensninger for oppgaven, da skole og bibliotek har vært nedstengt. Videre har det også krevd høy selvdisiplin for å kontinuerlig oppnå fastsatte mål under arbeid i eget hjem.

Det rettes en stor takk til ekstern veileder fra Gasnor, Leiv Arne Marhaug, for oppdraget som ble gitt, god veiledning, og ikke minst for hjelp til innsamling av data. Videre ønsker jeg også å takke intern veileder Ståle Bright Pettersen for god veiledning, oppfølging og et godt samarbeid. Deres kunnskap og behjelpelighet har vært avgjørende for gjennomføringen av oppgaven.



Sammendrag

Dagens samfunn har et høyt fokus på å kutte utslipp av klimagasser, samt andre utslipp. Med dagens energisystemer er det derimot vanskelig å nå et klimanøytralt samfunn, da det per dags dato ikke finnes tilstrekkelige utviklede ressurser. Denne analysen har som hovedformål å beregne utslippene knyttet til verdikjeden for naturgass brukt i industri. Andre potensielle kunder kan da bruke resultatet i rapporten til å sammenligne verdikjeden med andre energibærere.

Analysen har som hensikt å underbygge argumenter om at naturgass er det beste alternativet for energibærer i norsk industri per dags dato. Resultatet viser utslippene knyttet til postene; oppstrøm, *liquefied natural gas*-anlegg (LNG-anlegg), transportering og kundenes sluttbruk, for seks analyseenheter over en periode fra 2015-2019. Analyseenheter som har blitt brukt i denne oppgaven er norske aluminiumsfabrikker, hvor alle benytter seg av naturgass i dag.

Rapporten går først gjennom teorier og fremgangsmåter som er nødvendig for å kunne tolke beregningene og tallene som senere blir presentert. Viktige elementer som utslippene karbondioksid (CO₂), nitrogenoksid (NO_x), svoveldioksid (SO₂) og partikler, energibærere som LNG, *liquefied petroleum gas* (LPG), lettolje og tungolje, og frakt med både skip og tankbiler gjennomgås.

For oppstrøm og LNG-anlegget vil resultatene blir presentert som karbondioksid ekvivalent (CO₂e). Resten av resultatene vil derimot bli presentert for hver av de ulike utslippene. Resultatene viser klart og tydelig at alle fabrikkene vil ha store reduksjoner i utslippene, dette spesielt for analyseenheter som har benyttet seg av tungolje tidligere. Videre visere tallene presentert i ulike tabeller at frakting med skip har lavere utslipp per Sm³ naturgass enn hva transportering med tankbiler har, og bør derfor benyttes der hvor lokasjonen til kunden tillater det. CO₂-avgiften er den siste delen av analysen, og viser at alle enhetene vil tjene på at de har tatt i bruk naturgass over tid. Derimot ville analyseenheter som har benyttet seg av LPG tidligere, hatt en liten økning i de tre første årene av analyseperioden.

Abstract

Today's society has a high focus on cutting greenhouse gas emissions, as well as other emissions. However, it is difficult to reach a climate-neutral society with the energy systems that is being used today, as there are currently insufficient resources. The main purpose of this analysis is to calculate the emissions associated with the natural gas value chain used in industry. Other potential customers can then use the result in the report to compare the value chain with other energy carriers.

The analysis aims to substantiate arguments for natural gas as the best alternative of energy carriers in the Norwegian industry. The result shows the emissions associated with the upstream, *liquefied natural gas plant* (LNG-plant), transportation and customers end use, over a period from 2015-2019. The analytical units that has been used in this thesis are six Norwegian aluminum factories, wich all uses natural gas as their energy source today.

The report will firstly go through theories and methods necessary to interpret the calculations and numbers that will later be presented. Important elements such as emissions of carbon dioxide (CO₂), nitrogen oxides (NO_x), sulfur dioxide (SO₂) and particulates, fuels such as LNG, liquefied petroleum gas (LPG), light fuel oil and heavy fuel oil, as well as shipping methods as ships and tank trucks are reviewed.

For the upstream and the LNG plant, the results will be presented as carbon dioxide equivalent (CO₂e). However, the rest of the results will be presented for each of the different emissions. The results clearly show that all the factories will have a large reduction in emissions, especially for the analysis unit that has been using heavy fuel oil in the past. Furthermore, the numbers presented in the tables shows that shipping by ship has lower emissions per Sm³ of natural gas then by tank trucks, and should therefore be used where the customer's location permits it. The CO₂-tax is the final part of the analysis, where all the units will benefit from using natural gas over time. However, the analysis units that used LPG earlier would have had a slight increase in the first three years of the analysis period.

Innholdsfortegnelse

Forord	5
Sammendrag	7
Abstract	9
Innholdsfortegnelse	11
Nomenklatur	15
1. Innledning	1
2. Teori	3
2.1 Valgte metoder.....	3
2.2 Naturgass	4
2.3 Karbondioksid (CO ₂).....	4
2.4 Nitrogenoksid (NO _x).....	5
2.5 Svoveldioksid (SO ₂).....	5
2.6 Partikler	6
2.7 Energibærere i industri.....	6
2.7.1 Liquefied natural gas (LNG).....	6
2.7.2 Lettolje.....	7
2.7.3 Liquefied petroleum gas (LPG).....	7
2.7.4 Tungolje	7
3. Fremgangsmåte	8
3.1 Oppstrøm og LNG-anlegg	8
3.2 Utslipp for transport.....	9
3.2.1 Utslipp veitransport	9
3.2.2 Utslipp skipstransport.....	11
3.3 Utslipp for slutt kunder	12
4. Resultat	14
4.1 Analyseenheter 1 (fabrikk 1)	15

4.1.1	Oppstrøm og LNG-anlegg	15
4.1.2	Transportutslipp	15
4.1.3	Sluttbruker utslipp.....	16
4.2	Analyseenhet 2 (fabrikk 2)	17
4.2.1	Oppstrøm og LNG-anlegg	17
4.2.2	Transportutslipp	17
4.2.3	Sluttbruker utslipp.....	18
4.3	Analyseenhet 3 (fabrikk 3)	19
4.3.1	Oppstrøm og LNG mottak og prosessering	19
4.3.2	Transportutslipp	19
4.3.3	Sluttbruker utslipp.....	20
4.4	Analyseenhet 4 (fabrikk 4)	21
4.4.1	Oppstrøm og LNG mottak og prosessering	21
4.4.2	Transportutslipp	21
4.4.3	Sluttbruker utslipp.....	22
4.5	Analyseenhet 5 (fabrikk 5)	23
4.5.1	Oppstrøm og LNG mottak og prosessering	23
4.5.2	Transportutslipp	23
4.5.3	Sluttbruker utslipp.....	24
4.6	Analyseenhet 6 (fabrikk 6)	25
4.6.1	Oppstrøm og LNG mottak og prosessering	25
4.6.2	Transportutslipp	25
4.6.3	Sluttbruker utslipp.....	26
5.	Diskusjon	27
5.1	Tolkning av resultatene.....	27
5.2	Intervju	28
5.3	Feilkilder.....	29
6.	Konklusjon	30
7.	Referanser.....	31
8.	Liste over Figurer	33
9.	Liste over Tabeller	34
10.	Liste over formler.....	35

Vedlegg	36
Vedlegg 1.....	36
Forutsetninger for beregninger forbruksdata	
Vedlegg 2.....	37
Forbruksdata	
Vedlegg 3.....	38
Beregninger av utslipp knyttet til veitransport	
Vedlegg 4.....	39
Beregninger av utslipp knyttet til skipstransport	
Vedlegg 5.....	40
Utslippsfaktorer Industri - stasjonært bruk	
Vedlegg 6.....	41
Mengde av tidligere energibærer nødvendig for å oppnå energibehovet	
Vedlegg 7.....	42
Avgiftssatser for aluminiumsindustrien	
Vedlegg 8.....	43
Bregnede CO ₂ -avgifter	
Vedlegg 9.....	45
Intervju Vidar Tveit	

Nomenklatur

CO ₂	=	Karbondioksid
CO ₂ e	=	Karbondioksid ekvivalent
GWP	=	<i>Global warming potential</i>
kg	=	Kilogram
km	=	Kilometer
kWh	=	Kilowattimer
l	=	Liter
LNG	=	<i>Liquefied natural gas</i>
LPG	=	<i>Liquefied petroleum gas</i>
MDO	=	<i>Marine diesel oil</i>
MWh	=	Megawattimer
NOK	=	Norsk krone
NO _x	=	Nitrogenoksid
Sm ³	=	Standard kubikkmeter
SO ₂	=	Svoveldioksid
t	=	Tonn
x	=	Type utslipp
ρ	=	Tetthet [kg/liter]

1. Innledning

Den europeiske union vedtok i 2018 en visjon om en klimanøytral verden for alle [1].

Kommisjonens ønske var en velstående, moderne, konkurransedyktig, men samtidig klimanøytral økonomi innen år 2050. Årstallet begynner å nærme seg, og mange bedrifter står ovenfor et stort spørsmål: skal det bli gjort endringer i flere omganger for å oppnå målet, eller bør investeringen vente til det finnes en energibærer som er klimanøytral?

Statistikk fra 2018, viser et norsk utslipp på 52 millioner tonn karbondioksid ekvivalenter (CO₂e), på tvers av alle sektorer. Industri var i en lengre periode den største kilden for de norske utslippene. Derimot viser en nedgang på 39% fra 1990, at bevisste klimavalg innen bransjen har vært suksessfulle [2]. Et av valgene som er blitt tatt er overgangen fra utslippshøye energibærere til naturgass.

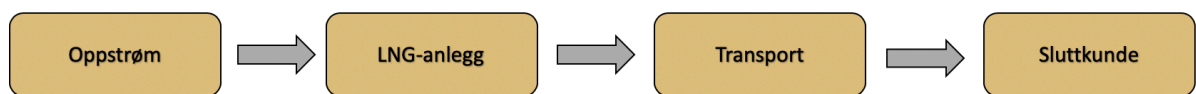
Gasnor er en pionerbedrift for naturgass i Norge, etablert i 1989, med hovedkontor på Karmøy. Selskapet har siden 1994 bidratt i konverteringen til et renere og mer miljøvennlig brensel for norsk industri. I dag leveres gassen gjennom rørnett, men også i form av *liquefied natural gas* (LNG) via skip og tankbiler. Gasnor forsto tidlig at det ikke ville være hensiktsmessig å levere gassen i rørnett for majoriteten av norsk industri. Ved å omgjøre gassen til væskeform kunne bedriften frakte LNG langs hele Norge, uten å bygge et rørnett. Bedriften har i dag et vidt spekter av kundegrupper som industri, boliger og drivstoff. [3]

Selskapet har et ønske om å videreutvikle dagens distribusjonssystemer for å tilgjengeliggjøre biogass som energikilde i Norge. Ambisjon i Gasnor er også å utnytte kompetansen som er oppbygget under etableringen i det norske markedet, til å nå ut på et voksende marked i Europa. De mener at LNG som drivstoff er den beste løsningen for å tilfredsstille nye miljøkrav fra myndigheter og samfunn. Bedriften har satt seg som mål å bli en sentral aktør i drivstoffmarkedet for skip i Nord-Europa. [4]

Denne hovedoppgaven har som hensikt å analysere utslippene knyttet til hele verdikjeden for naturgass, fra produksjon i Nordsjøen, distribusjon til kunder og deres sluttbruk. Det er valgt å bruke seks ulike aluminiumsfabrikker i analysen, hvor det innhentes data og informasjon som er nødvendige for å beregne utslippene. Målet med prosjektet er å konkludere med en oversikt over

hvor mye som blir sluppet av de ulike utslippene, knyttet til etappene i verdikjeden. Samt å gjennomføre en sammenligning av utslippene til sluttkunden ved naturgass og teoretiske utslippene fabrikkene ville hatt med sin tidligere energibærer. Dette for å vise hvor stor reduksjon av utslipp naturgassen gir.

Det lykkes ikke å innhente data knyttet til produksjon og distribusjonen av de tidligere energibærerne. Dette setter en begrensning på oppgaven, da resultatet bare gir en fullstendig oversikt over miljøgevinsten hos sluttkunden. Verdikjeden for LNG er vist i Figur 1 nedenfor.



Figur 1: verdikjeden for LNG

..

2. Teori

Å bruke en metode betyr å følge en bestemt vei frem mot et fastsatt mål [5]. I dette kapittelet vil det derfor redegjøres for teorier som er nødvendig å ha kjennskap til for å løse problemstillingen i hovedoppgaven.

2.1 Valgte metoder

Kjennetegnet på et casestudie er at studiet begrenses til å kun ha én analyseenhet. Det vil derimot også finnes casestudier som bygger på flere analyseenheter. Et komparative casestudie betegnes som en systematisk sammenligning av flere analyseenheter, satt sammen i et større system. [6] Denne hovedoppgaven betegnes som et casestudie, ettersom analysen i utgangspunktet basere seg på et studie for utslipp for hver enkel fabrikk, over en lengre tidsperiode. Videre settes enhetene sammen i et system som gjør at de blir sammenligningsbare.

Denne bachelorutredningen er en empirisk og teoretisk studie for utslipp ved bruk av naturgass, i seks ulike fabrikker i aluminiumsindustrien. En empirisk undersøkelse blir brukt da konklusjonene i rapporten blir tatt på bakgrunn av data som er gitt av Gasnor. Det er viktig å innhente mest mulig informasjon for hver av analyseenhetene, for å gi en mest mulig korrekt fremstilling. Casestudie blir derfor brukt som en av metodene for å gjennomføre studiet.

I den innledende fasen er det relevant å bruke litteratur å tilegne seg ny kunnskap til naturgassens verdikjede. Det er derfor satt av plass til å forklare de viktigste teoriene som trengs for å se det komplekse bildet studiet tar for seg. Litteraturstudiet er utarbeidet parallelt med utformingen av analysen, slik at alle teorier og forutsetninger som trengs for å tolke resultatene er fremlagt. I Kapittel 5.2 vises det også til et intervju om erfaringer med overgang fra tungolje til naturgass for én av analyseenhetene.

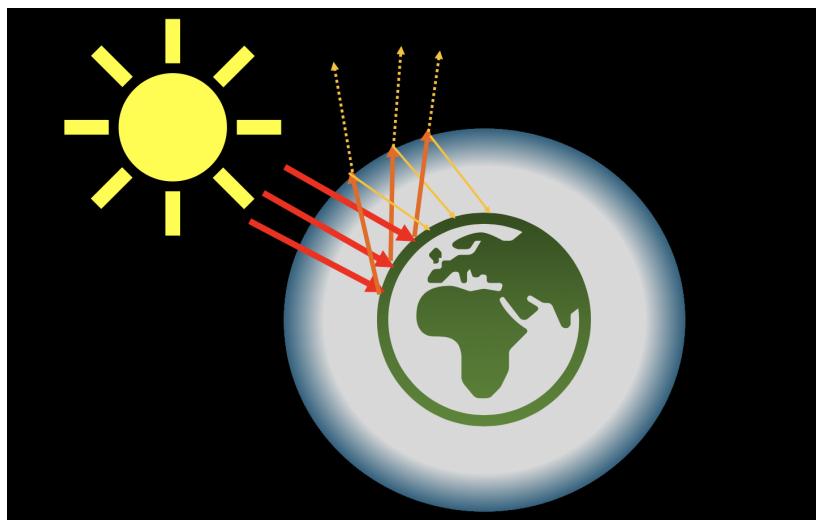
Ettersom denne bacheloroppgaven gjennomføres av én person alene, er det nødvendig å sette begrensninger. Begrensningene for antall analyseenheter er satt etter hvilke kunder Gasnor ønsker å ha med i utredningen. Det er også behov for å løse utslippene knyttet til oppstrøm og prosesseringsanlegg, som CO₂ ekvivalent (CO₂e). Utslippene for postene transport og sluttbruk hos kunde blir derimot oppgitt i kg og tonn for hver av de enkelte utslippene. Alle formlene som senere blir presentert, er utarbeidet ut ifra data som var tilgjengelig.

2.2 Naturgass

Naturgass har blitt nedbrutt og omdannet fra organiske materiale under jordens overflate for mange millioner år siden. Gassen kalles gjerne hydrokarboner, ettersom den største andelen er bestående av karbon- og hydrogenatomer. Den er lettere enn luft, noe som vil føre til at den stiger oppover og fortynnes ved en eventuell lekkasje. [7] Når gassen fortynnes i luften vil den heller ikke være antenkelig lenger. I sin primære form brukes gassen eksempelvis som drivstoff for busser og ferjer, oppvarming av bygg som sykehus og skoler og i industriformål som tørking og smelting. Ved å benytte et gasskraftverk kan gassen også bli omgjort til elektrisitet. [6]

2.3 Karbondioksid (CO₂)

CO₂ er en naturlig forekommende gass, som blir dannet ved at karbon forbrennes i omgivelser med store mengder oksygen. Ved forbrenning av fossile brensler som kull, olje og gass, blir fossilt karbon omdannet til CO₂. Gassen vil også forekomme naturlig i naturen, av årsaker som avskoging, vulkanutbrudd, nedbryting av planter og dyr og fordamping fra havene. CO₂ fjernes deretter av naturen gjennom naturlige prosesser, som fotosyntesen, kalt karbonets kretslop. Det er ikke ønskelig å akkumulere drivhusgasser i atmosfæren, da dette skaper “drivhuseffekten”, illustrert i Figur 2: illustrasjon av drivhuseffekten. [8]



Figur 2: illustrasjon av drivhuseffekten [laget av: Ine Høines]

Menneskeskapte utslipp forskyver den naturlige balansen som finnes i karbonets kretsløp. Disse utslippene kan oppfattes som en minoritet i forhold til den totale mengden, men skaper en ubalanse i det som opprinnelig skal være et balansert system. Mengden CO₂ som nå inngår i kretsløpet, er større enn den mengden kretsløpet klarer å fange opp naturlig. Det er derfor behov for å redusere de menneskeskapte utslippene. [10]

2.4 Nitrogenoksid (NO_x)

NO_x er en fellesbetegnelse brukt for nitrogenoksid gasser, som inkluderer nitrogenoksid (NO) og nitrogendioksid (NO₂), samt andre nitrogenoksider. Disse gassene er svært reaktive, og har en stor rolle i dannelsen av ozonlaget. Gassene fremstilles blant annet under forbrenning av fossile brensler, som i industri og motorvogner. Utslipp av NO_x kan ha store miljøeffekter på jordas økosystemer gjennom forsurening av vassdrag og jordsmonn. Dersom verdien av gassene er for høy, vil det kunne skade vegetasjon, materialer i konstruksjoner og helsen, ettersom det vil danne seg bakkenært ozon. [10], [7]

2.5 Svoveldioksid (SO₂)

SO₂ dannes i all hovedsak også ved forbrenning av fossile brensler som olje og kull, samt som et biprodukt i mange industriprosesser. Det er de store industriverkene som kraftverk, oljeraffinerier og lignende som står for majoriteten av utslippene, men også kjøretøy slipper ut SO₂ [10]. Ved forhøyede utslipp vil det kunne føre skade på følsomme økosystemer, som følge av sur nedbør i atmosfæren. Dette vil videre kunne påvirke den naturlige balansen i bakken, elver og lignende, som igjen vil være næringskilden til dyre- og plantelivet. Samtidig kan også større mengder påvirke bygningsmaterialer og menneskers helse. [11]

2.6 Partikler

Partiklene som oppstår ved forbrenning av fossile brensler, forekommer både i fast og flytende form, og er en kompleks blanding av organiske og uorganiske stoff. Partiklene varierer i størrelse og farge, som gjør at noen av dem, som røyk og sot, vil være mulig å se med det blotte øyet når de er akkumulert i luften [13]. Andre vil være så små at det er nødvendig med mikroskop for å kunne fange dem opp. Forurensning kan fraktes over lange avstander gjennom vinden, og vil kunne påføre skader på innsjøer, bekker, økosystemer og lignende. [7]

2.7 Energibærere i industri

Industrien er avhengig av tilgang til energi, det brukes eksempelvis til oppvarming, belysning og drift av maskiner. Det er ønskelig for industrien å bruke energikilder med konkurransedyktige priser, samtidig som det blir viktig å redusere utslippene. Tidligere har analyseenheterne blant annet brukt energibærere som tungolje, *liquefied petroleum gas* (LPG), LNG og lettolje, som blir presentert i de neste avsnittene.

2.7.1 Liquefied natural gas (LNG)

LNG dannes når naturgassen kjøles ned til -162 grader celsius, som er kokepunktet til metan ved atmosfæretrykk [7]. Gassen vil da omdanne seg fra gassfase til væskefase, og resulterer videre i at gassens volum reduseres om lag 600 ganger [6, s. 361]. Det reduserte volumet forenkler transporten, da det gjør det mulig å frakte den over lengre avstander ved hjelp av spesialbygde tankbiler eller skip. Behovet for vei- og skips-transport forekommer i områder hvor det ikke vil være teknisk mulig eller økonomisk gunstig å utbygge rørnett. Dette vil også utvide det geografiske salgsmarkedet for naturgass. [14]

2.7.2 Lettolje

Lettolje er et lettere petroleumsprodukt destillert ut under raffineringprosessen. Det inkluderer fyringsolje 1 og 2 som brukes til oppvarming og kraftproduksjon i industrien [9]. Ved bruk av denne energibæreren vil det være et lavere utslipp per kWh, enn ved tungolje i stasjonært bruk i industrien [15]. Lettoljen har tidligere blitt benyttet som energikilde for to av fabrikkene i denne analysen.

2.7.3 Liquefied petroleum gas (LPG)

Flytende petroleumsgass dannes ved at petroleumsgassen blir omgjort til væskeform ved hjelp av kondensasjon. Hovedbestanddelene i gassen er hydrokarbonene propan og butan [7]. Den er ofte tilnærmet lik ren butan eller propan, men kan også brukes i en kombinasjon av disse. LPG regnes for å være mer miljøvennlig enn for eksempel tungolje når det brukes som brensel, men vil samtidig ha et høyere utslipp av CO₂ enn LNG, per kWh [15]. Gassen har mange av de samme bruksområdene som naturgassen, da den brukes til oppvarming av boliger og tappevann, samt i industrien [7]. LPG har tidligere blitt brukt av tre av analyseobjektene i denne hovedoppgaven.

2.7.4 Tungolje

Tungolje, også kalt fyringsolje 3-6, og er en fellesbetegnelse for restfraksjonene som er igjen etter raffineringen av råoljen. Den består av lange hydrokarbonkjeder, som generelt brukes til brennstoff i kjeler og ovner for å generere varme, eller til kraftproduksjon i motorer [9].

Tungolje har det høyeste utslippet av de presenterte energikildene ved stasjonært bruk i industrien [15]. Den har tidligere blitt brukt for å forsyne én av fabrikkene i denne analysen.

3. Fremgangsmåte

3.1 Oppstrøm og LNG-anlegg

I olje- og gassindustrien inkluderer begrepet oppstrøm produksjonsanlegg, rørledninger og mottaksterminaler [7]. Utslippene knyttet til denne posten beregnes ved hjelp av en utslippsfaktor gitt i en intern rapport gjort av Shell for Gasnor [16]. Formel 3.1 brukes for å beregne utslippene knyttet til hver av analyseenhetene.

$$t \text{ CO}_2e = \text{mengde levert} * \text{utslippsfaktor}_{\text{oppstrøm}} \quad 3.1$$

Utslippsfaktoren er beregnet til 0,04 tCO₂e/ tLNG for klimagassene som blir slippet ut under oppstrøm [16]. Den er oppgitt som karbondioksid ekvivalent (CO₂e), som betyr at det er tatt hensyn til hvor stor påvirkning hver av gassene har på atmosfæren. Alle drivhusgasser har fått egen global oppvarmingsfaktor, kalt GWP (*Global warming potential*), som indikerer hvor stor oppvarmingseffekt og levetid de ulike gassen har i atmosfæren [9]. Slik kan utslippene fra alle gassene sammenlignes under en enhet, kalt CO₂e.

Også utslippene knyttet til LNG-anlegget vil kunne bruke en tilsvarende formel, utslippsfaktoren vil derimot være 0,11 tCO₂e/tLNG for denne posten [16]. Utslippsverdien forteller hvor høyt utslippet av klimagasser er fra produksjonen av LNG til den er klar for å transporteres til kunden. Formel 3.2 anvendes for å beregne utslippene knyttet til LNG-anlegget.

$$t \text{ CO}_2e = t \text{ LNG levert} * \text{utslippsfaktor}_{\text{LNG-anlegg}} \quad 3.2$$

3.2 Utslipp for transport

Dette kapittelet kommer til å ta føre seg utslipp som produseres under transportering til sluttkunden. Det blir i all hovedsak prioritert utslipp av CO₂, NO_x og SO₂, da partikkelutslippene vil være neglisjerbare ved transportalternativene brukt av Gasnor [17], [18]. I beregningene for utslipp er det nødvendig å regne ut utslippet hver for seg. Utslippene knyttet til rørnett vil også være neglisjerbare. De ulike drivstoffene (med motor) og utslippsfaktorene er gitt under i Tabell 1.

Utslipp (kg) per t drivstoff			
Drivstoff/utslippsfaktor	CO ₂	NO _x	SO ₂
LNG	2750	6	0
MDO (Tier 2)	3206	51	2
Diesel for veitransport (Euro VI)	3161	4.7	0.02

Tabell 1: drivstoff som blir brukt under transport av LNG [19]

3.2.1 Utslipp veitransport

For å beregne utslippene knyttet til veitransport av LNG til de ulike analyseenhetene, er det nødvendig å se på omstendighetene rundt transporteringen. Utgangspunktet for beregningene er forbuksdata for hver av de seks analyseenhetene, i årene 2015-2019, gitt av Gasnor [20]. Ut ifra denne mengden er det mulig å finne antall nødvendig leveranser, ved bruk av Formel 3.3.

$$\text{Antall turer} = \frac{\text{mengde levert}}{\text{maksimal last i trailer}} \quad 3.3$$

Størrelsen på leveransen fra Gasnor er i utgangspunktet oppgitt i Sm³. Ved å dividere denne mengden med 1363 Sm³/t, får resultatet enheten tonn [21]. Videre vil en fullastet trailer kunne frakte 21 tonn LNG for hver transportering [22].

Det er videre nødvendig å beregne CO₂-, NO_x- og SO₂-utslippene for én leveranse. Beregningene vil ikke inkludere retur, ettersom utslippene for en tom tankbil vil være neglisjerbare i forhold til ved full last. Formel 3.4 anvendes for å beregne utslippene knyttet til én leveranse.

$$\begin{aligned} \text{Utslipp}_{x,\text{per leverans}} & & 3.4 \\ &= \text{antall mil} * \rho_{\text{Diesel}} * \text{dieselforbruk}_{\text{norsk vei}} * \text{utslippsfaktor}_x \end{aligned}$$

Antall mil for hver av fabrikkene er oppgitt av Gasnor (i km), og kan settes rett inn i formelen over [22]. Tettheten til diesel vil være 0,845 kg/l [23]. Det er valgt å bruke dieselforbruk for “norske veier” fremfor “motorveier” for alle leveransene, da den eksakte ruten ikke er oppgitt. Det vil ikke være naturlig at majoriteten av ruten vil foregå på motorveier, med fabrikkens geografiske lokasjon tatt i betraktning. Valget vil uansett ikke minimere det reelle utslippet, da dieselforbruket for “norske veier” er høyere enn for “motorveier” [22]. Utslippsfaktoren for hvert av utslippene er henholdsvis 3161 for CO₂, 4,7 for NO_x og 0,02 for SO₂, vist i Tabell 1 under «diesel til veitransport (Euro VI)».

Videre er det henholdsvis enkelt å beregne det totale årlige transportutslippet for hver analyseenhet. All informasjon som er nødvendig å inkludere i beregningene er funnet i avsnittene over, og settes rett inn i Formel 3.5.

$$\text{Årlig transportutslipp}_x = \text{utslipp}_{x,\text{per transport}} * \text{antall turer} \quad 3.5$$

3.2.2 Utslipp skipstransport

Pioneer Knutsen kan omtrentlig laste 435 tonn LNG på en fullastet skipning [24]. Dette utgjør et relativt høyere kvantum i forhold til maks last for veitransport. Ettersom den solgte mengden naturgass er oppgitt i Sm^3 , er det også for disse fabrikkene nødvendige å omgjøre mengden til tonn. Det benyttes samme metode som i 3.2.1, dividere den solgte verdien med $1363 \text{ Sm}^3/\text{t}$ [21]. Videre settes dette inn i Formel 3.6.

$$\text{Antall turer} = \frac{\text{mengde levert (t)}}{\text{maksimal last i skip(t)}} \quad 3.6$$

Skipene som blir brukt til to av fabrikkene er i all hovedsak drevet på LNG, men også av en liten andel marin dieseloilje (MDO) [24]. For å beregne utslippene for hver skipning, er det først nødvendig å finne utslippene knyttet til hver av disse drivstoffene. Drivstoffene har henholdsvis utslippsfaktorer på 2750 for CO_2 , 6 for NO_x og 0 for SO_2 ved bruk av LNG, og 3206 for CO_2 , 51 for NO_x og 2 for SO_2 ved MDO, vist i Tabell 1. Mengde LNG brukt til drivstoff er henholdsvis 10,5 tonn for analyseenhet 3 og 20 tonn for analyseenhet 5, per skipning. Begge vil bruke like stor mengde diesel, 1,7 tonn, til tross for ulike lengde på skipningen [24]. Utslippene knyttet til én skipning beregnes deretter ved å anvende Formel 3.7.

$$\begin{aligned} \text{Utslipp}_{x,\text{per skipning}} & \quad 3.7 \\ & = \text{mengde drivstoff}_{\text{LNG}} * \text{utslippsfaktor}_{x,\text{ved LNG}} \\ & + \text{mengde drivstoff}_{\text{diesel}} * \text{utslippsfaktor}_{x,\text{ved MDO (tier 2)}} \end{aligned}$$

Resultatene av beregningene i avsnittene over brukes for å beregne fabrikkens årlige utslipp knyttet til leveranse av LNG. Det vil være nødvendig å benytte Formel 3.8 for alle tre utslippene, CO_2 , NO_x og SO_2 . Det årlige skipnings-utslippet forteller hvor mye hver analyseenhet kan forvente at blir slippet ut ved frakting av naturgass med skip, tur/retur.

$$\text{Årlig skipningsutslipp}_x = \text{Utslipp}_{x,\text{per skipning}} * \text{antall turer} \quad 3.8$$

3.3 Utslipp for slutt kunder

For utslipp hos slutt kundene gjennomføres det en analyse for å sammenligne utslippene slutt kundene hadde ved bruk av naturgass, mot deres tidligere energibærere. Analysen tar utgangspunkt i energimengden (MWh) bedriften brukte i året, i tidsperioden 2015-2019, vist i Vedlegg 2. Norsk Energi viser i sin rapport “Klima- og miljøregnskap for energigass i Norge” utslippsfaktorene for alle de tidligere energibærerne, samt naturgass, for bruk i stasjonær industri [15]. Alle verdiene for utslippsfaktorer knyttet til dette kapitlet er vedlagt i Vedlegg 5. Fokuset er på utslippene CO₂, NO_x, SO₂ og partikler i denne delen av oppgaven. For å finne de årlige utslippene hos sluttkunden, anvendes Formel 3.9.

$$\text{Årlig utslipp}_{x, \text{sluttkunde}} = \text{årlig energibehov} * \text{utslippsfaktor}_x \quad 3.9$$

Videre er det mulig å finne miljøgevinsten for sluttkunden, ved å subtrahere utslippene ved naturgass fra de teoretiske utslippene ved den tidligere energibæreren. Utslippene er sammenlignbare, og viser hvor stor påvirkning skifte av energibærer har for fabrikkens utslipp. For å beregne reduksjonen benyttes Formel 3.10.

$$\begin{aligned} \text{Årlig reduksjon i utslipp}_x & \quad 3.10 \\ &= \text{årlig utslipp}_{x, \text{tidligere energibærer}} \\ &\quad - \text{årlig utslipp}_{x, \text{dagens energibærer}} \end{aligned}$$

Ut ifra disse resultatene gir videre beregninger svaret på hvilken økonomisk konsekvens, i form av CO₂-avgift, de ulike analyseenhetene har hatt for sluttbruk. Aluminiumsindustrien er en kvotepliktig bransje, som vil si at de er pliktet til å betale en kvotepris per tonn CO₂e fabrikkens slipper ut. Dersom det er for økonomiske belastende for en bedrift å kutte utslippene, gjør et slikt kvotesystem at man i praksis betaler for andre bedrifters kutt [25]. For denne beregningen er det bare CO₂ som blir tatt med, med det vil være nødvendig å betale for utslipp av andre klimagasser også. Denne prisen vil variere etter markedet, og det brukes en gjennomsnittlig årspris i beregningen vist i Vedlegg 8. Videre vil alle analyseenhetene betale en redusert CO₂-avgift nå som de benytter naturgass. LPG som energikilde har kun kvoteprisen som avgift, mens de som

brukte mineralolje betalte en grunnavgift (NOK/l) i tillegg [25]. Formel 3.11 benyttes for å beregne utgiftene knyttet til utslipp ved bruk av naturgass.

$$\begin{aligned} \text{Utgift}_{\text{naturgass}} & & 3.11 \\ & = \text{kvotepris} * \text{mengde} + \text{redusert avgift} * \text{mengde} \end{aligned}$$

For å beregne utgiftene enhetene ville hatt ved sine tidligere energibærere, er det nødvendig å beregne kvantumet som er nødvendig for å oppnå det brukte energibehovet. Ved å dividere energibehovet (MWh) med 12,9 MWh/t, gir resultatet den nødvendige mengden LPG i tonn [26]. Da benyttes Formel 3.12 for å beregne utgiftene dersom LPG hadde blitt brukt for å oppnå samme energimengde.

$$\text{Utgift}_{\text{LPG}} = \text{kvotepris} * \text{mengde} \quad 3.12$$

Det er derimot behov for å få beregne kvantumet lettolje og tungolje i både liter og tonn, da grunnavgiften er basert på liter. For lettolje benyttes faktorene 0,0102 MWh/l og 11,9 MWh/t, og 0,01 MWh/l og 11,3 MWh/t benyttes for tungolje [26]. For å finne utgiftene knyttet til CO₂ ved bruk av mineralolje, benyttes Formel 3.13.

$$\begin{aligned} \text{Utgift}_{\text{mineralolje}} & = \text{kvotepris} * \text{mengde}(t) & 3.13 \\ & + \text{grunnavgift} * \text{mengde}(l) \end{aligned}$$

4. Resultat

Videre skal resultatet for beregningene av miljøutslipp knyttet til verdikjeden til naturgass presenteres. Det er hentet informasjon og blitt gjort utregninger for hele verdikjeden til naturgass, som blir levert til seks ulike aluminiumsfabrikker i Norge. Resultatene for hver av analyseenhetene vil bli presentert i underkapittel, med tabeller som viser årlige utslipp knyttet til hver post i verdikjeden. For sluttbruket blir det også presentert en sammenligning av de reelle utslippene med naturgass, kontra utslippene fabrikken ville hatt med sin tidligere energibærer.

Verdikjeden for hver analyseenhet vil bli presentert på en oversiktlig måte med tabeller.

Enkelte av utslippene vil bli kommentert, men alle de årlige utslippene vil ikke bli kommentert.

Verdier fra resultatene kan bli brukt til å sammenligne utslipp under transport for skip og tankbiler, sammenligne utslipp med andre energibærere for andre fabrikker og lignende.

Forutsetninger og fullstendige utregninger er vedlagt som vedlegg og en ekstern lenke under Vedlegg.

4.1 Analyseenhet 1 (fabrikk 1)

4.1.1 Oppstrøm og LNG-anlegg

CO₂e-utslipp for leting og utvinning av naturgass, er beregnet ut ifra mengden naturgass analyseenhet har fått levert hvert år. Vedlegg 2 viser et årlig energibehov fra 105 212 til 148 668 MWh, som tilsvarer et utslipp mellom 307 og 434 tonn CO₂e, vist i Tabell 2. Videre viser den samme tabellen at denne fabrikk ikke har noen utslipp knyttet til LNG-anlegget, som begrunnes med at naturgassen blir levert i rørnett som *compressed natural gas* (CNG).

<i>Utslipp oppstrøm (t)</i>	2015	2016	2017	2018	2019
CO ₂ e	307.2	330.9	389.4	434.1	328.2
<i>Utslipp LNG-anlegg (t)</i>	2015	2016	2017	2018	2019
CO ₂ e	0	0	0	0	0

Tabell 2: utslipp for oppstrøm og LNG-anlegg for fabrikk 1

4.1.2 Transportutslipp

En liten mengde utslipp vil kunne finne sted ved transport av naturgass i rørnett, forklart i Kapittel 3.2, derimot vil ikke dette være utslagsgivende på det totale utslippet. Tabell 3 viser derfor at utslippene for transportering av naturgass er tilnærmet lik null for analyseenhet 1.

<i>Utslipp per år for transport i kg</i>	2015	2016	2017	2018	2019
CO ₂	Neglisjerbar				
NO _x					
SO ₂					

Tabell 3: utslipp knyttet til transport for fabrikk 1

4.1.3 Sluttbruker utslipp

Alle utslippstallene som blir henvist til i dette avsnittet er hentet fra Tabell 4 under, og alle utslipps-avgifter referert til finnes i Vedlegg 8.

Analyseenhet 1 har tidligere brukt tungolje som energibærer i direktefyrte ovner. Tabell 4: utslipp fra sluttkunde fabrikk 1 viser at fabrikken har hatt en miljøbesparelse på over 70 000 kg NO_x i 2018. Videre vil det årlige SO₂-utslippet reduseres innenfor et intervall fra 63 022 kg til 89 053 kg, som henholdsvis utgjør omtrentlig 63- og 89 tonn SO₂. Av de to energibærerne er det bare tungoljen som har partikkelutslipp. Reduksjon i utslippet tilsvarer derfor mengden som sluppet ut ved bruk av tungolje. Den høyeste CO₂-reduksjonen var i 2018 med en tilnærmet verdi på 11 745 tonn. Dette betyr at det reelle CO₂-utslippet fabrikken hadde ved bruk av naturgass, var 28% lavere enn hva det hadde vært med tungolje. For det samme året er det beregnet at CO₂-avgiften er 22 767 210 NOK lavere ved naturgass, vist i Vedlegg 8.

<i>Utslipp sluttkunde</i>	2015	2015	2017	2018	2019
MWh	105,212	113,335	133,353	148,669	112,398
Dagens energibærer	Naturgass				
NO _x (kg)	23,147	24,934	29,338	32,707	24,728
SO ₂ (kg)	105	113	133	149	112
Partikler (kg)	0	0	0	0	0
CO ₂ (t)	21,253	22,894	26,937	30,031	22,704
Alternativ	Tungolje				
NO _x (kg)	73,648	79,334	93,347	104,068	78,679
SO ₂ (kg)	63,127	68,001	80,012	89,201	67,439
Partikler (kg)	8,417	9,067	10,668	11,894	8,992
CO ₂ (t)	29,565	31,847	37,472	41,776	31,584
Reduksjon i utslipp					
NO _x (kg)	50,502	54,401	64,009	71,361	53,951
SO ₂ (kg)	63,022	67,888	79,878	89,053	67,327
Partikler (kg)	8,417	9,067	10,668	11,894	8,992
CO ₂ (t)	8,312	8,953	10,535	11,745	8,879

Tabell 4: utslipp fra sluttkunde fabrikk 1

4.2 Analyseenhet 2 (fabrikk 2)

4.2.1 Oppstrøm og LNG-anlegg

Tabell 5 viser at det blir sluppet ut 115,4 tonn CO₂e ved oppstrøm av naturgass til analyseenhet 2, i 2019. Dette er den laveste verdien i løpet av de fem årene som blir presentert i tabellen. For det andre leddet i naturgassens verdikjede, LNG-anlegget, viser tabellen et utslipp på 317,3 tonn CO₂e det samme året.

<i>Utslipp oppstrøm (t)</i>	2015	2016	2017	2018	2019
CO ₂ e	133.1	125.4	126.3	117.5	115.4
<i>Utslipp LNG-anlegg (t)</i>	2015	2016	2017	2018	2019
CO ₂ e	365.9	344.9	347.4	323.2	317.3

Tabell 5: utslipp for oppstrøm og LNG-anlegg for fabrikk 2

4.2.2 Transportutslipp

For å frakte LNG til fabrikk 2 blir det benyttet veitransport, hvor Vedlegg 1 viser en avstand på omtrent 214 km. Tabell 6 viser CO₂-utslippene fra transportereringen, og utgjør årlig en utslipp mellom 47 533 og 41 255 kg. Også utslippsverdiene for NO_x og SO₂ kommer frem i samme tabell under. NO_x-utslippene er vesentlig mye lavere i forhold til CO₂, og ligger på en årlig verdi mellom 61- og 71- kg. Det er derimot tilnærmet lik null utslipp av SO₂ for frakting i tankbil. Reduksjonen i de årlige verdiene skyldes en nedgang i antall turer til fabrikk 2, vist i Vedlegg 2.

<i>Utslipp per år for transport i kg</i>	2015	2016	2017	2018	2019
CO ₂	47,533	44,842	45,141	41,853	41,255
NO _x	71	67	67	62	61
SO ₂	0	0	0	0	0

Tabell 6: utslipp knyttet til transport for fabrikk 2

4.2.3 Sluttbruker utslipp

Alle utslippstallene som blir henvist til i dette avsnittet er hentet fra Tabell 7 under, og alle utslipps-avgifter referert til finnes i Vedlegg 8.

Analyseenhet 2 har tidligere hatt lettolje som energibærer i sin aluminiumsproduksjon. Ved å summere reduksjonsmengden for NO_x, er fabrikkens totale nedgang på over 32,6 tonn over de fem årene. Samtidig viser tabellen et SO₂ utslipp på 59 kg i 2017 ved bruk av dagens energibærer, som tilsvarer 2,8% av utslippet ved lettolje. Som alle fabrikkene, har heller ikke denne noen utslipp av partikler ved bruk av naturgass. Dette gjør at reduksjons posten for partikkelutslipp, vil tilsvare partikkelutslippet ved lettolje. Analyseenhetens CO₂-utslipp var 2 917 tonn lavere ved bruk av naturgass i 2015. Som et resultat av denne nedgangen vil bedriften spare 7 081 550 NOK i CO₂-avgift dette året.

<i>Utslipp sluttkunde</i>	2015	2016	2017	2018	2019
MWh	45,573	58,505	58,922	54,833	53,823
Dagens energibærer	Naturgass				
NO _x (kg)	10,026	12,871	12,963	12,063	11,841
SO ₂ (kg)	46	59	59	55	54
Partikler (kg)	0	0	0	0	0
CO ₂ (t)	9,206	11,818	11,902	11,076	10,872
Alternativ	Lettolje				
NO _x (kg)	15,495	19,892	20,034	18,643	18,300
SO ₂ (kg)	1,641	2,106	2,121	1,974	1,938
Partikler (kg)	228	293	295	274	269
CO ₂ (t)	12,122	15,562	15,673	14,586	14,317
Reduksjon i utslipp					
NO _x (kg)	5,469	7,021	7,071	6,580	6,459
SO ₂ (kg)	1,595	2,048	2,062	1,919	1,884
Partikler (kg)	228	293	295	274	269
CO ₂ (t)	2,917	3,744	3,771	3,509	3,445

Tabell 7: utslipp fra sluttkunde fabrikk 2

4.3 Analyseenhet 3 (fabrikk 3)

4.3.1 Oppstrøm og LNG mottak og prosessering

Tabell 8 viser CO₂e-utslippene for postene oppstrøm og LNG-anlegg, basert på forbruket til fabrikk 3 over fem år. Resultatet i beregningene viser et utslipp for oppstrøm på 385,1 t CO₂e i 2018, som er det høyeste under analyseperioden. Videre viser samme tabell også et utslipp på 1059 t CO₂e knyttet til utslippene under LNG-anlegget.

<i>Utslipp oppstrøm (t)</i>	2015	2016	2017	2018	2019
CO ₂ e	294.1	383.3	400.4	385.1	320.6
<i>Utslipp LNG-anlegg (t)</i>	2015	2016	2017	2018	2019
CO ₂ e	808.7	1054.0	1101.1	1059.0	881.7

Tabell 8: utslipp for oppstrøm og LNG-anlegg for fabrikk 3

4.3.2 Transportutslipp

Transporteringen av naturgass til fabrikk 3 forekommer ved hjelp av skip. Forbruket på ruten ligger gjennomsnittlig på 10,5 tonn LNG og 1,7 tonn diesel tur/retur, vist i Vedlegg 1.

Dette medfører utslipp av CO₂, NO_x og SO₂ til atmosfæren. Tabell 9 viser at dette utslippet ligger rundt 584 tonn CO₂ i 2015. NO_x-utslippet ligger på omtrent 2545 kg samme året, mens SO₂-utslippet er relativt lavere på 58 kg.

<i>Utslipp per år for transport i kg</i>	2015	2016	2017	2018	2019
CO ₂	583,528	789,480	823,805	789,480	652,179
NO _x	2,545	3,443	3,593	3,443	2,844
SO ₂	58	78	82	78	65

Tabell 9: utslipp knyttet til transport for fabrikk 3

4.3.3 Sluttbruker utslipp

Alle utslippstallene som blir henvist til i dette avsnittet er hentet fra Tabell 10 under, og alle utslipps-avgifter referert til finnes i Vedlegg 8.

For analyseenhet 3 er det LPG som ble brukt før naturgass. NO_x-utslippene ble redusert med 27% ved bruk av naturgass i stede for LPG i 2018. Ettersom LPG og naturgass har samme utslippsfaktor for SO₂ ([15]), blir det ingen reduksjon i utslippene for denne posten. LPG har også samme utslippsfaktor som naturgass for partikler, tabellen viser derfor heller ikke her en reduksjon. Nivået på begge disse utslippene er null, og vil derfor ikke kunne forbedres. Tabellen viser at fabrikk ville hatt et utslipp på omtrent 43 518 tonn CO₂ i 2017 ved bruk av LPG, mens det reelle utslippet ved bruk av naturgass var 37 729 tonn. Som et resultat fra dette, vil den teoretiske reduksjonen være tilnærmet likt 5 790 tonn dette året. Fabrikk vil ha en økning på avgifter på omtrent 133 000 NOK i 1017.

<i>Utslipp sluttkunde</i>	2015	2016	2017	2018	2019
MWh	100,715	178,785	186,775	179,637	149,572
Dagens energibærer	Naturgass				
NO _x (kg)	22,157	39,333	41,090	39,520	32,906
SO ₂ (kg)	101	179	187	180	150
Partikler (kg)	0	0	0	0	0
CO ₂ (t)	20,345	36,115	37,728	36,287	30,213
Alternativ	LPG				
NO _x (kg)	30,215	53,636	56,032	53,891	44,872
SO ₂ (kg)	101	179	187	180	150
Partikler (kg)	0	0	0	0	0
CO ₂ (t)	23,467	41,657	43,518	41,856	34,850
Reduksjon i utslipp					
NO _x (kg)	8,057	14,303	14,942	14,371	11,966
SO ₂ (kg)	0	0	0	0	0
Partikler (kg)	0	0	0	0	0
CO ₂ (t)	3,122	5,542	5,790	5,569	4,637

Tabell 10: utslipp fra sluttkunde fabrikk 3

4.4 Analyseenhet 4 (fabrikk 4)

4.4.1 Oppstrøm og LNG mottak og prosessering

For analyseenhet 4 viser Tabell 11 at det er knyttet et utslipp på 73,2 tonn CO₂e ved oppstrøm av naturgass i 2018. Denne verdien er den soleklart høyeste over de fem årene. For det andre leddet i naturgassens verdikjede, LNG-anlegget, har denne fabrikket et utslipp på 201,3 tonn CO₂e det samme året.

<i>Utslipp oppstrøm (t)</i>	2015	2016	2017	2018	2019
CO ₂ e	35.5	42.2	47.9	73.2	29.9
<i>Utslipp LNG-anlegg (t)</i>	2015	2016	2017	2018	2019
CO ₂ e	97.6	115.9	131.6	201.3	82.3

Tabell 11: utslipp for oppstrøm og LNG-anlegg for fabrikk 4

4.4.2 Transportutslipp

For å frakte LNG til analyseenhet 4 blir det benyttet veitransport. Tabell 12 viser det er klart høyest utslipp av CO₂ i 2018, med en verdi på 9 958 kg. Årsaken for en varierende mengde CO₂-utslipp fra år til år skyldes at fabrikket har hatt et stort prosentvis avvik i levert naturgass mengde fra år til år. Vedlegg 2 viser at det var behov for 88 leveranser i 2018, det samlede NO_x-utslippet for disse leveranse var 15 kg. Utslippet for SO₂ er neglisjerbart, og er derfor satt lik null.

<i>Utslipp per år for transport i kg</i>	2015	2016	2017	2018	2019
CO ₂	4,866	5,771	6,450	9,958	4,074
NO _x	7	9	10	15	6
SO ₂	0	0	0	0	0

Tabell 12: utslipp knyttet til transport for fabrikk 4

4.4.3 Sluttbruker utslipp

Alle utslippstallene som blir henvist til i dette avsnittet er hentet fra Tabell 13 under, og alle utslipps-avgifter referert til finnes i Vedlegg 8.

For den 4. fabrikk ble det benyttet lettolje for å generere nødvendig energi, før det ble byttet til naturgass. Tabell 13 viser hvordan analyseenhetens utslipp ville sett ut ved begge disse energibærerne. Fabrikk slapp i 2018 ut 7 512 kg NO_x til omgivelsene, dette tilsvarer en reduksjon på 35% fra utslippet den ville hatt med lettolje. Det hadde også blitt sluppet ut 1 195 kg mer SO₂ til atmosfæren, dersom fabrikk ikke hadde benyttet seg av naturgass i 2018. Videre ville partikkel-utslippet vært på et nivå mellom 61 og 171 kg fra 2015 til 2019. Med et forbruk på 34 143 MWh i 2018, hadde fabrikk et CO₂-besparelse på 2 185 tonn. Dette medfører en besparelse på nesten 5,7 millioner NOK det samme året.

<i>Utslipp sluttkunde</i>	2015	2016	2017	2018	2019
MWh	12,154	19,665	22,325	34,143	13,959
Dagens energibærer	Naturgass				
NO _x (kg)	2,674	4,326	4,911	7,512	3,071
SO ₂ (kg)	12	20	22	34	14
Partikler (kg)	0	0	0	0	0
CO ₂ (t)	2,455	3,972	4,510	6,897	2,820
Alternativ	Lettolje				
NO _x (kg)	4,132	6,686	7,590	11,609	4,746
SO ₂ (kg)	438	708	804	1,229	503
Partikler (kg)	61	98	112	171	70
CO ₂ (t)	3,233	5,231	5,938	9,082	3,713
Reduksjon i utslipp					
NO _x (kg)	1,458	2,360	2,679	4,097	1,675
SO ₂ (kg)	425	688	781	1,195	489
Partikler (kg)	61	98	112	171	70
CO ₂ (t)	778	1,259	1,429	2,185	893

Tabell 13: utslipp fra sluttkunde fabrikk 4

4.5 Analyseenhet 5 (fabrikk 5)

4.5.1 Oppstrøm og LNG mottak og prosessering

Tabell 14 viser CO₂e- utslippene for postene oppstrøm og LNG-anlegg, knyttet til LNG mengden levert til fabrikk 5. Resultatet i beregningene viser et utslipp på omtrent 852 t CO₂e i 2016 for oppstrøm. Videre viser den samme tabellen et utslipp på 2343 t CO₂e knyttet til utslipp ved LNG-anlegget for den leverte mengden samme år.

<i>Utslipp oppstrøm (t)</i>	2015	2016	2017	2018	2019
CO ₂ e	818.7	851.9	856.8	871.6	859.1
<i>Utslipp LNG-anlegg (t)</i>	2015	2016	2017	2018	2019
CO ₂ e	2251.4	2342.6	2356.3	2397.0	2362.4

Tabell 14: utslipp for oppstrøm og LNG-anlegg for fabrikk 5

4.5.2 Transportutslipp

For transporterering av naturgass til analyseenhet 5, er det frakting med skip som blir brukt i dag. Vedlegg 1 viser at det gjennomsnittlige forbruket ligger på 20 tonn LNG og 1,7 tonn diesel tur/retur. Vedlegg 2 viser at det i 2016 var behov for 49 skipninger for å dekke fabrikkens behov. Det totale CO₂-utslippet for transport dette året er vist i Tabell 15, med en verdi på 2 902 tonn. Samme tabell viser et NO_x-utslipp på 9 922 kg det samme året. Det laveste av de tre utslippene, er SO₂ med 163 kg.

<i>Utslipp per år for transport i kg</i>	2015	2016	2017	2018	2019
CO ₂	2,901,610	2,962,060	3,022,510	3,082,960	3,022,510
NO _x	9,922	10,128	10,335	10,542	10,335
SO ₂	163	167	170	173	170

Tabell 15: utslipp knyttet til transport for fabrikk 5

4.5.3 Sluttbruker utslipp

Alle utslippstallene som blir henvist til i dette avsnittet er hentet fra Tabell 16 under, og alle utslipps-avgifter referert til finnes i Vedlegg 8.

Analyseenhet 5 er enheten med klart høyest energibehov av de seks i denne analysen. Når det kommer til NO_x-utslipp, vil endring av energibærer medføre en reduksjon i utslippet på 35% i 2019. For SO₂ vil reduksjonen være null, ettersom utslippsfaktoren for både naturgass og LPG er identisk [15]. Videre har ingen av energibærerne utslipp av partikler. Fabrikken har derimot mye å tjene på omleggingen av energikilde når det kommer til CO₂-utslipp og -avgift. Ved et energibehov på omtrent 400 740 MWh i 2019, vil CO₂-utslippet ved bruk av naturgass ligge rundt 80 949 tonn i året. Dette utgjør en besparelse på 13,3% av utslippet ved bruk av LPG. Vedlegg 8 viser at fabrikken hadde en økning i avgift de tre første årene, før de hadde en reduksjon de to siste årene.

<i>Utslipp sluttkunde</i>	2015	2016	2017	2018	2019
MWh	280,404	397,380	399,705	406,598	400,736
Dagens energibærer	Naturgass				
NO _x (kg)	42,061	59,607	59,956	60,990	60,110
SO ₂ (kg)	561	795	799	813	801
Partikler (kg)	0	0	0	0	0
CO ₂ (t)	56,642	80,271	80,740	82,133	80,949
Alternativ	LPG				
NO _x (kg)	64,493	91,398	91,932	93,518	92,169
SO ₂ (kg)	561	795	799	813	801
Partikler (kg)	0	0	0	0	0
CO ₂ (t)	65,334	92,590	93,131	94,737	93,372
Reduksjon i utslipp					
NO _x (kg)	22,432	31,790	31,976	32,528	32,059
SO ₂ (kg)	0	0	0	0	0
Partikler (kg)	0	0	0	0	0
CO ₂ (t)	8,693	12,319	12,391	12,605	12,423

Tabell 16: utslipp fra sluttkunde fabrikk 5

4.6 Analyseenhet 6 (fabrikk 6)

4.6.1 Oppstrøm og LNG mottak og prosessering

Tabell 17 viser CO₂e- utslippet ved postene oppstrøm og LNG-anlegg for den siste analyseenheten. For oppstrøm-posten til denne fabrikk er det knyttet et utslipp på 73,6 t CO₂e i 2015. For det samme åre ligger utslippet knyttet til LNG-anlegget på 202,4 t CO₂e.

<i>Utslipp oppstrøm (t)</i>	2015	2016	2017	2018	2019
CO ₂ e	73.6	111.8	84.3	132.6	154.5
<i>Utslipp LNG-anlegg (t)</i>	2015	2016	2017	2018	2019
CO ₂ e	202.4	307.4	231.7	364.7	425.0

Tabell 17: utslipp for oppstrøm og LNG-anlegg for fabrikk 6

4.6.2 Transportutslipp

Naturgassen blir fraktet 260 km ved hjelp av veitransport for å komme frem til fabrikk 6, vist i Vedlegg 1. Tallene i Tabell 18 viser et CO₂-utslipp på 31 963 kg for transporten, i 2015. Vedlegg 2 viser at det var behov for mellom 88 til 184 leveranser over den samme analyseperioden. Det samlede NOX-utslippet var 99 kg i 2019, mens utslippet for SO₂ er neglisjerbart, og er derfor satt lik null.

<i>Utslipp per år for transport i kg</i>	2015	2016	2017	2018	2019
CO ₂	31,962	48,670	36,684	57,387	66,830
NO _x	48	72	55	85	99
SO ₂	0	0	0	0	0

Tabell 18: utslipp knyttet til transport for fabrikk 6

4.6.3 Sluttbruker utslipp

Alle utslippstallene som blir henvist til i dette avsnittet er hentet fra Tabell 19 under, og alle utslipps-avgifter referert til finnes i Vedlegg 8.

Med et energibehov på 28 859 MWh i 2017, hadde analyseenhet 6 et NO_x-utslipp på 6 349 kg. Sammenlignbart ville utslippet vært 27% høyere ved bruk av LPG. Bruken av LPG medfører at heller ikke denne kunden vil oppleve en nedgang i utslippene i form av SO₂ eller partikler, grunnet utslippsfaktoren vist i Vedlegg 5. Utslippene for SO₂ vil være relativt lave, og ligge mellom 25 og 53 kg i året. Partikkelutslipp vil være null ved begge energibærerne, og kan dermed ikke forbedres. Fabrikken vil ha en reduksjon av CO₂-utslipp på totalt 5 912 tonn i løpet av analyseperioden på fem år, som tilsvarer en avgift besparelse på rett under 400 000 NOK.

<i>Utslipp sluttkunde</i>	2015	2016	2017	2018	2019
MWh	25,208	38,283	28,859	45,418	52,930
Dagens energibærer	Naturgass				
NO _x (kg)	5,546	8,422	6,349	9,992	11,645
SO ₂ (kg)	25	38	29	45	53
Partikler (kg)	0	0	0	0	0
CO ₂ (t)	5,092	7,733	5,830	9,174	10,692
Alternativ	LPG				
NO _x (kg)	7,562	11,485	8,658	13,625	15,879
SO ₂ (kg)	25	38	29	45	53
Partikler (kg)	0	0	0	0	0
CO ₂ (t)	5,874	8,920	6,724	10,582	12,333
Reduksjon i utslipp					
NO _x (kg)	2,017	3,063	2,309	3,633	4,234
SO ₂ (kg)	0	0	0	0	0
Partikler (kg)	0	0	0	0	0
CO ₂ (t)	781	1,187	895	1,408	1,641

Tabell 19: utslipp fra sluttkunde fabrikk 6

5. Diskusjon

5.1 Tolkning av resultatene

Ut ifra resultatene er det naturlig å diskutere utslippene ved skipstrafikk kontra veitransport, selv om dette ikke har vært et tidligere tema. Ved å dele transportutslippene på energimengden, indikerer resultatet at det er soleklart fordelaktig for miljøet å bruke skipstransport av type Tier 2. Dette viser naturligvis også hvilken fordel naturgass har som drivstoff. Videre viser utslippene i Kapittel 4 Resultat at alle analyseenhetene ville hatt et mye høyere utslipp med sin tidligere energibærer. Analyseenhet 1 er enheten med høyeste miljøgevinst for sluttbruker utslippene, hvor utslippene for NO_x har en nedgang på 68,6%, SO₂ ned 99,83%, partikkel har nedgang på 100% (gjelder forøvrig samme % for alle fabrikkene) og CO₂ er gått ned med 28%.

Det er interessant å bemerke seg at CO₂-avgiften vil være høyere ved bruk av naturgass enn LPG for de tre første årene av analyseperioden. Økningen i avgiften for de tre bedriftene som brukte LPG er derimot relativt lav, og det er tenkelig at den er av lav påvirkning på bedrifter som omsetter for så store verdier som aluminiumindustrien gjør. Det er derimot mye penger å spare på CO₂-avgiften ved bruk av naturgass kontra mineraloljene.

Faktorene som er nevnt over og i Kapittel 4 Resultat, viser til at miljøet har mye å spare på at bedrifter legger om til mer miljøvennlig energikilder allerede i dag. Det er ikke nødvendig å vente på en klimanøytral energikilde, når det allerede i dag er mulig å redusere utslippene så betraktelig. Resultatene i rapporten kan også bli brukt av fabrikker med andre energibærere til å sammenligne utslipp. En slik sammenligning kan bidra til å vise miljøgevinsten og en eventuell økonomisk gevinst for ulike potensielle kunder i Norge. Resulterende fra dette kan kundegruppen for naturgass øke, som vil gi kutt i de norske utslippene.

5.2 Intervju

Det hadde vært ønskelig å gjennomføre intervjuer med alle analyseenhetene, for å innhente erfaring for bruk av naturgass kontra tidligere energibærere. Slike intervjuer kunne vært med mål å underbygge fordelene med en overgang til naturgass. Det har derimot vært vanskelig å spore opp folk som hadde arbeidet der lenge nok til å ha erfaringer med de tidligere energikildene. Dette var spesielt vanskelig å få til i tider hvor store deler av Norge har arbeidet hjemme fra.

Derimot ble det en åpning for å gjennomføre et intervju på slutten av prosjektperioden med en ansatt i analyseenhet 1. Intervjuet er vedlagt i Vedlegg 9, hvor intervjuobjektet beskriver erfaringer fra bruken av tungolje kontra naturgass. Ut ifra intervjuet kommer det frem at denne avdelingen, fra analyseenhet 1, hadde et og et halvt årsverk bare for håndtering av tungolje i rør inn til avdelingen. Videre var det ofte store problemer når koks tettet seg inne i rørene, og stoppet tilførselen. Når det kommer til sikkerheten var bruken av propan i pilotflammer en stor bekymring. Ettersom propanen er tyngre enn luft, var det stor risiko for eksplosjon dersom en lekkasje skulle oppstå. Avdelingen hadde flere risikohendelser knyttet til propan når de benyttet seg av tungolje. I dag benyttes naturgassen til både pilot- og hovedbrennere, slik at det ikke er behov for propanen. [27]

Når det kommer til bruken av naturgass, kunne intervjuobjektet fortelle at avdelingen ikke hadde egne ansatte for å drifte tilkomsten av gassen i dag. Avdelingen har derav spart et og et halvt årsverk på denne overgangen. Det har nesten ikke vært noen problemer etter overgangen, som er stor kontrast fra arbeidsmengden ved tungoljen. Videre ble det forklart at tenningen av naturgassen ikke kan sammenlignes med tungoljen, ettersom naturgassen tennes umiddelbart. Den eneste bekymringen og problemet avdelingen har er mangel på kompetanse dersom et stort problem skal oppstå, ettersom det er så få problemer. [27] Intervjuet viser klart at avdelingen har hatt store fordeler og kostnadsbesparelser på overgangen. Dette viser at det er flere fordeler enn reduksjon av utslipp knyttet til bruk av naturgass som energibærer i norsk industri.

5.3 Feilkilder

Underveis i analysen har det blitt oppdaget rapporter som bruker andre tall og data enn de kildene som er valgt å bruke som utgangspunkt her. Dette kan medføre at resultatene presentert i Kapittel 4, ikke samsvarer med andres beregninger. Det er derimot valgt å bruke flest mulig kilder levert av oppdragsgiver, Gasnor, da dette er de samme kildene som blir brukt av dem.

Samtidig kan også menneskelige feil ha påvirket rapporten, i form av innhenting av data og beregninger. Det er et komplekst regneark bak resultatene, der det parallelt med utarbeidelsen har blitt oppdaget feil. Forenklinger er også gjort der det har vært behov for dette.

6. Konklusjon

Fra funnene i analysen kan det konkluderes med at frakt bør forekomme ved hjelp av skipstransport der hvor lokasjonen tillater det. Da dette medfører betraktelig lavere utslipp per levert Sm³ naturgass, enn ved veitransport. Videre vil alle analyseenhetene ha en kraftig reduksjon av utslippene knyttet til sluttkundens forbruk ved naturgass kontra deres tidligere energibærere. Den største miljøgevinsten vil analyseenhetene som gikk fra mineralolje ha, da spesielt analyseenhet 1 som har benyttet tungolje.

Videre viser analysen at analyseenhetene som tidligere har benyttet seg av LPG, vil få en liten økning i CO₂-avgiften ved å benytte naturgass de tre første årene av analyseperioden. Enhetene som tidligere har anvendt mineraloljer ville derimot hatt en mye høyere kostnad knyttet til kvotepris og grunnavgift, dersom de ikke hadde byttet energibærere.

For fremtidige undersøkelser vil det være interessant å få sammenligne hele verdikjeden til naturgass, kontra tidligere energibærere. Det har ikke lyktes å få tak i data til å utføre en slik sammenligning for denne analysen, men med rette kontakter er dette mulig. Et slikt resultat ville bidratt til å underbygge behovet for å bytte ut energikilder med høye utslipp.

Det at bedrifter bytter energikilde i flere omganger, vil spare miljøet for store mengder utslipp. Naturgassen vil derfor kunne gjøre store forandringer i mange år, selv om det ikke er løsningen for et klimanøytralt samfunn. I løpet av de neste 30 årene er det derfor kritisk med nye klimanøytrale energibærere. Det vil derfor være av høy nødvendighet å undersøke hva som er det beste alternativet, hvor hydrogen og biogass ofte blir nevnt som de reelle kandidatene.

7. Referanser

- [1] «The Commission calls for a climate neutral Europe by 2050*», *European Commission - European Commission*. Hentet fra: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_18_6543 (åpnet jan. 27, 2020).
- [2] Miljødirektoratet, «Norske utslipp av klimagasser», *Miljøstatus*, nov. 05, 2019. <https://environment.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/> (åpnet mars 08, 2020).
- [3] «Historikk | Gasnor». u.å. Hentet fra: <https://gasnor.no/om-gasnor/historikk/> (åpnet apr. 09, 2020).
- [4] «Satsning – mål og visjoner | Gasnor». u.å. Hentet fra: <https://gasnor.no/om-gasnor/satsning-mal-og-visjoner/> (åpnet apr. 09, 2020).
- [5] A. Johannessen, *Forskningsmetode for økonomisk-administrative fag*, 3. utg. Oslo: Abstrakt forl, 2011, s. 490.
- [6] S. Grønmo, *Samfunnsvitenskapelige metoder*, 2. utg. Bergen: Fagbokforl, 2016, s. 462.
- [7] Carl. Schaschke, *A dictionary of chemical engineering*, First edition. Oxford, England: Oxford University Press, 2014.
- [8] J. G. Speight, *Handbook of Natural Gas Analysis*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc, 2018.
- [9] K. L. Yam, *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc, 2010.
- [10] C. J. Cleveland og C. Morris, *Dictionary of energy*, Expanded ed. Amsterdam: Elsevier, 2009, s. xiv, 581.
- [11] Chris. Frangopoulos, *Cogeneration: Technologies, Optimisation and Implementation*. Institution Of Engineering & Technology Iet, 2017.
- [12] E. K. Vakkilainen, *Steam Generation from Biomass: Construction and Design of Large Boilers*. 2016, s. 1–302.
- [13] Anne Finstad, Gisle Haakonsen, og Kristin Rypdal, «Utslipp til luft av partikler i Norge - Dokumentasjon av metode og resultater», Oslo, Norge, 15. aug. 2003. Hentet fra: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/utslipp-til-luft-av-partikler-i-norge>. Åpnet: mai 07, 2020.
- [14] S. Mokhatab, *Handbook of liquefied natural gas*, 1st ed. Kidlington, Oxford: Gulf Professional, 2014, s. 1–589.
- [15] Morten H. Soma og Esben Tønning Otterlei, «Klima- og miljøregnskap for energigass i Norge», Norsk Energi, Oslo, Norge, 31188-009–0.4, apr. 2013. Hentet fra: https://gasnor.no/wp-content/uploads/2013/10/Miljøregnskap-for-enerdigass_endelig-versjon-050413.pdf.
- [16] Shell International, «Gasnor WtW Analysis», upubliert.
- [17] Odd Kristian Dahle, «Tiltak for reduksjon av klimagassutslipp fra fiskeflåten», Grønt

kystfartsprogram, u.å., Ålesund, Norge. [Online]. Tilgjengelig på:

<https://kommunikasjon.ntb.no/presserom/fiskebat/mi?publisherId=14516866&item=document-16982145>.

[18] Rolf Hagman og Astrid H. Amundsen, «Utslipp fra kjøretøy med Euro 6/VI teknologi», TØI, Oslo, Norge, 1259/2013, apr. 2013.

[19] Eivind Dale, «Klimaeffketer ved overføring av gods fra vei til sjø», DNV GL AS Maritime, Høvik, Norge, 2016–460, Rev. 1, sep. 2016.

[20] Leiv Arne Marhaug, personlig kommunikasjon, «Forbrukstall», mar. 03, 2020.

[21] «Typiske data naturgass | Gasnor», u.å., Hentet fra:<https://gasnor.no/naturgass/typiske-data-naturgass/> (åpnet mai 07, 2020).

[22] Leiv Arne Marhaug, personlig kommunikasjon, «Drivstoff forbruk trailer», mar. 03, 2020.

[23] «Rekordvarmt vær ga lavere energiforbruk i 2014», *ssb.no*, hentet fra: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/energiregn/aar-forelopige/2015-05-06?fane=om> (åpnet mai 02, 2020).

[24] Leiv Arne Marhaug, personlig kommunikasjon, «Drivstoff forbruk skip», mar. 03, 2020.

[25] Sindre Finnes og Leiv Arne Marhaug, personlig kommunikasjon, «CO2-avgift for ulike energibærere», mai 05, 2020.

[26] «Typiske data energi | Gasnor», u.å., hentet fra <https://gasnor.no/naturgass/typiske-data-energi/> (åpnet mai 13, 2020).

[27] Vidar Tveit, personlig kommunikasjon, «Analyseenhetes 1 erfaringer ved naturgass kontra tungolje», mai 14, 2020.

8. Liste over Figurer

Figur 1: verdikjeden for LNG	2
Figur 2: illustrasjon av drivhuseffekten	4

9. Liste over Tabeller

Tabell 1: drivstoff som blir brukt under transport av LNG [19]	9
Tabell 2: utslipp for oppstrøm og LNG-anlegg for fabrikk 1	15
Tabell 3: utslipp knyttet til transport for fabrikk 1	15
Tabell 4: utslipp fra sluttkunde fabrikk 1	16
Tabell 5: utslipp for oppstrøm og LNG-anlegg for fabrikk 2	17
Tabell 6: utslipp knyttet til transport for fabrikk 2	17
Tabell 7: utslipp fra sluttkunde fabrikk 2	18
Tabell 8: utslipp for oppstrøm og LNG-anlegg for fabrikk 3	19
Tabell 9: utslipp knyttet til transport for fabrikk 3	19
Tabell 10: utslipp fra sluttkunde fabrikk 3	20
Tabell 11: utslipp for oppstrøm og LNG-anlegg for fabrikk 4	21
Tabell 12: utslipp knyttet til transport for fabrikk 4	21
Tabell 13: utslipp fra sluttkunde fabrikk 4	22
Tabell 14: utslipp for oppstrøm og LNG-anlegg for fabrikk 5	23
Tabell 15: utslipp knyttet til transport for fabrikk 5	23
Tabell 16: utslipp fra sluttkunde fabrikk 5	24
Tabell 17: utslipp for oppstrøm og LNG-anlegg for fabrikk 6	25
Tabell 18: utslipp knyttet til transport for fabrikk 6	25
Tabell 19: utslipp fra sluttkunde fabrikk 6	26

10. Liste over formler

Formel 3.1	8
Formel 3.2	8
Formel 3.3	9
Formel 3.4	10
Formel 3.5	10
Formel 3.6	11
Formel 3.7	11
Formel 3.8	11
Formel 3.9	12
Formel 3.10	12
Formel 3.11	13
Formel 3.12	13
Formel 3.13	13

Vedlegg

https://hvl365.sharepoint.com/sites/Bachelor556/_layouts/15/Doc.aspx?OR=teams&action=edit&sourcedoc={B5142EFD-693B-4543-B2D8-EB908CF47CB6}

Alle vedleggene og beregningene finnes i dette Excel-arket.

Vedlegg 1

Forutsetninger for beregninger forbruksdata

Drivstoff/ utslipp (kg) per tonn drivstoff	CO2	NOX	SO2
LNG	2750	6	0
MDO (Tier 2)	3206	51	2
Diesel for veitransport (Euro VI)	3161	4,7	0,02
Drivstoff-forbruk trailer oppgitt fra transportør med full last.			
<i>Dieselforbruk norsk vei (liter/mil)</i>	5,23		
<i>Dieselforbruk motorvei (liter/mil)</i>	3,81		
Avstander			
<i>Antall km analyseenhet 6</i>	260		
<i>Antall km analyseenhet 4</i>	81		
<i>Antall km analyseenhet 2</i>	214		
Tetthet diesel kg/liter	0,845		
Sm³/tonn	1362		
Full last trailer (tonn LNG)	21		
Energiinnhold LNG MWh/tonn	13,7		
Full last skipning	435		
Forbruk Skipstransport			
	Tonn LNG	Tonn Diesel	
Forbruk analyseenhet 3 (t/r)	10,5	1,7	
Forbruk analyseenhet 5 (t/r)	20	1,7	
Oppstrøm (tCO2e/tLNG)	0,04		
LNG-anlegg (tCO2e/tLNG)	0,11		

Vedlegg 2

Forbruksdata

Forbruksdata					
Anlegg	2015	2016	2017	2018	2019
	Sm3				
Fabrikk 1	10 459 776	11 267 312	13 257 408	14 780 064	11 174 208
Fabrikk 2	4 530 680	4 270 433	4 300 898	4 002 406	3 928 691
Fabrikk 3	10 012 732	13 050 015	13 633 182	13 112 217	10 917 648
Fabrikk 4	1 208 298	1 435 378	1 629 542	2 492 221	1 018 900
Fabrikk 5	27 876 651	29 005 875	29 175 536	29 678 683	29 250 820
Fabrikk 6	2 506 104	3 805 918	2 869 095	4 515 292	5 262 099
	Tonn				
Fabrikk 1	7679,7	8272,6	9733,8	10851,7	8204,3
Fabrikk 2	3326,5	3135,4	3157,8	2938,6	2884,5
Fabrikk 3	7351,5	9581,5	10009,7	9627,2	8015,9
Fabrikk 4	887,1	1053,9	1196,4	1829,8	748,1
Fabrikk 5	20467,4	21296,5	21421,1	21790,5	21476,4
Fabrikk 6	1840,0	2794,4	2106,5	3315,2	3863,5
	MWh				
Fabrikk 1	105212,1	113334,9	133352,8	148668,8	112398,4
Fabrikk 2	45572,9	58504,9	58922,3	54833,0	53823,1
Fabrikk 3	100715,4	178785,2	186774,6	179637,4	149571,8
Fabrikk 4	12154,0	19664,7	22324,7	34143,4	13958,9
Fabrikk 5	280403,9	397380,5	399704,8	406598,0	400736,2
Fabrikk 6	25208,2	38282,7	28859,5	45418,1	52930,1
	Antall turer				
Fabrikk 1	0	0	0	0	0
Fabrikk 2	159	150	151	140	138
Fabrikk 3	17	23	24	23	19
Fabrikk 4	43	51	57	88	36
Fabrikk 5	48	49	50	51	50
Fabrikk 6	88	134	101	158	184

Vedlegg 3

Beregninger av utslipp knyttet til veitransport

Beregninger for utslipp ved transport, per leveranse					
Analyseenhet 2					
	Tetthet diesel (kg/liter)	Utslipp (kg/tonn drivstoff)	Dieselforbruk norsk vei (liter/mil)	Antall mil	Totalt utslipp (kg)
CO2	0,85	3161,00	5,23	21	298,95
NOX		4,70	5,23	21	0,44
SO2		0,02	5,23	21	0,00
Analyseenhet 4					
	Tetthet diesel (kg/liter)	Utslipp (kg/tonn drivstoff)	Dieselforbruk norsk vei (liter/mil)	Antall mil	Totalt utslipp (kg)
CO2	0,85	3161,00	5,23	8,1	113,15
NOX		4,70	5,23	8,1	0,17
SO2		0,02	5,23	8,1	0,00
Analyseenhet 6					
	Tetthet diesel (kg/liter)	Utslipp (kg/tonn drivstoff)	Dieselforbruk norsk vei (liter/mil)	Antall mil	Totalt utslipp (kg)
CO2	0,85	3161,00	5,23	26	363,21
NOX		4,70	5,23	26	0,54
SO2		0,02	5,23	26	0,00

Vedlegg 4

Beregninger av utslipp knyttet til skipstransport

Analyseenhet 3					
	Utslipp (kg/tonn drivstoff)	Antall tonn per tur/retur	Utslipp (kg)	Totalt utslipp (kg)	
LNG					
CO2	2750	10,5	28875		
NOX	6		63	CO2	34325,2
SO2	0		0	NOX	149,7
Diesel				SO2	3,4
CO2	3206	1,7	5450		
NOX	51		86,7		
SO2	2		3,4		
Analyseenhet 5					
	Utslipp (kg/tonn drivstoff)	Antall tonn per tur/retur	Utslipp (kg)	Totalt utslipp (kg)	
LNG					
CO2	2750	20			
NOX	6		120	CO2	60450,2
SO2	0		0	NOX	206,7
Diesel				SO2	3,4
CO2	3206	1,7	5450		
NOX	51		86,7		
SO2	2		3,4		

Vedlegg 5

Utslippsfaktorer Industri - stasjonært bruk

Kilder for utslippsfaktorer er Norsk Energi og NVE/EU.				
Industri - stasjonært bruk				
Utslippsfaktorer (kg/MWh)	NO_x	SO₂	Partikler	CO₂
Tungolje - direktefyrt	0,7	0,6	0,08	281
Lettolje direktefyrt	0,34	0,036	0,005	266
LPG kjeler	0,23	0,002	0	233
LPG ovner og tørker	0,3	0,001	0	233
Naturgass kjel	0,15	0,002	0	202
Naturgass - direktefyrt	0,22	0,001	0	202

Vedlegg 6

Mengde av tidligere energibærere nødvendig for å oppnå energibehovet

Mengde av de ulike gamle energibærerne som er nødvendig for å oppnå samme mengde energi					
	2015	2016	2017	2018	2019
Fabrikk 1 (l)	9564739,8	10303175,4	12122980,2	13515343,5	10218038,3
Fabrikk 1 (t)	9310,8	10029,6	11801,1	13156,5	9946,8
Fabrikk 2 (l)	4467933,26	5735777,66	5776696,33	5375780,61	5276771,25
Fabrikk 2 (t)	3829,66	4916,38	4951,45	4607,81	4522,95
Fabrikk 3 (t)	7807,40	13859,32	14478,65	13925,38	11594,71
Fabrikk 4 (l)	1191563,92	1927909,67	2188698,57	3347394,87	1368522,55
Fabrikk 4 (t)	1021,34	1652,49	1876,03	2869,20	1173,02
Fabrikk 5 (t)	21736,74	30804,69	30984,87	31519,22	31064,82
Fabrikk 6 (t)	1954,13	2967,65	2237,17	3520,79	4103,11

Vedlegg 7

Avgiftssatser for aluminiumsindustrien

Avgiftssatser for aluminiumsindustrien									
	2015	2016	2017	2018	2019				
Kvotepriser CO2 (NOK/t) (gjennomsnittlig)	70,020	50,365	54,910	155,311	248,181				
Grunnavgift mineralolje (NOK/l)	1,59	1,63	1,603	1,63	1,86				
Redusert sats CO2 naturgass	0,050	0,057	0,057	0,057	0,060				
Kvotepris CO2/Sm ³ naturgass	0,014144	0,010174	0,011092	0,031373	0,050133				
<table border="1"> <tr> <td>CO2 utslipp kg/Sm³ naturgass</td> <td>0,202</td> </tr> <tr> <td>Antall Sm³/ t CO2</td> <td>4 950</td> </tr> </table>						CO2 utslipp kg/Sm ³ naturgass	0,202	Antall Sm ³ / t CO2	4 950
CO2 utslipp kg/Sm ³ naturgass	0,202								
Antall Sm ³ / t CO2	4 950								
Sum CO2 avgift naturgass (NOK/Sm ³)	0,0641	0,0672	0,0681	0,0884	0,1101				

Vedlegg 8

Beregnete CO₂-avgifter

Avgift/år (NOK)	2015	2016	2017	2018	2019
Fabrikk 1					
Tungolje					
CO2	15 859 879	17 299 320	20 081 139	24 073 366	21 474 147
Naturgass					
CO2	670 932	756 868	902 721	1 306 157	1 230 644
Reduksjon					
CO2	15 188 947	16 542 452	19 178 418	22 767 210	20 243 503
Fabrikk 2					
Lettolje					
CO2	7 372 166	9 596 932	9 531 929	9 478 167	10 937 303
Naturgass					
CO2	290 616	286 861	292 856	353 704	432 677
Reduksjon					
CO2	7 081 550	9 310 071	9 239 073	9 124 463	10 504 626
Fabrikk 3					
LPG					
CO2	546 674	698 026	795 025	2 162 767	2 877 585
Naturgass					
CO2	642 257	876 618	928 309	1 158 764	1 202 388
Reduksjon					
CO2	-95 583	-178 593	-133 284	1 004 003	1 675 197

Avgift/år (NOK)	2015	2016	2017	2018	2019
<i>Fabrikk 4</i>					
Lettolje					
CO2	1 966 101	3 225 721	3 611 497	5 901 872	2 836 573
Naturgass					
CO2	77 505	96 420	110 959	220 245	112 214
Reduksjon					
CO2	1 888 596	3 129 301	3 500 538	5 681 627	2 724 359
<i>Fabrikk 5</i>					
LPG					
CO2	1 522 006	1 551 481	1 701 384	4 895 288	7 709 693
Naturgass					
CO2	1 788 121	1 948 433	1 986 616	2 622 790	3 221 467
Reduksjon					
CO2	-266 115	-396 952	-285 232	2 272 498	4 488 226
<i>Fabrikk 6</i>					
LPG					
CO2	136 828	149 466	122 843	546 817	1 018 312
Naturgass					
CO2	160 752	255 658	195 362	399 029	579 528
Reduksjon					
CO2	-23 924	-106 192	-72 519	147 788	438 784

Vedlegg 9

Intervju Vidar Tveit

Hvilke utfordringer var det knyttet til tungolje som energibærer i deres aluminiumsproduksjon?

Det var ansatt to arbeidere som sto for omtrent 1,5 årsverk for å holde oppsyn og løse problemer knyttet til tungoljen. I tilførselen ble det ofte tett av koks, som førte til store problemer for å få fikset opp. En løsning for å redde produksjonen var å «jukse» (ta løsninger som var kortvarig for å redde produksjonen og lignende). Det var også veldig vanskelig å tenne på den, hvor det ofte ble benyttet stjerneskudd.

Videre ble det også benyttet propan fra et rørsystem til å brenne i pilotflammen. Av sikkerhetsmessige årsaker var det store bekymringer knyttet til lekkasjer, ettersom propanen er tyngre enn luft.

Har overgangen til naturgass fikset noen av disse utfordringene?

Etter naturgassen har avdelingen kunne kuttet disse stillingene, som tilsvarte minst 1,5 årsverk.

Videre har også naturgassen vært tilnærmet problemfritt.

Naturgassen har også erstattet propanen i pilotflammen. Det er selvfølgelig sikkerhetstiltak for naturgass også, men avdelingen har opplevd dette som et mye tryggere alternativ da gassen er lettere en luft.

Har det vært noen problemer knyttet til naturgassen?

Det eneste problemet med naturgass er at det er så sjeldent problemer, så ingen har kompetanse dersom det skulle oppstå et problem.

