

---

# *Omstilling af de danske passagerfærger til el-, biogas- eller methanoldrift*

---



Udarbejdet af Kristoffer Wolsing

Aalborg Universitet

Sustainable Energyplanning & Management

10. Semester

Afgangsprojekt

BLANK SIDE



**Semester: 4.**

**Projekt titel:** Omstillingen af de danske passagerfærger til el, biogas og methanol

**Projekt Periode:** 1. februar 2016 – 5. september 2016

**Semestertema:** "Kandidatspeciale"

**Vejleder:**

Poul Østergaard

**Forfatter:**

Kristoffer Heitmann Wolsing

---

**Number of copies: 3**

**Number of pages: 94**

**Uploading code:**

Danmark er et land fyldt med beboede øer, hvorfor færgetransporten herimellem er en livsnerve for øernes beboere. Med en forøgede drivhuseffekt er det nødvendigt, at disse færger drives af bæredygtige drivmidler. I en beslutningsproces vedrørende omstillingen er det her vigtigt, at beslutningstageren har et reelt valg mellem alternativer og en saglig baggrund for de forskellige valgmuligheder. I en sådan proces forekommer der magtpåvirkninger og manipulation fra forskellige aktører, der prøver at få tilgodeset deres interesser. Dette gør det endnu mere nødvendigt, at der er en saglig baggrund for de forskellige valgmuligheder, så man som beslutningstager ved, at man tager det rigtige valg, der tilgodeser egne interesser. Det har udmundet sig i følgende problemformulering:

*Hvilken effekt har magtpåvirkning i beslutningsprocessen vedrørende omstillingen af de danske passagerfærger, og hvilket drivmiddel bør færgerne fra et energimæssigt perspektiv omstilles til, så de opfylder ECA-kravene og hjælper til det danskpolitiske mål om 100 % uafhængighed af fossile brændsler?*

Der er i projektet identificeret flere former for magtpåvirkning i form af erfaringer fra andre, værdien i at brande sig som bæredygtig, en promovning af enkelte drivmidler samt flere institutionelle rammer beslutningstagerne agere indenfor.

Derudover er det påvist, at alle de danske passagerfærger minimum kan omstilles til et af disse drivmidler: CBG, LBG, methanol eller el. Fra et energimæssigt perspektiv er el det med mindst energitab igennem dets livscyklus og er derfor det fortrukne at omstille til. Omstillingspotentialet viste sig derfor i det bedste scenarie, at 72 % af de danske passagerfærger burde omstilles til el og de resterende 28 % til LBG.

BLANK SIDE

## Indholdsfortegnelse

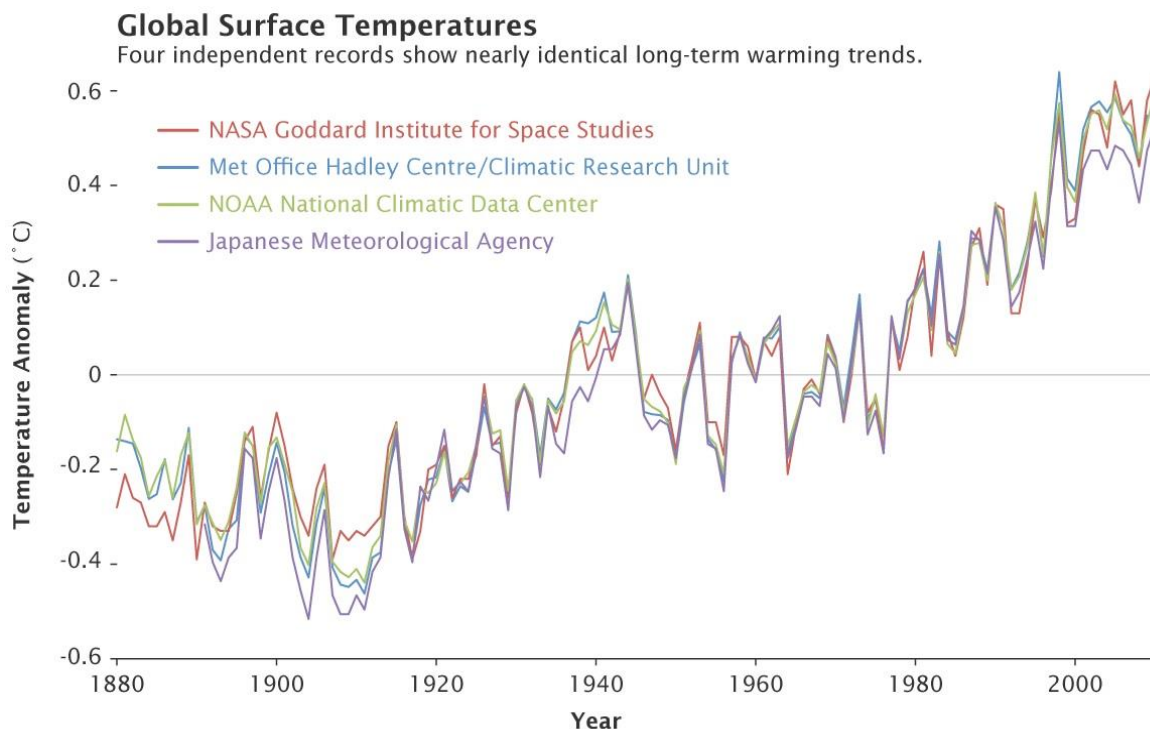
1	Introduktion .....	8
1.1	Energiforbrug .....	10
1.2	Politisk baggrund for drivhusgasemissionsreduktioner i transportsektoren.....	13
1.2.1	Europæiske direktiver .....	13
1.2.2	Danske omstillingsstrategier for transportsektoren.....	15
1.3	Færgepotentiale.....	17
1.3.1	Internationale Maritime Organisation.....	19
2	Problemformulering.....	22
2.1	Struktur for afhandling.....	23
3	Teoretisk baggrund og metode.....	24
3.1	Teorianvendelse.....	24
3.2	Metode.....	27
3.2.1	Well to propeller analyse .....	28
3.2.2	Omstillingsanalyse .....	29
4	Proces for omstilling af de danske passagerfærger .....	30
4.1	Danske Færger A/S.....	30
4.2	Samsø .....	31
4.3	Ærø .....	32
4.4	Læsø .....	32
4.5	Magt og false choice i beslutningsprocessen for omstillingen af danske passagerfærger.....	33
4.5.1	Institutionel magt.....	33
4.5.2	Direkte magt .....	34
4.5.3	Indirekte magt.....	36
4.5.4	Bevidsthedskontrollerende magt.....	37
4.5.5	Påvirkning af magt i beslutningsprocessen.....	37
4.6	Choice eller false choice.....	38
5	Well to Tank analyse .....	39
5.1	Biogas & metan .....	39
5.1.1	Udvinding .....	40
5.1.2	Biogasproduktion .....	40
5.1.2	Opgradering .....	42
5.1.3	Komprimering .....	43
5.1.4	Kondensering .....	44

5.1.5 Lagring og påfyldning .....	44
5.1.6 Konklusion på WTT analysen .....	45
5.2 Eldrift.....	46
5.2.1 Produktion.....	46
5.2.2 Transmission og distribution.....	47
5.2.3 Ensretter til jævnstrøm .....	48
5.2.4 Batteriopladning .....	48
5.2.6 Konklusion.....	49
5.3 Methanol.....	50
5.3.1 Udvinning af biomasse, biogasproduktion og opgradering .....	50
5.3.2 Dampreforming .....	50
5.3.3 Syntese gas til methanol .....	51
5.3.4 Raffinering.....	52
5.3.5 Konklusion.....	52
6 Tank to propeller.....	54
6.2 Færgemotorer .....	54
6.2.1 Ottomotor/Benzinmotor.....	54
6.2.2 Dieselmotor.....	55
6.2.3 Virkningsgrad i analysen .....	55
6.2.3 Elmotor.....	57
6.2.3.1 Vekselretter til vekselstrøm samt frekvensomformer til højere frekvens.....	58
6.3 Konklusion på WTP .....	59
7 Omstillingsanalyse .....	60
7.1 Diskussion af faktorer .....	60
7.2 Beregningsmetode.....	61
7.2.1 Energiforbrug .....	61
7.2.2 Nødvendig brændseltilførsel .....	62
7.2.3 Volumen for drivmidlerne.....	63
7.2.4 Energiforbrug på en dags drift .....	63
7.2.5 Omstillingsmuligt .....	63
7.3 Resultater af omstillingsanalyse .....	64
7.4 Konklusion på omstillingsanalyse .....	72
8 Følsomhedsanalyse .....	73
8.1 Energiforbrug – 80 % og 120 %.....	73

8.2 Virkningsgrad i motor – 45 % og 60 % .....	74
8.3 Tankstørrelser - 50 % større og 50 % mindre.....	76
8.4 Konklusion på følsomhedsanalysen.....	80
9 Diskussion .....	81
10 Konklusion.....	86
11 Perspektivering .....	88
11.1 Store tankskibe .....	88
12 Bibliografi .....	89
13 Bilag.....	94
13.1 Bilag 1.....	94

## 1 Introduktion

Jordens gennemsnitlige overflade temperatur er steget kraftigt det seneste århundrede og er på nuværende tidspunkt højere end nogensinde, som Figur 1 viser. Denne stigning skyldes hovedsageligt udviklingen af det moderne samfund med de dertilhørende energikrævende teknologier.



Figur 1 - Jordens overflade temperatur over det sidste århundrede (NASA, 2011)

Stigningen i jordens overfladetemperatur er et resultat af det, der kaldes den forøgede drivhuseffekt. Drivhuseffekten udgøres af tilstedeværelsen af drivhusgasser i atmosfæren, hovedsageligt kuldioxid ( $\text{CO}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ), vanddamp ( $\text{H}_2\text{O}$ ), lattergas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) og freongasser, der, liggende som en dyne over jorden, holder jorden var. I praksis tillader drivhusgasserne passage af kortbølget stråling fra solen, mens de absorberer den langbølgede tilbagestråling fra jorden. De er altså nødvendige for, at der kan være liv på jorden, idet overfladetemperaturen, uden denne dyne af drivhusgasser, ville have været op til 33 grader lavere, hvilket formodentlig ikke havde tilladt udviklingen af liv i tidernes morgen (Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, 2014). Flere klimaeksperter har igennem tiderne anset en stigning på 2 °C over det præ-industrielle niveau til at være den øvre grænse for en acceptabel temperaturstigning (Carbon Brief Staff, 2014). I år 1996 gav Europa-Kommissionen formelt politisk opbakning og deklarerede, at den gennemsnitlige temperatur ikke måtte stige med mere end 2 °C over det præ-industrielle niveau (Ibid.).

Forbrændingen af fossile brændsler som kul, olie og naturgas, forøger mængden af de tre vigtigste drivhusgasser ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  og  $\text{N}_2\text{O}$ ) og lægger derfor, billedligt talt, en ekstra dyne over jorden – derfor kaldet den forøgede drivhuseffekt. Fossile brændsler er ressourcer, som er blevet dannet i jorden over millioner af år (Pagh, N/A). For millioner af år siden levede der dyr og planter, hvor der igennem tiderne har lagt sig jordlag på jordlag på deres døde legemer. Fossilt brændsel er produktet af disse organiske molekyler fra dyrene og planterne, der er blevet udsat for varme fra jordens kerne under et



højt tryk i underjordiske reservoirer og dermed har frigivet den solenergi, der var bundet i disse planter og dyrerester (Ibid.). Den energi er blevet bundet i disse reservoirer og kommer både i fast form, flydende form og gasform, med andre ord som kul, olie og naturgas. Som følge af denne forøgede drivhuseffekt bliver jorden varmere (Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet, 2014). Dette bringer flere forskelligartede problematikker med sig. For det første smelter polerne, hvilket medfører at vandstanden stiger, som det er visualiseret på Figur 2. *International Panel on Climate Change* forudser, at vandstanden kan stige op til 63 cm frem mod år 2100 afhængig af, hvordan drivhusgasudledningen udvikler sig i løbet af det næste århundrede (Church & Clark, 2013). En sådan vandstandsstigning formodes at resultere i oversvømmelse af lavtliggende landområder verden over, hvilket bl.a. vil indebære, at det meste af Danmark dækkes af vand. Den naturlige konsekvens heraf er, at der vil være et mindre areal at leve på for befolkningen, for dyreriget og til dyrkning af jord.



Figur 2 - Visualisering af vandstandenes stigning ved 2 graders forøgelse af jordens overfladetemperatur (National Geographic, N/A)

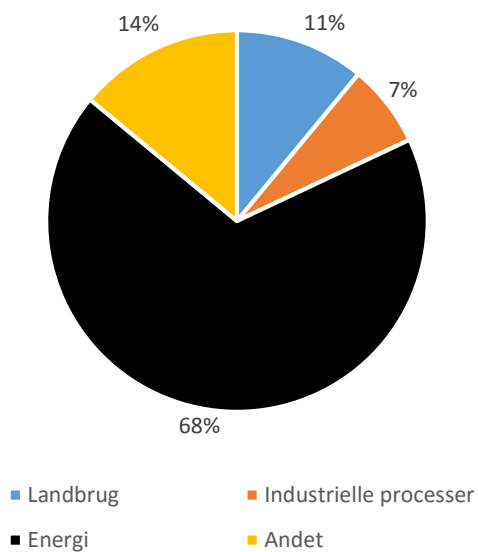
En anden problematik dette vil medføre er, at en del af jordens liv på sigt ikke vil kunne leve ved en gennemsnitlig overfladetemperatur 2 °C højere end det præ-industrielle niveau, idet dette vil medføre ændringer i økosystemerne. Økosystemer består af alle levende organismer lige fra bakterier i jorden til planter og store pattedyr, som alle er afhængige af hinanden. Flere dele af økosystemerne er temperatursensitive og kan ikke leve ved for store stigninger i den gennemsnitlige overfladetemperatur (Naturstyrelsen, N/A). Idet alle organismer i økosystemerne er indbyrdes afhængige, er det derfor helt essentielt, at der tages hensyn til de temperatursensitive organismer, således at disse bibeholdes i økosystemet, og at resten af livet i økosystemet kan overleve. Eksempelvis vil flere planter ved ændringer i de klimatiske forhold bevæge sig væk fra deres nuværende geografiske placering og mod et klima, der har de forhold, de kan leve under. Dermed forsvinder de pågældende planter som føde for de dyr, der lever af dem (WWF, N/A). Plankton, fisk og andet dyreliv i havene må også formodes at flytte sig imod de temperaturer, der er gunstige for

overlevelse og udvikling af arten. Det står således klart, at dyr og planter i større omfang vil migrere fra deres vante habitater og økosystemer (Ibid.).

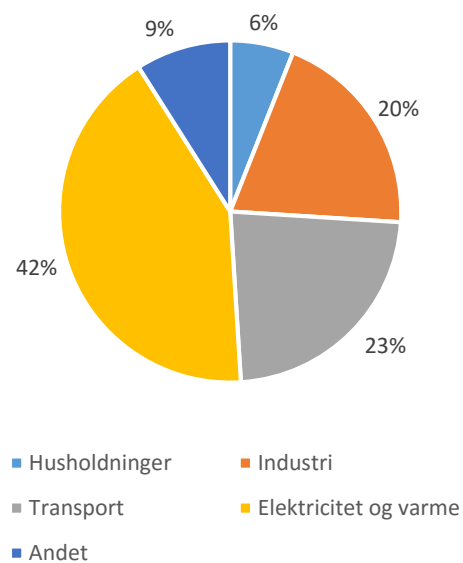
For at sikre en velstående planet for fremtidens generationer skal anvendelsen af fossile brændsler derfor erstattes af bæredygtige og vedvarende energikilder, da disse ikke vil have samme indflydelse på drivhuseffekten. Den førnævnte måde de fossile brændsler fremkommer på, er ikke en proces, der kan genskabes – i hvert fald ikke hurtigt nok til at vores nuværende generation kan udnytte ressourcerne herfra. Der vil derfor ikke være mere af denne ressource, når den nuværende generation har brugt den op. Vedvarende energikilder kommer derimod fra naturlige energikilder, der "altid" vil være til stede såsom vind, vand, sol, jordvarme og i nogle tilfælde også biomasse. Pointen er altså, at selvom der bortses fra drivhuseffektproblematikken, er vi også nødt til at ændre vores energikilder til vedvarende energi for overhovedet at kunne bibeholde en energiforsyning, da vores "nuværende" energikilder (de fossile brændsler) vil slippe op.

### 1.1 Energiforbrug

I Europa er den mest udledende sektor af drivhusgasser energisektoren, som det er vist på Figur 4. Energisektoren er fordelt på flere undersektorer, hvor elektricitet og varme, industri og transport udgør størstedelen af sektorens emissionsudledninger, som det ses af Figur 3 (IEA, 2015).

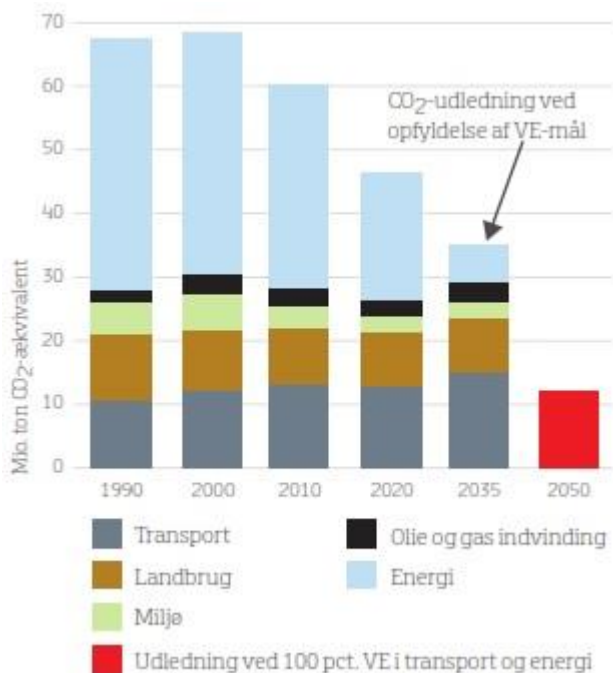


Figur 4 - Procentvise drivhusgasudledninger i Europa, 2010, fordelt på sektorer (IEA, 2015)



Figur 3 - Procentvise drivhusgasudledninger i Europa fordelt på energisektorens undersektorer i 2010 (IEA, 2015)

I Danmark er det ligeledes produktionen af elektricitet og varme (på Figur 6 kaldet energi), der er det mest emissionsudledende af drivhusgasser i energisektoren. Produktionen af el og varme har derfor, som det kan ses på Figur 6, der visualiserer CO<sub>2</sub>-udledninger i Danmark fra 1990 og målene op til 2050, modtaget hovedfokus igennem regeringens<sup>1</sup> energi- og klimaplaner (Kebmin, 2013). Transportsektoren er ansvarlig for omkring 1/3 af de totale drivhusgasemissioner i Danmark. Tallet forventes at stige over de næste årtier (Kebmin, 2013). Personbiler udgør 57 % af

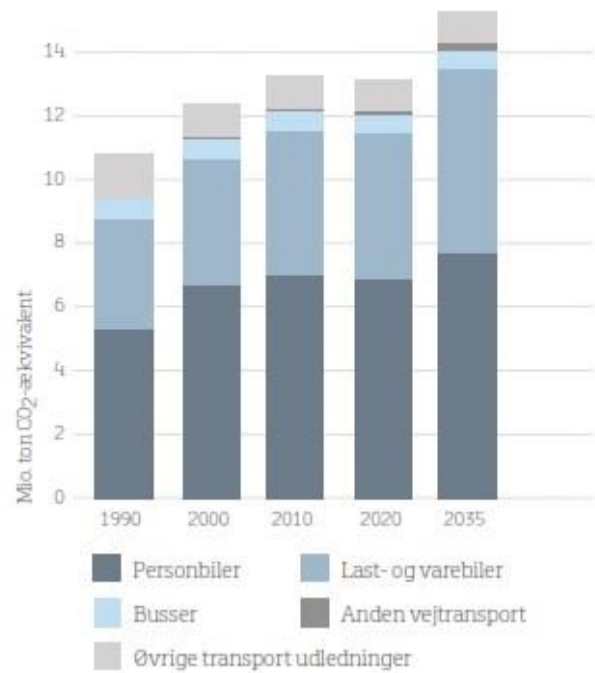


Figur 6 – Historiske og fremskrevne drivhusgasemissioner i den danske energisektor (Kebmin, 2013)

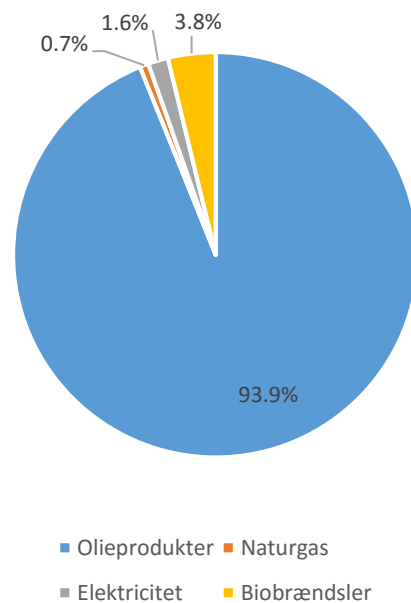
Miljø\* - indebærer drivhusgasudledninger ved spildevandsprocesser, affaldsdeponering, f-gasser industrielle processer som kalk, tegl og cementproduktion

drivhusgasemissionerne, mens tung vejtransport (lastbiler, busser, varebiler) står for 37 % drivhusgasemissionerne i Danmark. Vejtransporten tilsammen stod for 12 ud af 13 mio. ton CO<sub>2</sub>-ækvivalenter i 2010, hvilket vil sige, at omkring 1 mio. ton CO<sub>2</sub>-ækvivalenter kommer fra indenrigs fartøjs- og luftfartsudledninger, som visualiseret på Figur 5.

I 2010 var transportsektoren den største energi forbruger med 55 % i Europa (Europakommisionen, 2013B). Af dette forbrug kom 93.9 % fra udnyttelse af olie, som ses på Figur 7, hvoraf 84 % blev importeret (Ibid.). Det viser en tydelig afhængighed af fossile brændsler i transportsektoren, samt



Figur 5 – Historiske og fremskrevne drivhusgasemissioner fra den danske transportsektor (Kebmin, 2013)



Figur 7 - Energiforbrug i EU's transportsektor, 2010 (Europakommisionen, 2013B)

<sup>1</sup> Ved regeringen menes der den tidligere regering, da den nuværende regering ikke har lavet en ny og den gamle derfor stadig er gældende

afhængighed af leverancer fra ikke-europæiske lande. De fossile brændsler slipper langsomt op over det næste århundrede, og de største ressourcereserver befinder sig ikke i Europa (Hvenegaard, 2002). Som konsekvens bliver det europæiske energisystem totalt afhængigt af andre lande, hvilket kan skabe et unødvendig magtpres, samt en usikker økonomi for de europæiske lande. Disse faktorer bekræfter derfor nødvendigheden af at omstille energiforbruget til bæredygtige, lokalproducerede ressourcer.

Eftersom transportsektoren er den sektor, der forbruger mest energi, er det nødvendigt at øge indsatsen i denne sektor. Som det kunne ses på Figur 6 tyder det på at størstedelen af regeringens fokus er allokeret på el- og varmesektoren, eftersom CO<sub>2</sub>-emissionerne stiger i transportsektoren over de næste årtier og falder i elektricitet og varmeproduktionen. Man bør ikke skifte fokus væk fra el- og varmesektoren, da den til dato er den sektor, der udleder flest drivhusgasser. Det er til gengæld nødvendigt, at et simultant forløb over alle sektorerne iværksættes, så drivhusgasudledninger reduceres hurtigst muligt, samtidig med at det fossile energiforbrug og afhængighed af andre lande minimeres. Eftersom der kun er en vis mængde fossile brændsler til rådighed, opstår førnævnte problemstilling også for transportsektoren – det er nødvendigt at opfinde teknologier, der kan fungere på vedvarende energikilder (Hvenegaard, 2002).

## 1.2 Politisk baggrund for drivhusgasemissionsreduktioner i transportsektoren

### 1.2.1 Europæiske direktiver

Gennem de sidste årtier er det politisk set anerkendt, at drivhusgasudledningerne fra transportsektoren er et stigende problem. Europa-Parlamentet, -Rådet og -Kommissionen har derfor vedtaget flere direktiver og strategier for at mindske drivhusgasudledningerne herfra.

Europa-Kommission har vedtaget et mål om 80-95 % reduktion af drivhusgasemissioner i år 2050 i forhold til år 1990 (Europakommissionen, 2011). I transportsektoren er der samtidig sat et mål om 60 % reduktion af drivhusgasemissioner i år 2050 i forhold til år 1990 (Ibid.). For at opnå dette mål har Europa-Kommissionen set det nødvendigt at have et bredt mix af bæredygtige brændsler, for derved ikke at være afhængig af blot en enkelt ressource. For at få omstillet transportsektoren til mere bæredygtige brændsler har Europa-Parlamentet igennem "Direktiv 2014/94/EU om etablering af infrastruktur for alternative brændstoffer" erkendt nødvendigheden af en ensartet udvikling af infrastruktur, herunder især elektricitet, naturgas (Liquefied NaturalGas – LNG - og Compressed NaturalGas - CNG) samt brint, hvor det vil være relevant (Den Europæiske Unions Tidende, 2014). Med dette menes der for det første, at der skal skabes fokus på og støtte fra national side om en udvikling af den nødvendige infrastruktur til disse alternative drivformer. For det andet, at det er essentielt, at udviklingen foregår på samme måde – med ens teknologier, ens gaskvalitet, ens sikkerhedsspecifikationer mm. – på tværs af landegrænser, så der kan tankes på samme måde (med samme teknologi) igennem hele Europa på det Transeuropæiske netværk (TEN-T)<sup>2</sup> (Den Europæiske Unions Tidende, 2014). Dette direktiv opfordrer medlemsstaterne til at skabe rammerne for opbyggelsen af en passende infrastruktur gennem nationale politikker. Her henvises eksempelvis til tankningsmuligheder med CNG indenfor en gennemsnitlig afstand på 150 km. Det er samtidigt anerkendt, at LNG er et yderst interessant brændstof for skibe samt tunge køretøjer til langdistancekørsel. Nedenstående, Tabel 1, giver et overblik over vedtagne mål i direktivet:

Dækning		Målsætningsår
Elektricitet i byområder/forstæder og andre tætbefolkede områder	Passende mængde af offentligt tilgængelige stationer	Slut 2020
CNG i byområder/forstæder og andre tætbefolkede områder	Passende mængde af stationer	Slut 2020
CNG langs TEN-T hovednettet	Passende mængde af stationer	Slut 2025
Elektricitet ved kajsider	Havne på TEN-T hovednettet og andre havne	Slut 2025
Hydrogen i medlemsstater som vælger at udvikle det	Passende mængde af stationer	Slut 2025
LNG ved maritime havne	Havne på TEN-T hovednettet	Slut 2025
LNG ved indlandshavne	Havne på TEN-T hovednettet	Slut 2030

<sup>2</sup> TEN-T er det Trans-Europæiske Netværk for Transport som binder det nordlige- med det sydlige Europa og det østlige med det vestlige Europa. Det er et EU initiativ for at fjerne flaskehalsproblemstillinger og skabe synergi mellem de Europæiske landes transportsystemer og infrastruktur (Europakommissionen, 2013A).

LNG til tungtransport	Passende mængde af stationer langs TEN-T's hovednet	Slut 2025
-----------------------	---	-----------

Tabel 1 - Mål for infrastrukturel udvikling (Den Europæiske Unions Tidende, 2014)

Disse mål understøtter ovennævnte fokus på elektricitet, naturgas og hydrogen. Det kan ses her, at især udnyttelsen af naturgas – som er ment til senere at være biogas – skal udrulles langs det transeuropæiske vejnet samt i den maritime sektor i stor stil. Det er altså en tydelig forventning fra Europa-Kommissionen, at de europæiske færrer skal omstilles til LNG/LBG, og at der skal være udbygget infrastruktur til bunkring i alle havne inden 2030. Det er her vigtigt at pointere, at havne i denne forstand er ”store havne”, altså havne, hvor der bliver sejlet containerskibe og andet eksport og import sejlads – ikke små havne til passagerfærrer.

Ved gennemgang af flere planer og strategier er nedenstående oversigt, på Tabel 2, blevet lavet:

Aftale	Vedrører	Forpligtelse/mål
Kyoto 1. Periode (2008-2012)	Drivhusgasudledning	- 21 % fra 1990-2012 (færdigt)
EU's 2020-mål (Kyoto 2. Periode)	Drivhusgasudledning, ikke-kvotebelagt	- 20 % fra 2005 til 2020
	Andel vedvarende energi af samlet energiforbrug	30 % i 2020
	Andel vedvarende energi i transportsektoren (iblandingskrav)	10 % i 2020
EU's 2030-mål	Drivhusgasudledning	- 43 % fra 2005 – 2030 (endnu ikke fordelt på medlemslande)
	Drivhusgasudledning, ikke-kvotebelagt	- 30 % fra 2005 til 2030
	Drivhusgasudledning, transportsektoren	- 20 % fra 2008 - 2030
	Andel vedvarende energi af samlet energiforbrug	27 % i 2030
EU's 2050-mål	Drivhusgasudledning	- 80-95 % fra 1990 til 2050 (endnu ikke fordel på medlemslande)
	Drivhusgasudledning, transportsektoren	60 % fra 1990 - 2050
	Drivhusgasudledning, maritimtransport	40 % fra 2005 - 2050

Tabel 2 - Europæiskpolitiske mål og forpligtelser (Egen tabel)

Generelt set er det meget brede mål, som omhandler hele energisektoren. Der er dog også fastlagt nogle mål både for transportsektoren og for den maritime transportsektor. Der er ikke tilhørende

strategier til, hvordan disse mål skal nås, men de lægger dog en grænse for drivhusgasudledningen i 2050.

### 1.2.2 Danske omstillingsstrategier for transportsektoren

Danmark har pr. dags dato ikke udviklet nogen decideret omstillingsstrategi eller udformet nogle mål eller forpligtelser for transportsektoren, hvilket formentlig er et resultat af, at regeringen har allokeret fokus andetsteds, som tidligere påpeget. De danske strategier er derfor fortsat overordnede og sigter mod alle sektorerne med brede mål og strategier.

Nedenstående Tabel 3 giver en oversigt over de danske politikker der kan have indflydelse på drivhusgasudledning og transportsektoren:

Aftale	Vedrører	Forpligtelser/mål
Politisk aftale feb. 2014 (jf. Klimalovens bemærkninger)	Drivhusgasudledning tillagt LULUCF	-40 % fra 1990 til 2020
Klimaloven	Lavemissionssamfund i 2050	100 % uafhængighed af fossile brændsler i energisektoren (mål endnu ikke konkretiseret)
Energiaftalen 2012	Energiforbrug	-12 % fra 2006 til 2020
	Andel vedvarende energi af samlet energiforbrug	35 % i 2020
	Andel husdyrgødning benyttet til energiformål	50 % i 2020

Tabel 3 - Danskpolitiske mål og forpligtelser (Egen tabel)

Som det ses, er de fleste mål meget brede og omhandler energisektoren generelt. Husdyrgødningen skal anvendes til produktionen af biogas, hvorfor man må fortolke en forventning om et større biogasforbrug, som altså kan anvendes i transportsektoren. Denne idé stemmer også godt overens med den europæiske forventning om, at CNG og LNG (som i dette tilfælde vil blive CBG og LBG) skal udbygges til både land- og maritimtransport.

Det, der omhandler transportsektoren i størst omfang, kan findes i den danske energistrategi. Da den nye regering fra juni 2015 endnu ikke har revideret energi- og klimaplanerne, tages der udgangspunkt i den tidligere regerings planer. Den "Danske Energistrategi 2050" fra Energistyrelsen er inddelt i tre spor, som indikerer en faseinddeling af omstillingen - hvornår, hvad skal ske – som vist på Figur 8 (Regeringen, 2011).





Figur 8 – De tre Spor i Energistrategi 2050 (Regeringen, 2011)

Spor 1 vedrører initiativer, hvis formål er at have en umiddelbar effekt på det danske energisystem. Spor 2 vedrører initiativer, der skal forberede omstilling til uafhængighed af fossile brændsler, mens Spor 3 vedrører initiativer, som retter sig mod udvikling og forbedring af energiteknologierne (Ibid.)

Energistrategi 2050 beretter om et marked, der ikke er teknologisk og prismæssigt konkurrencedygtigt med de nuværende fossile brændsler. Den lægger derfor op til at omstillingen af transportsektoren afhænger af den internationale teknologiudvikling (Ibid.). Derfor søges der med spor 1 etablering af de nødvendige rammebetingelser og en infrastruktur, der kan sikre en begyndende omstilling (Ibid.). Når teknologierne er udviklet tilstrækkeligt til, at disse er konkurrencedygtige, kan en større udrulning påbegyndes. Yderligere er der af den forhenværende regering opsat fire initiativer, som præciserer indsatsen, jf. Figur 9. Heraf fremgår det tydeligt, at elbiler er en del af regeringens fokusområde.

Med henblik på at skabe større fokus på produktionen af biogas samt udnyttelsen heraf, bl.a. i transportsektoren, nævnes også biogas i strategien (Ibid.), jf. Tabel 3. Det tyder altså på, at både el og biogas er set som en del af transportsektoren i det danske energisystem.

## Regeringen vil

- **Gennemføre en teknologivurdering i 2011** og herefter hvert tredje år for at sikre de rette rammevilkår for nye teknologier, der vil kunne reducere transportsektorens drivhusgasudledning og forbrug af fossile brændsler både frem mod 2020 og 2050
- **Etablere en pulje på 25 mio. kr. til understøttelse af udrulningen af ladestander til elbiler** samt indrette en hensigtsmæssig regulering heraf med det formål at kickstarte en udvikling på området
- **Arbejde i EU** for skærpede krav til bilers energieffektivitet og CO<sub>2</sub>-udledning og fremme udbredelsen af elbiler i EU ved bl.a. at styrke harmonisering og standardisering af teknologi til elbiler
- **Arbejde i EU** for en udrulning af ladeinfrastruktur i hele EU, der er koordineret med regulering af intelligent infrastruktur.

Figur 9 - Regeringens forpligtelser i transportsektoren jf. Energistrategi 2050 (Regeringen, 2011)

I Energistrategi 2050 står det mål beskrevet, der er fastsat i 2. periode af Kyotoaftalen, som omhandler en iblanding af 10 % biobrændsler i det konventionelle brændsel i transportsektoren inden 2020 (Ibid.). Målet står beskrevet i en EU kontekst i Europaparlamentets' direktiv "om fremme af



anvendelsen af energi fra vedvarende energikilder” (Europaparlamentet, 2009). Det såkaldte VE-Direktiv definerer vedvarende energikilder til at være (Ibid.):

*”Energi fra vedvarende ikke-fossile kilder i form af: vindkraft, solenergi, aerotermisk energi, geotermisk energi, hydrotermisk energi og havenergi, vandkraft, biomasse, lossepladsgas, gas fra spildevandsanlæg og biogas”*

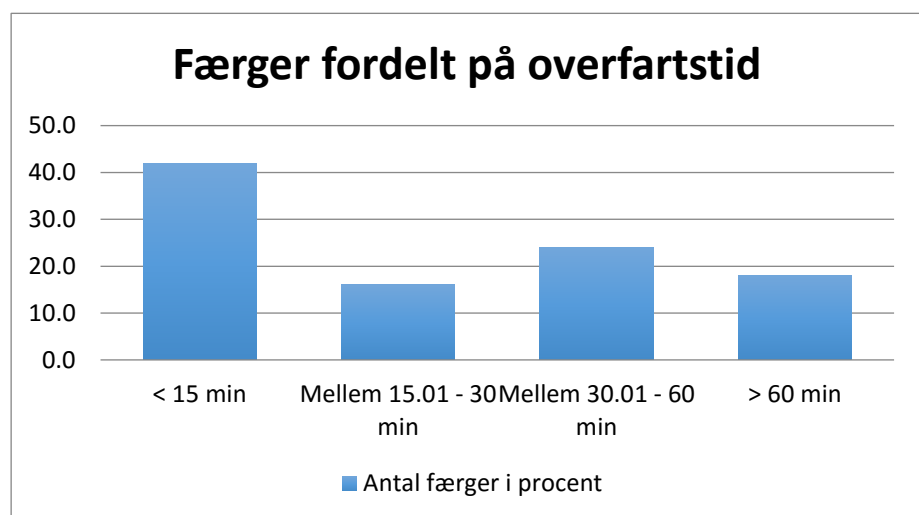
Dette betyder, at disse energikilder eller drivmidler produceret af disse energikilder, skal erstatte 10 % af det ellers anvendte fossile brændsel i transportsektoren.

### 1.3 Færgepotentialer

Den maritime del er i særdeleshed en interessant sektor, der hører under transportsektoren. Som det tydeligt ses af ovenstående, er transportsektoren negligeret i danske energi- og klimastrategier, hvor regeringen sætter sin lid til EU og en international teknologiudvikling af bæredygtige alternativer. Yderligere ses den maritime sektor ikke nævnt med ét eneste ord.

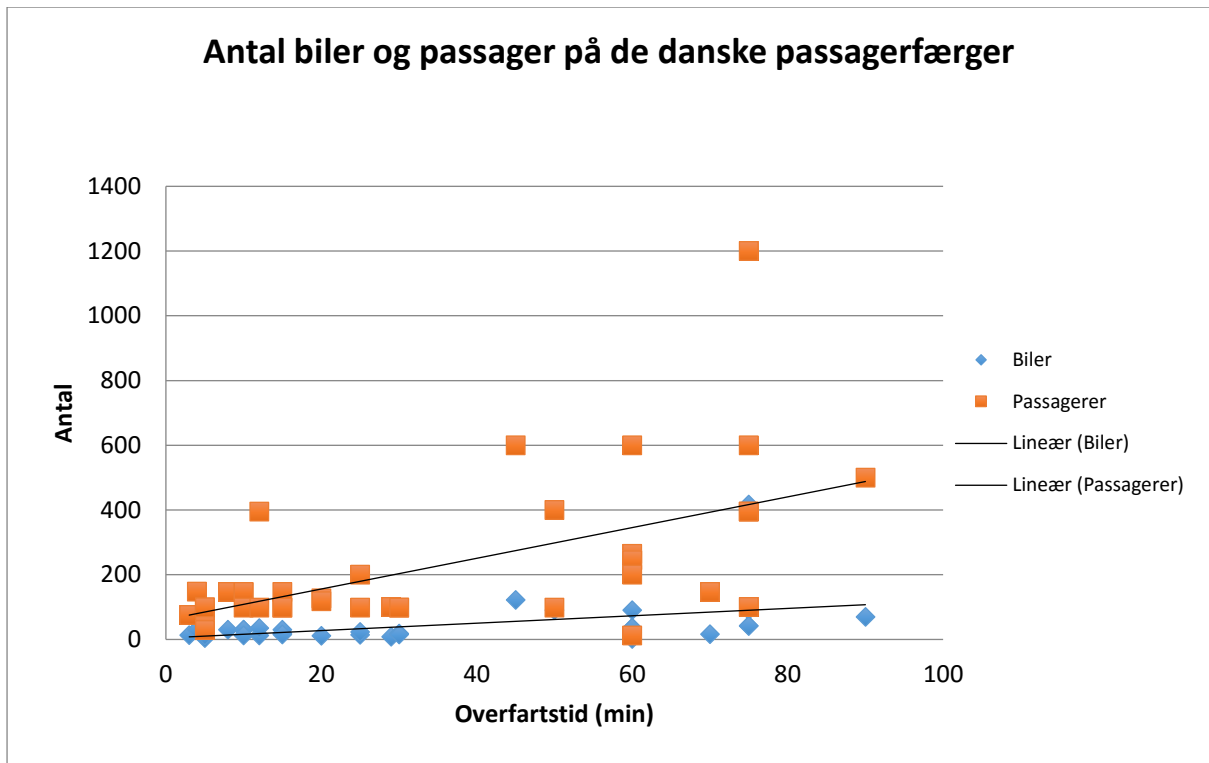
Danmark er et land bestående af halvøen Jylland og 1.419 øer, hvoraf 72 af disse øer er beboede. De største af øerne er forbundet af broer, men størstedelen af øerne nås ved hjælp af færgedrift, hvorfor øboer er afhængige af færgeforbindelser. Til disse øer er der pr. 1 januar 2016 indregistreret 106 passagerskibe og færger i alt i det danske skibsregister, heraf 76 med hjemsted i Danmark (Statistikbanken, 2016). Disse færger servicere i og fra de danske havne, fordelt på 53 ruter (hvoraf kun 50 er videre brugt på grund af mangel på data på de sidste 3) - som alle kan ses i Bilag 1, Ark 1 (Færgedata). Udover at være en nødvendighed for beboernes forsyningssikkerhed, er færgeforbindelserne også en livsnerve for erhvervsdrivende på øen og de af øens beboere, der arbejder på fastlandet.

Som det kan ses på Figur 10, er 42 % af de danske passagerfærgers overfartstid på 15 minutter eller under og næsten 60% er 30 minutter eller under, hvilket svarer til 29 af de 53 ruter. Langt størstedelen er altså korte ruter.



Disse færgeruters antal af passagerer og biler i forhold til overfartstid kan ses på nedenstående Figur 11.

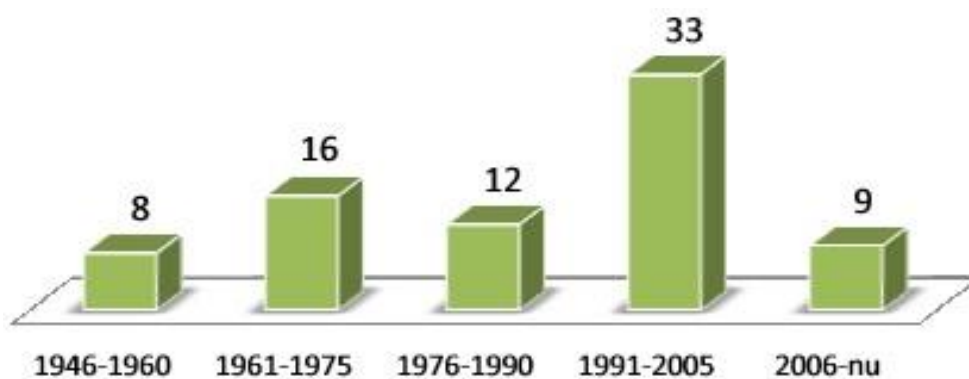
Figur 10 - Procentvis antal af færger fordelt på overfartstid (Egen graf og egne tal)



Figur 11 - Antal biler og passagerer på de danske passagerfærgeruter baseret på tid (Egen graf og egne tal)

Det kan ses på den lineære tendens, at kapaciteten er generelt stigende, men samtidig kan det ses, at punkterne er meget svingende. Det giver altså et billede af, at selvom overfartstiden bliver længere, er der ikke nødvendigvis en større bil- og passagerkapacitet på færgerne. Eksempelvis Esbjerg – Fanø færgeren, der tager 12 minutter, kan have 400 passagerer med, og Svendborg – Drejø færgeren, der tager 75 minutter, kan kun have 100 passagerer med. Dette er en vigtig pointe, fordi det gør det sværere at generalisere, da hver færge har individuelle rutedata, og man er nødt til at gå ind og analysere hver enkelt færge for at få et 100 % realistisk billede af virkeligheden. Det kan især ses på færgerne over 40 minutters overfartstid, der fluktuerer meget i modsætning til færgerne under 40 minutters overfartstid.

Andre har lavet en analyse i 2012 over færger fordelt på byggeår som vist på følgende Figur 12:



Figur 12 - Antal passagerfærger fordelt på byggeår i 2012 (Krag & Trolle, 2012)

Dette har selvfølgelig ændret sig en smule siden år 2012, men er taget med, da det giver et retvisende billede af, at omkring halvdelen af den danske passagerfærgeflåde er mere end 25 år gammel og omkring en tredjedel er over 40 år gammel. Den gennemsnitlige levealder på passagerfærger er mellem 30 og 50 år, hvilket vil sige, at næsten halvdelen af de danske passagerfærger må forventes udskiftet i nærmeste fremtid.

Færgetransporten er altså ikke et sted, hvor det er hensigtsmæssigt at spare eller nedskære, da folk er afhængige af dets eksistens, og det er derfor en nødvendighed at tænke færgetransporten ind i et bæredygtigt system. Samtidig ses det, at den danske passagerfærgeflåde er af ældre dato, og flere færger skal derfor snart udskiftes. Med et mål om at være uafhængige af fossile brændsler i 2050 og en gennemsnitlig levetidsalder for passagerfærger på 30-50 år står det klart, at næste gang samtlige færger skal udskiftes, skal det være til et bæredygtigt alternativ for at efterkomme dette mål. Som minimum skal retrofitting tænkes ind i designet, så færgen let kan omstilles til et andet drivmiddel. I denne forbindelse vil det skulle besluttes, hvilket alternativ der så skal omstilles til. I en sådan beslutningsproces vil der ofte komme mange aspekter i spil, og man risikerer, at der vil være forskellige interessenter, der vil prøve at manipulere omstillingen i sin retning.

### 1.3.1 Internationale Maritime Organisation

De juridiske restriktioner for sikkerhed og miljøkonsekvenser for international sejlads er styret af den Internationale Maritime Organisation (IMO), autoriseret af de Forenede Nationer (FN). IMO har dermed ansvar for at skabe de politiske rammer, der kan sikre en bæredygtig udførelse af fartøjers aktiviteter (International Maritime Organization A, N/A).

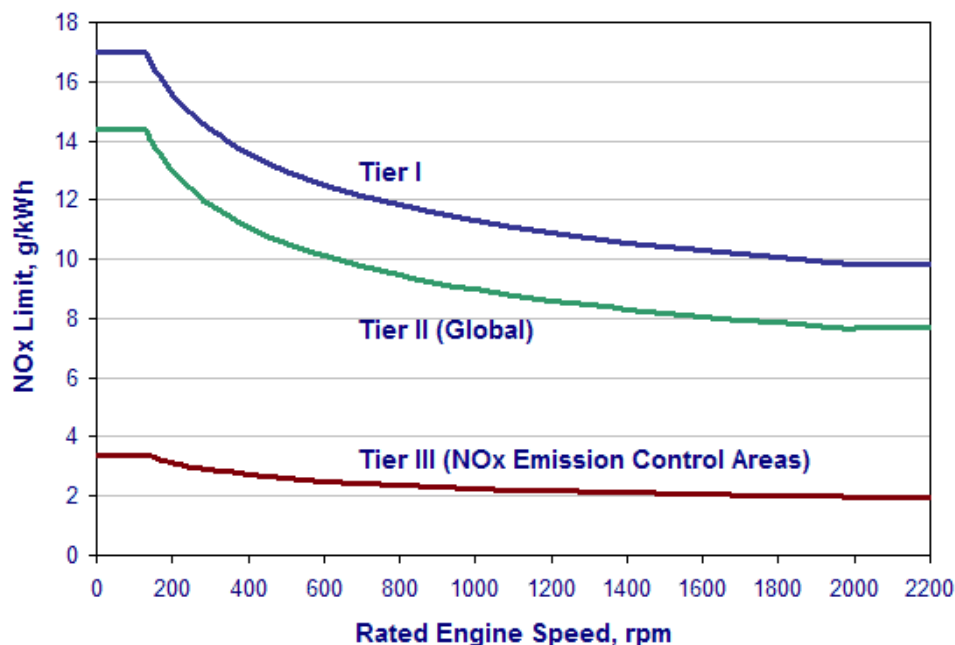
Disse restriktioner er manifesteret i "*the international Convention of the Prevention of Pollution from Ships*" – også kaldet MARPOL 73/78. I MARPOL's Bilag VI beskrives de internationale krav for udledninger til luft fra fartøjer – mere specifikt, regler for udledninger af nitrogenoxider (NOx) og svovloxider (SOx). Under MARPOL er der dannet fire såkaldte "Emission Control Areas" (ECA): Østersøområdet, Nordsøområdet, Nordamerikaområdet og det Caribiske havområde. Disse områder er set som mere sårbare og har derfor mere stringente krav. Indenfor disse områder er kravene for svovlindholdet i brændslet fra 1. januar 2015 blevet reguleret til 0,1 % m/m – som det kan ses på Figur 13 (International Maritime Organization B, N/A).

Outside an ECA established to limit SOx and particulate matter emissions	Inside an ECA established to limit SOx and particulate matter emissions
4.50% m/m prior to 1 January 2012	1.50% m/m prior to 1 July 2010
3.50% m/m on and after 1 January 2012	1.00% m/m on and after 1 July 2010
0.50% m/m on and after 1 January 2020*	0.10% m/m on and after 1 January 2015

Figur 13 - MARPOL VI krav indenfor og udenfor ECA områder (International Maritime Organization B, N/A)

Da Danmarks farvande er indenfor disse ECA områder, betyder det, at alle danske fartøjer skal opfylde disse krav. Der er to muligheder for at opfylde kravene og dermed leve op til, at der maksimalt bliver udledt 0,1 % SO<sub>x</sub> fra forbrændingen af brændslet i færgemotoren. Enten skal det drivmiddel, der bunkes på færgen, have et svovlindhold under det anførte, ellers skal der installeres det, der kaldes *scrubbere*<sup>3</sup>, som renser udstødningssgasen før det bliver udledt til luften for på den måde at opfylde MARPOL kravene (Ibid.).

Som nævnt har MARPOL's bilag VI også et krav om NO<sub>x</sub> udledninger. Her er der 1. januar 2016 lavet det der kaldes TIER III krav, som igen er speciel inden for ECA områderne (Pedersen M. F., N/A). Denne regulering er bygget på størrelsen og effekten af fartøjets motor i og med reguleringen bliver skærpet, jo flere omdrejninger motoren yder, som det også kan ses på Figur 14 (Ibid.).



Figur 14 - MARPOL's TIER III regulering som graf (Pedersen M. F., N/A)

Mere præcist lyder TIER III regulering på, at hvis motoren yder under 130 omdrejninger pr. minut, må fartøjet max udlede 3,4 g/kWh. Hvis motoren yder mellem 131 og 1999 omdrejninger pr. minut, bruges udregningen som vist på Tabel 4, og hvis motoren yder mere end 2000 omdrejninger pr. minut, må fartøjet udlede 1,96 g/kWh (Ibid.).

TIER III	Nox grænse, g/kwh		
	n < 130	131 < n < 1999	2000 > n
	3,4	$2 * n^{-0,2}$	1,96

Tabel 4 - MARPOL's TIER III regulering som tal (Pedersen M. F., N/A)

<sup>3</sup> En scrubber er et rensefilter, som monteres i færgens skorsten. Dette rensefilter kan rense røggassen fra brændselsforbrændingen, så dets SO<sub>x</sub> udledning bliver reduceret. Dette betyder at man kan sejle med brændselsolier med op til 3,5 % svovl og stadig udlede under ECA-grænsen på 0,1 % SO<sub>x</sub>. (OSK-ShipTech A/S, 2014)

Den måde, der bliver udledt NOx på er, når forbrændingen af et brændsels temperatur kommer over 500 °C. Der bliver produceret mere NOx, jo højere temperaturen er, hvorfor det egentlig ikke er selve brændslets skyld, om der kommer meget NOx eller ej. NOx emissionskravene er derfor nogle krav, som motorproducenterne skal sørge for, at motoren lever op til. Motorerne certificeres derfor til TIER II og TIER III standarder alt efter evne. Eksempelvis er diesel mest effektivt ved høje omdrejninger, hvorfor man oftest yder høje omdrejninger ved dieselbrug. Til gengæld dannes der meget høje temperaturer ved dieselforbrænding i disse høje omdrejninger. Derfor udledes der meget NOx, når der eksempelvis sejles med fuld belastning. Den samme motor kan dog også godt sejle til TIER III standarder, hvis blot man ikke yder den fulde belastning med diesel som brændsel. LBG og CBG laver derimod ikke de samme høje temperaturer under høj belastning, hvorfor der ikke dannes NOx, der overskrider TIER III kravene. Det er altså en blanding af motoreffekt og den temperatur, som den varme brændslet udgiver ved høj belastning, der udgør TIER III certificering.

## 2 Problemformulering

Der er et stort behov for at omstille vores energisektor til at være afhængig af bæredygtige ressourcer. Der er derfor internationalt sat et mål om en omstilling med en foreløbig slutdato i år 2050. Heriblandt er etableret et overordnet 2050 mål om en reduktion af drivhusgasudledninger på 80-95 %, og Danmark har skærpet sin ambition om et energisystem, der er 100 % uafhængigt af fossile brændsler.

Der er kun få politiske mål, der vedrører transportsektoren i Danmark. Herunder 10 % iblanding af vedvarende energikilder i det konventionelle brændsel inden 2020, en reduktion af transportsektorens drivhusgasudledninger med 60 % i 2050, samt en reduktion på 40 % i den maritime transportsektor i 2050. I de danske energi- og klimaplanstrategier ses et tydeligt fokus på elbiler, ligesom der sættes lid til en international innovationsudvikling med henblik på bæredygtige transportløsninger. Udover elektricitet er der både fra europæisk og dansk side anerkendt brint og biogas som de mest interessante bæredygtige løsninger for transportsektoren. Der er ingen deciderede langsigtede løsninger og strategier for, hvordan målene skal nås, og hvordan omstillingen i transportsektoren skal foregå. Hertil kommer, at der heller ikke foreligger nationale strategier for udvikling og omstilling af de danske passagerfærger. IMO har skærpet ECA-kravene til, at der kun må udledes 0,1 % SO<sub>x</sub> af det anvendte brændsel ved færgedrift. Samtidig er den nye TIER III regulering trådt i kraft fra 1. januar 2016, der har skærpet NO<sub>x</sub> udledningen signifikant indenfor ECA områderne.

Eftersom der er et nødvendigt behov for færgefarten til de beboede danske øer, og da den danske passagerfærgeflådes gennemsnitsalder er på 26 år, er der mange, der skal investere i en ny færge inden længe. Med et omstillingsmål om at være 100 % uafhængige af fossile brændsler i det danske energisystem og nye skærpede emissionskrav, giver det mening at undersøge, hvilke muligheder der reelt set er for omstilling af disse færger, samt hvordan beslutningsprocessen omkring omstillingen af de danske passagerfærger foregår. Med forskellige alternativer at vælge imellem, er der selvsagt også forskellige aktørers interesser at varetage. Derfor er det interessant at se, om der bliver manipuleret på nogen måder, altså om der bliver udøvet nogen form for magt i beslutningsprocessen for at få omstillingen til at gå i en bestemt retning.

Ovenstående problemstillinger har derfor udmundet sig i en problemformulering der lyder således:

*” Hvilken effekt har magtpåvirkning i beslutningsprocessen vedrørende omstillingen af de danske passagerfærger, og hvilket drivmiddel bør færgerne fra et energimæssigt perspektiv omstilles til, så de opfylder ECA-kravene og hjælper til det danskpolitiske mål om 100 % uafhængighed af fossile brændsler?”*

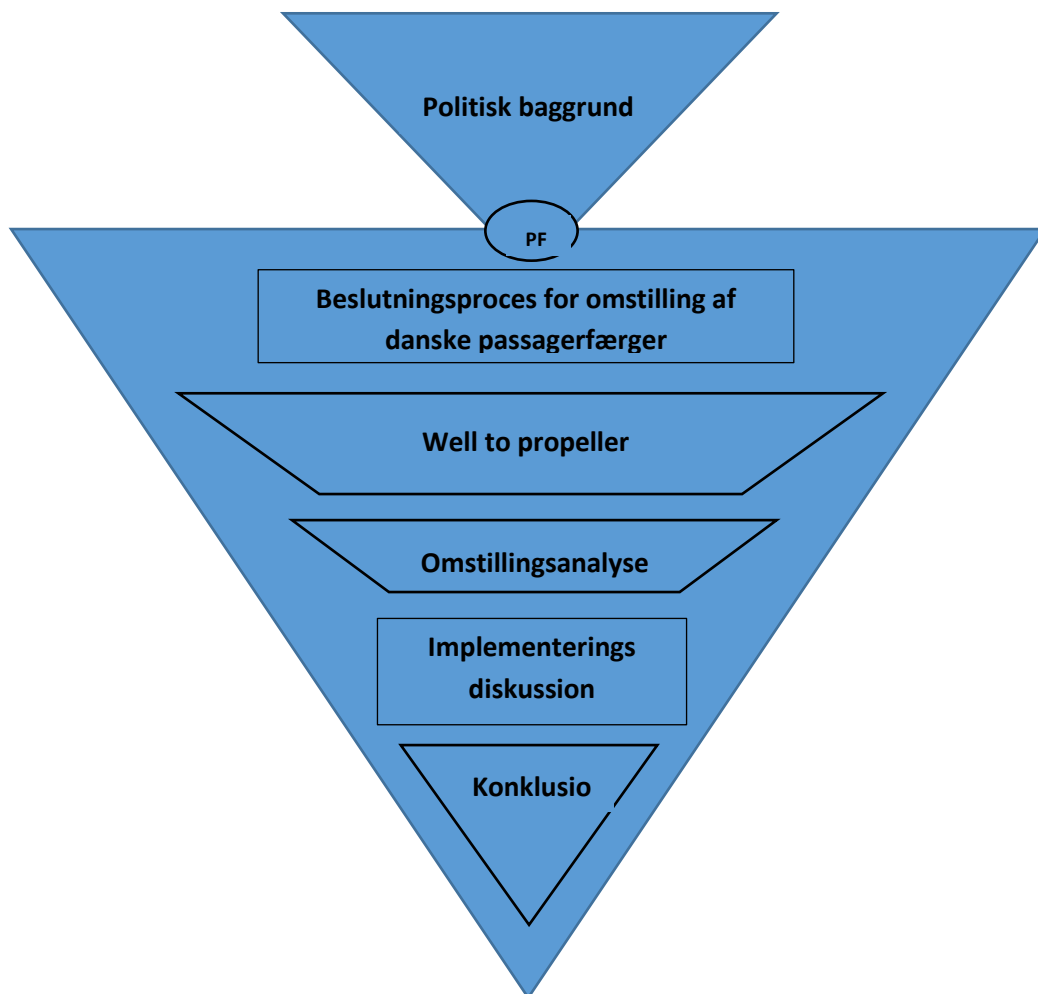
For at besvare dette spørgsmål bedst muligt, vil tre underspørgsmål med dertilhørende analyser supplere med henblik på en fyldestgørende besvarelse. Følgende underspørgsmål søges derfor besvaret:

- Hvilken magtpåvirkning finder sted i omstillingsprocessen af de danske færger på nuværende tidspunkt, og hvordan udnyttes magten til at have indflydelse på valget af drivmiddel?
- Hvad er energitabene i drivmidlernes livscyklus?

- Hvordan fungerer disse drivmidler teknisk set i færgedrift, og hvornår egner hvert drivmiddel sig bedst?

## 2.1 Struktur for afhandling

For at besvare problemformuleringen med tilhørende underspørgsmål, vil flere analyser komme i spil, her udmøntet i nedenstående Figur 15, med et overblik over strukturen for afhandlingen.



Figur 15 - Struktur for afhandlingen (Egen figur)

Først vil der altså blive udført en analyse af beslutningsprocessen og den magtpåvirkning, der foregår ved beslutningen for at identificere, om der er et reelt valg, når der vælges omstillingsteknologi. Herefter vil der blive udført en well to propeller analyse, som er illustreret ved en bredere tilgang til energiperspektivet for valget af omstillingsteknologi. Med den baggrund er der incitament for at gå lidt dybere ind i en omstillingsanalyse, hvor der argumenteres for, om det reelt set er muligt at omstille de danske passagerfærger til de analyserede drivmidler. Det vil altså give nogle resultater, der vil lede op til en diskussion om en praktiskudførelse af de fundne resultater. Afslutningsvis vil jeg fremkomme med en konklusion og en besvarelse af problemformuleringen.

### 3 Teoretisk baggrund og metode

Det er fundet hensigtsmæssigt at benytte Henrik Lunds Choice Awareness, som metodisk og teoretisk ramme for projektet, da der er store ligheder mellem hans observationer vedrørende forestillingen om at have et valg, og omstillingen til vedvarende energikilder inden for passagerfærger i Danmark. Samtidig findes principperne bag Henrik Lunds socio-tekniske, strategiske overvejelser, som omhandler omstillingen af en radikal teknologiændring og implementering heraf i samfundet, at være af væsentlig relevans for besvarelsen af projektets problemstilling.

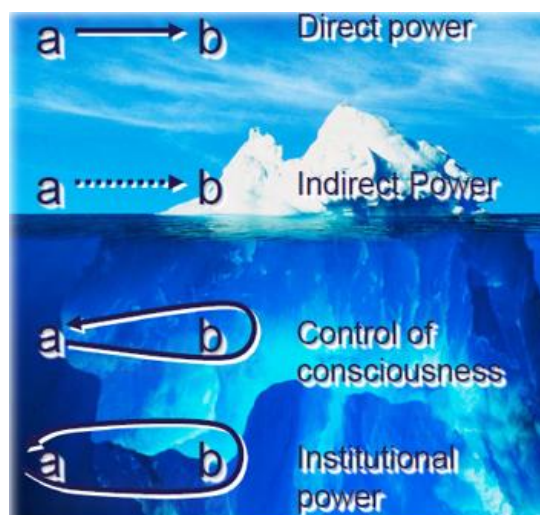
#### 3.1 Teorianvendelse

Teorien pointerer vigtigheden i forståelsen af, at man som beslutningstager har et valg, og at man har et ansvar for at undersøge sine valg og dermed ikke vedtage "det første og det bedste" (Lund, 2008). Det første og det bedste kan i sidste ende godt vise sig at være det bedste valg for den givne case, men det er nødvendigt for en optimal bæredygtig omstilling, at man kan dokumentere sagligt gennem grundige undersøgelser af forskellige tilgængelige alternativer for derved at identificere den bedste løsning.

Den måde, hvorpå teorien anvendes i rapporten, er ved at analysere magtpåvirkningen i flere omstillingsprocesser vedrørende omstillingen af nuværende danske passagerfærger. Dette er for at identificere, hvorvidt beslutningstagerne undersøger forskellige alternativer for deres case, eller om de bliver givet dette *false choice*<sup>4</sup>, som teorien beskriver, og vælger den første og den bedste teknologi.

Et false choice fremkommer ved en magtpåvirkning, hvor beslutningstageren er blevet manipuleret eller selv manipulerer til, at den ene løsning, der bliver fremstillet, er den eneste rigtige. I en beslutningsproces forekommer der forskellige former for magt. I Christensen og Jensens bog *Kontrol i det stille – om magt og deltagelse* beskrives der fire former for magt (Jensen & Christensen, 2005):

- Direkte magt
- Indirekte magt
- Kontrol over bevidsthed
- Institutionel magt



Figur 16 - de fire magt dimensioner (Egen figur)

Som det er illustreret på Figur 16, er magtkonceptet som et isbjerg; det er kun toppen, der kan ses – i dette tilfælde den direkte magt. Resten foregår bag kulissen, hvor den ikke er synlig, og den påvirkede aktør oftest ikke er klar over, at denne bliver manipuleret. (Ibid.).

De første tre magtbegreber er magt, der bliver anvendt i forbindelse med en beslutningsproces i enkelttilfælde, hvor den sidste er en omkringliggende generel magt, der fungerer på adskillige tilfælde (Ibid.).

<sup>4</sup> Et falsk valg beskriver Henrik Lund som situationen, hvor beslutningstageren kun opstiller én mulighed om en ny implementering. Dette giver fornemmelsen for en beslutningstager, at man har valgt denne mulighed, men det er i grunden et falsk valg, da man ikke havde andre muligheder, altså denne mulighed eller ingenting.



Den direkte magt forekommer i beslutningsarenaen, hvor nogle aktører har en magt til at kunne overrumple andre, eksempelvis i regeringen, hvor de store partier ofte kan overrumple de små partier for derved at varetage egne interesse (Ibid.).

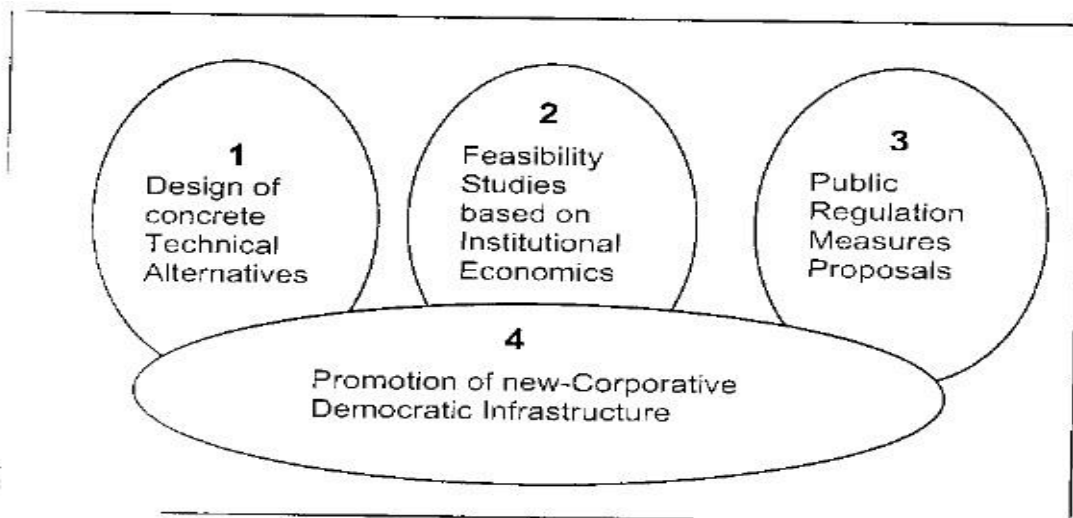
Den indirekte magt arbejder uden for selve beslutningsarenaen, hvor aktører udfører forskellige handlinger og praksisser for at få indflydelse på beslutningstagernes agenda til at fokusere på egne interesser og samtidig negligere andre modstridende interesser (Ibid.).

Den bevidsthedskontrollerende magt handler om vidensdeling – eller mangel på samme – hvor aktører forsøger at styre andre aktørers bevidsthed, både ved at berette om egen diskurs, men også ved at undlade at fortælle om andre diskurser (Ibid.). Et godt værktøj her er at sprede sin egen diskurs og dermed egen interesse, igennem medier og på den måde påvirke andres holdning og diskurs, så andre også får denne diskurs, selvom det måske kun tilgodeser den magtudøvenes interesser.

Den institutionelle magt er rutiner og traditioner, der ligger dybt i samfundets normer – altså konkrete måder vi gør ting på, hvortil der ikke stilles spørgsmålstejn eller næres tvivl. Samtidig er det også love, regler og reguleringer, som er en magt, der har skabt nogle rammer, vi er nødt til at agere indenfor (Ibid.).

Choice awareness og de fire magtdimensioner er derfor med til at give en teoretisk baggrund for den første analyse af beslutningsprocessen for omstillingen af de danske passagerfærger til mere bæredygtige energikilder. De vil således være behjælpelige ved besvarelsen af første del af problemformulering, *"Hvilken effekt har magtpåvirkning i beslutningsprocessen vedrørende omstillingen af de danske passagerfærger?"*. Med projektet belyses dermed også, om der bliver undersøgt flere alternative drivformer, og om der bliver udøvet nogle former for magt i beslutningsprocessen.

Henrik Lund's tanker omkring implementering af en radikal teknologiændring er beskrevet i hans *Choice Awareness Strategy*, og er en socio-teknisk diskurs om, hvordan man via promovring af demokratisk infrastruktur kan rodfæste innovative løsninger og dermed udbrede et bæredygtigt alternativ. Det foregår igennem fire steps, som visualiseret på Figur 17. Step 1 er design af konkrete tekniske alternativer. Dette indebærer, at det identificeres, hvilke reelle alternativer, der skal tages in mente, når man som beslutningstager f.eks. skal omstille en færge – altså hvilke alternativer skal



Figur 17 - Henrik Lunds Choice awareness Strategi (Lund, 2008)

videreanalyseres. Herefter skal der udføres *feasibility* studier af de fundne alternativer for at identificere, hvordan forskellige teknologier vil have samfundsøkonomisk indflydelse, samt hvad der ud fra et virksomhedsperspektiv vil være mest profitabelt at omstille til. Step 3 involverer en politisk omstrukturering af rammevilkår for det givne alternativ, så det motiverer til en større udnyttelse. For at implementering skal ske, er det nødvendigt løbende at promovere og udbrede viden om denne nye teknologiændring, så der sker et fælles socialt løft af implementeringen i samfundet både via offentlige og private institutioner.

Intentionen med nærværende fremstilling er en dybdegående analyse af Step 1, hvor der vil blive indbragt en well to wheel analyse – eller i dette tilfælde well to propeller, WTP – for at identificere den mest energivenlige ressource. WTP'en er delt op i mange små dele, der tilsammen skaber en fuld energikæde. Herefter vil der laves en analyse af, hvordan forskellige drivmidler egner sig til de danske passagerfærgeruter. Herved findes den optimale teknologi til en given rute ud fra et energimæssigt perspektiv. Ved at sammenholde resultaterne heraf med den første analyse, vil det være muligt at vurdere, hvornår en given teknologi bør anvendes i forhold til energikædens totale virkningsgrad.

Til sidst i rapporten vil jeg diskutere de to analyser og resultaterne heraf, for følgelig at se kritisk på det givne resultat, men også for at ræsonnere over realismen i en praktisk implementering.

Meningen med, at det kun er step 1, der fokuseres på i denne afhandling, er derfor, at der gennemanalyseres konkrete alternativer til beslutningstagere for omstillingen af de danske passagerfærger. Disse analyser vil derfor udelukkende være fra et energimæssigt perspektiv og ikke beskæftige sig med sociale eller økonomiske anliggender vedrørende alternativerne (for at referere til de tre aspekter i en bæredygtig udvikling), da dette er step 2 og derfor op til beslutningstageren efterfølgende.

### 3.2 Metode

Omstilling af færger i Danmark er et nyere koncept, og der findes ikke mange eksempler på disse omstillinger endnu. Dette skal ses i sammenhæng med de nye skærpede ECA-krav, som nævnt i introduktionen, der blev revideret pr. 1. januar 2015, hvilket derfor kun har pålagt sig få færger. Fordi der netop er tale om et nyere koncept – at omstille passagerfærger - er det også nye teknologier, der forskes i, hvorfor vidensfundamentet også er i nichestørrelse på nuværende tidspunkt. Det betyder, at processen angående empiriindsamling er lettere kompliceret. Det har derfor været essentielt at kontakte de relevante personer/cases, der eksisterer til interviews, samtaler, baggrundsviden og etablering af netværk, hvorfor projektet har krævet højere grad af feltarbejde fremfor normal internetsøgning til indsamling af empiri. For at tilegne sig viden vedrørende omstilling af passagerfærger og alternative brændsler er det nødvendigt at arbejde eksplorativt med en kvalitativ abduktiv tilgang. Med dette menes, at når der ikke tilgås en nøjagtig viden og teori indenfor emnet, er man nødt til gennem kvalitative metoder at tilegne sig mere information og dermed en større forståelse. Med andre ord gætter man sig til, hvor man skal hen ad for at få samtalen i en hensigtsmæssig retning, men man har ikke en saglig baggrund for sit gæt, hvorfor gættet lige så godt kan verificeres som det kan falsificeres. Gennem den nye forståelse og viden er det muligt at tolke sig til en skarpere forståelse af realiteten. Ud fra dette er der blevet dannet hypoteser omkring, ”hvordan verden fungerer”, hvorfor det har været muligt at konkretisere emnet til mere specifikke spørgsmål. Den første eksplorative periode af processen har derfor bestået udelukkende af ustrukturerede interviews, løse samtaler med interessenter og litterærempiriindsamling. Disse samtaler har været med følgende:

Overfartsledere – Egholmfærgen, Venøfærgen, Agersøfærgen, Orøfærgen, Sejerøfærgen, Drejøfærgen og Nekseløfærgen

Færgeansvarlig - Aalborg Kommune

Teknisk Chef - Samsø Kommune

Energiplanlægger – Samsø Kommune

Maskinmester – Samsøfærgen

Direktør – Læsø Line

Projektleder - Ærø Green Ferry Vision

Driftschef – Danske Færger A/S

Energiplanlægger – HMN Naturgas A/S

Teknisk medarbejder – Dansk Gasteknisk Center

Business Developer – Kosan Crisplant A/S

Teknisk Projekt Leder – Kosan Crisplant A/S

Projektleder – Skive Kommune

Business Developer – Aalborg Universitet

Færgeansvarlig – Transportministeriet

Direktør – Bilfærgernes Rederiforening

Head of New Technologies, Passenger and Cargo vessels, Marine and Ports – ABB

Sekretær – Foreningen af Danske Biogasanlæg

Direktør – Karstensens Skibsværft

Energi Planlægger – PlanEnergi

Lektor – Marstal Navigationsskole

De to hypoteser, der er blevet opstillet og arbejdet videre med, er følgende:

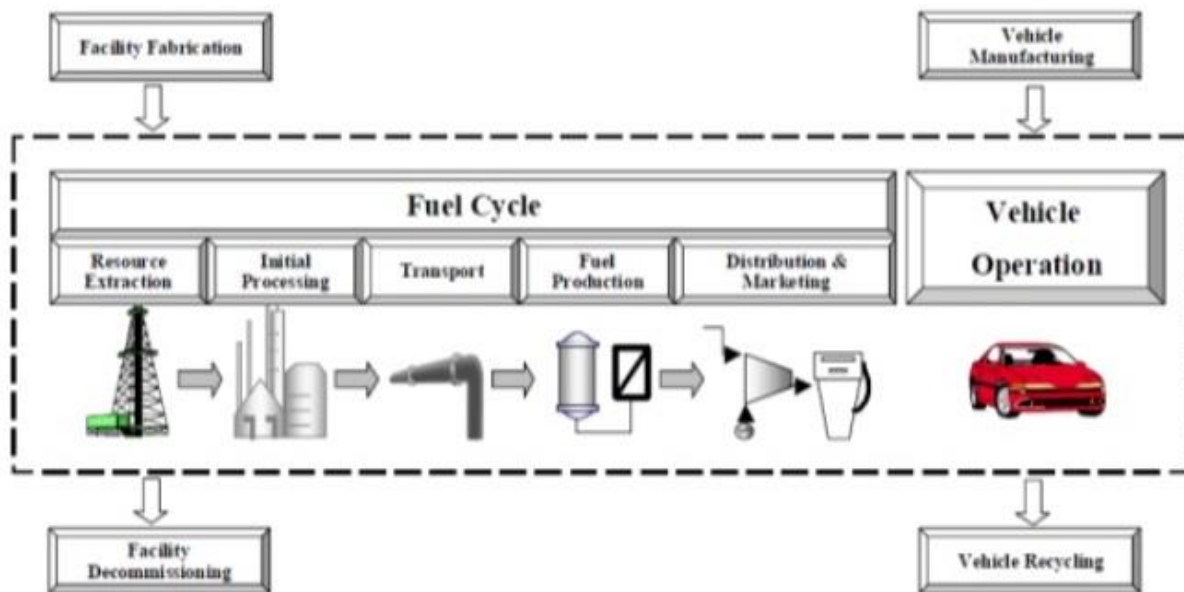
- Færgeruteejere drager beslutninger uden at undersøge det bedste alternativ for dem
- Nogle drivmidler er bedre til nogle ruter end andre drivmidler set fra et energimæssigt perspektiv

28

Med disse hypoteser har det været muligt at lave semi-strukturerede interviews, derfor er der stadig tale om en kvalitativ tilgang, men mere specificerede spørgsmål. For at besvare og undersøge de opstillede hypoteser har det været nødvendigt at skifte til en induktiv tilgang. Dan Nielsen, maskinmester på Samsøfærgen, fortæller, at man ikke kan generalisere energiforbrug på færger, da hver eneste færge har sin egen sejlroute med adskillige faktorer, der har indflydelse herpå – hvilket også vil belyses i den senere analyse (Nielsen D. , 2016). Derfor er det forsøgt – dog på et meget overordnet plan – at analysere så mange af ruterne som muligt. For at kunne lave dette studie har det været nødvendigt at vælge de vigtigste faktorer for passagerfærger og generalisere ud fra det. Med dette menes der, at færgerne hver for sig er meget energiteknisk isolerede, og der bliver ikke inkluderet nogle former for andre perspektiver end et energimæssigt perspektiv i analysen. Resultatet vil derfor blive diskuteret med resultatkritiske øjne for at præsentere en forståelse af, at dette ikke er et endegyldigt resultat klar til implementering, men blot et realistisk resultat fra et energimæssigt perspektiv. Selvom det derfor ikke bliver den nøjagtige realitet, vurderes resultatet stadig at give et realistisk billede af konkrete alternativer til omstillingen af de danske passagerfærger, som derfor stadig vil kun anvendes i en planlægningsmæssig kontekst for beslutningstagere af færgeruterne.

### 3.2.1 Well to propeller analyse

En WTP analyse er en gren af livscyklusanalyserne, LCA, der arbejder med drivhusgasudledninger i forbindelse med hele livscyklussen for selve brændslet (Lattanzio, 2014). I denne afhandling bliver der fokuseret på energisystemet som et bæredygtigt system, som det forventes at være i fremtiden, hvilket ikke gør det interessant på samme måde at finde drivhusgasudledningerne fra livscyklussen. WTP'en vil derfor blive udført med samme princip, men vil, i stedet for drivhusgasudledninger, have stor fokus på energikæden og hvor stort et tab, der finder sted i hver proces, for til sidst at finde ud af, hvad den reelle totale virkningsgrad fra et energimæssigt perspektiv er for drivmidlet. Navnet *well to propeller*, eller *brønd til propel*, som vil være den danske oversættelse, symboliserer processen fra eksempelvis ekstrahering af ressourcen fra jorden til udnyttelse af drivmidlet i fartøjet. WTP indebærer altså energitab fra ekstrahering, transport, produktion, lagring, transmission, distribution, påfyldning, anvendt motor, og hvad der ellers er i de forskellige drivmidlers kæder, til og med effekt på propellen på færgen (Ibid.).



Figur 18 - Visualiseringseksempel af WTW proces (Usman, 2013)

Figur 18 illustrerer et eksempel på en WTW analyse og analysens grænse, i form af den stiplede linje, til en "normal" LCA. WTP'eren er altså det samme, blot med en færgesom billede i enden. Som det vises, er det kun selve brændslet og ikke den tilhørende infrastruktur til brændslet, der inkluderes. LCA'en tager alle steps med, uden for den stiplede ramme på figuren, hvilket indebærer fabrikation af den infrastruktur, der skal bruges i hvert step i processen, samt afskaffelse/genanvendelse af den forældede infrastruktur. LCA'en i sin fulde henseende er dermed mere fyldestgørende for den totale drivhusgasudledning og energireduktion igennem kæden, der forefindes, når der vælges en given teknologi. Men formålet med denne rapport er at identificere energitabet for brændslet og på den måde finde det mest energieffektive drivmiddel. LCA'en er derfor set unødvendig tidskrævende for formålet for denne rapport, hvorfor WTP-analysen er valgt. Alt efter formålet for ens WTP analyse kan man analysere de steps, der er relevant for analysen. For denne rapport er det relevant at finde energitabet for hele processen, hvorfor en fuld WTP analyse er valgt.

### 3.2.2 Omstillingsanalyse

Som nævnt vil der efter WTP analysen blive lavet det, jeg har kaldt en omstillingsanalyse. Omstillingsanalysen er udført i Excel, Bilag 1, hvor der først og fremmest er fundet alle de danske passagerfærgeruter, hvorefter overfartstider og distancer er fundet på henholdsvis færgernes hjemmesider og Google Maps. Det samme gælder både dødvægt, Gross Tonnage, bil- og passagerkapacitet, tankstørrelse og nuværende motorkapacitet på færgerne, som enten er fundet igennem færgernes hjemmesider, eller ved at ringe til overfartslederen på ruterne og indsamle den nødvendige data. Beregningsmetoden for alle resultaterne vil blive beskrevet under det givne kapitel, 7.2 Beregningsmetode.

## 4 Proces for omstilling af de danske passagerfærger

Det er interessant at studere, hvordan beslutningsprocessen for omstillingen af de danske passagerfærger foregår. Det kan have stor indflydelse på, hvad, hvornår og hvorfor det givne valg bliver taget. Som en teoretisk baggrund for denne analyse er anvendt Christensen & Jensens fire magtformer for at identificere, hvilken magtpåvirkning der finder sted i beslutningsprocessen. Samtidig skal analysen klargøre den ene af hypoteserne, at færgeruteejere ikke undersøger det bedste alternativ for dem, men derimod træffer beslutning ud fra et false choice. De fire magtkoncepter fungerer derfor som en saglig baggrund for, om beslutningsprocessen er blevet påvirket af nogle former for magt, som kan have endt i et false choice for beslutningstagerne.

For at opnå den bedste besvarelse af en sådan analyse, er der blevet taget fat i flere af de få cases, der er i Danmark, heriblandt Samsø Kommune, Ærø Kommune, Læsø Kommune og Danske Færger A/S.

Den måde, omstilling af færger fungerer på i Danmark, er, at ejeren af færgeruten bestemmer, hvilken færge der skal sejle ruten. Det betyder altså, at ejeren af færgeruten skal finde ud af, om det skal være én stor færge, der kan trække al kapaciteten på ruten, eller om det skal være flere små og hvilket brændstof, der skal være drivmiddel for færgen. Mange af færgeruterne er kommunalt ejede, da det ofte ikke er en økonomisk god investering at drive en færge. Det er derfor lettere for en kommune, der ikke altid besidder samme ansvar for at bringe profit på investeringen, men kan nøjes med, at budgettet går i nul, at drive en færgerute. Det er altså kun ruterne med kommerciel interesse, der er drevet af private aktører (Krag & Trolle, 2012). Dette har resulteret i, at alle småfærgeruter i Danmark er kommunalt eller statsligt ejede, og kun ruter med større passagerrate er ejet af private rederier.

### 4.1 Danske Færger A/S

Danske Færger A/S, også bare kaldet Færgen, er det eneste færgeselskab med national færgedrift, der ikke er kommunalt ejet, da de er 50 % statsejet og 50 % privatejet. Rederiet administrerer Bornholmerfærgerne, Fanøfærgen, Alsfærgen, Langelandsfærgen og Samsøfærgen, samt færgernes tilhørende ruter. Strategien for Færgen bygger på at byde på de ruter, der kommer i udbud, hvilket oftest er statens ruter og kun meget sjældent kommunale ruter, fortæller Færgens rederiinspektør Bent B. Hansen. Færgens vision er derfor simpel: opfyld kundens kriterier (udbuddets krav), myndighedernes krav samt en rentabel business case (Hansen, 2016). De er altså ikke proaktive og kræver en højere standard, end hvad det givne udbud kræver (Ibid.). Oftest lyder et udbud på en rentabel ydelse fremfor et miljømæssig krav – altså hvor færgen skal kunne fragte en vis mængde biler eller personer over ruten et bestemt antal gange om dagen til en fornuftig pris. Beslutningsprocessen foregår i virksomhedens bestyrelse, og det er helt op til dem at bestemme drivmiddel og andre miljømæssige faktorer så længe der lever op til lovgivningen. Størstedelen af deres færger sejler derfor på diesel, da det på nuværende tidspunkt er billigst ifølge Hansen (Ibid.). Selvfølgelig skal de opfylde EU's ECA-krav, hvorfor nogle få af deres færger sejler med såkaldte scrubber. Der er intet nationalt politisk pres overhovedet på beslutningstagerne for at fokusere på en miljømæssig omstilling (Ibid.).

Færgen forsker i andre drivmidler heriblandt brint, el, rapsolie og LNG, men det er ikke for at gøre en miljømæssig forskel, men for at forske i billigere alternativer – dog også fordi, man på sigt forventer, der kommer strengere krav for så vidt angår drivmiddel. Hansen fortæller derfor samtidig, at det udelukkende er derfor, at man ikke sejler på andet end diesel på nuværende tidspunkt, fordi det ikke

er rentabelt at benytte andre drivmidler. Dette skyldes især afgifter på de forskellige drivmidler, der hæmmer deres business case (Ibid.). Fanøfærgen afprøvede på et tidspunkt rapsolie, hvilket fungerede godt, men afgiften medførte, at det prismæssigt ikke kunne følge med. Der har også været projekter med LNG, da der på et tidspunkt blev forudsagt en positiv prisudvikling for naturgassen, men den manglende infrastruktur hertil begrænsede en videre udnyttelse heraf. Hansen mener, CNG er for farligt og har derfor ikke været diskuteret som en mulighed. Endelig ser Færgen ikke elfærger som værende modnet nok til at kunne blive udnyttet på deres ruter. Dette skyldes en flaskehals i opladetiden af batterierne. Et konkurrenceparameter for en færge er at være så kort tid i havn som muligt, hvilket betyder kort tid at lade batterier op i (Ibid.).

## 4.2 Samsø

Samsøfærgens omstillingsproces er et unikt eksempel på, hvordan en kommune kan omstille sig til vedvarende energi, ifølge projektleder Knud Tybirk fra Samsø Kommune. Samsø besluttede i år 1997, at de ville være en vedvarende energi ø med en vision om at være vedvarende indenfor alle energiens sektorer i 2030. På nuværende tidspunkt mangler de kun transportsektoren, hvor det første initiativ var en investering i en LNG færge i år 2015 på Samsøs Hou-Sælvig rute, med intentioner om LBG drift inden 2018 (Tybirk, 2016). Denne rute er den, der transporterer flest passagerer frem og tilbage til Samsø og er derfor oplagt at starte med (Stensgaard, 2016). Danske Færger A/S driver Samsø-Kalundborg ruten, som er statsejet, og de drev førhen også Hou-Sælvig ruten. Søren Stensgaard, Teknisk Chef i Samsø Kommune, fortæller, at baggrunden for skiftet til LNG var, at Danske Færgers kontrakt på Hou-Sælvig ruten ophørte, og ruten derfor skulle i udbud. Her gav Samsø Kommune selv et kontrolbud<sup>5</sup> på ruten, da de mente, at de kunne gøre det billigere end det ene bud, der ellers var givet. Da Samsø stod uden nogen færge, havde de mulighed for at investere i en færge drevet på et bæredygtigt brændsel, som samtidig kunne opfylde udbudskravene. Udbuddet lød på: *"princip fartplan, sejltid på maksimalt 60 minutter, havnetid på maksimalt 15 minutter, antal afgang i tidsrummet 08:00 til 20:00, tidspunkter for første og sidste afgang, antal daglige og årlige afgang og en opdeling på en lavsæson og en højsæson"* (Samsø Kommune, N/A). Samsø Kommune besad ikke selv en ekspertviden indenfor færgeteknologier og var derfor afhængig af ekstern rådgivning fra en ingeniørvirksomhed, OSK ShipTech A/S, til at finde et konkurrencedygtigt alternativ. Selve udbuddet lægger ikke op til at det skal være et miljøvenligt drivmiddel, men grundet Samsøs vision, skulle kontrolbuddet inkludere et bæredygtigt incitament med henblik på drivmidlet, der samtidig kunne opfylde ECA-kravene. I denne proces undersøgte de muligheden for elfærger, men fandt på daværende tidspunkt ikke batterier tilstrækkeligt effektive til denne rute. OSK ShipTech A/S anbefalede LBG på grund af bedre driftsmæssige perspektiver.

I en kommune er det kommunalbestyrelsen, der træffer beslutningen med anbefalinger fra deres rådgiver. Der har ingen reguleringer eller hjælp været fra statens side til at træffe beslutningen. Søren Stensgaard fortæller, at investeringen i LNG færgen ikke var sket uden Samsøs vision og en velvilje fra nogle folk i kommunalbestyrelsen, der er yderst beslutningsdygtige. Visionen har givet en sikkerhed overfor politikere, og embedsmænd og beslutningstagerne tøver ikke, selvom der kan være en usikkerhed i at være *firstmover*. Det vigtigste for en ø-kommune er at reducere fraflytning og skabe jobs. Dette var derfor også en del af baggrunden for valget af LBG drift – et lokalt biogasanlæg skaber

<sup>5</sup> Et kontrolbud er, når kommuner eller regioner beregner omkostninger ved selv at udføre opgaven og sammenligner med de bud, der ellers kommer ind på opgaven – deraf selv "byder" på sin egen ordre.



13 lokale arbejdspladser, hvilket skaber en øget omsætning på 21 mio. kr. på Samsø og er samtidig med til at efterkomme deres vision.

Samsø har altså haft en agenda om samfundsmæssig bæredygtighed med henblik på at skabe arbejdspladser, samt en færge der opfylder deres vision. Dan Nielsen, maskinmester på Samsøfærgen, fortæller, at han ærgrer sig over, at der ikke er tænkt mere på driften af færgen, da en batteripakke, i hans optik, havde været et optimalt supplement til LNG driften (Nielsen D. , 2016). Men dette blev ikke overvejet i kontrolbuddet.

### 4.3 Ærø

Omstillingen af Ærø færgerne startede som en ide bragt af øboere til kommunen, da de kunne fornemme tendensen af en fraflytning fra øen, fortæller projektleder på omstillingsprojektet E-FerryProject, Thomas Bay Estrup. Denne gruppe bragte ideen om en grønnere færgedrift for at kunne brande sig bedre – ligesom Samsø gør det. Her foreslog gruppen at omstille til eldrift, da de så spændende perspektiver i det. Ærø Kommune havde i deres Kommuneplan en plan om at udskifte de nuværende færger ud med nye og var med på ideen. Først bad de derfor det lokale ingeniørfirma, Jens Kristensen, om at finde den bedste løsning for potentielt nye færger, hvor han fandt ud af at elfærger var det bedste valg. Det skal siges, at selve Jens Kristensen også var med i den lille gruppe, der foreslog kommunen en grønnere færgefart i første omgang. Så igangsatte de et forprojekt for at se, om der var en reel business case i ideen og om elfærger overhovedet var muligt. Her bød Region Syddanmark ind med et tilskud på 412.000 kr. ud af de 705.000 kr., forprojektet var budgetteret til. Forprojektet skulle omhandle letvægtsfærger drevet af batterier (Green Ferry Vision, 2013). Projektet viste en god feasibility case, hvorfor der blev ansøgt om EU-midler gennem Horizon2020 fonden. Denne ansøgning blev godkendt, hvorfor projektet "E-FerryProject" kom på benene med støtte på 120 mio. kr. (Estrup, 2016). Henrik Mikkelsen fra Marstal Navigationsskole, som også var en del af forprojektet, fortæller, at omstillingen aldrig var sket uden disse tilskud (Mikkelsen, 2016). Dette EU projekt har i sommeren 2016 været i gang i et år, og konstruktionen af færgerne er lige påbegyndt; de forventes at være sejlklare sommeren 2017 (Ibid.). Det er altså igen Kommunalbestyrelsen, der har taget beslutningen og ansøgt om midler til projektet.

### 4.4 Læsø

Læsø Kommune er det sidste eksempel, da de kun er i den helt spæde opstartsfasen, hvor det diskuteres, om de skal have en ny færge, da kapaciteten på deres nuværende to færges ikke er stor nok. Levetiden på de nuværende færges er ikke udtjent, men der er nødt til at ske noget nu og her med kapaciteten, for at Læsø kan efterkomme den høje, og dyrebare efterspørgsel, der er på ruten lige nu, fortæller rederiinspektør Lars Rieksen. Samtidig kan deres nuværende færges dermed også blive en del af deres business case, da de kan sælges videre. Konsekvensen af implementeringen af en ny færge er, at MARPOL (SO<sub>x</sub> og NO<sub>x</sub>) kravene skal opfyldes. Her regner de med at nærmere studere Samsøfærgen og viderebygge på deres projekt. I den forbindelse vil de kigge på kombinationen af LNG-udnyttelse samtidig med at få en batteripakke installeret som supplement. Hovedprioriteten på Læsø er at sikre velfærd på øen, hvilket betyder, at fraflytningen skal reduceres, og der skal skabes lokal omsætning. Dette mener Lars Rieksen, kan opfyldes med en større kapacitet på bildækket. De



nuværende to færger kan ikke tage nok biler med over; han vil derfor hellere have én stor færge med færre afgangene men med meget større kapacitet (Rieksen, 2016). Som han siger: ”så kan alle komme med de få populære afgangene, der er på dagen” (Ibid.).

## 4.5 Magt og false choice i beslutningsprocessen for omstillingen af danske passagerfærger

Baggrunden for at udøve magt er, at få ens egne interesser tilgodeset. En hypotese i forbindelse med denne beslutningsprocesanalyse er, at der sjældent sidder en i disse bestyrelser eller beslutningsarenaer, der har en personlig interesse i at få el, biogas, methanol eller et andet bæredygtigt drivmiddel bragt på agendaen. En udvidet analyse af de forskellige beslutningsarenaer ville dog kunne vise, hvilke personer der sidder i beslutningsprocessen, og hvad hver deres interesse er. Der kunne f.eks. sidde en landmand med i bestyrelsen, der gerne ville have brugt sine afgrøder til produktion af biogas eller methanol, eller der kunne sidde en med aktier i Vestas, der gerne så, at elektrificeringen af transportsektoren blev mere udbredt, så han fik større valuta for sin investering. En sådan analyse er dog for dybdegående og sværttilgængelig at få viden om, hvorfor omfanget af denne analyse er på et mere overordnet niveau.

### 4.5.1 Institutionel magt

Den institutionelle magt er beskrevet i sektion 1.2 Politisk baggrund for drivhusgasemissionsreduktioner i transportsektoren og 1.3 Færgepotentiale, og det er altså de rammer, der er lagt for omstillingen af de danske passagerfærger. Den institutionelle magt er dermed speciel, da den er den eneste form for magt, der påtvinges alle, hvorimod de andre er på en *enkeltcase-basis*.

Som det er beskrevet i sektion 1.2 Politisk baggrund for drivhusgasemissionsreduktioner i transportsektoren og 1.3 Færgepotentiale, har Danmark ikke nogen decideret strategi for en bæredygtig omstilling af de danske passagerfærger. Færgedrift er ikke nævnt i den Danske Energistrategi eller i den Danske Klimaplan – udover, at transportsektoren generelt skal være 100 % uafhængige af fossile brændsler i 2050 og 10 % iblanding af vedvarende energikilder i 2020. Søfartsstyrelsen har igennem ”Vækstplan Det Blå Danmark”, opstillet nogle visioner for udviklingen af det blå Danmark, hvor miljø og grønne løsninger står som en væsentlig del af strategien. Men det har ikke kastet nye reguleringer eller krav til processer af sig i et dansk omstillingsregi, hvorfor det bliver overladt til den givne ejer af færgen at omstille driften til en mere bæredygtig energikilde. Umiddelbart virker det som om, at der ikke bliver presset på fra regeringens side for at skabe denne omstilling.

Den institutionelle magt giver rationalet og sætter nogle rammer for at drive en færgerute. Færgeloven beordrer som tidligere nævnt kommuner til at tage ansvar for færgeruterne til de beboede øer i Danmark, enten ved selv at drive den eller få et privat rederi til det igennem udbud. Dette lægger altså en ramme for, at man som ø-beboer ikke er overladt til sig selv i forhold til at kunne transportere sig frem og tilbage fra fastlandet – det er kommunens ansvar at sørge for, at denne serviceydelse bliver varetaget. I få tilfælde tilfalder dette ansvar staten, som ikke vil stå for færgedriften selv, hvorfor de lægger deres ruter i udbud. De ruter er alle vundet af selskabet Danske Færger A/S.

IMO's MARPOL reguleringer gør det nødvendigt at leve op til de nævnte regler vedrørende drivhusgasudledninger – herunder ECA-regler og NOx-regler. Der er ingen krav eller vejledninger for, hvordan disse (regler) (KRAV??) skal opnås, og de kan i princippet sagtens opnås (af) (VED?) fossile brændsler. IMO's TIER III reguleringer er altså en institutionel magt, der pålægger sig en vis standard for emissionsudledningerne og giver et skub til beslutningstageren om at vælge et mere bæredygtigt alternativ, men holder samtidig reguleringen så åben, at den kan opnås med fossile brændsler.

Den institutionelle magt er forholdsvis bred, da det er hele det politiske system, der kan have en indflydelse på valget. Når IMO's TIER III krav lægger et loft for emissionsudledninger, er der stadig mange alternativer, der kan opfylde disse krav. Hertil kommer statens påvirkning igennem mere specifikke reguleringer, herunder afgifter og tilskud. Afgifter og tilskud er to meget væsentlige politiske værktøjer til at fremme og hæmme udviklingen af forskellige ressourcer og teknologier. Flere af beslutningstagerne har nævnt, at de ikke ser en tilstrækkelig forretningsmodel i de bæredygtige teknologier på grund af for høje afgifter på eksempelvis biogas og raps (jf. Mineralolieafgiftsloven). Uden at gå yderligere i dybden med afgifter og tilskud til de forskellige teknologier, må det blot konkluderes, at det har en stor indflydelse på valget i beslutningsprocessen vedrørende omstillingen af danske passagerfærger.

Samtidig mener flere af beslutningstagerne ikke, at der har været nogen støtte eller hjælp til at træffe beslutningen, og at det kun sker ved at have en vision med de rigtige ildsjæle indblandet i beslutningsprocessen eller ved, at der er et kommercielt grundlag (Stensgaard, 2016), (Rieksen, 2016), (Hansen, 2016). Dette er Jakob Ullegård, direktør i Danmarks Rederiforening, uenig i og beretter, at der bliver gjort meget for udviklingen af færgetransporten på det politiske niveau (Ullegård, 2016). Her påpeger han især ændringen af elafgiften for skibsfart i 2014 fra 88,3 øre/kWh til 0,4 øre/kWh for krydstogt- og andre erhvervsskibe på over 400 tons. Denne afgiftsreducering er på nuværende tidspunkt foreslået i et nyt lovforslag fra Skatteministeren, også at reducere for skibsfart under 400 tons, så den gælder for alle skibe og færger i Danmark. Der er nu fremsat lovforslag om, at afgiftsreduktionen også skal gælde for skibsfart under 400 tons, så reduktionen bliver ens for alle skibe og færger i Danmark. Dette vil være et politisk push til færgedrift på batterier og dermed være et incitament fra regeringen om en grønnere færgedrift (Ibid.). Problemet i den forbindelse er hovedsageligt, at det først er fra efteråret 2016, hvis forslaget vedtages, hvilket dermed ikke har hjulpet beslutningstagere indtil nu. Derudover er der flere forskellige puljer man kan søge om midler fra til en omstilling til grønnere færgefart, fortæller Ullegård, heriblandt TNT-midler.

Stensgaard fra Samsø fortæller, at deres vedvarende energi ø vision har haft stor indflydelse på færgevalget om omstilling til LNG. Visionen ligger som en institutionel ramme for kommunens beslutninger og er derfor en magt, der gør, at deres beslutning skal tages indenfor disse rammer. Samtidig skaber det også en sikkerhed for investeringer at have et fast mål, da der ikke pludselig kan ændres ideologi, så ens investering er værdiløs. Dette, fortæller Stensgaard, har været et helt essentielt parameter for Samsøs beslutninger. Rieksen fortæller også, at Læsø ikke har en sådan vision, hvilket gør det lidt sværere og lidt mere usikkert at trumfe bæredygtige tiltag igennem.

#### 4.5.2 Direkte magt

Den direkte magt er svær at opdage, når man ikke har siddet med til selve beslutningen. Den direkte magt er som nævnt, når man får en anden til at gøre noget, personen ellers ikke ville have gjort. Det vil i dette tilfælde sige, at hvis beslutningstageren normalt ville vælge den traditionelle løsning med

en Marine Gas Oil, MGO (det meste anvendte brændstof i færger), drevet færge eller lignende, vil en eller andet bestemme, at det skal de ikke. Da der oftest er flere beslutningstagere i form af en bestyrelse i disse situationer, vil det ofte være en ildsjæl eller en autoritær skikkelse i en bestyrelse, der trumfer sin holdning igennem.

I Ærø's omstillingsproces kunne det ses, at en gruppe af lokale udøvede direkte magt ved at sige til kommunalbestyrelsen, at Ærø burde få en bæredygtig færge og følge Samsø's gode eksempel. Dette er dog kun en "let version" af den direkte magt, da bestyrelsen kunne lade være at gøre noget, selvom beboerne opfordrede til det. Men det er stadig en direkte påvirkning fra en gruppe mod en anden, og magtpåvirkningen lægger et pres på beslutningstageren. Grunden til, at befolkningen ofte kan udøve en direkte magt, er, at politikerne er folkevalgte og derfor har interesse i at efterkomme borgernes ønsker og behov. Det vil se godt ud fra politisk side "at følge befolkningens ønske" – samtidig med at det ikke ser godt ud ikke at følge den. Men med sådan en befordring er det lettere, hvis der samtidig sidder en ildsjæl i beslutningsprocessen med interesse i ideen, at få trumfet det igennem. Længere inde i processen ses det, at Syddansk Universitet udøver en direkte magtpåvirkning i form af økonomisk støtte til projektet. Beslutningen bliver altså udelukkende styret af økonomien, da valget ender på elfærger, fordi Syddansk Universitet vil give et stort bidrag, hvis færgerne omstilles til eldrift.

I Læsø's beslutningsproces tyder det på, at der har været en direkte magtudøvelse, da færgerne ikke er forældede endnu. Det er altså ikke "en omstilling man normalt ville have gjort", da man normalt ville vente, til færgens levetid var opbrugt og herefter købe en ny. Men da denne analyse kun omhandler beslutningsprocessen omkring valget af brændsel, har dette ikke direkte påvirkning på denne proces. Med mindre, det er fordi, de nye TIER III krav er vedtaget, og bæredygtige drivningsalternativer til færgefart er begyndt at komme frem i medier, at de faktorer har været en motivation for beslutningen. Altså, at der er en ildsjæl i beslutningsprocessen, der har set sit snit til at få et bæredygtigt alternativ frem på agendaen på netop dette tidspunkt og derfor har trumfet igennem, at færgerne skal omstilles nu. Det virker dog ikke til, at det bæredygtige incitament har så stor betydning for beslutningstagerne. Som Rieksen fortæller, er det på grund af et behov for en større kapacitet, da dette vil kunne bringe større velfærd og vækst på øen, at færgerne skal skiftes.

Til gengæld kan det ses på beslutningsprocesser på hhv. Læsø, Ærø og Samsø, at der er en klar direkte magtpåvirkning, da kommunalbestyrelsen i begge tilfælde har erkendt, at de ikke ved nok om færgeteknologier og derfor har brug for rådgivning. De har altså udnyttet en rådgivende ingeniørvirksomhed (OSK ShipTech A/S og Jens Kristensen) til at rådgive dem i, hvilket teknologi de bør vælge. Her har den rådgivende ingeniør sagt, hvad de skal gøre – altså en direkte magt omkring valget af færgeteknologi.

Derudover kan staten være den direkte magtudøver i og med, de kan påtvinge visse standarder igennem i et udbud. Staten besidder her en direkte magt, da de kan forme udbuddet efter, hvad de gerne vil opnå – altså derigennem varetage egne (landets) interesser. Alligevel beretter Hansen, at Danske Færger A/S udelukkende har MGO-drevne færger, dog nogle få med scrubbers, men ingen alternative drivmidler (Hansen, 2016). Det kan tolkes, at staten ikke udnytter sin direkte magt til at få tænkt miljørigtige løsninger ind i beslutningsprocessen, men lader det være helt op til beslutningstageren. Dette er besynderligt, da det netop er staten, der i sidste ende skal stå til ansvar for at opnå de bæredygtige mål, der er pålagt dem af EU politik.

Det samme gælder selvfølgelig kommunen, men det er oftest, at en kommune selv driver ruten grundet det økonomisk lave incitament. Men det vil her være muligt for ordregiveren at kræve en vis

form for færgeteknologi, eller i hvert fald en vis miljømæssig standard, der kun kan opnås ved bæredygtige færgeteknologier.

#### 4.5.3 Indirekte magt

Den indirekte magt er når A får B til at gøre noget uden decideret at udstede ordre til B – som det ville være i den direkte. Den indirekte magtpåvirkning arbejder lige udenfor beslutningsarenaen og forsøger at styre, hvilke alternativer der ankommer til beslutningsprocessen og dermed kommer på agendaen.

I Danske Færger A/S kunne det tyde på en påvirkning fra den givne kommunes side, da de forsøger at have indflydelse på, hvor mange afgang, billetpriser mm., færgen skal kunne give. Bornholms borgmester Winni Grosbøll udtaler, at Færgen altid har været en vigtig samarbejdspartner i forbindelse med de store begivenheder, der er på øen (Eilsøe, 2016). Bornholms Kommune har i denne forbindelse udtalt, at det er vigtigt med flere og hurtigere færgeafgange, hvilket nu også er kommet. Dette har igen ikke direkte noget at gøre med valg af brændsel, men rent teknisk set, kan det være, at kun nogle teknologier kan nå deres "krav" om flere og hurtige færgeafgange. Eksempelvis kan det være, at man kun kan opnå en hurtigere overfart ved at sejle på MGO.

Som nævnt har staten også den ene af Samsø ruterne, hvor Danske Færger A/S driver ruten. Samsøs vision og krav til deres transportsektor kan derfor have en indirekte effekt på valget af brændstof for Danske Færger A/S's færge. Denne magtpåvirkning er ikke kommet til syne endnu, men pointen her er den indirekte magtpåvirkning, der eventuelt i fremtiden kan have indflydelse på en beslutning i Danske Færger A/S bestyrelse eller for statens næste udbud på ruten.

Uden at det er blevet sagt direkte, kan det tyde på, at *branding*, grøn CSR-profil og at være et forbillede, er en indirekte magt, som samfundet skaber. Det er altså ikke noget, nogen har bedt nogen om at gøre, men der bliver set positivt på, at man gør noget for samfundet så vel som for miljøet. Samsø for eksempel beslutter sig for at blive vedvarende energi ø for at være et forbillede for andre. De ser altså en værdi i at gøre noget ekstra – selvom der ikke er nogen, der har bedt dem om at gøre det – for derved at kunne brande sig og skabe vækst på øen. Dette samfundsbehov er altså en indirekte magtpåvirkning på beslutningsprocessen på Samsø, da de ikke har gjort det direkte for egne interesser, men fordi samfundet kræver det. Hvis samfundet ikke havde haft dette syn på nogen, der gør noget for miljøet, havde beslutningen muligvis været anderledes. Det er formodentlig også derfor, at Ærø's befolkning pludselig ser værdi i at gøre noget ekstra for samfundet og miljøet – uden nogen har bedt dem om det – fordi man forventer en positiv reaktion fra samfundets side ved at tage denne beslutning. En anden indirekte magtpåvirkning i Ærø's proces er EU-midlerne, der blev søgt om. Selvom EU ikke direkte stiller krav om, at Ærø skal omstille til eldrift, påvirker de dem indirekte ved at fremlægge en mulighed for støtte til eldrift. Dette påvirker yderligere Ærø's beslutning til eldrift ved, at de vælger at ansøge om denne støtte.

Rieksen fortalte, at han sidder med i en lille brancheforening for danske passagerfærger, hvor Samsø og andre også sidder med. Her har Samsø stor indflydelse og beretter om deres gode historie. Dette er en klar indirekte magtpåvirkning for at få andre til også at følge deres eksempel. Rieksen fortalte, at grunden til, at Læsø kigger på LBG er fordi, at Samsø har gjort det. Læsø vil derfor samtidig supplere med en batteripakke, fordi Samsø savner det i deres færgeløsning. Samsø udøver altså også en indirekte magt ved at fortælle, hvad de har gjort, hvorfor det automatisk ryger på agendaen for andre

beslutningstagere. Det samme kunne ses på Ærø, hvor befolkningen anmodede om bæredygtige færger, fordi de kunne se, hvor god en effekt det har haft på Samsø.

Samfundets indirekte magtpåvirkning er altså en stor katalysator for at sætte en grønnere omstilling i gang. Beslutningstagerne på de nævnte øer ses således at drage nytte af hinandens erfaringer. Har en beslutning haft den tilsigtede virkning på en ø, formodes det pr. automatik, at den samme beslutning truffet på en anden ø, har samme tilsigtede virkning. Slutteligt kan staten og EU lægge forskellige støttemuligheder ud til teknologier, der indirekte vil påvirke et valg, fordi der er en mulig økonomisk støtte at hente. Dette kunne eksempelvis ses i Ærø's beslutning, hvor omstillingen ikke var blevet til noget uden det økonomisk tilskud fra først Region Syddanmark og derefter Horizon2020.

#### 4.5.4 Bevidsthedskontrollerende magt

Den bevidsthedskontrollerende magtpåvirkning handler om at påvirke beslutningstagerens bevidsthed og viden om, hvilke alternative der reelt set er, og hvilke interesser beslutningstageren skal have – selvom det ikke nødvendigvis er deres *rigtige* interesse. Medier er især et godt middel til at påvirke bevidsthed og gøre opmærksom på forskellige interesser. Det er også en form for indirekte magt, da der ikke direkte bliver krævet en omstilling, men der indirekte sker en påvirkning af beslutningstagerens viden om, hvad løsningen er. Det vil sige, at ved gentagne gange at læse eller høre om noget, vil man automatisk tro, at dette er en god løsning for en, selvom man ikke har undersøgt det videre. Så når der i medierne hele tiden kommer nyheder omkring elfærger og LNG færger og hvor godt, de virker i lande som Norge og Sverige, vil det påvirke underbevidstheden hos en beslutningstager til at tro, at disse alternativer er de bedste at omstille til. I alle interviewene med beslutningstagerne bliver det nævnt, at LNG (LBG) og eldrift er de to muligheder, der er undersøgt for deres færge. Dette er, selvom det Europæiske VE-direktiv beretter om en bred vifte af bæredygtige alternativer som ethanol, methanol, brint, Dimethylether (DME), biodiesel, vegetabiliske olier og CBG. Men ingen af disse bliver taget in mente, når der skal træffes beslutning om omstilling af de danske passagerfærgers drivmiddel. Et eksempel er, at når der er blevet spurgt i interviewene om muligheden for omstilling til CBG, er det blot blevet bemærket, at dette ikke kan være en mulighed. Men efterfølgende er der blevet identificeret en færge i Holland, der netop drives af CNG, hvorfor Samsø færgen nu også undersøger, om det kunne være en mulighed for dem for at slippe for kondenseringsprocessen (NGVJournal, 2014) (Ship and bunker, 2015). Det er tilmed ikke sikkert at sige, at det netop er på grund af en bevidsthedskontrollerende magtpåvirkning fra medier og anden side, men det kunne i hvert fald tyde på, at det har haft en indflydelse. Baggrunden for, at disse medier har valgt at formidle denne viden, kan være en anden magtpåvirkning fra nogle store virksomheders interesser.

#### 4.5.5 Påvirkning af magt i beslutningsprocessen

For at besvare underspørgsmålet fra problemformuleringen: "Hvilken magtpåvirkning finder sted i omstillingsprocessen af de danske færger på nuværende tidspunkt, og hvordan udnyttes magten til at have indflydelse på valget af drivmiddel?", må det siges, at der med sikkerhed sker påvirkning under flere former for magt. Umiddelbart virker det som en blanding af de fire magtkoncepter, hvor den bevidsthedskontrollerende har et udspil i kun at formidle nogle få alternativer og ikke berette om muligheden for flere af de bæredygtige alternativer, som er tilgængelige. Samtidig har udveksling af erfaringer og den gode historie en stor indirekte magtpåvirkning, da det tydeligt påvirker andres

beslutningsprocesser, hvad en enkelt har gjort. Den økonomiske støtte kan også både have en direkte og en indirekte magtpåvirkning, så en beslutning træffes på en bestemt teknologi styret af rene økonomiske incitament. Der er flere, der ikke ser de bæredygtige alternativer som økonomisk rentable, hvorfor der enten - som i Ærø's tilfælde - skal gives ekstern støtte til omstillingen, eller også skal der være nogle institutionelle rammer, der giver en afgiftsfritagelse eller et tilskud til en bestemt form for drivmiddel. Det står klart, at den institutionelle ramme har en stor påvirkning på beslutningen både i form af love og reguleringer, og ved at bruge disse politiske værktøjer i form af afgifter og tilskud. Men samtidig også krav og standarder såsom de nye skærpede ECA-krav. Til sidst har den institutionelle magt i form af visioner og bæredygtige mål en magtpåvirkning, da det giver en sikkerhed for beslutningstageren at vide, hvad fremtidens mål er.

#### 4.6 Choice eller false choice

Hele denne diskussion om magtpåvirkning har været ført for at finde en saglig argumentation for, om der har været et reelt valg i beslutningsprocessen, eller om det kun har været et false choice. Umiddelbart virker det som om, at der oftest fremkommer et reelt valg, i og med den rådgivende ingeniør (som der er blevet brugt i beslutningsprocessen for både Læsø, Samsø og Ærø) analyserer forskellige alternativer og derudfra giver den bedste mulighed. Men som det bliver nævnt i magtanalysen har der muligvis været manipuleret til kun at analysere nogle få (hovedsagligt el og LBG) alternativer. Dette kan argumenteres for at give et false choice, da den løsning den rådgivende ingeniør kommer med ikke nødvendigvis er den "eneste rigtige løsning". Eksemplet med at CBG ikke er en mulighed påviser det meget godt. Når der efterfølgende findes en færge der sejler på CBG giver det altså en form for false choice når denne mulighed ikke er analyseret. Det kan for eksempel også ses ved at en indirekte magtpåvirkning har indflydelse på, hvad der kommer på agendaen – altså, hvad valget står imellem. Med magt og manipulation til stede vil valget oftest været et false choice der tilgodeser andres interesser. Dermed ikke sagt at alle beslutninger derfor er forkerte eller ikke tilgodeser beslutningstagerens interesser, blot at der også tilgodeses andres. I denne henseende må det konkluderes, at der i Ærø's beslutningsproces ikke har været et reelt valg, men kun et false choice, da det har været økonomien i projektet der her styret det. Horizon2020 har altså givet et false choice ved at give støtte til elfærger, hvorfor at valget har været denne løsning eller ingen. Yderligere virker det ikke som om, der har været et reelt valg af drivmiddelsteknologi, når Danske Færger A/S har skiftet færge, fordi det blot er økonomi og kundens krav der er på agendaen for deres beslutning, hvilket har resulteret i, at ingen af deres færger sejler på et bæredygtigt brændsel.

Det kan altså konkluderes, at den opsatte hypotese om, at færgeruteejerne drager beslutninger på baggrund af et false choice, er til dels korrekt. Denne konklusion pointerer samtidig, som problemformulering søger, at der på nuværende tidspunkt ikke er en optimal omstilling af de danske passagerfærger. En videre undersøgelse af reelle alternativer giver derfor mening og bør undersøges nærmere, så beslutningstagerne har en saglig baggrund og muligheden for at vælge, hvilken teknologi der er mest optimal for deres rute.



## 5 Well to Tank analyse

Når der skal træffes beslutning om, hvilken teknologi, der skal omstilles til, er det først og fremmest essentielt at vide, hvilke alternativer der er tilgængelige, og hvordan deres tekniske og økonomiske karakteristika er. Formålet med analysen i dette kapitel er, at give et sagligt grundlag for, hvilket drivmiddel der har det mindste energitab igennem processen, som det står yderligere beskrevet i sektion 3.2.1 Well to propeller analyse. Kapitlet vil derfor være struktureret med en kort introducerende beskrivelse af de tilgængelige drivmidler, der vil blive undersøgt i denne WTP analyse: biogas, el og methanol. Herefter vil WTT analysen blive beskrevet og lede op til den næste analyse, som er TTP analysen.

Som det er pointeret tidligere, burde man analysere alle de tilgængelige drivmidler, der kan opfylde de bæredygtighedsmæssige krav – såsom TIER III krav, ECA-krav og fossilfri energisektor i 2050 målet – for at have et reelt valg, men dette er et arbejde, der rækker udover den tidsmæssige ramme, der er for denne afhandling. Analysen vil derfor kun fokusere på biogas, methanol og el som alternative drivmidler.

### 5.1 Biogas & metan

Der er forskellige ordvalg for de forskellige stadier af biogassen, hvorfor det er nødvendigt kort at berette, hvordan ordene vil blive udnyttet igennem denne afhandling. Biogas vil kun blive brugt om ren/opgraderet råbiogas, hvilket vil sige at metanprocenten er tæt på 100. Den biogas der kommer ud af produktionsanlægget, som kan have forskellige metanprocenter (se nærmere i Figur 19) vil i afhandlingen blive omtalt som råbiogas eller rå biogas. Som det vil blive beskrevet lidt nærmere hvorfor, vil CBG og LBG altså være komprimeret biogas (opgraderet råbiogas) og kondenseret biogas (opgraderet råbiogas).

Biogas er en gas bestående hovedsageligt af metan. Metan er den simpleste af sammensætningerne i kulbrintefamilien ( $C_xH_x$ ), eller alkanerne som de også kaldes, og har derfor den kemiske formel  $CH_4$  – hvilket betyder ét kulatom binder fire brintatomer og dermed bliver mættet. Det er en gasform ved stuetemperatur under atmosfærisk tryk (Platt, 2012). Kulbrinterne bliver ofte udnyttet til energiformål på grund af deres generelt høje brændværdier. Udover metan er de mest almindelige kulbrintesammensætninger butan (lightergas), hexan, oktan og dekan, hvor de sidste er hovedelementerne i benzin, diesel og jetbrændstof. Metan er en farveløs, lugtfri og smagløs gas, hvilket gør det svært at genkende dens tilstedeværelse. Dette gør det yderst kompliceret at identificere udslip eller andet fra produktion, forbrænding, lagring mm. og altså også ved lækager på færger. Metangassen er en omtrent 22 gange værre drivhusgas end  $CO_2$  (von Hessberg & Nielsen, 2009), så selvom der er meget mere  $CO_2$ , der bliver udledt, skal der altså kun 1/22 del metan-udledning til at lave samme skade. Det gør det derfor vigtigt, at der ikke finder unødvendige udslip til, herunder dårlig forbrænding. Grunden til, at metan er spændende i transportsektoren, er dets høje nedre brændværdi på 50,016 MJ/kg. Den nedre brændværdi er den mængde energi, som skabes ved en fuldkommen forbrænding, hvor der ikke udnyttes den mængde energi, der løsgives i form af varmedampe – som det sker i transportsektoren, hvor disse varmedampe ryger ud igennem udstødningen (Dansk GasTeknisk Center, N/A, A). Som det kan ses på Bilag 1, Ark 2 (Brændselsdata),

er det en højere nedre brændværdi end de andre brændsler. Som ren metan har det dog en meget lav massefylde med en densitet på  $0,6405 \text{ kg/m}^3$ , hvilket kun giver en energidensitet på  $0,032 \text{ GJ/m}^3$  (Dansk GasTeknisk Center, N/A, B). Til sammenligning er MGO's densitet  $860 \text{ kg/m}^3$  og har en energidensitet på  $38,27 \text{ GJ/m}^3$  – altså omkring 1200 gange højere. Med andre ord vil det fylde ca.  $1200 \text{ m}^3$  at få samme energimængde ud som  $1 \text{ m}^3$  diesel. Dette giver logisk nok et pladsproblem, hvorfor det er nødvendigt at ændre massefylden for gassen ved enten at komprimere den eller kondensere den, hvis den realistisk set skal kunne udnyttes i et fartøj (eller et køretøj for den sags skyld). Det er altså energidensiteten, der er den spændende faktor, når der skal ses på drivmidler. Energidensiteten findes ved at addere massefylden med den nedre brændværdi.

MGO har energikarakteristika svarende til diesels, som det også kan ses på Bilag 1, Ark 2 (Brændselsdata) og har en nedre brændværdi på  $44,5 \text{ MJ/kg}$ . Som det kan ses på Bilag 1, Ark 2 (Brændselsdata), har MGO en energidensitet 5,1 gange tættere end CBG og 1,8 gange tættere end LBG. Der bliver altså gjort meget ved volumen for brændslet ved enten at komprimere det eller kondensere det, og kan dermed give et konkurrencedygtigt produkt.

Med henblik på opfyldelsen af TIER III kravene har biogas en lavere forbrændingstemperatur en MGO (Dansk GasTeknisk Center, 1997). Denne lavere forbrændingstemperatur gør at i nutidens motorer kan der ikke dannes NOx i mængder der overskrider TIER III grænserne. Dan Nielsen, Maskinmester på Samsøfærgeren, fortæller, at hans dual-fuel motor (altså én motor der både kan drives på diesel og LBG) er certificeret til TIER II standard ved dieseldrift, hvorimod den er certificeret til TIER III standard ved LNG drift. Som det blev beskrevet dybere i 1.3.1 Internationale Maritime Organisation, vil både LBG og CBG være et drivmiddel, der kan omstilles til og samtidig opfylde TIER III kravene.

### 5.1.1 Udvinning

Produktionsanlægget producerer det, som kaldes råbiogas, hvilket ikke er helt rent metan. Som vist på Figur 19 kan mængden af metan og kuldioxid i råbiogas variere. Dette afhænger af, hvilken ressource, der er brugt i produktionsanlægget – altså, hvad det er, der bliver nedbrudt (Bigadan, N/A). Ressourcer med en stor mængde kulhydrater giver en lav metanprocent og en lav total gasmængde, hvorimod fedtholdige ressourcer giver en høj metanprocent og en større total gasmængde (Ibid.). Udvindingsprocessen varierer alt efter, hvilken slags biomasse, der bruges i produktionsanlægget. Oftest har produktionsanlægget aftaler med lokale virksomheder/gårde om at få biomasse, affald eller andet, hvorfor det er forskelligt, hvilke biomasseressourcer, der anvendes. Biomassen kan altså stamme fra mange forskellige ting såsom slagteriaffald, landbrugsafgrøder, dyreekskrementer, skrald, slam, planter og alger (Ibid.). Udvindingsprocessen kræver en mængde energi – som minimum til transport af biomassen fra udvindingsstedet til anlægget, men måske også til høstning, indhentning af skrald, opsugning af slam eller andet. Leverandørerne er som sagt ofte lokale virksomheder, hvilket gør, at det normalt ikke skal transporteres over lange distancer.

### 5.1.2 Biogasproduktion

Den rå biogas bliver produceret ved, at bakterier nedbryder dyre- og planterester (biomasse) i et anaerobt miljø. Samtidig varmes biomassen op for at fremskynde processen, hvorfor man kan producere biogas på 2-3 uger (Bigadan, N/A).



Processen er illustreret på Figur 20. Lastbiler leverer biomassen til modtagertanken, hvorefter det skal blandes med anden biomasse. Produktionen fungerer bedst med en bestemt mængde tørt og en bestemt mængde våd biomasse, hvorfor forskellig biomasse blandes i blandetanken for at opnå den optimale konsistens, som er på omkring 8-10 % tørstof (Nielsen B. S., 2016) (Jørgensen, 2009).

Efter biomassen er blandet, kommer den ind i reaktoren, hvor gasserne er affaldsprodukter fra bakteriernes anaerobe respiration.

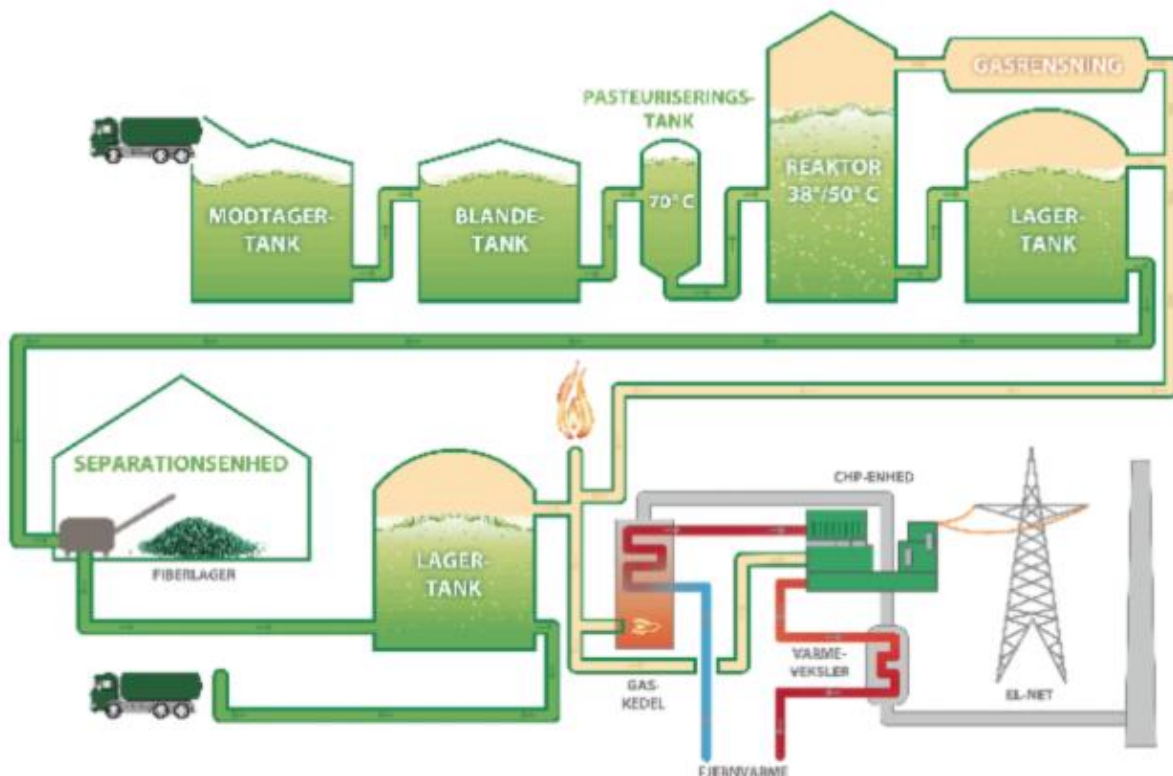
Produktet er en gas med en høj mængde metan og kuldioxid, som vist på Figur 19 (Jørgensen, 2009). Herudover er der en lille mængde svovlbrinte, brint og ammoniak og spor af andre stoffer (Ibid.).

Den rå biogas stiger til vejrs i anlægget, da det vejer mindre end biomassen i bunden af anlægget. Her kan man derfor suge denne gas ud og injicere den i en lagertank til opbevaring.

Den afgassede biomasse kan efterfølgende anvendes som højkvalitetsgødning og køres tilbage til

Gasart	%
Metan (CH <sub>4</sub> )	55 – 70
Kuldioxid (CO <sub>2</sub> )	30 – 45
Svovlbrinte (H <sub>2</sub> S)	} 1 – 2
Brint (H <sub>2</sub> )	
Ammoniak (NH <sub>3</sub> )	
Kulilte (CO)	spor
Kvælstof (N <sub>2</sub> )	spor
Ilt (O <sub>2</sub> )	spor

Figur 19 - Biogas' sammensætning ved produktion i biogasanlæg (Bigadan, N/A)



Figur 20 - Biogas production (Bigadan, N/A)

landmændene, der kan bruge det på deres marker. Dette giver både et bedre produkt for landmændene samtidig med, at det sparer en produktion af konventionel kunstgødning.

Råbiogas kan udnyttes i kraftvarmeværker til produktion af el og varme. Den nedre brændværdi afhænger selvfølgelig af metanprocenten jf. Figur 19. Bruno Sander Nielsen, sekretær i Foreningen for Danske Biogasanlæg, fortæller, at man normalt regner med en metanprocent på 65 %, hvilket har en nedre brændværdi på 21,35 MJ/kg - altså ikke så høj som for ren metan (Nielsen B. S., 2016) (Kristensen, N/A). Dette vil derfor give mindre energi pr. forbrændt kg. Til gengæld spares der energi ved ikke at gøre mere ved gassen, såsom opgradering og kondensering. På grund af at den store mængde andre stoffer i rå biogassen kan det ikke blandes med naturgas via injektion i det danske gassystem, hvorfor råbiogas enten skal køres hen til anvendelsesstedet eller igennem et privat gasnet, hvilket også kræver energi.

Når biogas skal anvendes i transportsektoren, må det antages – uden at gå videre i dybden med problemstillingen - at råbiogas vil fylde for meget i tanken når det samtidig har den lave nedre brændværdi. Der skal derfor gøres noget yderligere ved den rå biogas, så metanprocenten bliver så tæt på 100% som mulig, og den nedre brændværdi derved kommer op på 50,016 MJ/kg. Derudover er det ikke muligt at kondensere det, hvis det ikke er opgraderet. Dette skyldes, at de andre gasser i råbiogassen ikke har samme tekniske specifikationer som metan – såsom kogepunkt – og derfor vil skabe tøris eller andre problemer for processen (Kosan Crisplant A/S, 2016). Af disse grunde opgraderer man oftest gassen, når den skal anvendes i transportsektoren.

I et biogasanlæg er det normalt ca. halvdelen af kulstoffet, man omsætter til gasser fra biomassen. Resten af de tungere kulstoffer er sværere at trække ud af biomassen (hvilket derfor ville gøre processen meget længere) samtidig med, at det er de kulstoffer, der giver det efterfølgende gødningsprodukt dets høje kvalitet (Nielsen B. S., 2016). Derudover går der noget energi til varme af reaktoren og en lille del til elektricitet til pumpeproces med mere. Derfor regnes et normalt biogasanlæg for at have en virkningsgrad på 50 % (Meyer, Nørgård, Galster, & Guldbrandsen, 1994) (Nielsen B. S., 2016). Der vil være et meget lille udslip på under 1 %, hvis overdækningen på anlægget ikke er vedligeholdt ordentligt eller er af dårlig kvalitet eller andet (Nielsen B. S., 2016). Men dette undgås ved nye anlæg og ordentligt servicetjek og er derfor ikke medregnet i analysen.

### 5.1.2 Opgradering

Der er flere måder at opgradere råbiogas på. Dansk GasTeknisk Center har identificeret de tre mest almindelige opgraderingsanvendelser i Danmark, hvilke er *Pressure Swing Adsorption (PSA)*, tryk vandskrub og monoetanolamin vask (MEA) (Jensen T. K., 2009). I bund og grund handler alle tre metoder om at skille CO<sub>2</sub>-molekylerne fra CH<sub>4</sub>-molekylerne (metan). Man vasker altså metanen med vand eller monoetanolamin, hvilket fungerer som katalysatorer og trækker CO<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>H og andre restgasser med sig, så metanen bliver ”renere” (Ibid.).

	PSA	Vandskrubber	MEA-Vask
<b>Varmebehov (kWh/m<sup>3</sup> biogas)</b>	0	0	0,47 (105 °C)
<b>Elforbrug (kWh/m<sup>3</sup> biogas)</b>	0,25	0,25	0,031
<b>Tryk</b>	ca. 7 bar	ca. 7 bar	ikke tryksat
<b>Metantab</b>	1-3 %	1-2 %	<0,1 %
<b>Metanudslip</b>	<0,2 %	<0,2 %	<0,1 %

Dansk GasTeknisk Center har lavet en undersøgelse af, hvad energiforbruget samt omkostningerne er ved de forskellige teknologier. Her har de fundet frem til de energitekniske data vist i Figur 21. Elforbruget anvendt til opgradering er bestemt til at være ca. 4 % af energiindholdet ved PSA, og Vandskrubbermetoden og el- og varmemeforbruget til ca. 7 % ved MEA metoden (Ibid.). Elforbruget bruges hovedsagligt til tryksætning - hvilket giver svaret på MEA-vaskens lave elforbrug, hvor der ikke er en tryksætning. Vandskrubbermetoden er den billigste metode til 0,85 kr./m<sup>3</sup> biogas, hvorfor det er denne metode, der vil blive regnet med i WTT analysen. Når det er sagt, betyder det også, at der skal medregnes et metantab på 1-2%, som indbefatter et tab af metan i selve opgraderingsprocessen, altså et tab af metan fra slutproduktet, men ikke et tab til atmosfæren. Dette metantab inkluderer altså ikke det viste metanudslip, da det er lækager og altså metanudslip til atmosfæren. Metanudslippet er dog så negligabelt set fra et energiperspektiv, at det ikke er medregnet i analysen.

Ved at opgradere gassen, renses den altså for CO<sub>2</sub>, men også for svovl, hvilket gør, at biogas kan opfylde ECA-kravene, da de få rester, der vil være tilbage, ikke kan overskride 0,1 % af massen, der bliver forbrændt i færgemotoren i sidste ende (Nielsen D. , 2016).

### 5.1.3 Komprimering

Som beskrevet tidligere er det nødvendigt at ændre massefylden for gassen for at skabe et mere konkurrencedygtigt drivmiddel. Det kan blandt

CBG	
Massefylde (RHO)	150 kg/m <sup>3</sup>
Nedre brandværdi	50,016 MJ/kg
Energidensitet	7,5 GJ/m <sup>3</sup>

Tabel 5 - CBG's energifakta - tal fra (Turns, 2012)

andet opnås ved at komprimere biogassen til ca. 230 bar, hvorved den får en massefylde på 150 kg/m<sup>3</sup> og altså en energidensitet på 7,5 GJ/m<sup>3</sup>, som vist på Tabel 5. Normalt komprimeres biogassen mellem 200-250 bar, da det økonomisk set er den mest optimale volumen i forhold til udgifter til komprimering. Komprimeringen af gassen foregår på selve fyldestationen. Fyldestationen er oftest direkte forbundet til gasnettet (der hvor gasnettet når hen), hvor gassen så bliver komprimeret til mellem 200-250 bar. Komprimeringsanlæg bruger en mængde el til komprimeringsprocessen, hvor den gennemsnitlige virkningsgrad for kompressorer er 93,1 % (Curran, 2014). Denne virkningsgrad vil derfor også blive anvendt til denne analyse.

#### 5.1.4 Kondensering

Massefylden kan øges yderligere ved at kondensere biogassen, så den bliver op til 430 kg/m<sup>3</sup>, som vist på Tabel 6. Det sker ved at køle gassen, da metan har et kogepunkt på -162 °C, hvorfor den altså er flydende under denne temperatur. For at gøre det

LBG	
Densitet (RHO)	430 kg/m <sup>3</sup>
Nedre brandværdi	50,016 MJ/kg
Energidensitet	21,5 GJ/m <sup>3</sup>

Tabel 6 - LBG's energifakta - tal fra (Turns, 2012)

mest økonomisk fryser man det kun lige nøjagtigt så meget, at det holder sig flydende. Eftersom densiteten er øget drastisk, øges energidensiteten og bliver altså yderligere konkurrencedygtig med de endnu mere energitætte fossile brændsler.

Nedkølingsprocessen foregår ved samme princip som et køleskab. Kosan Crisplants tekniske projektleder Allan H. Bruun fortæller, at de kan lave 150 tons LNG/LBG pr. døgn (22 timers døgn) (Bruun, 2016). Ved denne kondensering bruges i alt 7,4 MWh for 22 timer i varmemeforbrug samt 4,3 MWh pr. time i elforbrug – altså 94,6 MWh i alt for 22 timer. At beregne den "rå energimængde" ved at lægge varmemeforbruget og elforbruget sammen som et forbrug, fremfor at regne i brændselsækvivalenter, er set som tilstrækkeligt for denne afhandling. At regne i brændselsækvivalenter er mest interessant i et traditionelt fossilbrændselsbaseret samfund, hvor denne afhandling arbejder indenfor filosofien om et fossilfrit brændselsamfund. Hvis det samlede energiforbrug til processen omregnes til MJ, bliver det dermed 367,2 GJ. Det samme kan man gøre for de 150 tons LNG ved hjælp af den nedre brændværdi på 50,016 MJ/kg, hvilket altså giver 7.502.400 MJ. Det giver i alt en virkningsgrad på 95,2 %, da Bruun fortæller, der ingen varmespild er i processen.

Tankene til LNG er lavet af rustfrit stål, hvori LNG bliver "vakuumpakket" samt tilsat et stof, der hedder palit. Vakuum er ifølge Bruun den letteste måde at isolere en tank på (Ibid.). Ved denne metode kan tanken stå i 40 dage, før væsken begynder at fordampe – hvilket nødvendiggør, at det bliver anvendt forholdsvist hurtigt efter produktion (Ibid.). Der kan ikke komme udslip fra tanken, men gassen vil udvide sig ligeså stille med varmen, og der vil derfor ikke være plads i tanken, som i værste tilfælde vil kunne springe eller revne på grund af ekspansionstrykket (hvilket selvfølgelig vil give et kæmpe spild).

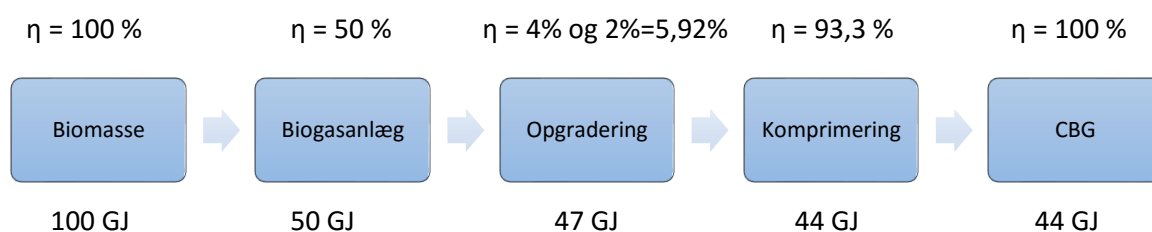
#### 5.1.5 Lagring og påfyldning

Der er ingen tab ved påfyldning af biogas, da det er en helt lukket proces fra lagret, gennem pumpen, til tanken. Der er ligeledes heller ingen tab ved lagring af biogas, da det også er helt lukkede og tætforsejlede tanke, det lagres i, både i komprimeret tilstand og kondenseret tilstand. Dan Nielsen fortæller, at de kun fylder deres tanke 85 % for at have en buffer til en eventuel opvarmning af deres LNG (Nielsen D., 2016). Derudover fortæller Bruno Sander Nielsen, at der forsvinder under 1 % i gasnettet, når det lagres der, hvilket derfor ikke er medregnet i analysen (Nielsen B. S., 2016).

### 5.1.6 Konklusion på WTT analysen

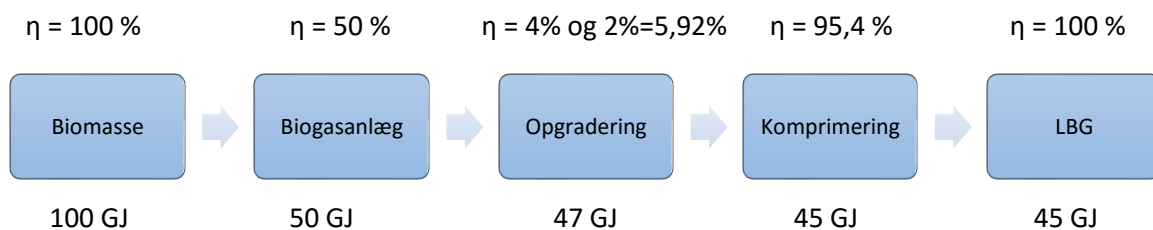
Med alle disse delprocesser kan det altså beregnes, hvad den endelige virkningsgrad er for hele WTT'en for biogas. Udvindingsprocessen er ikke beregnet grundet en antagelse om, at det er en lille procentdel i forhold til, hvor svært og tidskrævende det vil være at identificere den, og det må derfor ses som en begrænsning i udregningen. Eftersom den oftest er lokalt udvundet i forhold til produktionsanlægget, vil både energiforbruget og drivhusgasudledningerne være minimale. Herefter er der en biogasproduktion med en virkningsgrad på 50 %. For at udnytte biogassen i transportsektoren, skal biogassen opgraderes, hvortil en virkningsgrad på 4 % for elforbrug og derefter 2 % for metantab vil blive medregnet. Ved produktionen af CBG skal gassen komprimeres, hvor den gennemsnitlige virkningsgrad for kompressorer er 93,1 %. Ved LBG skal biogas kondenseres, hvor et kondenseringsanlæg har en virkningsgrad på 95,4 % til brug af el og varme til nedkølingsprocessen.

Med et regneeksempel, hvor der startes med 100 GJ biomasse, vil energikæden for CBG altså se således ud som på Figur 22:



Figur 22 - CBG's energikæde (Egen figur)

og for LBG som på Figur 23:



Figur 23 - LBG's energikæde (Egen figur)

Altså et energitab på 56 GJ for CBG og en total virkningsgrad på 44 %, og et energitab på 55 GJ for LBG og en total virkningsgrad på 45 %.

Samtidig er det altså bestemt, at anvendelsen af både CBG og LBG vil efterkomme TIER III standarder, ECA-krav samt hjælpe til at opfylde det danske politiske mål om at være uafhængige af fossile brændsler i 2050.

## 5.2 Eldrift

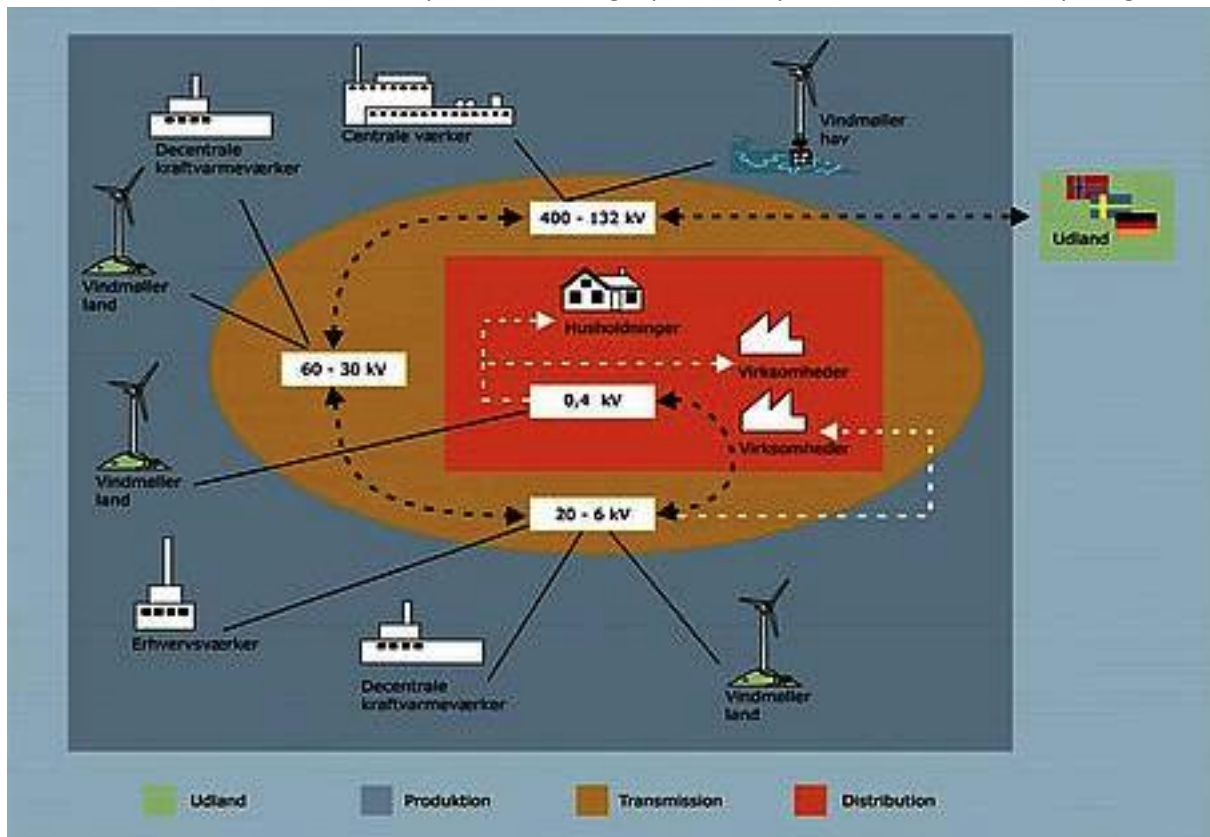
El er anderledes end brændsler, da der ikke sker en forbrænding i en elmotor og dermed ikke er en brændværdi, en massefylde og en energidensitet. Dette medfører også, at der ikke udledes nogle former for drivhusgasser lokalt, der derfor kun kan forekomme ved produktion, hvis strømmen produceres ved en forbrænding – for eksempel af kul, naturgas eller biomasse. I stedet for en forbrænding bruges altså effekten, som er resultatet af spændingen gange strømstyrken. Ved eldrift er motoren til gengæld også helt lydløs for omgivelserne udenfor færgen, hvilket kan have sine fordele – især i indlandsruterne, hvor der er huse helt ned til fjordene. I stedet for energidensiteten for brændstoffet, handler det her om, hvor gode batterier, der kan skabes. Med andre ord, hvor meget energi kan batterierne give i forhold til deres størrelse. Her fortæller Jan-Eric Rasanen, *Head of New Technologies in passenger and cargo vessels* fra ABB, at der er en tommelfingerregel, der siger 1 MWh kapacitet = 10 m<sup>3</sup> for fægebatterier.

### 5.2.1 Produktion

Eftersom afhandlingen kun arbejder med ikkefossile brændsler, vil elektricitetsproduktionen også analyseres som værende fra bæredygtige energikilder. Da vindmøllestrøm er den mest udbredte teknologi angående bæredygtig produktion af elektricitet i Danmark, vil det være det, der arbejdes videre med. Det er vanskeligere at give en virkningsgrad på en vindmølle end for et biogasanlæg, fordi den mængde energi, der bliver "givet" til vindmøllen, er potentiel energi som er i selve vinden og derfor en vanskelig størrelse at arbejde med – hermed ikke sagt, at det ikke kan lade sig gøre. Men der vil dog blive frigjort noget potentiel energi i form af varmetab fra elproduktionsprocessen via friktion og eventuelt lidt til gearing i de møller, der har gear (Jordan, N/A). Dette tab er imidlertid meget lille og har ikke været muligt at identificere, hvorfor det vil være en begrænsning i udregningen, da der vil blive regnet videre med 0 % tab. Processen starter derfor først fra den elektriske energi vindmøllen giver videre fra sig ud til transmissionsnettet.

## 5.2.2 Transmission og distribution

Den danske elektricitet bliver transmitteret via et nationalt højspændingstransmissionsnet (Skovmose, N/A). Det danske elsystem er forsøgt, på en simpel måde, visualiseret på Figur 24.

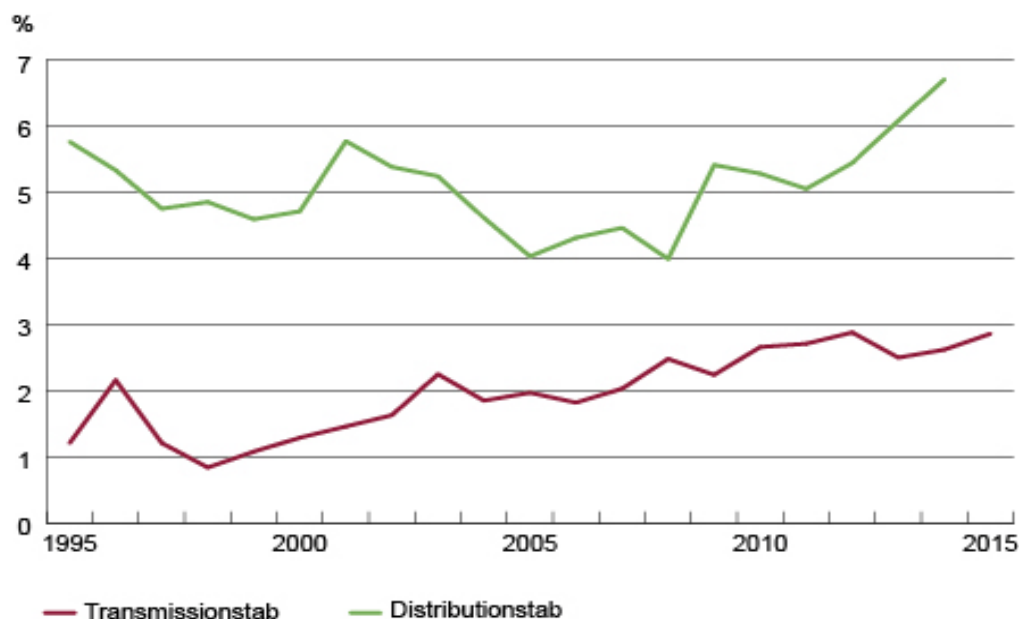


Figur 24 - Det danske elsystem (Skovmose, N/A)

Transmissionsnettene er bygget på en grundstruktur af et højspændingsnet på 400 kV, hvis funktion er tilslutning af de store vindmølleparker og de centrale værker samt forbindelse fra Danmark til Norge, Sverige og Tyskland. Herefter bliver det nedtransformeret til et regionalt net, der har spændingen 150 kV – 132 kV (Ibid.). For at mindske energitabet ved transmitteringen sendes der en høj spænding igennem kablerne, så der fremkommer en lav strømstyrke.

At strømstyrken er lav betyder, at der transmitteres mindre ladning i ledningerne pr. tidsenhed igennem nettet, hvorved der dannes mindre varme, og på den måde frigives der energi til naturen (Ibid.)





Figur 25 - Tabet i det danske elnet (Energinet, 2016)

Energinet har beregnet det samlede danske eltab i transmissions og distributionsnettet til at være henholdsvis ca. 3 % og ca. 7 %, som det kan ses på Figur 25 (Energinet, 2016). Der fremkommer kun yderst små tab ved transformationen mellem de forskellige spændinger. Da det formodes, at produktionen ikke ligger lige ved siden af anvendelsen hver gang, vil der blive regnet med, at spændingen både bliver transporteret over transmissionsnettet og distributionsnettet. Derfor vil der blive regnet med først 3 % tab og derefter 7 % tab fra elproducenten til forbruget.

### 5.2.3 Ensretter til jævnstrøm

Batterier fungerer ved jævnstrøm, hvorfor elnettets vekselstrøm skal ensrettes til jævnstrøm i batteriet. Dette sker dog normalt i selve opladeren. Det vil sige, at man blot sætter opladeren til vekselstrømsnettet, hvorefter den ensretter til jævnstrøm og derefter sender jævnstrømmen igennem kablet, som lader batteriet. ABB fortæller, at der er et minimalt energitab ved denne proces i form af spildvarme, som de regner med er 1,5 % (Rasanen, 2016).

### 5.2.4 Batteriopladning

Rasanen (ABB) fortæller, at der er stor forskel på både batterier og ladningen. Den metode, han finder bedst, er ved at oplade batteriet efter hver eneste tur og så med en høj spænding, hvilket resulterer i, at det kun tager mellem 5-9 minutter at oplade batteriet (Ibid.). Denne lithium-ion batteritype har bedst af at være max opladt til 90 % af dets kapacitet og må kun blive afladt til 20 % af dets kapacitet (Ibid.). Hvis andet sker, vil det have tydelige konsekvenser for levetiden på batteriet (Ibid.). På én tur skal batteriet samtidig helst kun bruge omkring 30 % af kapaciteten i batteriet – altså fra 90-60 % - hvoraf fra 60-30% dermed fungerer som en buffer, hvis opladeren i den ene havn er ude af drift, eller færgen er kommet for sent i land og er nødt til at sejle hurtigt igen, så kan det klare en hel tur frem og tilbage, før det behøver opladning (Ibid.). Derudover er der behov for en ekstra buffer fra 30-20 %, hvis vind og vejr gør, at turen kræver mere energi (Ibid.).



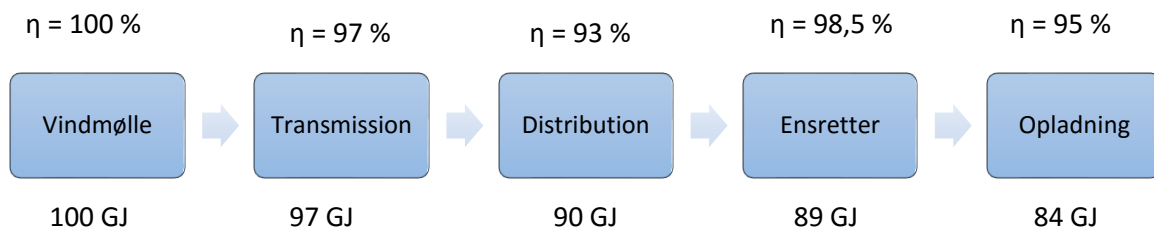
Opladningen har et varmetab, og jo hurtigere opladningen skal ske, jo mere varmetab er der. Rasanen fortæller, at denne hurtiglading har en effektivitet på 95 %.

### 5.2.6 Konklusion

Den endelige virkningsgrad for WTT'en for eldrift kan nu beregnes. Når strømmen er produceret i vindmøllen, sendes den først over transmissionsnettet, som har 3 % tab, og derefter over distributionsnettet, der har 7 % tab. Det danske højspændingsnet er vekselstrøm, hvorimod et batteri arbejder på jævnstrøm. Dette bevirker, at strømmen skal ensrettes fra vekselstrøm til jævnstrøm. Denne proces har et lille varmetab, hvorfor der er et tab på 1,5 %. Herefter starter opladningsprocessen, hvoraf der også forekommer et varmetab. Her vil der blive regnet med en virkningsgrad på 95 %.

49

Hvis man bruger samme regneeksempel som ved biogas med en elproduktion på 100 GJ, får man som vist på Figur 26:



Figur 26 - Els energikæde (Egen figur)

Altså et energitab på 16 GJ og en total virkningsgrad på 84 %.

Det er en selvfølge, at eldrift vil opfylde både TIER III standarder og ECA-krav – det er jo kvælstof og svovl, der binder sig til ilt, så det er altså gasser fra luften og i brændstoffet, der bindes under forbrændingen af et brændsel. Med andre ord er det logisk, NO<sub>x</sub> og SO<sub>x</sub> ikke fremkommer i en elmotor, selvom der også dannes varme i den proces. Ved samtidig at producere strømmen fra bæredygtige kilder såsom vindmøllen, der er anvendt i denne analyse, vil udnyttelsen af elektricitet i færgedrift hjælpe med at opfylde det danskpolitiske mål om at være uafhængige af fossile brændsler i 2050.

### 5.3 Methanol

Methanol er en alkohol, ligesom ethanol, men er i modsætning til ethanol meget giftig at få i kroppen. Methanol er det, man i daglig tale også forbinder med træsprit, og det har formularen  $\text{CH}_3\text{-OH}$

(IRENA, 2013). Det er en lugtfri, farveløs væske, der brænder med en "gennemsigtig" flamme (Ibid.). Som det er vist på Tabel 7, har methanol en meget høj densitet i forhold til både CBG

Methanol	
Densitet (RHO)	791,8 kg/m <sup>3</sup>
Nedre brandværdi	19,9 MJ/kg
Energidensitet	15,82 GJ/m <sup>3</sup>

Tabel 7 - Methanols energi fakta – tal fra (Turns, 2012)

og LBG – kun lidt lavere en diesels på 856 kg/m<sup>3</sup>. Til gengæld er methanols nedre brændværdi en del lavere en biogas' på 50,016 MJ/kg. Disse data giver altså en energidensitet på 15,82 GJ/m<sup>3</sup>, hvilket derfor lægger sig imellem CBG's på 7,5 GJ/m<sup>3</sup> og LBG's på 21,51 GJ/m<sup>3</sup>. Med andre ord kan man ikke få helt så meget energi ud af en m<sup>3</sup> methanol som en m<sup>3</sup> LBG.

Hvad angår NOx emissioner fungerer forbrændingen af methanol på samme måde som LBG (Marinemethanol, N/A, A). Forbrændingen af methanol kan altså heller ikke overskride TIER III standarderne grundet en lavere fuldlast forbrændingstemperatur.

Generelt er methanol i dag produceret af naturgas – helt op til 80 % af verdensproduktionen (IRENA, 2013) – ved at syntetisere metanen og derefter destilisere syntesegassen til methanol. Syntesegassen kan også produceres af biomasse, såsom træflis, eller af kuldioxid. Lars Thomsen, Formand for *Danish Methanol Association*, fortæller, at det teoretisk set kan lade sig gøre med biomasse, men rent praktisk kan det kun svare sig at producere fra metan – og dermed biogas i en bæredygtig proces (Thomsen, 2016). Derfor vil der i analysen arbejdes videre med methanol produceret fra biogas.

#### 5.3.1 Udvinning af biomasse, biogasproduktion og opgradering

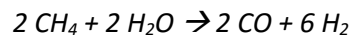
Det første trin er derfor blot de tre første trin i biogaskæden for at få den opgraderede biogas, som kan trækkes direkte fra naturgasnettet. Denne proces giver som tidligere fundet et lille energiforbrug for udvindingen og transporten af biomassen, derefter et energiforbrug i produktionen svarende til 50 %, og til sidst 4 % energiforbrug til opgradering samt 2 % metantab. Dette gør også, at methanol på samme måde som biogas ikke kan overskride ECA-kravene ved forbrænding i en færgemotor, da svovlresterne efter opgradering af biomassen er så minimal.

#### 5.3.2 Dampreforming

Biogassen sendes herefter ind i et rørsystem, hvor den blandes med damp. I disse rør er der katalysatorer til at producere syntesegas<sup>6</sup> (Marinemethanol, N/A, B). Produktionen sker under en varmetilførsel ved ca. 850 °C, som tilføres ved en forbrænding. Her er der forskellige muligheder. Enten at bruge biogas til at fyre en gaskedel eller gasturbine eller ved at forbrænde hydrogen – som

<sup>6</sup> Syntesegas er en gas bestående af kul monoxid (CO) og hydrogen (H<sub>2</sub>). (Marinemethanol, N/A)

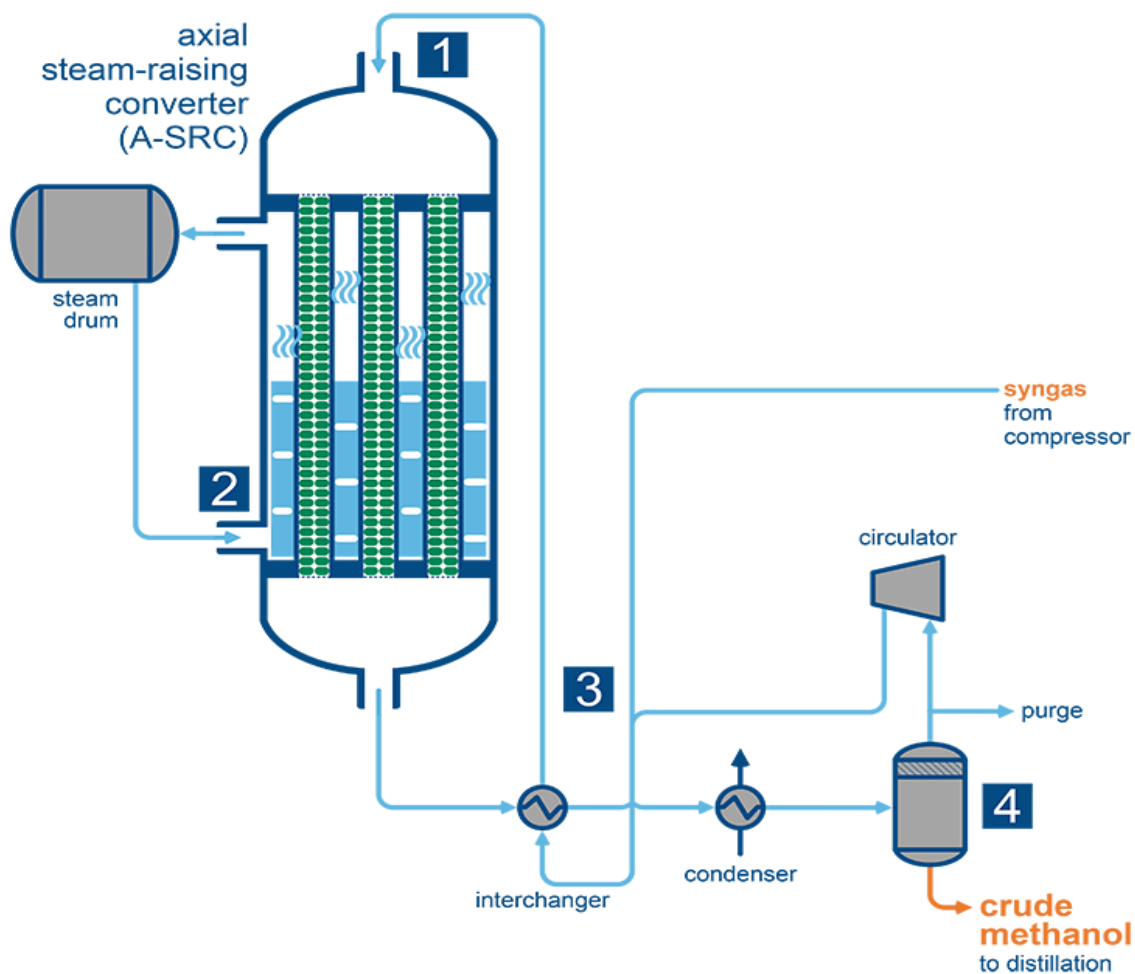
er i overskud ved denne syntetisering. For at danne methanol skal der være et CO/H<sub>2</sub> forhold på 2 (altså dobbelt så meget hydrogen som kulilte). Ved dampreforming ser den kemiske proces således ud (Ibid.):



Der kommer altså 2H<sub>2</sub> i overskud, som skal subtraheres, hvorefter det kan bruges til for eksempel varmetilførsel. Syntesegassen sendes herefter videre i systemet.

### 5.3.3 Syntese gas til methanol

Syntesegassen skal først og fremmest komprimeres en smule, hvorefter *interchangeren* sender syntesegassen ind i toppen af en reaktor (Johnson Matthey - Davy Technologies, N/A). Som vist på



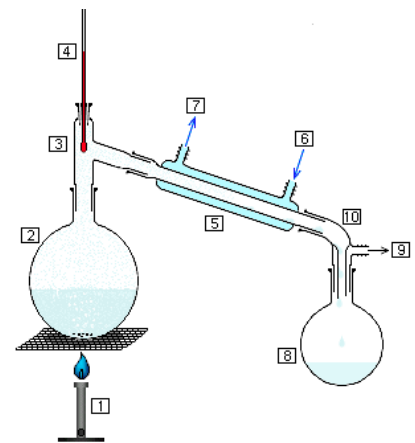
Figur 27 - Syntesegas til råmethanol (Johnson Matthey - Davy Technologies, N/A)

nr. 1 på Figur 27, er reaktoren fyldt med katalysatorer (de grønne) til at producere rå methanol. Denne reaktion er en exotherm reaktion, hvorfor der dannes varme (Ibid.). Derfor bliver der sendt vand ind i bunden af tuben fra damptrommen. Vandet absorberer så den producerede varme, hvorfor den fordampes og suges ind i damptrommen igen (Ibid.). Dette vand er derfor optimalt at bruge til fjernvarme, hvis det er muligt at forbinde methanolfabrikken til et fjernvarmenet – ellers vil det bare blive spildevand, og der vil være et varmetab fra processen (Thomsen, 2016). Det produkt, der herefter kommer ud af reaktoren, er råmethanol i gasform og inerte (ikke reagerede)

syntesegastrester. Dette produkt bliver sendt igennem en kondensator, hvor råmethanolen bliver lavet til væskeform og kølet ned. Syntesegastresterne bliver sendt ind til konvertering i systemet på ny (Ibid.).

### 5.3.4 Raffinering

For at få den rene methanol, som kan bruges til energiformål, skal den igennem en sidste proces, som er raffinering. Methanolraffineringen foregår ved destillation. Den råmethanol består af ca. 60 % methanol og 40 % vand (med undtagelse af en meget lille del andre rester < 1%) (Thomsen, 2016). Methanols kogepunkt er på ca. 65 °C, så først sættes råmethanolen under letkog, hvor de stoffer med lavere kogepunkt end methanol koges væk. Herefter sendes råmethanolen under et lidt højere kog, så methanolen koges "ud af" vandet, som illustreret på Figur 28, og kondenseres igen i en ny beholder med et koncentrat på > 99 % ren methanol, og vandet ligger tilbage i den første beholder (Ibid.).



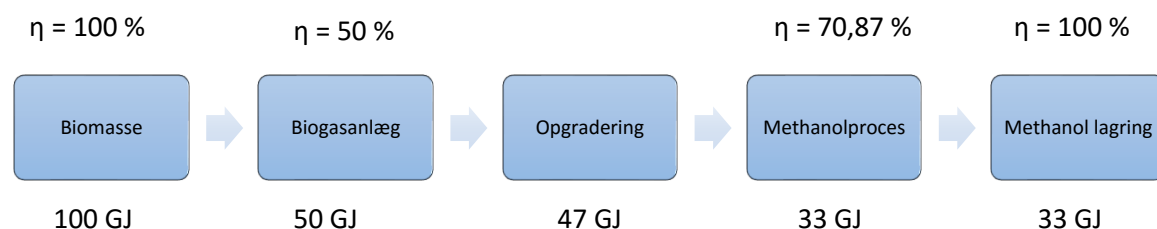
Figur 28 – Simple illustration af destillation (Wikipedia, 2016)

### 5.3.5 Konklusion

Da der skal bruges opgraderet biogas til produktionen af methanol, er de første tre trin for biogasprocessen inkluderet og mister en energimængde på 53 %. Herefter har det ikke været muligt at finde energitab for hvert step, men i stedet fundet en virkningsgrad for hele denne proces. Thomsen fortæller, at de i deres methanolfabrik bruger gennemsnitligt 1,411 MJ metan til at producere 1 MJ ren methanol. Dette metanforbrug er inklusiv alt energiforbrug – altså både til methanolproduktion, varmetilførsel og elforbrug. Dette giver altså en virkningsgrad på:  $(1 \text{ MJ} / 1,411 \text{ MJ}) * 100 = 70,87 \%$  (Thomsen, 2016).

Hertil fortæller Thomsen, at de udnytter alt den overskydende varme til fjernvarme, hvorfor han argumenterer for en virkningsgrad på op til 92 % for processen. Hvis man tilmed medregner udnyttelse af det overskydende hydrogen, ville tallet blive endnu højere – men det er ikke undersøgt videre. Disse virkningsgrader er dog ikke regnet med.

Energikæden for methanolprocessen ser derfor således ud, ved eksemplet på 100 GJ biomasse, som vist på Figur 29:



Figur 29 - Methanols energikæde (Egen figur)

Der er et meget lille energiforbrug i transport af methanolen herefter, hvilket derfor ikke er medberegnet. Den totale virkningsgrad, der regnes med, er derfor 33 %.

Som de andre to drivmidler vil udnyttelsen af methanol også efterkomme TIER III standarder ved forbrænding, ikke overskride ECA-kravene samt hjælpe til at opfylde det danskpolitiske mål om at være uafhængige af fossile brændsler i 2050.

## 6 Tank to propeller

TTP analysen er blot en del af den store WTP analyse. I denne analyse bliver der redegjort for, hvad der sker, når drivmidlet er kommet om bord på færgen, og indtil der skabes en mekanisk effekt på propellen til fremdrift af skibet. Denne analyse vil derfor både identificere den sidste del af værdikæden, altså hvad energitabene er i udnyttelsen af de forskellige drivmidler, samt besvare underspørgsmålet, hvordan fungerer drivmidlerne rent teknisk i færgedrift.

Den fulde WTP er altså delt op i to, fordi denne del er grebet lidt anderledes an end det hidtidige. Afsnittet slutter derfor også af med en konklusion på den fulde WTP analyse.

### 6.2 Færgemotorer

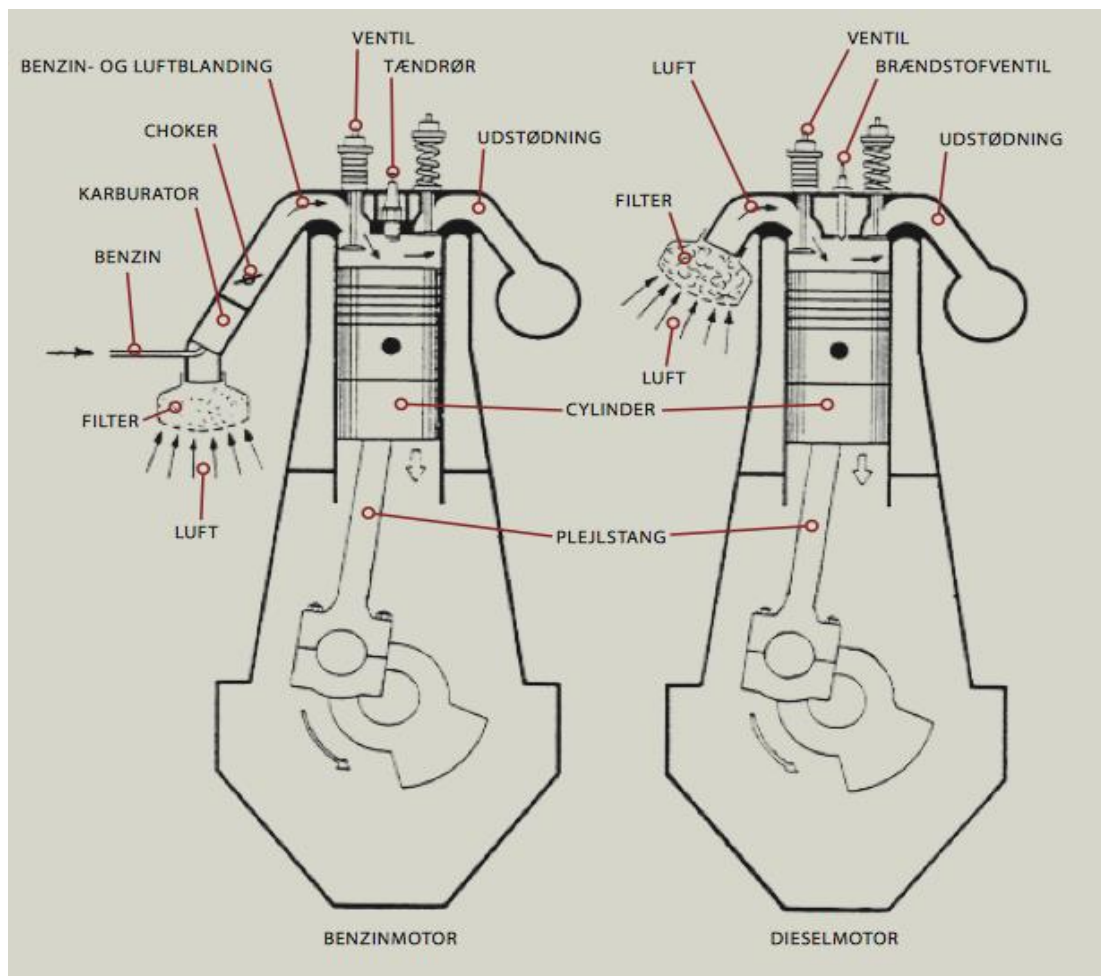
De motorer, der bliver brugt til færgedrift, er ikke anderledes end motorer, der bliver brugt i andre anvendelser (transport, kraftvarmeproduktion, mm.). De to klassiske motorer er Ottomotoren (benzinmotoren) og dieselmotoren. Derudover er brændselsceller og elmotoren blevet nye alternativer i de senere år. Motorerne fungerer på lidt forskellige måder og gør dermed, at det kun er nogle brændsler, der kan udnyttes i den enkelte motor. Samtidig er det forskelligt, hvor meget de kan udnytte af energien fra brændslet til mekanisk energi, hvilket giver dem forskellige procentmæssige virkningsgrader.

Udnyttelsen i færgemotoren udgør som nævnt TTP delen og er dermed den sidste del i WTP'en. Det er altså det sidste led i energikæden, for at få den fulde identificering af energitabet fra udvinding til effektiv energi i propellen.

#### 6.2.1 Ottomotor/Benzinmotor

For at forbrænde benzin skal der en speciel mængde ilt til. Benzinen blandes derfor med luft i karburatoren, kaldet ladningen, før det bliver injiceret i cylinderen (Pedersen F. H., 2007). Processen er illustreret på Figur 30. Motorens stempel mæser ladningen sammen, hvilket giver et arbejde, der skaber varme. Benzins slevantændelsestemperatur ligger på 500 °C (Fiskericirklen, N/A). Hvis ladningen komprimeres for meget, springer ladningen før den skal og skaber en motorbanken – hvilket ikke er godt for motoren og ikke udnytter energien (Nørgaard, 2014). For at dette ikke sker i en benzinmotor, kan ladningen kun komprimeres til 15 bar. Komprimeringen af ladningen skal altså være optimeret, så ladningen ikke kan selvantændes, men derimod får hjælp af en antændingsgnist, når det rigtige tidspunkt er. Der sker dog ikke en fuldstændig forbrænding, hvorfor de uforbrændte karbonhydrider og partikler bliver ledt ud igennem udstødningen. Benzinmotoren har en virkningsgrad på 20-30 % (Krøyer, 2009).

Metangas skal også anvendes i en Ottomotor og har en selvantændelsestemperatur på 465 °C. Det samme gælder methanol, der har en selvantændelsestemperatur på 455 °C celsius (Awilco-Multiplex, 2014).



Figur 30 - Princip for benzin- og dieselmotorer (Pedersen F. H., 2007)

### 6.2.2 Dieselmotor

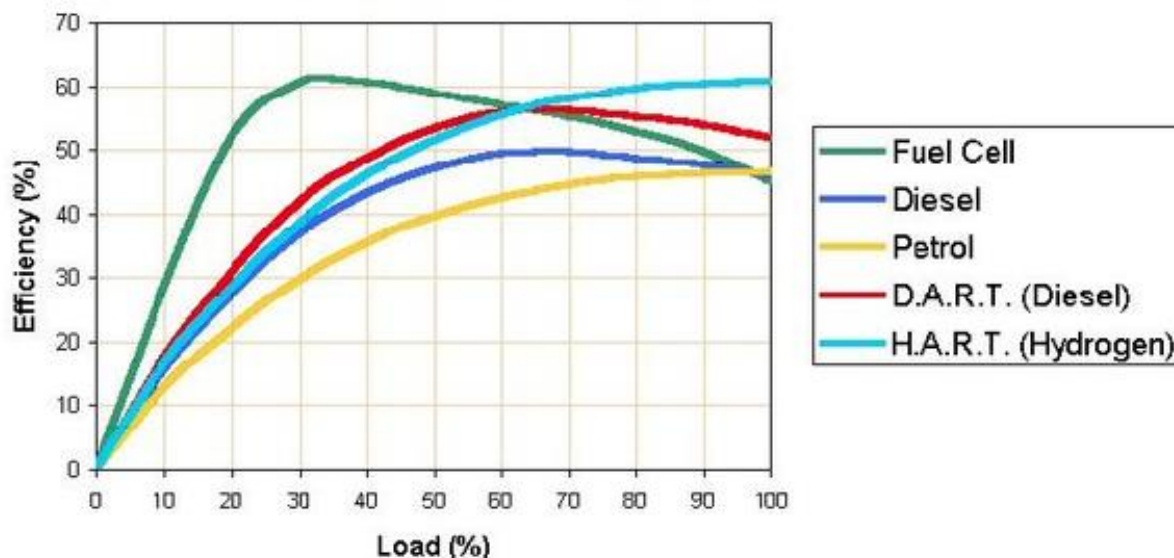
Dieselmotoren er lidt anderledes, da det kun er luft, der bliver injiceret i cylinderen og dermed kan komprimeres op til 150 bar. Efter denne komprimering sprøjtes en tilpas mængde støvet diesel ind og blandes. Diesels selvantændelsestemperatur er på 250 °C, og ved komprimeringen af luften dannes en høj varme, hvilket resulterer i, at varmen er høj nok under sammenblandingen til, at ladningen selvantændes. De fleste regner med en virkningsgrad på 40-50 % for nye dieselmotorer (OSK-ShipTech A/S, 2014). Grunden til, at man ikke anvender benzin i en dieselmotor, er, at der ikke er olie til at smøre brændstoffpumpen i benzin, som der er i diesel. Derfor vil pumpe og dyser m.m., sætte sig fast ved brug af benzin, og motoren vil stoppe af sig selv efter nogle få minutter (Corneliussen, 2014). Uden at have nogle referencer på det, må det formodes, at det er lignende omstændigheder, der gør, at man ikke anvender gas og methanol i dieselmotoren.

### 6.2.3 Virkningsgrad i analysen

Motorer virker ikke lige godt ved alle belastninger. Det antages ikke, at de danske passagerfærger sejler med fuld belastning hele tiden, hvorfor det er set nødvendigt at finde en gennemsnitlig belastning. For at finde ud af, hvor høj den gennemsnitlige belastning er, er der blevet kontaktet flere færger (Havnsø – Sejerø; Drej ø – Skarø – Svendborg; Agersø – Stignæs; Orø – Holbæk; Venø – Kleppen). Da ingen vidste, hvad deres gennemsnitligt belastning er, har det været nødvendigt at få



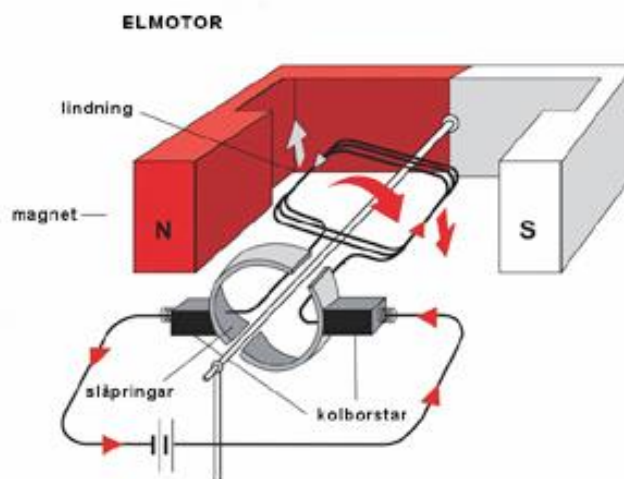
oplysninger om deres årlige brændstofforbrug. Ved at aflæse ruternes sejlplaner, kan man finde frem til, hvor meget energi (brændstof), de har brugt pr. tur, hvilket kan sammenlignes med den mængde energi, der ville være brugt ved 100 % belastning. Dette har givet en række resultater nogenlunde indenfor samme område med henholdsvis 36,5 %, 54,7 %, 42,3 %, 38,8 %, 46,07 % for de ovennævnte færgeruter. Den gennemsnitlige belastningsgrad mellem disse er 43,7 %. Ruterne er taget ud fra forskellige overfartstider for at sikre reliabilitet. Der er dog kun blevet aflæst ruternes nuværende sejlplan, hvilket kan være en sommerplan og det kan være, at der sejles mindre om vinteren. Dette er der ikke taget højde for i beregningerne, hvorfor det vil være en begrænsning i rapporten – men det formodes, at det ikke har stor nok indflydelse til at sænke validiteten for resultatet. Dette kan derfor bruges til at aflæse, hvad den reelle virkningsgrad er for motorerne. Af mangel på bedre graf, vurderes det, at Figur 32 giver et billede af diesels (mørkeblå linje) og benzins (gul linje) virkningsgrader ved forskellig belastning. Benzins – som her repræsenterer en Ottomotor – effektivitet ved 43,7 % er her ca. 38 % ud af en fuldbelastning på 47 %, hvilket derfor giver en virkningsgrad på 80 % af fuldbelastning. Hvis man bruger dette resultat på forrige fundne kilder (maxeffektivitet på 30 %), ender det med en virkningsgrad på 24 % - hvilket vurderes som et mere realistisk resultat end 38 %, hvorfor det bruges for udregningerne i de videre analyser. Diesels effektivitet derimod stemmer overens med forrige fundne kilder. Effektiviteten ved en belastning på 43,7 % er derfor aflæst til at være 45 %.



Figur 32 - Effektivitet ved forskellige belastningsgrader (Tomar, 2015)

### 6.2.3 Elmotor

En elmotor bruges til at omdanne elektrisk energi til mekanisk energi. Det gøres via en fast magnet og en elektromagnet, som vist på Figur 31. Når der tilsættes strøm til den elektromagnetiske spole, dannes der magnetisme og poler i den (Teknikbloggen, N/A). Når denne stilles imellem en rigtig magnet, dannes der et magnetfelt imellem de to, der får spolen til at rotere (Ibid.). Spolen er derfor sat



Figur 31 - Simple visualisering af en elmotor (Teknikbloggen, N/A)

til en drivaksel, som sætter gang i propellen på fartøjet. Det karakteristiske ved en elmotor er, at den kan bruge fuldt moment med det samme, der bliver trykket på speederen, i modsætning til en benzin eller dieselmotor, der først skal op i omdrejninger og samtidig skal igennem forskellige gear for at komme til fuldmoment (Frees, N/A). Det gør, at den kan afgive høj effekt på propellen med det samme, hvilket medfører en fordel til manøvrering. Der bliver dog mistet en smule af effekten i den modstand, der er i ledningen samt som varme fra processen. Men elmotoren anses dog stadig at have en virkningsgrad på 85-95 % (OSK-ShipTech A/S, 2014).

Samme princip som før er også anvendt for elmotoren for at finde virkningsgraden ved den gennemsnitlige belastning på 43,7 %.



Figur 33 - Effektivitet ved forskellig belastningsgrader (Manney, 2014)

Den er aflæst på Figur 33 til at være ca. 87 %, hvorfor dette tal vil blive regnet med i den videre analyse.

#### 6.2.3.1 Vekselretter til vekselstrøm samt frekvensomformer til højere frekvens

Når der ses på TTP for el, er den anderledes end for brændsler, da de opbevares i en tank og derefter injiceres i motoren. Tanken for el er batteriet, hvori den oplagrede strøm (drivmidlet) opbevares. Selve batteriet har i sig selv en virkningsgrad, da der går energi tabt under lagring af strømmen. Man kan sige, at i modsætning til brændslerne, er der et tab i lagringen i "tanken". Dette tab kan veksle meget, da det afhænger af en del faktorer, såsom hastighed på afladning, temperaturen i batteriet samt hvilke katalysatorer, der er brugt i batteriet. Normalt regnes med en virkningsgrad på 85 % for et færbatteri. Herefter går der også noget energi tabt fra batteriet og hen til elmotoren, hvilket skyldes, at elmotoren fungerer ved vekselstrøm. Som nævnt virker batterier ved jævnstrøm, hvorfor der er en vekselretter mellem batteriet og motoren. Rasanen fortæller, at der ligeledes er et tab på 1,5 % for denne proces, som ved den omvendte. I samme proces bliver frekvensen opreguleret, så frekvensen fra batteriet, som går ved lave frekvenser, kommer op og får den nødvendige frekvens til udnyttelsen i elmotoren. Den høje frekvens er nødvendig, da frekvensen i elmotoren bestemmer omdrejningstallet. Det har desværre ikke været muligt at få de nøjagtige frekvenser ved denne proces. Disse procenter er altså medregnet i Excel arket og kan ses inkluderet i ligningen på Bilag 1, Ark 3 (Resultater). Den samlede virkningsgrad for energikæden i TTP analysen for el er dermed 73 %.

### 6.3 Konklusion på WTP

Energikæden for WTT analysen for CBG havde en virkningsgrad på 44 %. Når denne virkningsgrad adderes med 24 % for anvendelsen i Ottomotoren, ender CBG's fulde virkningsgrad på 11 % for hele energikæden.

Samtidig var LBG's virkningsgrad i WTT analysen 45 % og anvendes i en Ottomotor med virkningsgraden på 24 %, hvilket giver en totalvirkningsgrad på 11 %.

Energikæden i WTT analysen for methanol endte med en virkningsgrad på 33 %. Når denne adderes med virkningsgraden for TTP analysen, ender methanols energikæde med en totalvirkningsgrad på 8 %, da det også anvendes i en Ottomotor.

Els energikæde i WTT analysen gav 84 %. El anvendes i en elmotor med en virkningsgrad på 87 %, samtidig med, at der er et energitab i batteriet og i vekselretteren. Det samlede tab for els energikæde i TTP analysen var derfor 73 %, hvilket ender med en totalvirkningsgrad på 61 %.

Det er vigtigt at pointere, at den udførte WTP analyse er meget generaliseret, og at de fundne resultater kun er for de stier, der er blevet valgt at følge. Hvert enkelt trin i de tre stier kan variere i forhold til, hvilken metode og hvilken sammensætning ressourcen, der bliver udnyttet, har. Eksempelvis for biogasproduktionen, varierer det meget, hvor stor en metanprocent samt volumen, der kommer ud af produktionsanlægget i forhold til, hvilken biomasse, der er puttet ind i anlægget. Hertil vil det også variere, hvor meget varmetilførsel, der skal bruges for forskellige biomasser for at opnå den rette temperatur. Den forskellige biomasse kræver forskellige temperaturer for at afgasse samtidig med, at det også tager forskellig tid – altså varmekonsumet er anderledes, hvis det tager 1 uge at afgasse biomassen, end hvis biomassen skal ligge i 3 uger, før den er afgasset. Dette har også videre effekt på den afgassede biomasse og den kvalitet, der kan leveres tilbage til landmændene som gødningsprodukt.

Efterfølgende vil det også have effekt på opgraderingen, da energiforbruget vil variere alt efter, hvad metanprocenten er i den råbiogas. Hertil gælder det for alle trinene, at jo større anlægget er, jo mindre energi pr. enhed kræver det – altså for et mindre anlæg vil det kræve mere energi pr. enhed for både at afgasse biomasse, at opgradere råbiogassen, at komprimere biogassen og kondensere biogassen.

Det samme gælder for synteseprocessen for methanol, hvor energiforbruget også vil variere alt efter metode, valg og størrelse på anlægget.

For el er der valgt en vindmølle til at producere strømmen, men hvis andre teknologier var valgt som et kraftværk for eksempel, ville virkningsgraden også være helt anderledes.

Det gør altså ikke resultatet forkert eller mindre validt, men det er vigtigt at have for øje, at det kun er validt for lige netop den sti, der er valgt at følge. Hertil er det forsøgt bedst muligt at vælge en generel tendens for hver teknologi – altså at vælge den mest udbredte teknologi, at vælge en gennemsnitlig biogasprocent mm. – for at give et så realistisk billede som muligt på en standard energikæde for hver ressource.

WTP analysen kan derfor hjælpe med at besvare nogle af underspørgsmålene for problemformuleringen. Hertil både, hvad energitabene er i drivmidlernes livscyklus, og hvordan disse drivmidler fungerer teknisk set i færgedrift. Derudover er alle tre drivmidler en del af VE-direktivet, som nævnt i introduktionen, altså enten brændsler produceret af biomasse eller af vind. Dermed vil en omstilling til hver af drivmidlerne hjælpe på det danske politiske mål om at være uafhængige af fossile brændsler i 2050.

## 7 Omstillingsanalyse

Det kan altså tydeligt ses, at els energikæde er den mest effektive og har det laveste energitab af de tre drivmidler. Derfor må det være eldrift, der skal fokuseres på som det første drivmiddel at få omstillet til set fra et energistrategisk perspektiv. Denne analyse vil derfor omhandle muligheden for omstillingen af disse passagerfærgeruter til først og fremmest el og derefter se, om dem, der ikke kan omstilles til el, i stedet kan omstilles til enten CBG, LBG eller methanol.

Der er givet ekstra fokus på netop denne analyse, fordi man fra færgeruteejerens side har yderligere indflydelse på denne del. WTP analysen er meget generel og ikke noget, man som færgeruteejer som sådan kan gøre noget ved eller ændre virkningsgraderne eller energieffektivitet på. Det er altså op til andre at gøre denne proces bedre. Men når energieffektiviteten er beregnet for de forskellige stier, kan man som beslutningstager tage stilling til, hvilken sti man så vil følge og dermed, hvilket drivmiddel, der skal drive ens færge.

Der er mange forskellige faktorer, der spiller ind på effekten af brændslet ved færgedrift. For at kunne udføre denne analyse, er der derfor blevet generaliseret på flere af disse faktorer for at skabe en overordnet planlægningsmæssig anvendelse af resultatet. Det, der i bund og grund vil blive undersøgt, er, hvor meget af hvert brændsel, der skal bruges til at opfylde det nuværende energiforbrug. Dette vil give et indblik i, om det kan lade sig gøre at omstille til el, biogas og methanol for hver enkelt beregnet færge. Denne analyse sammen med WTP analysen vil dermed finde svaret på hypotesen om, at nogle drivmidler egner sig bedre til nogle ruter end andre, og samtidig vil det svare på underspørgsmålet, hvornår de enkelte drivmidler egner sig bedst. Dette vil derfor i sidste ende hjælpe til at besvare den sidste del af problemformuleringen: hvilke drivmidler bør de danske passagerfærger fra et energiteknisk perspektiv omstilles til, så de opfylder ECA-kravene og de danske politiske mål om 100 % uafhængighed af fossile brændsler?"

### 7.1 Diskussion af faktorer

Det var håbet for denne rapport, at man kunne finde et kapacitetsbehov på færgen ud fra vægten, distancen og tiden – eller i hvert fald komme så tæt som muligt på den reelle kapacitet. Tanken bag dette var at finde en trækraft for færgen ved hjælp af fysiske love. Via trækraften kan man finde arbejdet for færgen og derigennem en effekt, hvorved den kan sammenlignes med en nuværende installeret motorkapacitet. Trækraften skal kunne drive færgens masse i rutens afstand på en ønsket tid, hvilket i sig selv kræver en vis kraft, men skal samtidig også kæmpe sig igennem modstandskraften på færgen. Modstandskraften har efter mange forsøg ikke været mulig at identificere grundet en række faktorer, som man ikke kender værdierne på, og som samtidig er forskellige for hver enkel færge. Uden modstandskraften er det umuligt at finde trækraften, hvorfor dette måtte opgives. På denne baggrund er det fundet nødvendigt i stedet at diskutere disse faktorer.

Gennem samtaler med relevante aktører på markedet samt gennem egne erfaringer under udviklingen af denne afhandling, er der identificeret flere væsentlige faktorer. Heriblandt er havets dybde, skibets dybdegang, bølger, vind, strøm i vandet, skrogets form, skrogets materiale, propellens design, propellens størrelse, færgens vægt, tankkapacitet, drivmidlets massefylde, drivmidlets forbrændingsevne, motorens virkningsgrader, antal af motorer, drivmidlets optimale effektivitet, menneskelige faktorer (såsom styreegenskaber, reaktionsevne mm.), ønsket tid på en vis distance, enkeltend- eller dobbeltendet færge, færgelejer og havnens størrelse og design.

En væsentlig faktor på færgens fremdrivningseffektivitet er, hvor stor en modstand, motoren skal overvinde. I denne henseende giver det mening, at vindmodstand har en stor effekt. Det samme har selve havet, som færgen sejler i, i form af gnidningsmodstand. Derfor har det indflydelse, hvor dybt færgen stikker i vandet, for at vurdere henholdsvis, hvor meget færgen bliver påvirket af havmodstand og hvor meget af vindmodstand. Færgen stikker dybere ned jo hurtigere, færgen sejler, hvorfor havdybden også har noget at sige, da man ikke kan sejle så hurtigt på de lavere havdybder. Det betyder, at hvis der er meget lavvandet, kan færgen ikke sejle så hurtigt, for ikke at stikke for dybt. Gnidningsmodstanden på færgen er et resultat af formen på skroget, hvor let det kan skære sig igennem havet, skrogets materiale, hvor ru materialet er og dermed "hænger fast" i havet, begroning af alger, der også hænger fast i vandet, og havets viskositet og densitet – hvor meget modstand, der er for færgen at skære igennem. Derudover har bølger og strøm i havet en yderligere kraft mod færgen, hvorfor disse også har effekt på modstanden. Disse forhold er forskellige fra færge til færge alt efter størrelse, form og de materialer, færgen er bygget i, hvorfor der ikke kan generaliseres, hvilket udgør en begrænsning for rapporten.

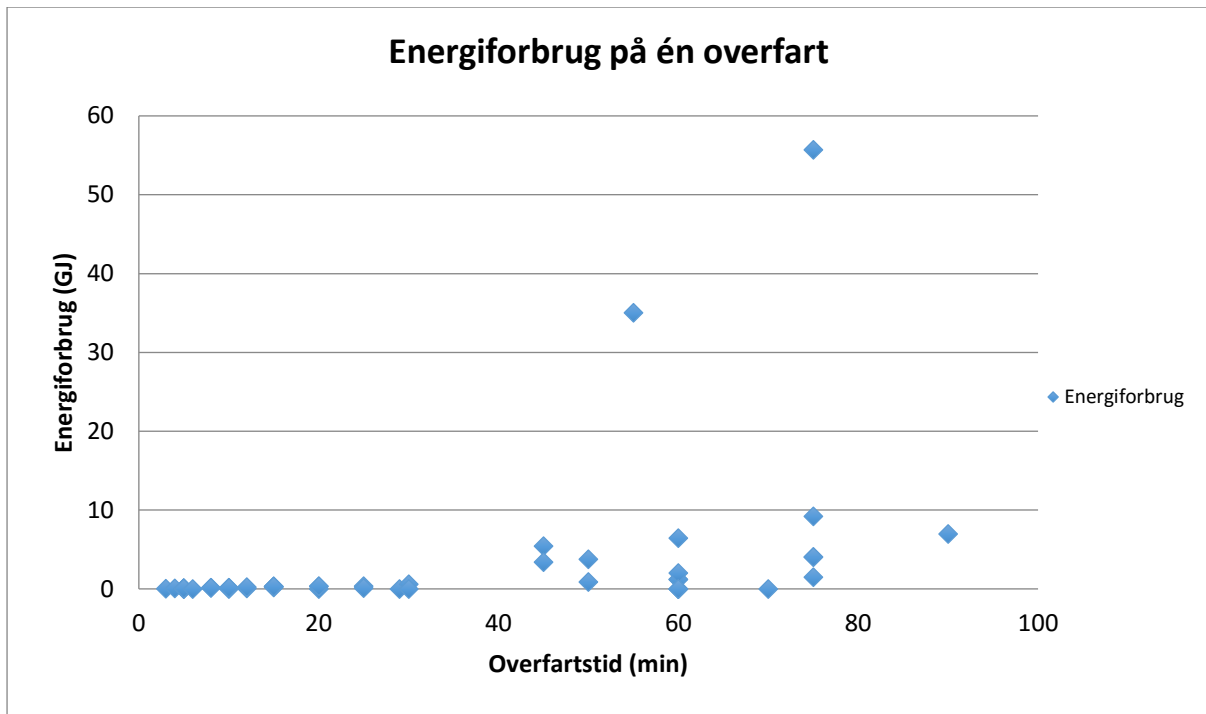
## 7.2 Beregningsmetode

### 7.2.1 Energiforbrug

Eftersom det ikke var muligt at finde den nødvendige kapacitet via egne beregninger, vil der blive regnet med den allerede installerede motorkapacitet. Denne motorkapacitet kommer i en kW størrelse, som herefter kan bruges til at beregne energiforbruget på én tur. Hertil er også anvendt den gennemsnitlige belastning af motorerne på 43,7 %. Energiforbruget beregnes ved at multiplicere den fundne nuværende installerede motorkapacitet og den tid, det tager at sejle ruten og hertil den gennemsnitlige belastningsgrad:

$$E[KJ] = P[kW] * t[s] * 0,437$$

Resultaterne af energiforbruget kan ses på Bilag 1, på Ark 1 (Færgedata) og på Figur 34. Det resultat, der dermed bliver vist, er, ved gennemsnitlig driftsprofil, hvor meget energi, der bliver forbrugt på én tur med en motorkapacitet tilsvarende den, der allerede er installeret på færgen.



Figur 34 - Energiforbruget for de danske passagerfærger kontra overfartstid (Egen graf og egne tal)

Grafen er uden de sidste to færger (Køge – Rønne og Grenå – Anholt), da disse to ligger langt fra de andre punkter og dermed reducerer den visuelle effekt af de andre punkter. Det kan altså ses, at energiforbruget begynder at stige ved omkring 45 minutters overfart. Det stiger dog meget fluktuerende, hvilket igen er et bevis på, at det er nødvendigt at analysere hver enkel færgerute – i hvert fald efter 45 minutters overfart. Grafen tager ikke hensyn til størrelse, hverken passagerkapacitet eller dødvægt, hvilket altså formodentlig er faktorer, der skylder de færger med usædvanligt højt energiforbrug på grafen.

### 7.2.2 Nødvendig brændseltilførsel

Når der er et arbejde, kan det ses, hvor meget af hvert drivmiddel der skal bruges. Dette gøres ud fra den nedre brændværdi for de forskellige drivmidler samt drivmidlets densitet. Med disse to tal er det muligt at finde energidensiteten for hvert drivmiddel og dermed finde drivmiddelvolumenet:

$$E_i \left[ \frac{GJ}{m^3} \right] = \frac{\rho \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * \text{Nedre Brændværdi} \left[ \frac{MJ}{kg} \right]}{1000}$$

Brændslernes data kan ses på Bilag 1, Ark 2 (Brændselsdata), hvor de udregnede energidensiteter også er indskrevet.

Som TTP analysen beskriver, skal de forskellige drivmidler anvendes i bestemte motorer. For at bestemme om de forskellige drivmidler kan udnyttes til den givne færgerute, er det nødvendigt at udregne den mængde af drivmidlet, der skal bruges til at kunne levere energiforbruget. Både CBG, LBG og methanol skal forbrændes i en Ottomotor med en virkningsgrad på 24 %. Det betyder, at det



fundne energiforbrug kun er 24 % af den mængde brændsel, der skal injiceres for at få den nødvendige mængde energi ud. For el er der regnet med en virkningsgrad på 73 %, da den både inkluderer virkningsgraden på motoren, vekselretter (samt frekvensomformer) og batteriets tab. Disse beregninger og resultater kan findes på Bilag 1, Ark 3 (Resultater).

### 7.2.3 Volumen for drivmidlerne

Når den nødvendige mængde brændsel for at udføre det givne arbejde er fundet, kan man via energidensiteten bestemme, hvor meget denne mængde brændsel fylder – altså hvor stor en tankkapacitet, der er nødvendig for at udnytte det givne brændsel.

$$V [m^3] = E[GJ] / E_i \left[ \frac{GJ}{m^3} \right]$$

For el er Rasanens (ABB's) tommelfingerregel med 1 MWh = 10 m<sup>3</sup> anvendt.

Disse resultater er også indskrevet på Bilag 1, Ark 3 (Resultater).

### 7.2.4 Energiforbrug på en dags drift

Eftersom færgerne ikke stopper deres drift efter én tur, er det nødvendigt at finde det daglige forbrug, da der derefter er tid til at bunker eller genoplade henover natten. Dette er gjort ved at finde sejlplaner for hver enkelt rute og finde ud af, hvor mange ture, færgen sejler om dagen. Disse resultater er skrevet ind på Bilag 1, Ark 3 (Resultater).

Der er ikke blevet regnet forbrug i tomgang med i analysen, hvilket derfor er en fejlkilde. Jo længere ruterne er, jo større er færgerne oftest, hvilket betyder længere havnetider for at få af- og pålæst færgen, hvilket til sidst resulterer i lange tomgangsperioder. Dette har især haft effekt på udregningen på, hvor stor en del af motorkraften færgerne gennemsnitligt bruger.

### 7.2.5 Omstillingsmuligt

Til sidst er der blevet anvendt en speciel størrelse tank for at se, om færgen kan komme igennem dagen med det givne brændsel. Dette gøres ved at dividere den valgte tankstørrelse med dagens energiforbrug, hvilket vil vise, hvor stor en del af tanken dagens energiforbrug vil kræve. Hvis resultatet er over 1, kan det klare hele dagen. Det skal dog tages in mente, at der ikke er nogen form for buffer, hvis vind og vejr gør, at energiforbruget bliver højere.

For elmotoren er anvendt den tommelfingerregel, Rasanen (ABB) har suppleret med. Med dette menes, at én overfarts energiforbrug kun må være 30 % af batteriets kapacitet – altså er man nødt til at installere en tilsvarende større batteripakke. ABB's største batteripakke leveret på nuværende tidspunkt er på 4,16 MWh. Det vides derfor med sikkerhed, at den størrelse er mulig at installere på en færge. De ruter, der har et energiforbrug på én tur – inklusiv den tilsvarende større batteripakke – kan altså fra et energimæssigt perspektiv omstilles til en hurtigladningsmetode. Med dette menes der, at de er nødt til at lade imellem hver tur med en hurtigladning. Der er forskellige måder at oplade batterierne på, enten med en hurtigladning, som kan oplade det til 90 %, som Rasanen anmoder, på 5-9 minutter, eller også kan det oplade ved en langsomladning henover natten. De ruter, der har et

energiforbrug på en dag – inklusiv den tilsvarende større batteripakke – på under 4,16 MWh, kan fra et energimæssigt perspektiv omstilles til langsomladningsmetoden. Færgen kan altså sejle en hel dag på batteripakken, før den er nødt til at oplade igen. Resultatet er altså kun muligheden for at omstille fra et energimæssigt perspektiv, da der ikke er regnet pris og tilgængelig infrastruktur med i analysen.

Hurtigladning og langsomladning kan have forskellig effekt både på levetid og på pris, hvorfor der kan være forskellige incitament for at vælge hver af dem, hvis infrastrukturen er tilgængelig til begge dele. Det er dog ikke noget, denne afhandling vil komme videre ind på, men må være op til den enkelte beslutningstager at undersøge nærmere.

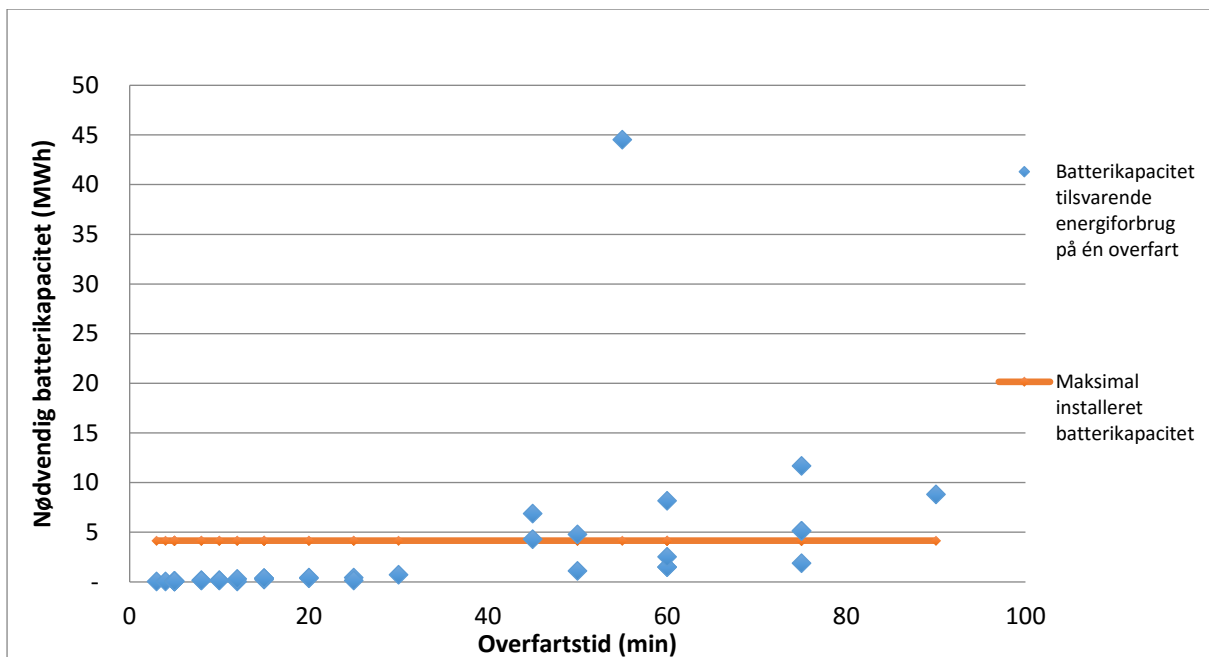
Ved en aflæsning af alle sejlplanerne kan det ses for hver færgerute, hvor længe færgen er i land. Det vil altså sige, hvor lang tid færgen maksimalt har til at oplade i. Man kan herfra beregne, hvor stor opladeeffekt, der er nødvendig for at kunne afgive den mængde energi, der er forbrugt i batteriet.

### 7.3 Resultater af omstillingsanalyse

Med resultaterne fra analysen vil det være muligt at besvare hypotesen om, at nogle drivmidler er bedre til nogle ruter end andre drivmidler, det ene underspørgsmål omkring, hvilke ruter drivmidlerne egner sig bedst til og den sidste del af problemformuleringen om, hvilke drivmidler de danske passagerfærger fra et energimæssigt perspektiv bør omstilles til, så de opfylder ECA-kravene og de danskpolitiske mål om 100 % uafhængighed af fossile brændsler. Da det allerede er blevet beskrevet, at både CBG, LBG, methanol og el opfylder ECA-kravene og vil hjælpe med til at nå de danskpolitiske mål om 100 % uafhængighed af fossile brændsler, er der tilbage at påvise, hvilke drivmidler de danske passagerfærger bør omstilles til – hermed ment, hvilket drivmiddel, der egner sig bedst til hver enkel af de danske passagerfærgers overfartsruter. I omstillingsanalysen er der analyseret 39 af de 53 danske passagerfærgeruter med et bredt snit af overfartstider og motorstørrelse, så det giver et validt billede af virkeligheden.

Som bevist i WTP analysen, er det el, der fra et energimæssigt perspektiv er mest optimalt at omstille til, hvorfor det vil blive præsenteret først.

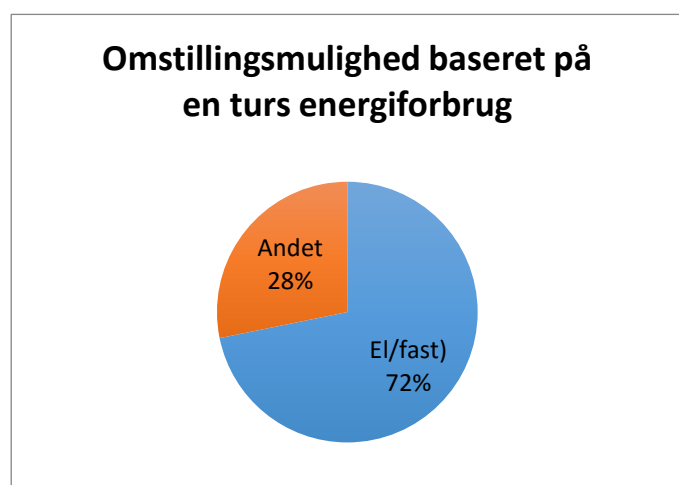
Det er på Figur 35 visualiseret, hvor mange af de danske passagerfærger, der rent teknisk fra et energimæssigt perspektiv kan omstilles til hurtigladning. Århus – Odden, Grenå – Anholt og Køge – Rønne er ikke taget med i nogle af graferne i omstillingsanalysen med mindre andet bliver nævnt, da disse færgers punkter ligger langt fra de andres og dermed ville reducere den visuelle effekt af de andre punkter. Men de tre færgers energiforbrug og dertilhørende batterikapacitet er mere end de 4,16 MWh.



Figur 35 - Færgeruter der fra et energimæssigt perspektiv kan omstilles til hurtigladning (Egen graf og egne tal)

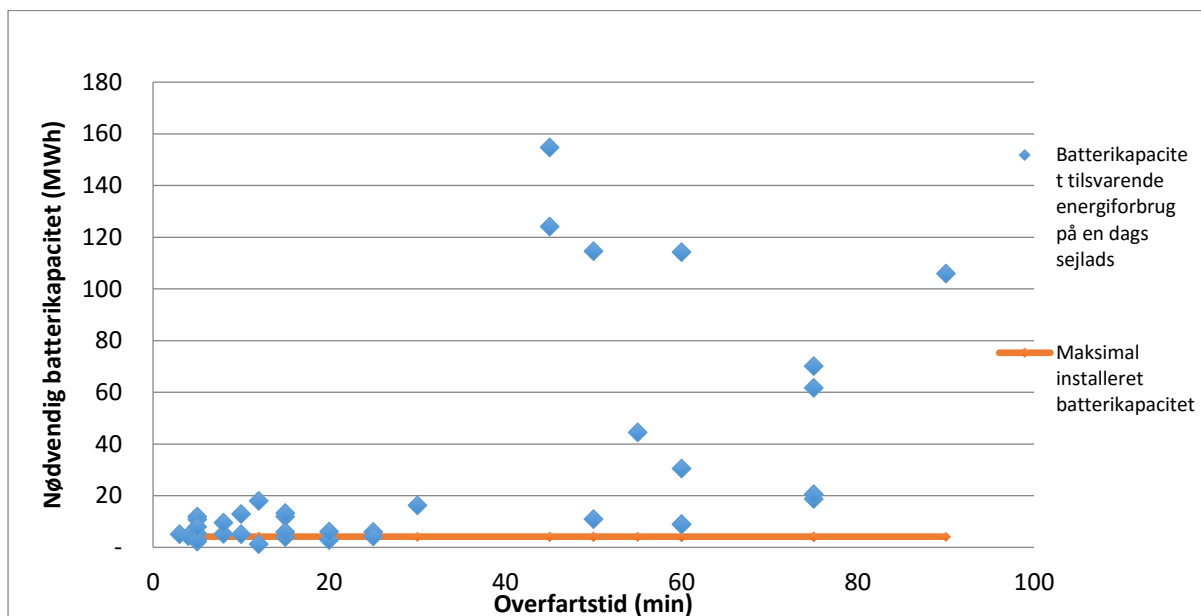
Den blå linje viser med hver en prik færgerne og den nødvendige batterikapacitet, der skal installeres for, at energiforbruget på én tur ikke overstiger de 30 % af batterikapaciteten. Den orange linje viser grænsen på 4,16 MWh, da det er den største batteripakke leveret og derfor må anses som mulig at installere. Y-aksen viser dermed den nødvendige batterikapacitet målt i MWh, og x-aksen viser overfartstid for de analyserede færgeruter. Det kan ses, at langt størstedelen af færgernes energiforbrug på én tur – med tilsvarende nødvendig batterikapacitet – ligger langt under den orange grænse. Alt under 30 minutters overfart kan altså omstilles til eldrift, hvorimod det efter 45 minutter bliver mere svingende, hvor den sidste færge, der kan omstilles, har en overfartstid på 75 minutter.

Mere eksakt er det vist på Figur 36, at det er 72 % af alle de (analyserede) danske passagerfærger, der kan omstilles til hurtigladningsmetoden.



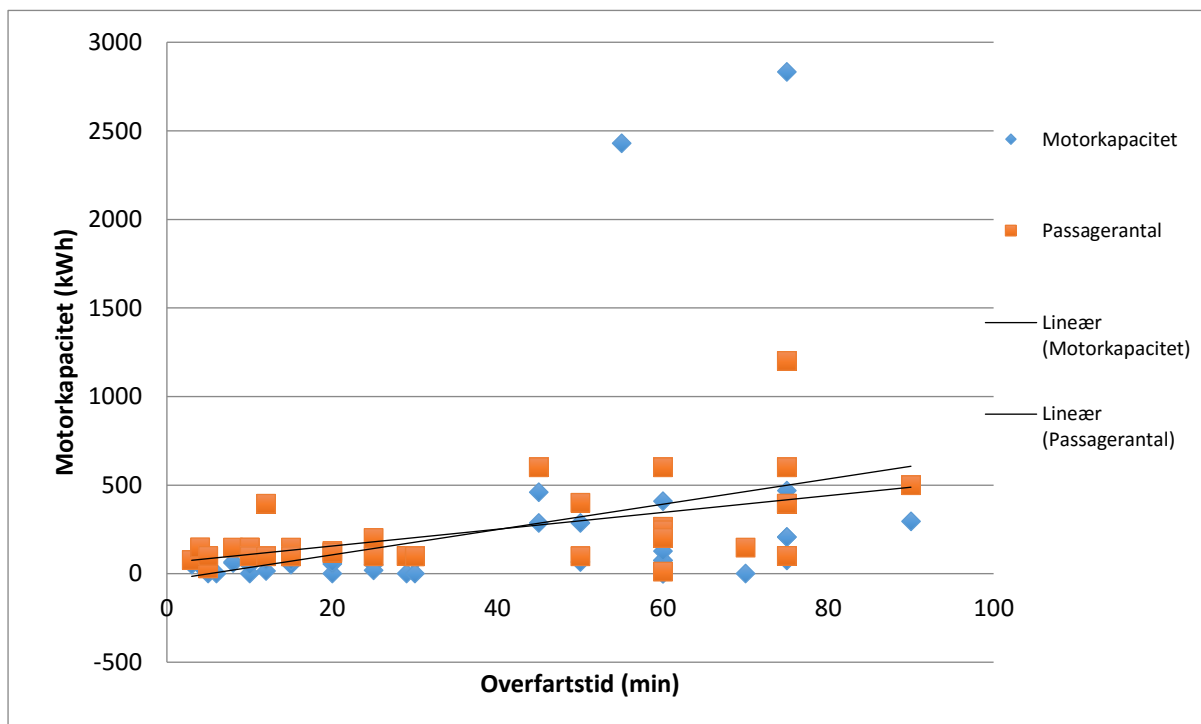
Figur 36 – Mulig omstillingsprocent for hurtigladningsmetoden (Egen figur og tal)

Samme visualisering er udarbejdet for omstillingspotentialer for langsomladningsmetoden på Figur 37.



Figur 37 - Færger der fra et energimæssigt perspektiv kan omstilles til langsomladning (Egen graf og egne tal)

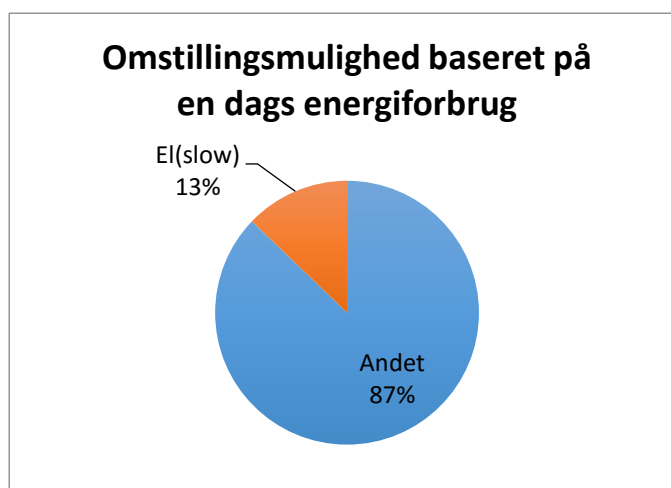
Linjerne og akserne betegner altså det samme som på Figur 35. Det kan ses, at den nødvendige batterikapacitet for en dags energiforbrug varierer mere end for en enkelt turs energiforbrug. Dette skyldes færgens hyppighed for overfarter samt nuværende installeret motorkapacitet. De færger, der har et større energiforbrug, er oftest også de færger, der har mange passagerer med. Som det kan ses på Figur 38, stemmer tendensen for den nuværende installerede motorkapacitet nogenlunde overens med tendensen for passagerer antallet på færgerne.



Figur 38 - Sammenhæng mellem motorkapacitet og passagerantal (Egen graf og egne tal)

Med andre ord er det altså de færger, der har mange passagerer med, der har en stor nuværende motorkapacitet installeret. Det er samtidig disse, som sejler forholdsvis mange ture om dagen, der i sidste ende giver et højt dagligt energiforbrug.

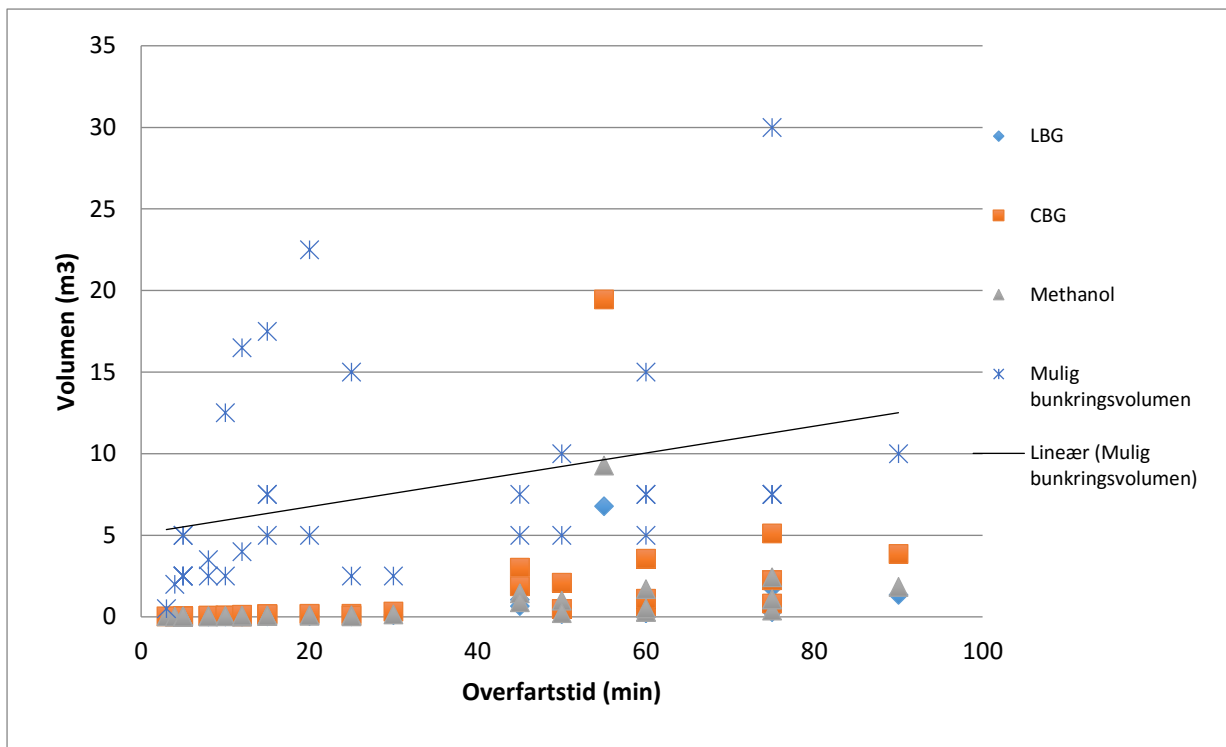
Tilbage til Figur 37 kan det ses, at det kun er nogle få, korte færgeruter, hvor hele dagens energiforbrug er under 4,16 MWh – inklusiv den tilsvarende nødvendige batterikapacitet. Som det er vist på Figur 39, er det eksakte tal 13 % af de danske passagerfærger, der har mulighed for, fra et energimæssigt perspektiv, at omstille til langsomladningsmetoden. Logisk nok vil disse 13 % også kunne omstille til hurtigladningsmetoden – hvis det skulle vise sig at være mere attraktivt, grundet andre incitamenter.



Figur 39 - Mulig omstillingsprocent for langsomladningsmetoden (Egen graf og egne tal)

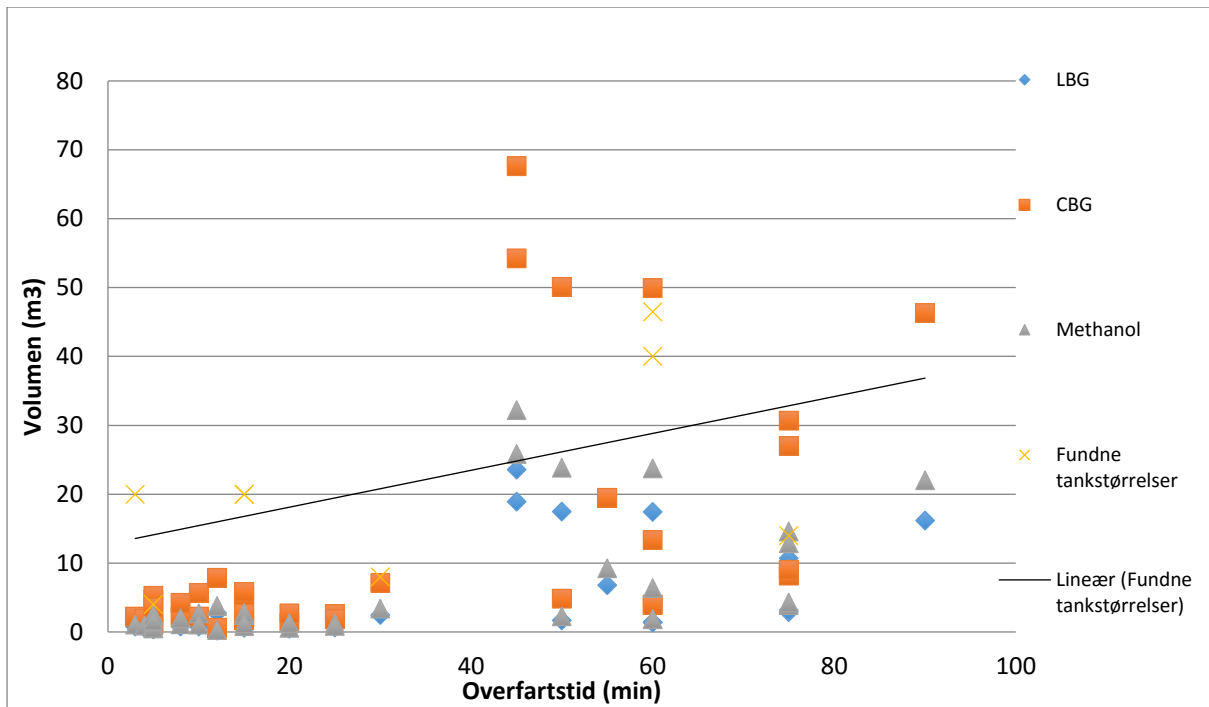
Hvad angår CBG, LBG og methanol blev det bestemt, at næste fokuspunkt fra et energimæssigt perspektiv er LBG og derefter CBG. Der var dog ikke meget forskel på de totale virkningsgrader for de tre drivmidler, hvorfor der kigges på alle tre. Hvis de bruges i en Ottomotor, kan det ses på Bilag 1, Ark 3 (Resultater), hvor stort brændselsforbruget skal være for at yde den nødvendige energi til hver overfart. Hver af brændslernes energidensitet kan herefter bestemme, hvor stor volumen af brændstoffet, der skal bruges til én turs energiforbrug og en dags energiforbrug.

Volumen af hvert brændsel for én turs energiforbrug er vist på Figur 40. Som det kan ses, kræver energiforbruget en volumen på under 5 m<sup>3</sup> for alle tre drivmidler for stort set alle overfarter, blot med et par undtagelser. Dan Nielsen, maskinmester på Samsøfærgeren, fortæller, at en normal bunkerstation med LBG kan overføre 0,5 m<sup>3</sup> i minuttet, hvilket derfor antages at man kan for alle tre drivmidler. Hertil er der blevet fundet sejlplaner for ruterne, og det er identificeret, hvor længe de ligger i havn, før de sejler igen. Den gule linje på figuren viser derfor, hvor meget det er muligt at bunker på den tid, hver færge ligger i havn. Dette er ikke inkluderet tid til at gå i land og tilsætte bunkerledningen, hvorfor den reelle bunkertid vil være en smule under, hvis det er personale om bord på færgen, der skal tilslutte kablet. Det giver dog et godt billede af, at alle færger let kan nå at bunkre den brugte mængde brændsel igen hver gang, den er i havn. Dette er interessant, da det kan åbne muligheden for en omstilling til hver af drivmidlerne.



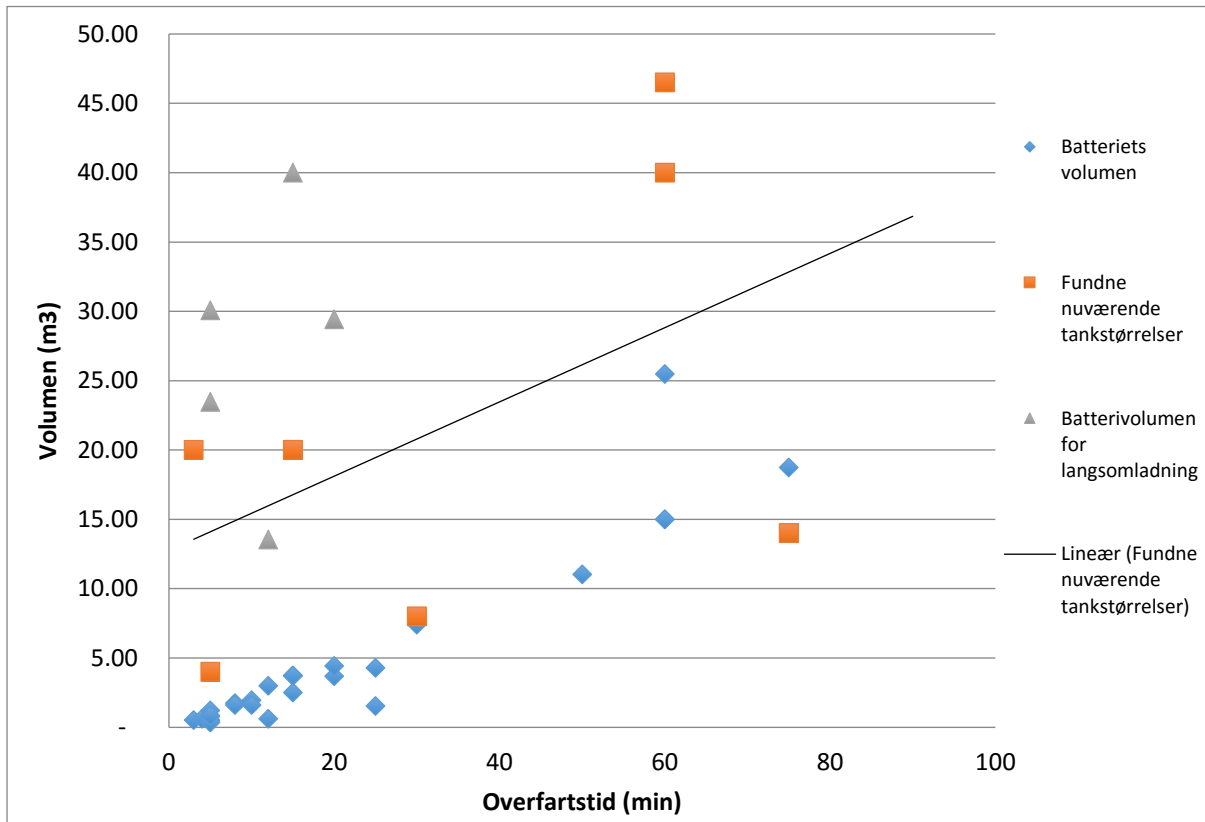
Figur 40 - Volumet for hvert drivmiddel svarende til energiforbruget på én tur (Egen graf og egne tal)

Samtidig er udarbejdet nedenstående graf, Figur 41, som viser energiforbruget på en dags sejlads for hvert af de tre drivmidler angivet i volumen af drivmidlet. Igen er der nogle få afstikkere. Den største volumen er for CBG på omkring 65 m<sup>3</sup>, hvor den for methanol er omkring 31 m<sup>3</sup> og LBG omkring 23 m<sup>3</sup>. Som en begrænsning i rapporten er der kun fundet nogle få tankkapaciteter for færgerne. Disse er lagt ind i grafen som de gule punkter, hvoraf en lineærtendenslinje er lagt ind for at give et skøn over, hvor stor tankstørrelsen generelt er. Det kan først og fremmest ses, at for overfarterne under 30 min ligger den nødvendige tankkapacitet på mellem 1-10 m<sup>3</sup>, hvorefter det stiger lidt. Samtidig kan det ses, at størstedelen ligger indenfor en nødvendig tankkapacitet på 30 m<sup>3</sup>. Den største af de fundne tankkapaciteter er på 46,5 m<sup>3</sup> for Havnsø – Sejerø ruten, hvilket i hvert fald giver et billede af, at den størrelsesorden ikke er urealistisk. Man kan samtidig forestille sig, at de mere populære færgeruter har installeret en endnu større tank, hvilket vil betyde, at stort set alle færgerne vil kunne omstilles til alle tre drivmidler og kunne bunker til fuld tank efter dagens sejlads – som minimum kan alle færgerne omstilles til LBG ifølge Figur 41 og i de fleste tilfælde også til methanol og CBG.



Figur 41 - Volumet for hvert drivmiddel svarende til energiforbruget på en dag (Egen graf og egne tal)

Batterierne har generelt en større volumen end de andre tre drivmidler, som det kan ses på Figur 42. Under 45 minutter er volumen mellem 1-5 m<sup>3</sup>, hvorefter den stiger lidt med den største volumen på



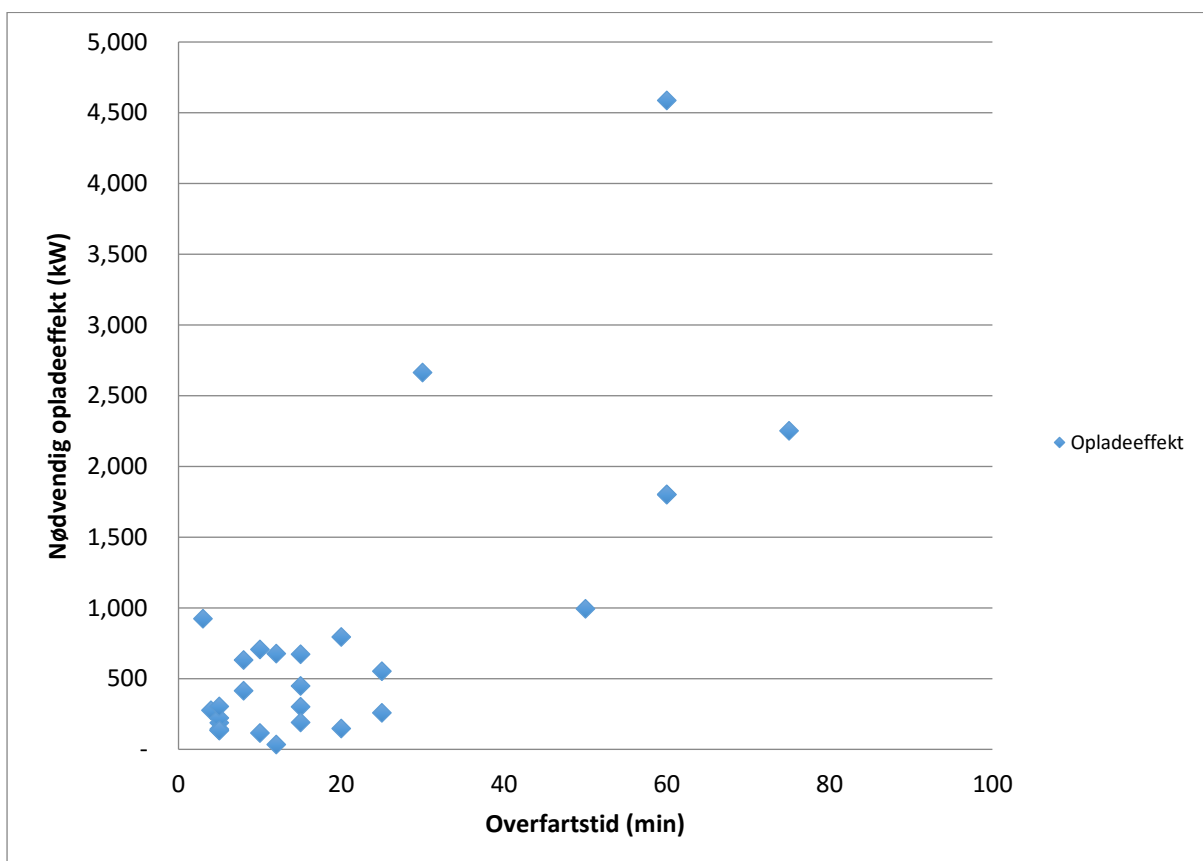
Figur 42 - Volumet for batterierne svarende til én turs energiforbrug, samt volumen for batterierne på de færger med mulighed for langsomladningsmetoden (Egen graf og egne tal)



26 m<sup>3</sup>, for en kapacitet svarende til én turs energiforbrug. Samtlige ligger altså langt under størst fundne tankkapacitet på 46,5 m<sup>3</sup>, samt under den lineære tendens for de fundne tankstørrelser.

Samtidig er de 5 potentialer, der er for langsomladningsmetoden, sat ind i grafen. De ligger alle 5 under 46,5 m<sup>3</sup>, men samtidig ligger 4 af dem et stykke over den lineære tendens for de fundne tankstørrelser. Dette må siges at være en betydelig afgrænsende faktor for omstillingsmuligheden, hvis volumen for tank/batteri er en væsentlig faktor ved konstruktionen af nye færger. Ud fra de fundne tankstørrelser må det siges at være meget svingende, hvor store tankstørrelserne er i forhold til overfartstid. Men samtidig er der heller ikke taget højde for passagerkapacitet og færgestørrelse i denne graf.

Herudover er der kigget på den nødvendige opladeeffekt for de 72 % af færgerne, der havde mulighed for at blive omstillet til eldrift med hurtigladningsmetoden. Som det bliver vist på Figur 43, er den nødvendige effekt for størstedelen af færgerne under 1000 kW. Den laveste har en nødvendig effekt på 33 kW, hvor den største har en nødvendig effekt på omkring 4500 kW. I forhold til, at Rasanen (ABB) berettede, at deres oplader har en effekt på 10 MW, må det vurderes, at det i hvert fald er en realistisk mulighed at have opladere med den nødvendige effekt til hver af de danske passagerfærger.

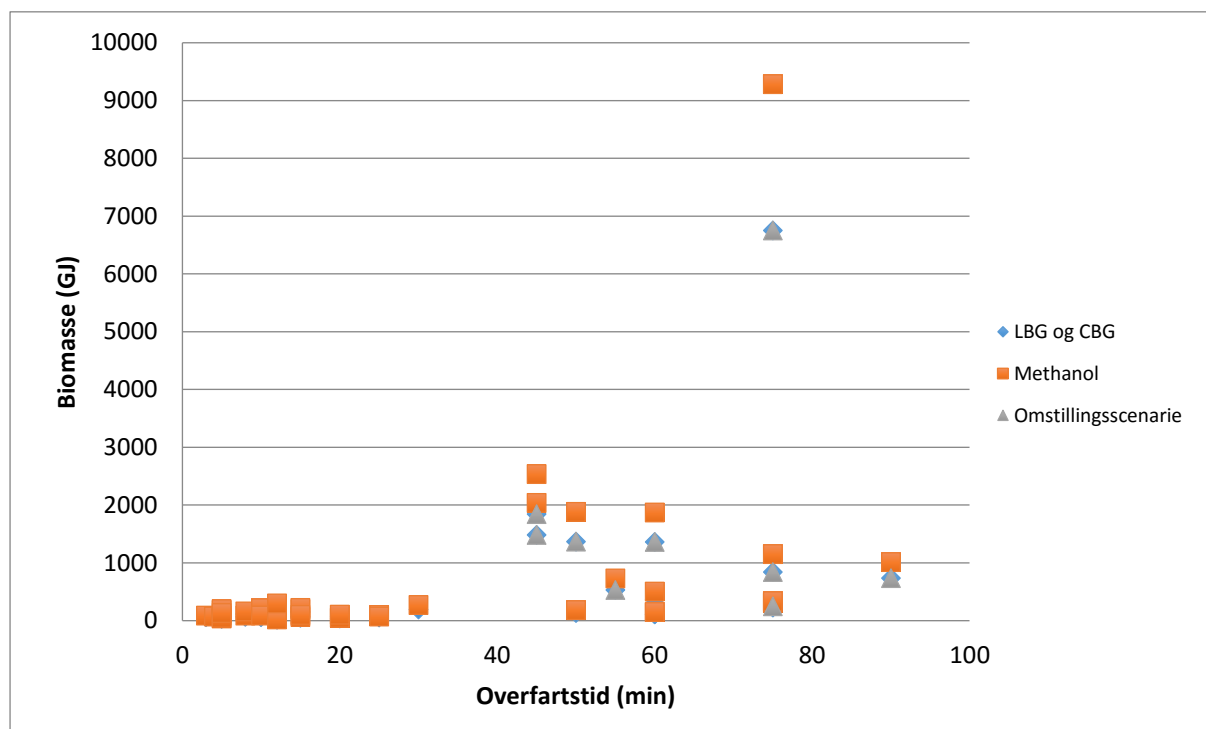


Figur 43 - Nødvendig opladeeffekt for at kunne give batteriet den energi, der bruges på én overfart (Egen graf og egne tal)

En begrænsning for behandlingen er her, at det ikke vides, hvilke elnet der kan trækkes strøm fra ved nogen af havnene og dermed, hvilken mulig effekt der kan opnås ved kajen. Behandlingen afgrænses dermed ved, hvordan denne effekt vil opnås, men det findes stadig essentielt at kunne bidrage til en

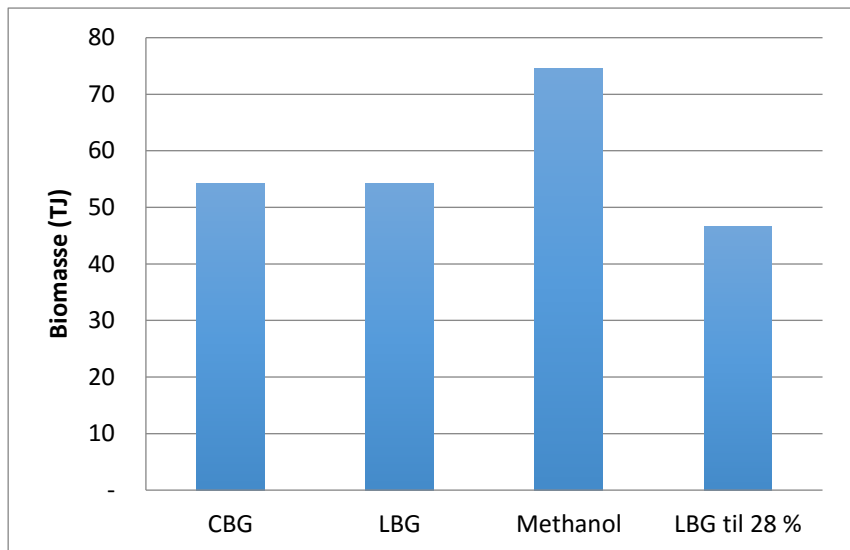
beslutningstagning med, hvad den nødvendige effekt er for, at færgerne kan oplades. Dette vil derfor både kunne bidrage til den enkelte beslutningstager for færgen, men også i en planlægningsmæssig kontekst i form af en potentiel udbygning af elnettet til landets kajer, hvis man vil fokusere på elfærger i fremtiden.

Det sidste, der er analyseret i omstillingsanalysen, er den nødvendige mængde biomasse, der skal til for at kunne omstille de danske passagerfærger. Det er vist på Figur 44, hvor meget hver færges daglige energiforbrug svarer til i biomasse. Med andre ord er det denne mængde energi i biomasse, der skal puttes ind i første trin i WTP analysen for, at en given færge kan sejle i en dag. Det ses igen, at færgerne med under 40 minutters overfart har et meget lavt energiforbrug og derfor har brug for en lille mængde biomasse til at kunne levere den nødvendige mængde energi for et dagligt energiforbrug.



Figur 44 - Nødvendig biomasse i GJ tilsvarende de danske passagerfærgers energiforbrug på én dags sejlads (Egen graf og egne tal)

Samtidig er der på Figur 45 vist den samlede nødvendige mængde biomasse tilsvarende et dagligt energiforbrug for de danske passagerfærger for at kunne omstille alle færgerne til henholdsvis CBG, LBG og methanol. Den sidste søjle indikerer scenariet, hvor 72 % af færgerne bliver omstillet til eldrift, og de sidste 28 % bliver omstillet til LBG. I et sådant scenarie vil den nødvendige mængde energi



Figur 45 - Totale mængde biomasse for at kunne levere energi til et dagligt energiforbrug for de danske passagerfærger (Egen graf og egne tal)

fra biomasse være 47 TJ, hvilket stadig er 86 % af den totale energimængde for at omstille alle færgerne. Det viser, hvor lille en mængde energi, de 72 %, der skal omstilles til el, egentlig er i forhold til de sidste 28 %.

#### 7.4 Konklusion på omstillingsanalyse

For at konkludere omstillingsanalysen er det altså påvist, at der er muligheder for alle de danske passagerfærger til at omstille til et alternativ, der opfylder ECA-kravene og hjælper til opfyldelse af det danskpolitiske mål om 100 % uafhængighed af fossile brændsler. Besvarelsen på anden del af problemformuleringen er dermed, at de 72 % af færgerne, der fra et energimæssigt perspektiv kan omstilles til eldrift, bør omstilles til eldrift næste gang, der skal skiftes færge. Det er altså både påvist, at batterierne fra et energimæssigt perspektiv kan opfylde energiforbruget på én tur, men også, at volumen på disse batterier er under normen for normale tankstørrelser, hvilket konkluderer, at det er muligt fra et energimæssigt perspektiv at omstille færgerne til eldrift. De resterende 28 % bør omstilles til LBG, da det både har den bedste totale virkningsgrad for energikæden, samt har den største energidensitet og dermed vil fylde mindst på færgen og stadig levere den nødvendige mængde energi. Det blev også her påvist, at volumen for en LBG tank tilsvarende en dags energiforbrug lå under tendensen for den normale tankstørrelse for samtlige færger. Det blev her også påvist, at volumen for både en methanol og CBG tank tilsvarende en dags energiforbrug lå under tendensen for normale tankstørrelser for næsten alle de danske passagerfærger. Denne identificering er stadig vigtig, både for, at en beslutningstager har et reelt valg imellem forskellige drivmidler, men også, hvis andre analyser (som ikke vil blive inkluderet i denne afhandling) vedrørende økonomi, tilgængelighed eller andet skulle pege på et større incitament for den enkelte beslutningstager for et af disse drivmidler. Samtidig blev det påvist, at 13 % af færgerne kunne omstilles til langsomladningsmetoden. Til gengæld, grundet batteriers store volumen i forhold til kapacitet, vil disse batterier have en meget større volumen end den nuværende tendens skønner, hvilket kan være en afgrænsende faktor for denne omstillingsmulighed. Hvis ikke denne større volumen er en afgrænsende faktor ved design og konstruktion af færgen, vil det derimod skabe flere muligheder og igen give et valg for en beslutningstager i og med, at det kan have andre infrastrukturelle muligheder end hurtigladningsmetoden.

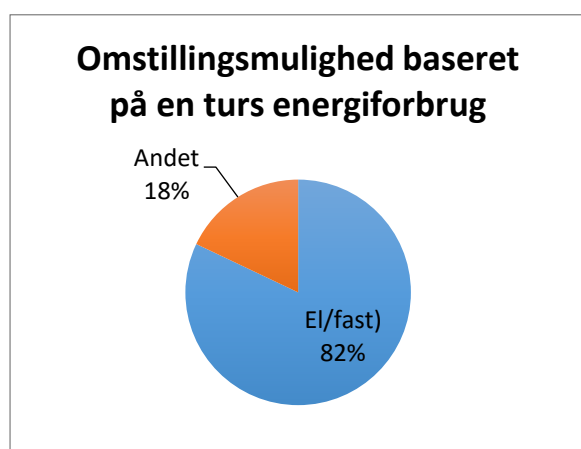
## 8 Følsomhedsanalyse

En følsomhedsanalyse er vurderet nødvendig at udføre i dette studie, da det for det første er generaliserede og standardiserede tal, der er arbejdet med, som også nævnt i WTP analysen, og for det andet fordi, der er arbejdet indenfor filosofien om et bæredygtigt samfund og en omstilling i et fremtidsperspektiv, hvor man ikke ved, hvad der vil ske med teknologiers udvikling. Derudover er det også vigtigt at pointere, hvilke ting der har indflydelse på udfaldet for at styrke analysens validitet.

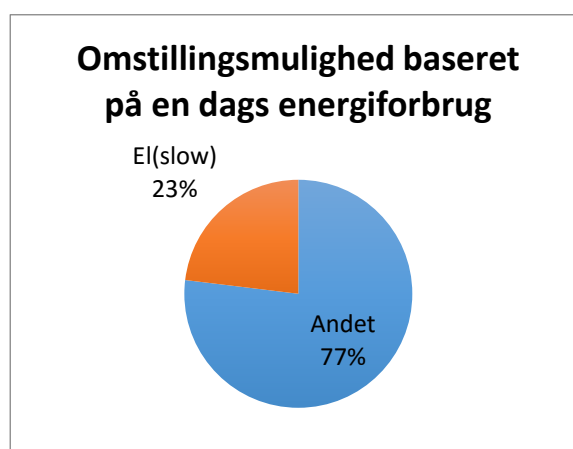
Nogle af de ting, der vil undersøges i følsomhedsanalysen, er derfor et andet energiforbrug, andre WTP virkningsgrader for drivmidlerne samt andre tankstørrelser.

### 8.1 Energiforbrug – 80 % og 120 %

Der er i følsomhedsanalysen ændret energiforbrug til 80 % af det nuværende forbrug, hvilket eventuelt kan forekomme ved en anden vægt af færgeren.

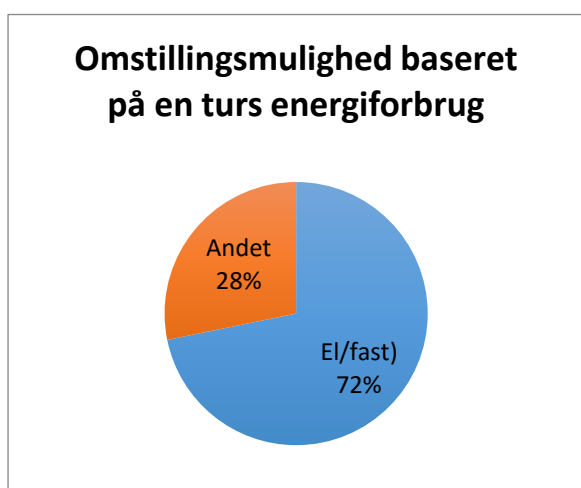


Figur 46 – Mulig omstillingsprocent for hurtigladningsmetoden ved 80 % energiforbrug (Egen figur)

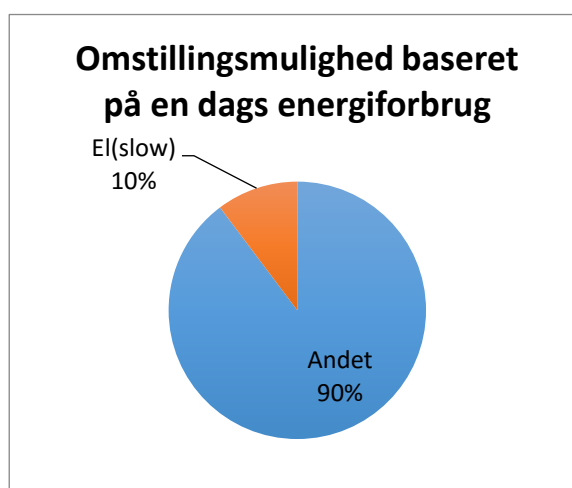


Figur 47 - Mulig omstillingsprocent for langsomladningsmetoden ved 80 % energiforbrug

Som det kan ses på Figur 46, vil et 80 % energiforbrug gøre, at hele 82 % af de danske passagerfærger vil kunne omstilles til eldrift med hurtigladningsmetoden. Figur 47 viser, at et 80 % energiforbrug vil



Figur 49 - Mulig omstillingsprocent for hurtigladningsmetoden ved 120 % energiforbrug (Egen figur)



Figur 48 - Mulig omstillingsprocent for langsomladningsmetoden ved 120 % energiforbrug (Egen figur)

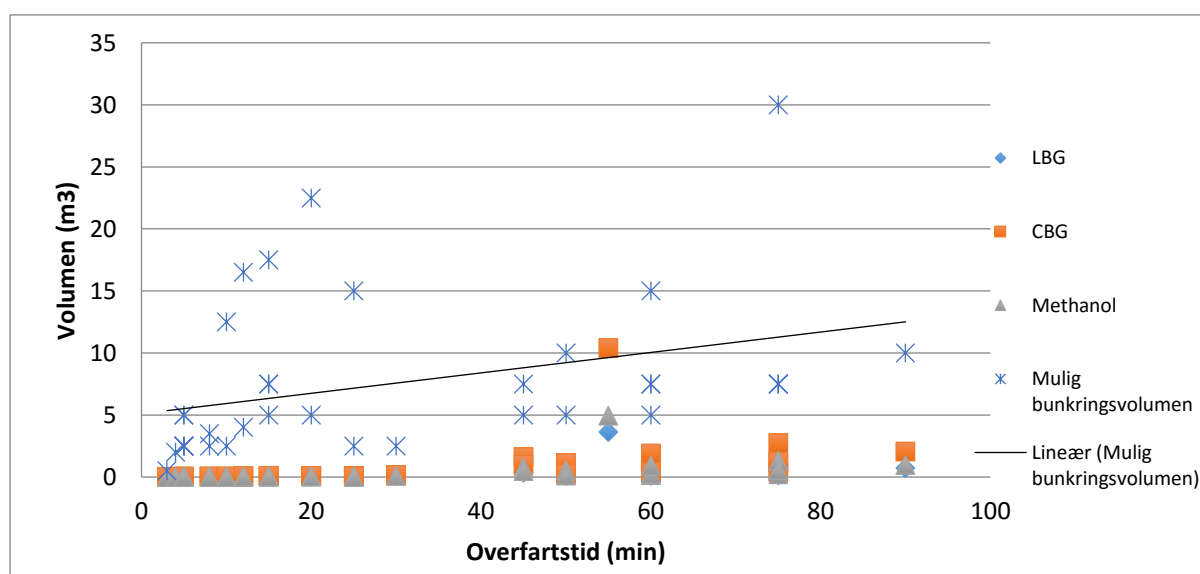
gøre det muligt for 23 % af de danske passagerfærger at omstille til eldrift med langsomladningsmetoden.

Til gengæld kan det ses på Figur 49, at det ikke vil ændre noget på resultatet, hvis energiforbruget blev forøget til 120 %; der vil stadig være 72 % af de danske passagerfærger, der vil kunne omstilles til eldrift med hurtigladningsmetoden. Samtidig viser Figur 48, at det kun vil have en lille indflydelse på omstillingen til eldrift med langsomladningsmetoden, hvis energiforbruget blev forøget til 120 %.

## 8.2 Virkningsgrad i motor – 45 % og 60 %

Virkningsgraden for motoren er ændret for LBG, CBG og methanol, hvilket eventuelt kunne ske, hvis brændslerne kunne anvendes i en dieselmotor eller en brændselscelle, eller hvis Ottomotoren ville blive bedre i fremtiden, og virkningsgraden dermed ville forøges.

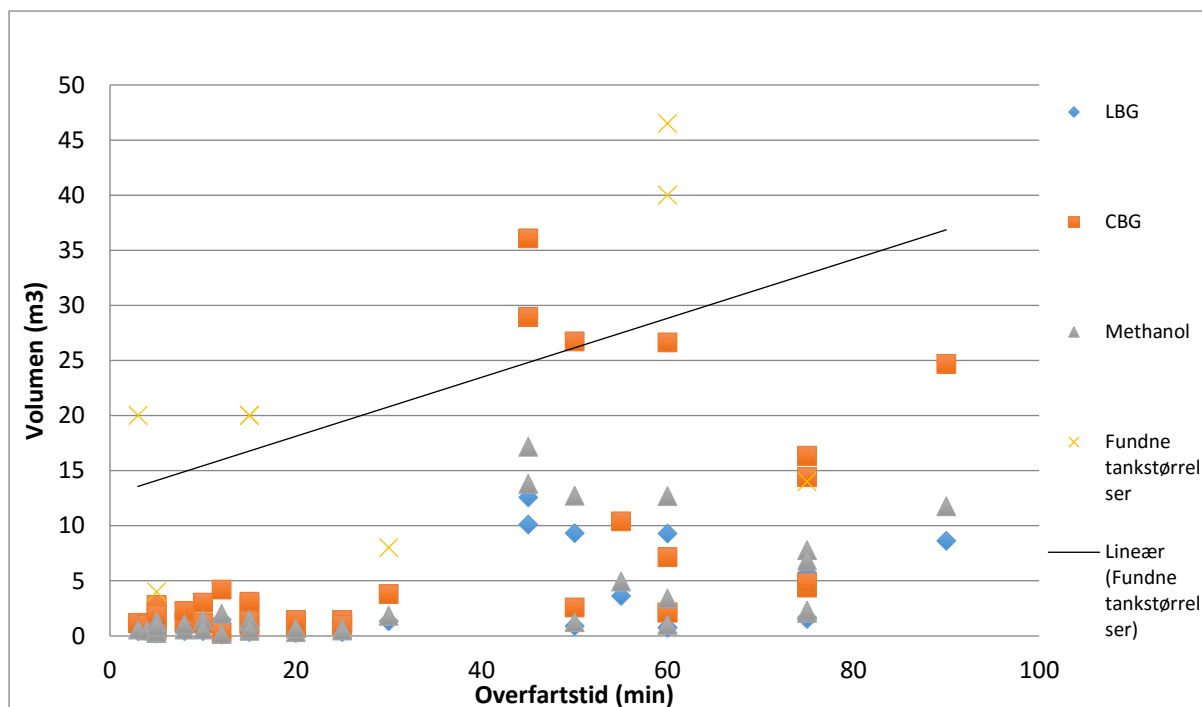
På Figur 50 er det vist, at stort set alle færgernes energiforbrug på én tur med en motorvirkningsgrad på 45 % ville være indenfor den lineære tendens for mulig bunkringsvolumen. Alle, på nær én enkelt færges CBG volumen svarende til én turs energiforbrug, er under 5 m<sup>3</sup> og er samtidig langt under tendensen for mulig bunkringsvolumen. Der vil derfor med sikkerhed kunne nå at bunkes mellem hver tur og derfor være mulighed for at omstille til hvert af drivmidlerne.



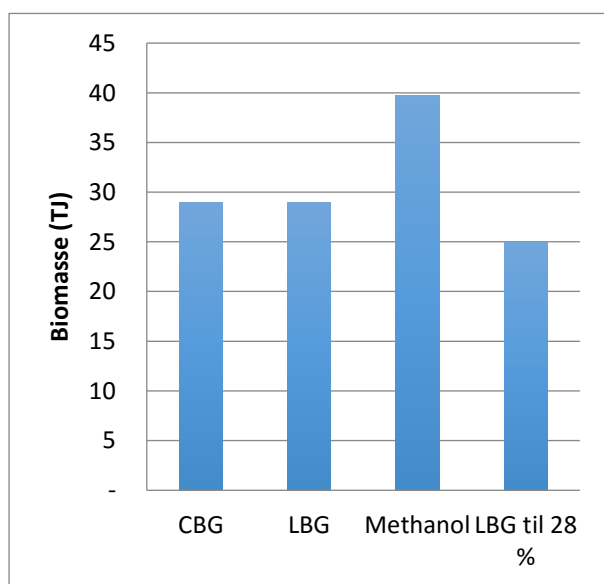
Figur 50 - Volumet for hvert drivmiddel svarende til energiforbruget på én tur med en motorvirkningsgrad på 45 % (Egen graf og egne tal)

Drivmidlernes volumen svarende til energiforbruget på en dags sejlads er vist på Figur 51. Her vises det altså, at ved en motorvirkningsgrad på 45 % vil alle færgerne kunne omstilles til methanoldrift, hvor der før var 2, der ikke kunne. Samtidig er der tre af færgernes volumen, der overskrider den lineære tendens for fundne tankstørrelser ved CBG drift, i modsætning til de 5 færgers volumen ved

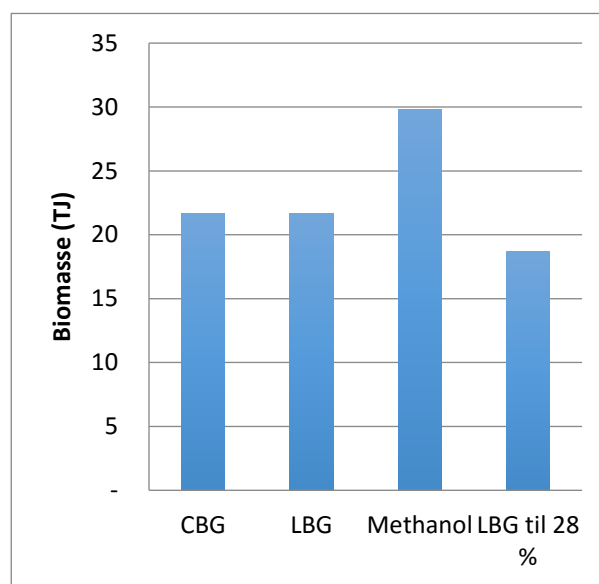
en motorvirkningsgrad på 24 %. Der er altså ikke den store forskel i omstillingspotentiallet, når motorvirkningsgraden bliver forøget til 45 %.



Figur 51 - Volumen for hvert drivmiddel svarende til energiforbruget på en dag med en motorvirkningsgrad på 45 % (Egen graf og egne tal)



Figur 53 - Totale mængde energi fra biomasse tilsvarende et dagligt energiforbrug for de danske passagerfærger med en motorvirkningsgrad på 45 % (Egen graf og egne tal)



Figur 52 - Totale mængde energi fra biomasse tilsvarende et dagligt energiforbrug for de danske passagerfærger med en motorvirkningsgrad på 60 % (Egen graf og egne tal)

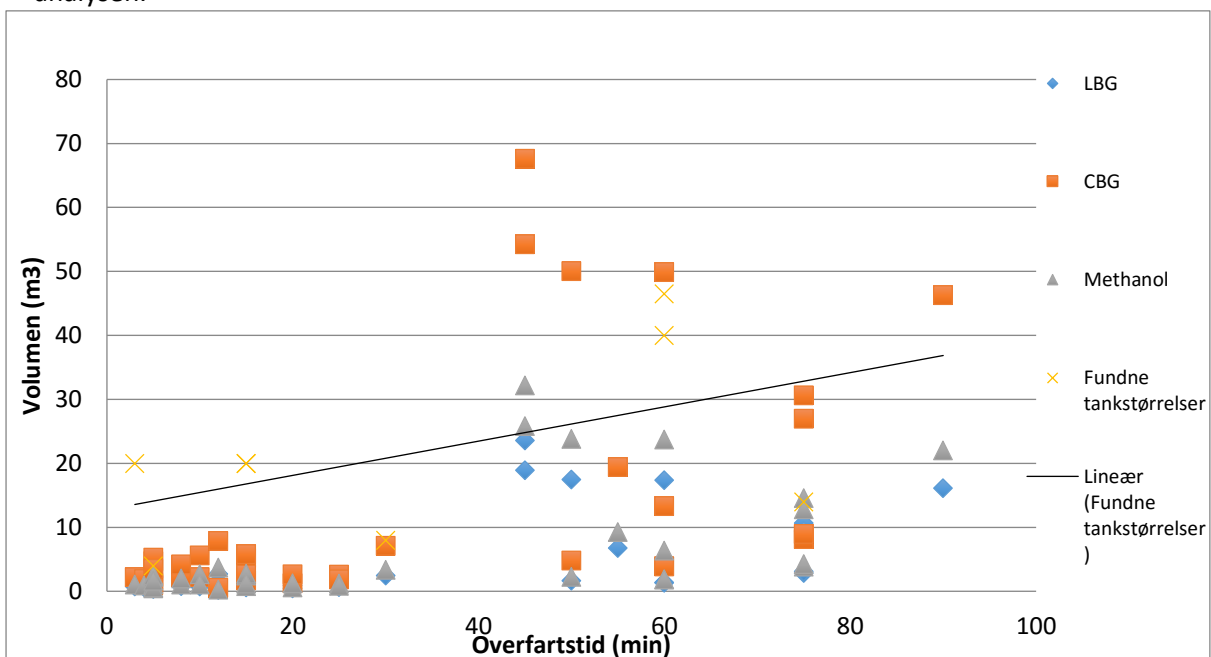
Med en motorvirkningsgrad på 45 % falder den nødvendige volumen logisk også herefter. Dette medfører til gengæld, at den totale virkningsgrad bliver 20 % for både CBG og LBG og 15 % for methanol, hvilket i sidste ende resulterer i, at der kun skal anvendes 55 % af den mængde biomasse, der skal producere det endelige produkt.

Som Figur 53 og Figur 52 viser, vil en effektivisering i motorvirkningsgraden altså resultere i et mindre biomasse input. Ved omstillingsscenarioet, hvor de 28 %, der ikke kan omstilles til el, skal omstilles til LBG, vil den nødvendige mængde energi fra biomasse være henholdsvis 25 TJ for en motorvirkningsgrad på 45 % og 18 TJ for en motorvirkningsgrad på 60 %. Samtidig viser det også, at i tilfælde af, at det ikke er muligt at omstille til el grundet andre faktorer end det energimæssige perspektiv, vil det være muligt at omstille til en af disse tre drivmidler med en nødvendig energimængde fra biomasse på under 30 TJ om dagen ved en motorvirkningsgrad på 60 %. Ifølge Dansk GasTeknisk Center har brændselsceller en virkningsgrad mellem 20-70 %. Hvis det bliver muligt at udnytte en brændselscelle med en virkningsgrad på mellem 60-70 % ved forbrænding af CBG, LBG eller methanol, vil dette scenarie ikke være helt forkert. Det må siges at være et interessant aspekt for omstillingen, hvis man kan nedsætte mængden af en ressource, der er begrænset.

Det er logisk, at hvis man ændrer på nogle af virkningsgraderne igennem WTT analysen, vil det blot have indflydelse på den mængde energi, der skal til fra biomassen eller vindmøllen til at supplere med den nødvendige mængde energi, det kræver at sejle færgen. Det vil altså ikke have indflydelse på muligheden for færgerne til at omstille sig til et givent drivmiddel, hvorfor der nøjes med at give eksemplet med andre motorvirkningsgrader.

### 8.3 Tankstørrelser - 50 % større og 50 % mindre

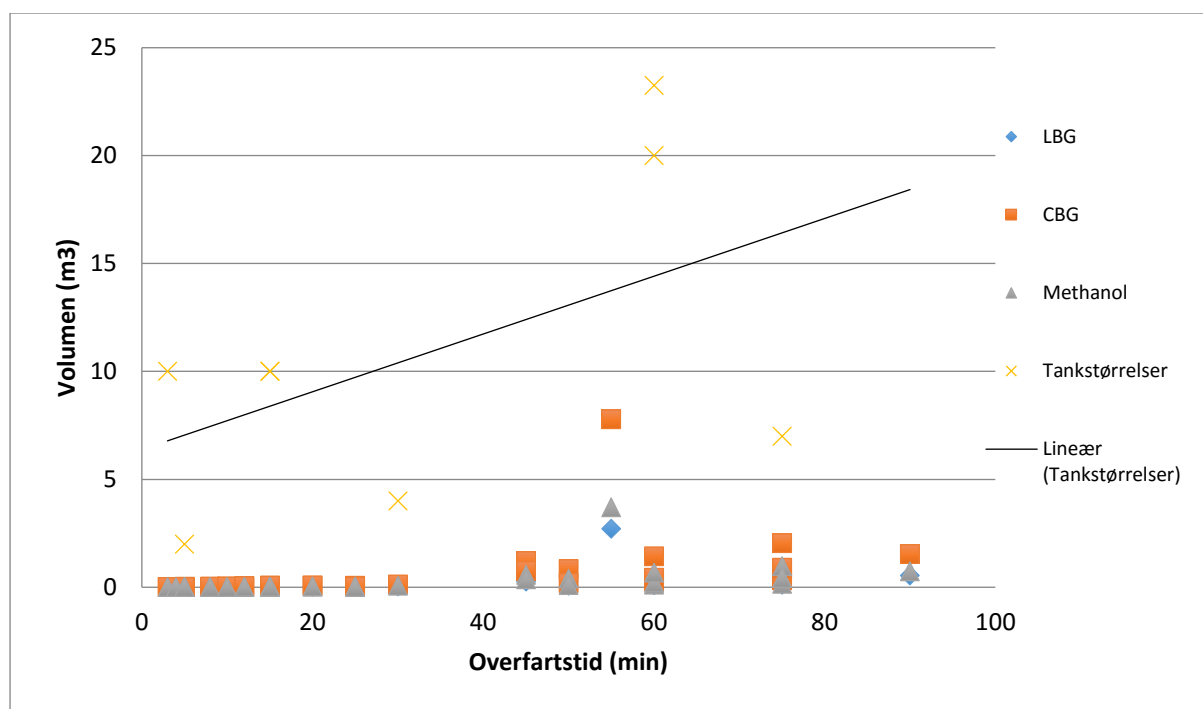
Tankstørrelserne derimod virker til at have en stor betydning for omstillingen, hvilket gør det nødvendigt at vurdere følsomheden for disse data. Som nævnt tidligere er der, desværre, ikke fundet mange tankstørrelser; derfor vil det være en lineær tendens for de fundne, der benyttes til analysen.



Figur 54 - Volumen for hvert drivmiddel svarende til et dagligt energiforbrug samt tankstørrelser (Egen graf og egne tal)

Det kan tydeligt ses Figur 54, at det vil have stor indflydelse, hvis tankstørrelserne var 50 % mindre. Eftersom der kun er fundet så få tankstørrelser, kan det sagtens være muligt, at det tilfældigvis er nogle store tankstørrelser, der er fundet. Alle færgerne under 40 minutters overfart vil stadig kunne omstille til både CBG, LBG og methanol. Men for færgerne over 40 minutters overfart er det meget varierende, hvor kun ca. halvdelen vil kunne omstilles til nogle af de tre drivmidler. Da det især er færgerne over 40 minutters overfart, der er fundet nødvendig at omstille til et andet drivmiddel end el, er tankstørrelsen en tydelig begrænsning for denne mulighed.

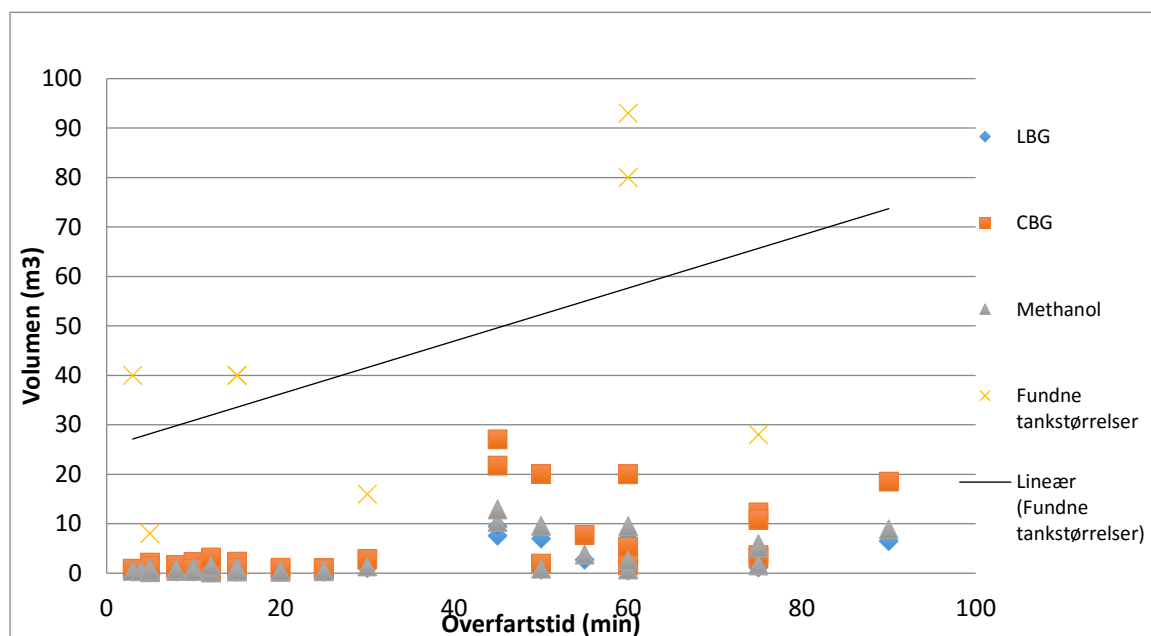
Det er vist på Figur 55, at en 50 % mindre tankstørrelse ikke vil have noget at sige ved energiforbruget på én tur. Hvis man altså har mulighed for at kunne bunke mellem hver overfart, vil det stadig være muligt med en 50 % mindre tank.



Figur 55 - Volumener for hvert drivmiddel tilsvarende energiforbruget på én tur samt tankstørrelser (Egen graf og egne tal)

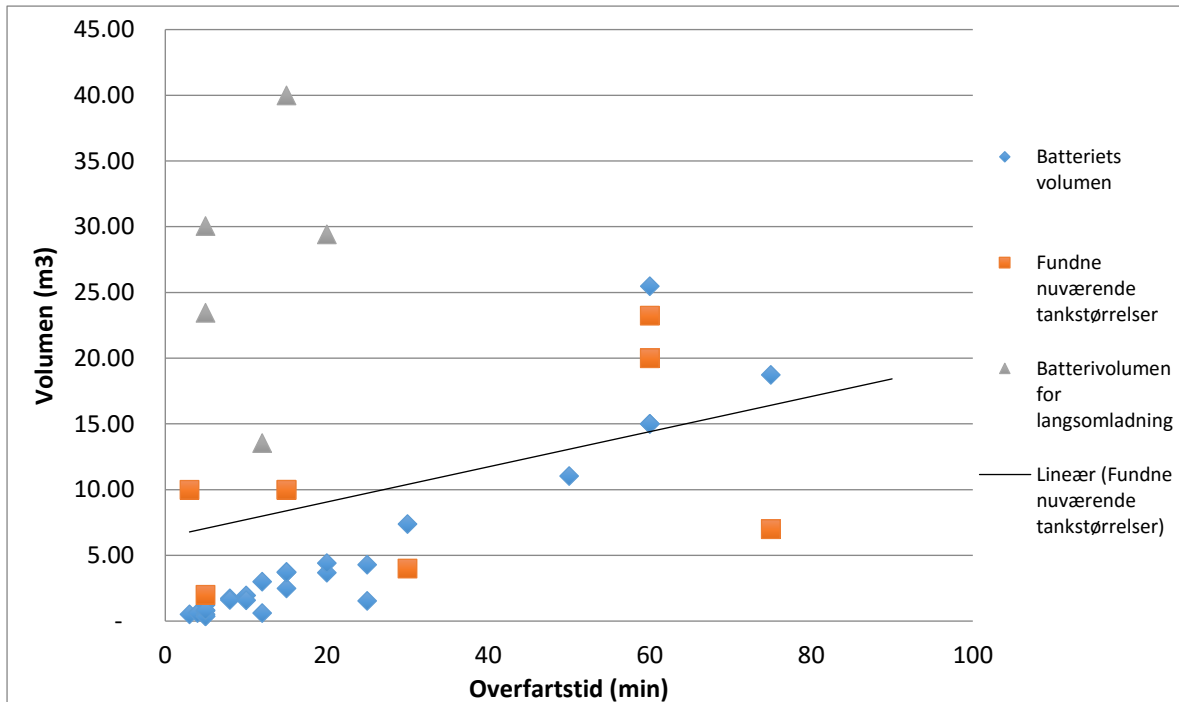


Der er lige så stor chance for, at de få tankstørrelser, der er fundet, tilfældigvis er nogle af de mindste tankstørrelser, hvorfor det er vist på Figur 56, at samtlige færges vil kunne omstilles til alle tre drivmidler, hvis tankstørrelsen var 50 % større.



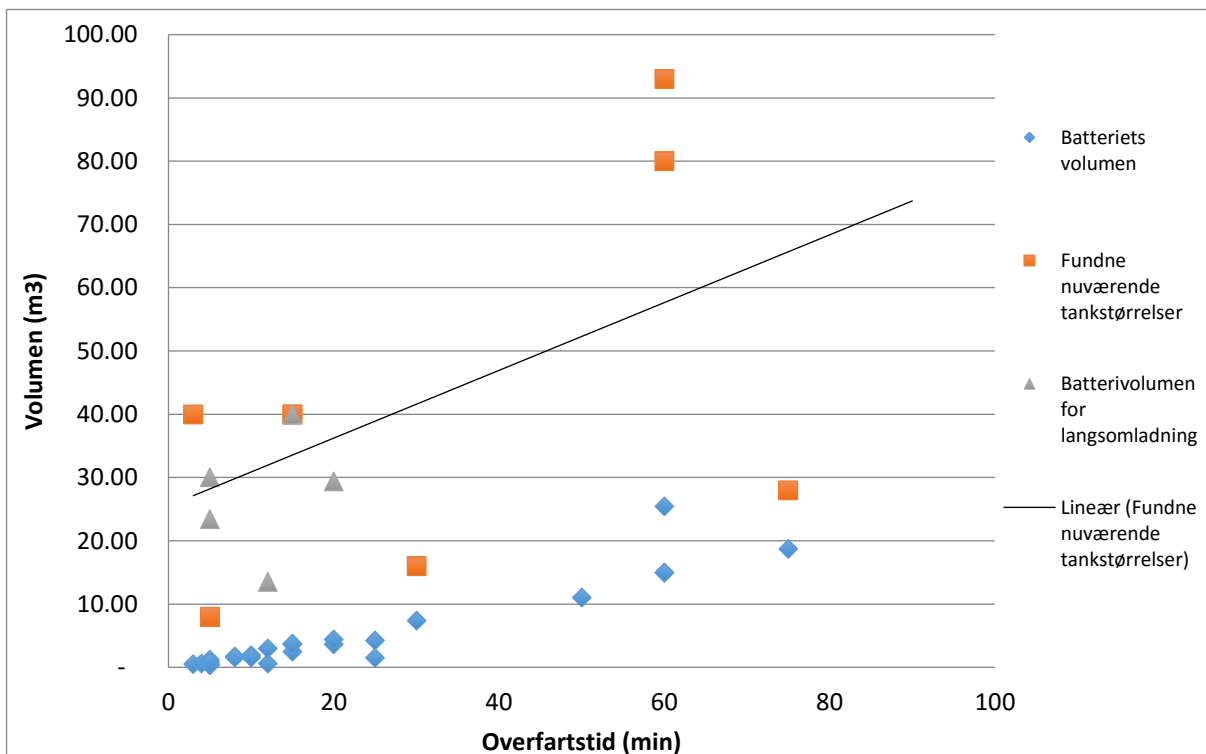
Figur 56 - Volumet for hvert drivmiddel tilsvarende energiforbruget på en dags sejlads samt tankstørrelser (Egen graf og egne tal)

Udover omstillingsmulighederne for CBG, LBG og methanol, vil en ændret tankstørrelse også have indflydelse på muligheden for omstilling til eldrift. Som det kan ses på Figur 57, vil størstedelen af færgerne med overfartstider på over 40 minutter, have brug for et batteri, der har en for stor volumen med en tankstørrelse, der er 50 % mindre. Alle færgernes batterier med overfartstider under 40 minutter vil til gengæld stadig være under tendens linjen og derfor have mulighed for at kunne omstilles til hurtigladningsmetoden. For langsomladningsmetoden medfører det derimod, at ingen af færgernes batterier er under tendens linjen, og det vil dermed ikke være muligt at omstille til, hvis tankstørrelserne er 50 % mindre.



Figur 57 - Volumet for batterierne for hurtigladningsmetoden og for langsomladningsmetoden ved tankstørrelser 50 % mindre (Egen graf og egne tal)

Ved en tankstørrelse, der er 50 % større end de fundne, vil batterivolumen på de langsomladene batterier derudover være under tendens linjen i 3 ud af 5 tilfælde, hvoraf de to sidste ikke er langt fra som vist på Figur 58.



Figur 58 - Volumet for batterierne for færgerne med mulighed for omstilling til hurtigladningsmetoden og til langsomladningsmetoden med tankstørrelser på 50 % større (Egen graf og egne tal)

#### 8.4 Konklusion på følsomhedsanalysen

Det er altså påvist, at det vil have stor indflydelse på resultatet, hvis energiforbruget kunne sænkes til 80 %, hvorved en større andel ville kunne omstilles til eldrift. Det havde dog ikke den store effekt på resultatet ved et højere energiforbrug på 120 %, hvilket kun ændrede en enkelt færgets omstillingsmulighed fra eldrift ved langsopladningsmetoden. Dette er interessant, da det eventuelt kan give lidt råderum for færgets energiforbrug, der eventuelt kan åbne op for andre muligheder. Uden at have kigget nærmere på det, kunne det for eksempel være, at man kunne have en endnu hurtigere overfartstid og dermed længere havnetid til at lade i.

Derudover vil det have en effekt på resultatet, hvis motorvirkningsgraden på Ottomotoren blev forbedret – eller at drivmidlet blev anvendt i en anden motor med højere motorvirkningsgrader såsom en brændselscelle. For det første ville det gøre det muligt for alle de danske passagerfærger at kunne omstille til alle tre drivmidler – på nær nogle få ved CBG drift – og for det andet vil det have stor indflydelse på den mængde energi fra biomasse, der skal bruges i første trin af WTP processen.

Til sidst kunne det ses, at tankstørrelsen om bord på færgerne er en essentiel parameter. Hvis tankstørrelsen blev 50 % større vil det have stor indflydelse på resultatet for færgerne med over 40 minutters overfart, hvoraf ca. halvdelen ikke ville kunne sejle på nogle af de tre drivmidler en hel dag uden at bunke.

## 9 Diskussion

Det er yderst vigtigt at pointere at WTP analysen og omstillingsanalysen har søgt at finde, hvad det mest optimale ville være at omstille til for de danske passagerfærger fra et energimæssigt perspektiv. For at opnå en bæredygtig udvikling er det vigtigt at integrere de tre bæredygtighedselementer – socialt, miljømæssigt og økonomisk – hvor dette studie udelukkende omhandler den miljømæssige del med fokus på energitab i energikæder, som også pointeret i kapitel 3 Teoretisk baggrund og metode. For at en beslutningstager skal kunne tage en reel beslutning, er det nødvendigt at analysere sociale og økonomiske aspekter for de tre drivmidler, som det også blev bevist har en stor betydning for valget i magtpåvirkningsanalysen. Disse aspekter kan altså resultere i, at de fundne omstillingsløsninger ikke er økonomisk rentable. Eksempelvis kan det vise sig, at methanol eller CBG processen skaber flere arbejdspladser til lokalområdet end LBG, eller at hele energikædeprocessen for disse to drivmidler er økonomisk mere rentable grundet afgifter eller anden institutionel magtpåvirkning.

Som sagt er det vigtigt med velanalyserede omstillingsalternativer, når man som beslutningstager skal have et reelt valg. Det er derfor i denne afhandling stræbt efter at analysere flere alternativer, der kan opfylde både ECA kravene, TIER III kravene samt hjælpe til at opfylde det danskpolitiske mål om at være uafhængige af fossile brændsler i 2050. Resultatet af denne afhandling giver derfor en saglig baggrund for flere alternativer ud fra et energimæssigt perspektiv, der kan bidrage til at beslutningstageren har et reelt valg.

Eftersom eldrift er den mest energikædevenlige teknologi, bør den være det første, man kigger på som færgeruteejer. Eldrift har dog også sine begrænsninger. På nuværende tidspunkt har man maksimalt prøvet at installere et batteri på 4,16 MWh, hvilket derfor går for at være grænsen, hvad man kan omstille til, i denne afhandling. Det er også vigtigt her at pointere, at dette valg af grænse, kun er valgt for at kunne lave analysen og ikke nødvendigvis er en reel grænse. En reel grænse afhænger generelt af lokalnettets mulighed for at understøtte energiforbruget på den installerede batteristørrelse, og dermed det lokale elnets evne til at levere den nødvendige mængde energi på den havnetid, den givne færge har at oplade i. Men - som set i analysen - kan størstedelen (72 %) af de danske passagerfærger omstilles til ren eldrift ved denne grænse. Med andre ord vil en praktisk udførelse af resultatet afhænge af, at kajen, hvor færgen lægger til, kan forsynes med den nødvendige effekt (OSK-ShipTech A/S, 2014). Det er også på grund af denne problemstilling, at de 4,16 MWh i første omgang er valgt som grænse. Når ABB fortæller, at deres lader kan lade med en effekt på 10 MW og en tid på 5-9 minutter – hvilket er tid nok til, at alle færgerne kan nå at blive ladet – er det også med en forventning om, at opladeren forsynes med minimum 10 kV. Hvis kajen kun, eksempelvis, har adgang til 400 V nettet, opstår der pludselig en helt anden situation, som gør, at batterierne måske ikke kan lades tilstrækkeligt op på den tid, færgen ligger til land. Her kan det være, at de få langsomladende potentialer (13 %) kan virke – men dette er ikke undersøgt. En anden løsning kan være, at man kan "klat-lade", altså tilføre batteriet en lille mængde strøm hver gang og fuldlade til 90 % efter dagens overfarter med en langsomladning, hvis dette kan lade sig gøre uden at batteriets kapacitet kommer under 20 %. Det er her heller ikke undersøgt, om dette er muligt, og hvad det i så tilfælde vil gøre ved levetid og effektivitet i batteriet.

Resultatet fra omstillingsanalysen konkluderede, at det var muligt fra et energimæssigt perspektiv at omstille 72 % af de danske passagerfærge til eldrift med hurtigladningsmetoden. Dette kræver derfor, at det danske elnet kan evne et sådant scenarie. Fra et energimæssigt perspektiv er det, ifølge ENIG

A.m.b.a, muligt at give den nødvendige effekt til ladning af alle færgerne, blot ved hjælp af en transformerstation. Det afhænger, som sagt, blot af, om det lokale net kan holde til at levere den store mængde strøm på så kort tid. Samtidig ser de det ikke som et problem for det nationale net at omstille en så stor del af de danske passagerfærger. Der skal selvfølgelig bygges nye kraftkilder, der kan levere den ekstra mængde strøm, der skal til. Hvis de 72 % bliver omstillet til eldrift, vil færgerne i alt skulle bruge ca. 76 MWh om dagen (Bilag 1, Ark 3 (Resultater)). I 2015 var energiforbruget i gennemsnittet 92.098 MWh pr døgn, hvilket vil sige, at passagerfærgernes energiforbrug vil svare til omkring 0,08 % af det nationale elforbrug. Med den fundne totale virkningsgrad for el vil der skulle udbygges med en yderligere kapacitet på ca. 124 MWh pr døgn (Ibid.). Med tanke på, at omstillingen ikke sker fra dag til dag, ses dette ikke som et stort problem at få bygget og tilpasset i det danske energisystem. Selvom det i analysen ikke er fundet muligt, ville en omstilling af alle de danske passagerfærger have et dagligt energiforbrug på 546 MWh, hvilket vil svare til 0,6 % af det daglige danske energiforbrug samt en yderligere kapacitets udbygning på 895 MWh (Ibid.).

Den mindste nødvendige effekt er 33 kW, hvor den største kræver en effekt på 4,5 MW. Det er ikke tilset, om havnetidspunkterne falder sammen, og hvad geografien er for hver enkelt rute (om flere havnestop og dermed opladninger ligger tæt og derfor trækker fra samme net), men hvis de alle tilfældigvis falder samtidig, vil der blive trukket 22 MWh ud af nettet det første minut og så støt nedad indtil den sidste færges batteri, med havnetid på 45 minutter, er opladet igen (Ibid.). Det forholder sig selvfølgelig ikke helt sådan, da færgeruterne er spredt ud over hele landet. Men der er mange overfarter både i Limfjorden og i det sydfynske hav. Hvis de skal oplade fra samme lokalnet og på samme tid, kan det eventuelt give en stor forstyrrelse for spændingen i det lokale net. Muligheden for at oplade batterierne igen er altså en begrænsning i afhandlingen, men eftersom Rasanen fortæller, at opladeren til 4,16 MWh batteriet har en effekt på 10 MW, er alle færgerne altså under denne "grænse", hvilket i det mindste fortæller, at det er praktisk muligt at have en effekt i dette niveau.

Udover problematikken med opladning har batterier en generelt større volumen i forhold til energikapacitet end brændsler har. Omstillingsanalysen viste dog, at samtlige batterier var under den lineære tendens linje for de fundne tankstørrelser ved hurtigladningsmetoden. Volumen på batterierne med mulig omstilling til langsomladningsmetoden var derimod over denne tendens linje i 4 ud af 5 tilfælde, hvilket derfor er en stor begrænsning for denne omstillings mulighed. Ved følsomhedsanalysen kunne man til gengæld se, at større og mindre tankstørrelser havde stor indflydelse på omstillingsmuligheden for både hurtigladningsmetoden og for langsomladningsmetoden. Ved tankstørrelser, der er 50 % større, er det muligt for 3 af de 5 færger at omstille til langsomladningsmetoden, hvoraf de to sidste ikke var langt fra. Derimod var der ingen, der kunne omstilles til langsomladningsmetoden ved tankstørrelser 50 % større, og for hurtigladningsmetoden blev det kritisk for færgerne med overfartstid på over 40 minutter, hvoraf kun en enkelt stadig ville kunne omstilles.

Det vil altså sige, at fra et energimæssigt perspektiv kan det godt lade sig gøre at omstille denne del af de danske passagerfærger til el. Følsomhedsanalysen viste, at med et lavere energiforbrug ville det have stor indflydelse på resultatet, og en endnu større del ville kunne omstilles til eldrift med hurtigladningsmetoden. Henrik Riisgaard, professor på Aalborg Universitet, fortæller, at ved at ændre materialet på færgeskroget til karbon, vil man kunne reducere energiforbruget med op til 50 % (Riisgaard, 2016). Eftersom afhandlingen ikke kigger på det økonomiske aspekt i omstillingen, vides det ikke, hvor stor en ekstraomkostning det eventuelt vil have at bygge færgen i karbon. Men det fortæller, at vægten har stor indflydelse på energiforbruget, og at det er muligt at reducere

energiforbruget drastisk ved at bygge færgen i et andet materiale, hvilket er et vigtigt incitament for en beslutningstager at tage med i sine overvejelser.

I omstillingsanalysen findes samtidig frem til, at 28 % af de danske passagerfærger skal omstilles til noget andet end eldrift. Her ses det, at alle de danske passagerfærger med den nuværende tendens for tankstørrelser kan omstilles til LBG og stadig kunne sejle minimum en dags drift. Samtidig påviste WTP analysen, at LBG har det laveste energikædetab, hvorfor det må være LBG, der primært skal fokuseres på til de resterende 28 %. Til gengæld skal LBG konstant holdes ved  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ , hvilket kræver en speciel måde at opbevare LBG'en på. Denne kryotekniske metode er en dyrere metode end den normale opbevaringsmetode for brændsler og udgør derfor en ekstra omkostning – både ved lagring, men også om bord på skibet (Bruun, 2016). Samtidig, som det er blevet nævnt, er metan en meget farlig gas – uden at gå mere i dybden med det sundhedsmæssige perspektiv – hvilket gør gassen umådelig vigtig at holde indeni tanken og i de dertilhørende slanger. Ved en praktisk implementering af disse 28 % af de danske passagerfærger skal det pointeres, at der på nuværende tidspunkt er en mangel på infrastruktur i Danmark. Der bliver ikke produceret LBG (eller LNG) i Danmark på nuværende tidspunkt, og der er intet LNG/LBG net til at supplere med. Derfor skal man i en opstartsfasen udenlands for at købe det (Holland eller Norge er de nærmeste), hvorefter det skal transporteres med enten færge eller lastbil hen til anvendelsesstedet, hvilket selvsagt forringer bæredygtigheden en smule i det større billede og sandsynligvis også prisen (Tybirk, 2016). Dan Nielsen, maskinmester på Samsøfærgen, fortæller, at det nogle gange handler om at få bunkeringen til at passe med, hvornår de kommer med en ny LNG levering. Det kan altså tyde på, at det ikke er noget, man får hver dag. Det er derfor nødvendigt at have en stor reservetank på land, hvis man, som analysen foreslår, vil bunker hver dag. Det er dog planen, at Danmark selv skal producere LNG og LBG i den nærmeste fremtid, så denne problematik er kun i en overgangsfase.

Umiddelbart, ifølge WTP analysen, burde methanol ikke anvendes, da det har de største energitab af de tre drivmidler – i hvert fald kun som sidste valg. Men det er samtidig vigtigt at pointere, at omstillingsanalysen viste, at det kan lade sig gøre at omstille til methanol for alle de danske passagerfærger. Det vil sige, at det også er muligt, at de 28 %, der skal omstilles til noget andet end eldrift, også kan omstilles til methanol. Det var ikke muligt for to af færgerne ved en hel dags energiforbrug, hvor volumen for methanolen blev for stor. Hvis man bunkede imellem overfarterne, var det imidlertid også muligt for disse to at omstille til methanol. Det skal også siges, at den sti, der er valgt, kun er en af flere metoder at lave methanol på. Den mest anvendte teknologi er syntetisering af naturgas, hvorfor det virkede oplagt at erstatte denne med biogas samtidig med, at Lars Thomsen, Formand for Danish Methanol Association, formandede, at det var den eneste praktisk rentable mulighed. Der kan derfor sagtens findes teknologier, der har en bedre total virkningsgrad for energikæden end den valgte, da store dele af værdikædetabet går til biogasproduktionen. Eventuel forgasning af råbiomasse må formodes at have mindre energitab, selvom reaktoren har en meget høj varme og derfor formodentlig et stort varmespild. Men i et bæredygtigt samfund må der også tænkes smarte løsninger ind, så eventuelt noget af varmen kan komme fra fjernvarmenettet. Samtidig fortalte Thomsen også, at de udnytter varmespildet fra methanolprocessen til fjernvarmenettet, så virkningsgraden for processen kom op på 92 %. Med denne virkningsgrad er methanolprocessen næsten på niveau med CBG og LBG, hvorfor methanol ikke skal afskrives som en mulighed, når nu omstillingsanalysen påviser en mulig omstilling til det. Som det nævnes i følsomhedsanalysen har andre virkningsgrader i WTT analysen altså ikke indflydelse på omstillingsanalysens resultater. Det gør derimod, at den mængde energi, der skal bruges fra biomassen, reduceres. Derudover fylder

methanol mindre end CBG og skal kun opbevares i normale tanke, hvilket giver en stor fordel. Hvis der kan spares plads ved at vælge methanol fremfor CBG, kan det eventuelt give plads til flere biler og passagerer og den vej igennem kompensere for det større energitab. Samtidig kan det blandes med almindelig MGO, hvilket gør det let for en overgangsperiode til drivmidlet. Bent Hansen fra Danske Færger fortæller, at de aldrig ville røre methanol, fordi det brænder med usynlig flamme. Han mener altså, at det er for farligt at have om bord på et skib - hvis noget går galt, kan man ikke se flammerne og dermed ikke få afværget uheldet (Hansen, 2016). Til gengæld, i modsætning til LBG, findes methanol på det danske marked og er dermed lettilgængeligt.

Hvis CBG af andre grunde end et energimæssigt perspektiv er det bedste alternativ for de 28 % af de danske passagerfærger, der ikke skal omstilles til el, viste det sig, at næsten alle færgerne kan omstilles til CBG drift. Der var 5 af færgernes daglige energiforbrug målt i volumen CBG, der overskred tendensen for tankstørrelserne, og én af færgerne ved energiforbruget på én overfart. Det konkluderes derfor også som en mulighed at omstille til CBG, i hvert fald for nogle af de 28 %. Det blev vist, at hver af færgerne (på nær 1) har mulighed for at bunkre den mængde brændsel, de forbruger på én turs forbrug, hver gang de ligger i havn. Det handler altså blot om at ændre vane til at bunke oftere - hvor de normalt bunkre 1-3 gange om ugen, skal de måske gøre det hver, hver anden eller hver tredje tur. Analysen viser i hvert fald, at hver tur let kan lade sig gøre. Igen kan det være, at det er nødvendigt at "klat-bunke", og så bunke fuldt op henover natten, men det er op til færgeruteejeren at finde den mest optimale bunkeproces for den enkelte færge. Det skal dog siges, at der ikke er tænkt nogle former for økonomi ind i dette scenarie med henblik på ansættelse af en mand til at bunke imellem overfarterne, hvis andet personale ikke har tid eller lignende. Men det viser blot, at fra et energimæssigt perspektiv er det altså muligt at sejle på alle tre drivmidler for næsten samtlige af de danske passagerfærger.

Med tanke på anvendelsen af biomasse for de tre drivmidler produceret heraf, viste WTP analysen, at CBG og LBG hver skulle bruge en energimængde på 54 TJ pr. døgn fra biomasse, og methanol skulle bruge 75 TJ energi pr. døgn fra biomasse for at omstille alle de danske passagerfærger. De sidste 28 %, der ikke kunne omstilles til eldrift, ville dog stadig kræve en energimængde på 47 TJ pr døgn fra biomasse. Ifølge Energistyrelsen er der på nuværende tidspunkt et potentiale på 162 PJ, hvilket fordelt på en daglig basis svarer til 444 TJ (Energistyrelsen, 2014). Det vil sige, at et energiforbrug på 54 TJ pr. døgn fra biomasse er 12 % af den daglige tilgængelige biomasse, der er i dag. For methanol vil det være 17 %, og for 28 % scenariet er det 10 %. Dette er forholdsvis store andele af den tilgængelige biomasse, der er i Danmark på nuværende tidspunkt. Derudover er dette blot det fulde biomasse potentiale, det er ikke sikkert, at alt denne biomasse er anvendelig i et biogasanlæg, hvilket vil gøre andelen endnu større. Dette er meget begrænsende for anvendelsen af biomassen til de danske passagerfærger – især set op imod de 0,6 %, andelen ville være for omstillingen af alle de danske passagerfærger til eldrift. Eftersom biomasse er en begrænset ressource og er mulig at udnytte til mange energiformål, vil det være helt essentielt at få omstillet så mange af de danske passagerfærger som muligt til eldrift. Dette vil altså indebære, at infrastrukturen tillader, at færgernes opladning kan få en høj effekt, da det vil give mulighed for endnu større batteripakker. En større batteripakke vil dog også kræve en større volumen, hvilket var et kritisk parameter. Derfor er færgernes design også nødt til at blive optimeret, så der er mulighed for større batterier. Samtidig vil en metode være at bygge færgerne i karbon, da dette vil reducere energiforbruget.

For at runde diskussionen af er der altså fire drivmidler, det potentielt er muligt at omstille næsten alle landets færger til. Som det er nævnt, burde man analysere alle de brændsler, der lever op til

MARPOL's udledningskrav, samt hjælper til at opfylde det danskpolitiske mål om at være uafhængige af fossile brændsler i 2050. Så for at der ikke skal dannes et false choice, er det nødvendigt, at man som beslutningstager ved, at alle disse alternative drivmidler er reelle valg, der skal vurderes, før der tages en beslutning om omstillingen af sin færge. Med en institutionel magt er det altså muligt at afgiftsreducere disse bæredygtige energikilder og øge afgiften på de drivmidler, der ikke opfylder de ovennævnte kriterier. Derudover vil det være en mulighed på sigt, at skærpe SOx kravet, så der ikke må sejles med scrubbere og på den måde få de fossile brændsler drevet ud af de danske passagerfærger.

Ydermere er det altså nødvendigt at drage erfaringer af hinanden, da det havde en klar indirekte magtpåvirkning at se ting lykkedes på bæredygtig vis for andre. Hertil skal der ske en påvirkning fra samfundets side med et større krav om bæredygtighed for at lægge pres på beslutningstagerne til at vælge et bæredygtigt valg.



## 10 Konklusion

Danmark er et land med mange beboede øer. En livsnerve for befolkningen på disse øer er færgetransporten. Med andre ord er det altså helt essentielt, at der er færgetransport for at have muligheden for at bo på størstedelen af de danske øer og sikre velfærd for befolkningen på disse øer. Den danske passagerfærgeflåde er gammel, og størstedelen formodes at skulle udskiftes snart. Samtidig lever vi i en tid, hvor drivhuseffekten forøges drastisk som et resultat af den moderne samfundsudvikling med energikrævende teknologier. I denne forbindelse har den Internationale Maritime Organisation skærpet udledningen af SO<sub>x</sub> og NO<sub>x</sub> indenfor ECA områderne, hvor de danske farvande ligger indenfor. Danmark har samtidig sat sig et mål om at være uafhængige af fossile brændsler i 2050. Der kommer altså til, at skulle træffes beslutninger om, hvilket drivmiddel de nye færger skal drives af. Denne beslutning tilfalder den enkelte ejer af den givne færgerute. Af ovenstående grunde er det nødvendigt, at man som beslutningstager skifter sin færge til et bæredygtigt alternativ, der lever op til de skærpede krav og samtidig hjælper til opfyldelsen af de danskpolitiske målsætninger. I en sådan beslutningsproces er det set, at der forekommer en magtpåvirkning og en manipulation af beslutningstageren fra forskellige aktører, der stræber efter at få tilgodeset deres egne interesser – og dermed ikke nødvendigvis beslutningstagerens interesser. Det er i den forbindelse påvist, at flere magtformer bliver udøvet. Denne magtpåvirkning har en effekt i forhold til at påvirke beslutningstageres agenda for, hvilke drivmidler der skal overvejes. Det står helt klart, at det hovedsagligt er el og LBG drift, der bliver diskuteret af bæredygtige alternativer samt traditionel Marine Gas Oil drift. At man som samfund eller en græsrods gruppe kræver en teknologi eller et større fokus på bæredygtighed, kan både være en direkte og en indirekte magtpåvirkning til at få et alternativ på beslutningstagerens agenda. Hertil har det vist sig, at det at være foregangsbillede og værdien i at kunne brande sig som bæredygtig, har stor indflydelse på andre beslutningstageres agenda. Med andre ord har det en stor indflydelse på beslutningstagerens agenda at se det lykkedes for andre med et givent drivmiddel og samle erfaringer fra hinanden. Derudover er en institutionel magtpåvirkning en yderst effektiv manipulation, da den både kan opfordre og hæmme forskellige alternativets udnyttelse. I denne henseende blev det påvist, at både afgifter og tilskud har stor effekt på valget af drivmiddel og dermed påvirker beslutningen til en bestemt retning.

Da det oftest er et valg imellem nogle få drivmidler, hvor der ikke bliver gennemanalyseret den brede vifte af bæredygtige drivmidler, der findes, har denne magtpåvirkning resulteret i, at der ikke er et reelt valg for beslutningstageren af ligevægtige muligheder.

Det er altså vigtigt at kende sine bæredygtige alternativer som beslutningstager, hvorfor afhandlingen samtidig har søgt at analysere flere drivmidler som mulige omstillingsalternativer. Der er i denne forbindelse analyseret muligheden for CBG, LBG, methanol og el som omstillingsalternativer. Disse alternativer er analyseret fra et energimæssigt perspektiv igennem hver af deres livscykluser for at identificere, hvad energitabene er i hver af deres energikæder og derigennem finde det bedste alternativ set fra et energimæssigt perspektiv. Det er her helt tydeligt, at els energikæde har færrest energitab med en totalvirkningsgrad på 61 %. Dette skyldes både et lavt energitab fra produktion, til drivmidlet er om bord på færgen samt elmotorens høje virkningsgrad. CBG og LBG har en totalvirkningsgrad på 11 %, men grundet LBG's højere energidensitet er dette alternativ at foretrække og derfor det næstbedste at omstille til set fra et energimæssigt perspektiv. Til sidst har methanol en totalvirkningsgrad på 8 %, og er dermed sidste valg af omstillingsalternativer med henblik på energitab i livscyklussen. CBG, LBG og methanol er alle produceret af biomasse udnyttet i et biogasanlæg, hvor

størstedelen af energitabet finder sted. Derudover er der et større energitab i syntetiseringsprocessen for methanol end for komprimeringen af CBG og kondenseringen af LBG, hvorfor den lavere totalvirkningsgrad.

El fungerer igennem et batteri og derefter i en elmotor. Dette har sine begrænsninger i form af, at det skal kunne lades. Der er derfor nødt til at være den rigtige infrastruktur ved kajen, hvor færgerne lægger til. Både CBG, LBG og methanol anvendes i en Ottomotor med en meget lavere virkningsgrad. Omstillingsanalysen viser dog, at det er muligt for stort set alle de danske passagerfærger at kunne omstille til både CBG, LBG og methanol. Set bort fra dette er det bestemt, at 72 % af de danske passagerfærger bør omstilles til eldrift. Både fordi, det er det bedste alternativ i forhold til energitab i dets livscyklus, men også fordi, at omstillingen til eldrift umiddelbart passer bedre ind i det danske energisystem. Med dette menes, at det kun er en meget lille andel, 895 MWh, den danske elkapacitet skal forøges med for at kunne omstille de danske passagerfærger til el. Hvis det er muligt at omstille alle de danske passagerfærger, vil det give et ekstra dagligt elforbrug på kun 0,6 % af det nuværende daglige elforbrug i Danmark. En omstilling til LBG derimod vil kræve 12 % af den biomasseressource, der potentielt er til rådighed i Danmark på nuværende tidspunkt. Eftersom biomasse er en begrænset ressource, burde så meget som muligt derfor omstilles til el, da biomassen kan anvendes til mange ting i energisystemet.

Altså bør alle de danske passagerfærger fra et energimæssigt perspektiv omstilles til eldrift, men med omstillingsanalysens valgte afgrænsninger, er det fundet muligt at omstille 72 % af de danske passagerfærger til el, hvorfor de sidste 28 % bør omstilles til LBG set fra et energimæssigt perspektiv. Eftersom disse 28 %, der bør omstilles til LBG, stadig svarer til 10 % af den danske potentielle biomasse ressource, er det altså vigtigt at optimere færgedriften, så endnu flere færger kan omstilles til eldrift. Dette kan gøres ved at sænke energiforbruget for færgedriften ved for eksempel at bygge færgerne i andre materialer, såsom karbon. Men det helt essentielle parameter for at omstille til eldrift er altså muligheden for at kunne oplade batterierne tilstrækkeligt, hvilket altså kræver en tilpas høj effekt ved kajen. Det er allerede et europæiskpolitisk mål at have landstrøm i alle havne, så hvis dette mål blev udvidet til at være ved alle kajer til alt form for maritim transport, ville det måske være muligt, at kunne installere den nødvendige effekt.

## 11 Perspektivering

### 11.1 Store tankskibe

Afhandlingen omhandler kun de danske passagerfærger, som har et meget lille total energiforbrug i forhold til de store tankskibe og containerskibe. Princippet for omstillingen er det samme for disse store skibe, der arbejder man bare i mange gange større størrelser. Emma Mærsk har for eksempel et energiforbrug på 7.650 TJ pr døgn. Dette svarer til et batteri med en kapacitet på 4.378 GWh og en volumen på 4.37.800 m<sup>3</sup>. Det må formodes, at det nok vil tage mange dage at oplade et sådant batteri samtidig med, at skibet formodentlig ikke lægger til land hver dag. Ved LBG drift vil dette energiforbrug have en volumen på 667.151 m<sup>3</sup> og kræve 130 PJ energi fra biomasse. Det vil altså sige, at skibet på en dag bruger næsten så meget energi, som Danmark potentielt har i biomasse ressourcer på et år. Der er altså stadig lang vej endnu for at kunne omstille de helt store skibe til bæredygtige brændsler. Det er i hvert fald nogle store teknologiske udfordringer, der er i sigte de næste årtier, og det er nok alle former for optimeringer, der skal involveres for at få energiforbruget så meget ned, at et bæredygtigt alternativ kan blive konkurrencedygtigt. Så for at omstillingen af den maritime sektor virkelig skal batte, er det altså ikke nok kun at omstille de danske passagerfærger – det er en god start, men de store tankskibe og containerskibe skal også med.

## 12 Bibliografi

- Awilco-Multiplex. (2014). *AWILCO-MULTIPLEX*. Retrieved from Sikkerhedsdatablad: [http://www.awilco-multiplex.dk/files/pdf/Fuel%20cells/Methanol/Beholder\\_-\\_M5,\\_M10,\\_M28\\_DA.pdf](http://www.awilco-multiplex.dk/files/pdf/Fuel%20cells/Methanol/Beholder_-_M5,_M10,_M28_DA.pdf)
- Bigadan. (N/A). *Bigadan*. Retrieved from Sådan fremstilles biogas: <http://bigadan.dk/p/biogasteknologi/saadan-fremstilles-biogas>
- Bruun, A. H. (2016, August 26). Technical Project Manager. (K. Wolsing, Interviewer)
- Carbon Brief Staff. (2014, December 8). Retrieved from Two degrees: The history of climate change speed limit: <http://www.carbonbrief.org/two-degrees-the-history-of-climate-changes-speed-limit>
- Church, J. A., & Clark, P. U. (2013). *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Retrieved from Sea level change: [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_Chapter13\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter13_FINAL.pdf)
- Corneliussen, C. (2014, Juni 4). *Samvirke*. Retrieved from Hvad gør man, hvis man hælder benzin i en dieselbil?: <http://samvirke.dk/forbrug/spoergsmaal-svar/goer-haelder-benzin-dieselbil.html>
- Curran, S. e. (2014, Oktober). *Sciencedirect*. Retrieved from Weel to wheel analysis of direct and indirect use of naturalgas in passenger vehicles: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544214008573>
- Dansk GasTeknisk Center. (1997, November). *Dansk GasTeknisk Center*. Retrieved from Små Dual-Fuel motorer til naturgas: [http://www.dgc.dk/sites/default/files/filer/publikationer/R9711\\_dual\\_fuel\\_motorer.pdf](http://www.dgc.dk/sites/default/files/filer/publikationer/R9711_dual_fuel_motorer.pdf)
- Dansk GasTeknisk Center. (N/A, A). *Naturgasfakta*. Retrieved from Nedre Brændværdi: [http://www.naturgasfakta.dk/copy4\\_of\\_miljoekrav-til-energianlaeg/nedre-braendvaerdi-1](http://www.naturgasfakta.dk/copy4_of_miljoekrav-til-energianlaeg/nedre-braendvaerdi-1)
- Dansk GasTeknisk Center. (N/A, B). *Naturgasfakta*. Retrieved from Tekniske Data: [http://www.naturgasfakta.dk/copy4\\_of\\_miljoekrav-til-energianlaeg](http://www.naturgasfakta.dk/copy4_of_miljoekrav-til-energianlaeg)
- Den Europæiske Unions Tidende. (2014, Oktober 22). *Europæiske-Parlament og Råd*. Retrieved from Direktiv om etablering af infrastruktur for alternativer brændstoffer: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094&from=EN>
- Eilsøe, L. (2016, Maj 10). Mols-Linien skal sejle til Bornholm. *DR*.
- Energi-, Forsynings- og Klimaministeriet. (2014). *EFKM*. Retrieved from Drivhuseffekten og CO2: <http://www.efkm.dk/viden/klimaforandringer/drivhuseffekten-co2>
- Energinet. (2016, April 30.). *Energinet*. Retrieved from Tab i elnettet: <http://www.energinet.dk/DA/KLIMA-OG-MILJOE/Energinetdks-miljoepaavirkninger/Miljoepaavirkninger-ved-transport-af-el/Sider/Tab-i-elnettet.aspx>
- Energistyrelsen. (2014, Marts). *Bioenergi*. Retrieved from Analyse af bioenergi i Danmark: [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Bioenergi/bioenergi\\_-\\_analyse\\_2014\\_web.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Bioenergi/bioenergi_-_analyse_2014_web.pdf)
- Estrup, T. B. (2016, April). Projektleder, E-Ferries (Ærø). (K. Wolsing, Interviewer)

- Europakommissionen. (2011, Marts 28). *Europakommission*. Retrieved from Hvidbogen: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0144&from=EN>
- Europakommissionen. (2013A, December 11). *Den Europæiske Unions Tidende*. Retrieved from Forordning om Unionens retningslinjer for udvikling af det transeuropæiske transportnet og om ophævelse af afgørelse nr. 661/2010/EU: [http://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure/ten-t-guidelines/legal-basis\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure/ten-t-guidelines/legal-basis_en.htm)
- Europakommissionen. (2013B). *Clean transport, urban transport*. Retrieved from En Europæisk strategi for alternative brændstoffer: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013PC0017&from=EN>
- Europaparlamentet. (2009, April 23). *Den Europæiske Unions Tidende*. Retrieved from Direktiv om fremme af anvendelsen af energi fra vedvarende energikilder og om ændring og senere ophævelse af direktiv 2001/77/EF og 2003/30/EF: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=DA>
- Fiskericirklen. (N/A). *Fiskericirklen*. Retrieved from Brand er livsfarligt: [http://www.fiskericirklen.dk/files/Fiskericirklen/Fagboger/PDFer/Sosikkerhed/Sosikkerhed\\_08.pdf](http://www.fiskericirklen.dk/files/Fiskericirklen/Fagboger/PDFer/Sosikkerhed/Sosikkerhed_08.pdf)
- Frees, N. (N/A). *Lige ud af landevejen*. Retrieved from Elbilen - simpel men alligevel kompliceret: <http://www.ligeudadlandevejen.nu/elbilen---simpel-men-alligevel-kompliceret>
- Green Ferry Vision. (2013). *Green Ferry Vision*. Retrieved from Idea: <http://www.greenferryvision.dk/index.php/2013-11-21-10-18-56/idea>
- Hansen, B. B. (2016, Juni 13). Rederiinspektør. (K. Wolsing, Interviewer)
- Hvenegaard, C. (2002, December 22). *Ingeniøren*. Retrieved from Userløse påstande om vores energireserver: <http://ing.dk/artikel/useriose-pastande-om-vore-energiresserver-44743>
- IEA. (2015). *International Energy Agency Statistics*. Retrieved from CO2 emissions from fuel combustions - highlights: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsTrends.pdf>
- International Maritime Organization A. (N/A). *International Maritime Organization*. Retrieved from Introduction to IMO: <http://www.imo.org/en/About/Pages/Default.aspx>
- International Maritime Organization B. (N/A). *International Maritime Organization*. Retrieved from Sulphur oxides SOx - Regulation 14: [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)---Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)---Regulation-14.aspx)
- IRENA. (2013, Januar). *IRENA*. Retrieved from Production of bio-methanol - Technology brief: [https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA-ETSAP%20Tech%20Brief%20I08%20Production\\_of\\_Bio-methanol.pdf](https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA-ETSAP%20Tech%20Brief%20I08%20Production_of_Bio-methanol.pdf)
- Jensen, S., & Christensen, P. E. (2005). *Kontrol i det stille - om magt og deltagelse*. Forlaget Samfundslitteratur.

- Jensen, T. K. (2009). *Dansk GasTeknisk Center*. Retrieved from Opgradering af biogas til naturgaskvalitet:  
[http://www.dgc.dk/sites/default/files/filer/publikationer/A0913\\_opgradering\\_biogas.pdf](http://www.dgc.dk/sites/default/files/filer/publikationer/A0913_opgradering_biogas.pdf)
- Johnson Matthey - Davy Technologies. (N/A). *Johnson Matthey - Davy Technologies*. Retrieved from Core Technologies Synthesis: <http://davyprotech.com/what-we-do/licensed-processes-and-core-technologies/core-technologies/synthesis/specification/#tab-content-0>
- Jordan, I. (N/A). *Nive*. Retrieved from Gearing og geartab: <http://nive2.dk/index.php/j-stuff/content/list-layout/723-gearing-og-geartab>
- Jørgensen, P. J. (2009). *PlanEnergi*. Retrieved from Biogas - Grøn Energi: [http://scitech.au.dk/fileadmin/DJF/Kontakt/Besog\\_DJF/Oevelsesvejledning\\_og\\_baggrundsmateriale/Biogas\\_-\\_Groen\\_Energi\\_2009\\_AU.pdf](http://scitech.au.dk/fileadmin/DJF/Kontakt/Besog_DJF/Oevelsesvejledning_og_baggrundsmateriale/Biogas_-_Groen_Energi_2009_AU.pdf)
- Kebmin. (2013). *Regeringens klimaplan*. Klima-, Energi- og Bygningsministeriet.
- Kosan Crisplant A/S. (2016). *Kosan Crisplant*. Retrieved from LNG Liquefaction Solution: <http://www.kosancrisplant.com/media/242551/WA-54-ENG.pdf>
- Krag, A., & Trolle, J. G. (2012). *Simac*. Retrieved from Danmarks småfærger - en fælles standard: <http://simac.dk/f/f1/Danmarks-smaafaerger---en-faelles-standard.pdf>
- Kristensen, L. A. (N/A). *Lemvig Biogas*. Retrieved from Grundlæggende viden : <http://www.lemvigbiogas.com/viden.htm>
- Krøyer, K. (2009). *Ingeniøren*. Retrieved from Benzin i dieselmotoren skal øge virkningsgraden til 60 procent: <https://ing.dk/artikel/benzin-i-dieselmotoren-skal-oge-virkningsgraden-til-60-procent-95388>
- Lattanzio, R. K. (2014, marts 10). *FAS*. Retrieved from Canadian Oil Sands: Life-Cycle Assessments of Greenhouse Gas Emissions: <https://www.fas.org/sgp/crs/misc/R42537.pdf>
- Lund, H. (2008). *Choice Awareness and Renewable Energy Systems*. Aalborg: Uniprint, Aalborg Universitet.
- Manney, D. (2014). *ISElectric*. Retrieved from Impact on the efficiency of AC motors: <http://www.iselectric.com/impact-efficiency-ac-motors/>
- Marinemethanol. (N/A, A). *Marinemethanol*. Retrieved from Engine Technology: <http://www.marinemethanol.com/technology/in-practice>
- Marinemethanol. (N/A, B). *Marinemethanol*. Retrieved from Methanol Production: <http://www.marinemethanol.com/about-methanol/methanol-production>
- Meyer, N. I., Nørgård, J. S., Galster, G., & Guldbrandsen, T. (1994). *Energi og ressourcer - for en bæredygtig fremtid*. Polyteknisk Forlag.
- Mikkelsen, H. (2016). Lektor ved Marstal Navigationsskole. (K. Wolsing, Interviewer)
- NASA. (2011, Januar 13). *NASA*. Retrieved from Despite Subtle Differences, Global Temperature Records in Close Agreement: <http://www.giss.nasa.gov/research/news/20110113/>
- National Geographic. (N/A). *National Geographic*. Retrieved from Rising Seas: <http://ngm.nationalgeographic.com/2013/09/rising-seas/if-ice-melted-map>

- Naturstyrelsen. (N/A). Retrieved from Økosystemer og naturtyper: <http://naturstyrelsen.dk/77501>
- NGVJournal. (2014, August 14). *NGVJournal*. Retrieved from The Netherlands: advancing steps to develop first hybrid CNG ferry: <http://www.ngvjournal.com/the-netherlands-advancing-steps-to-develop-first-hybrid-cng-ferry/>
- Nielsen, B. S. (2016, August 25). Sekretær for Foreningen for Danske Biogasanlæg. (K. Wolsing, Interviewer)
- Nielsen, D. (2016, Marts). Maskinmester Samsø Færgen. (K. Wolsing, Interviewer)
- Nørgaard, J. (2014). *Jyllands Posten*. Retrieved from Hvorfor kører dieselmotoren længere på literen?: <http://jyllands-posten.dk/nyviden/videnbrevkasse/article6432659.ece>
- OSK-ShipTech A/S. (2014, December 12). *Bilfærgernes Rederiforening*. Retrieved from Grønnere færgesfart i Danmark: <http://spotidoc.com/doc/3285212/infoblod-nr1-2012>
- Pagh, S. L. (N/A). *Climate Minds*. Retrieved from Fossile brændsler: <http://www.climateminds.dk/ressourcerum/energiproduktion/fossile-braendsler/>
- Pedersen, F. H. (2007). *Fiskericirklen*. Retrieved from Motorlære - Skibssystemer og elteknik: <http://www.fiskericirklen.dk/files/Fiskericirklen/Fagbogger/PDFer/Motorlære/Motorlære.pdf>
- Pedersen, M. F. (N/A). *Dieselnet*. Retrieved from NOx emission standards: <https://www.dieselnet.com/standards/inter/imo.php#nox>
- Platt, J. (2012, September 24). *Mother Nature Network*. Retrieved from What is methane and why should you care?: <http://www.mnn.com/earth-matters/energy/stories/what-is-methane-and-why-should-you-care>
- Rasanen, J.-E. (2016, August 15). Head of New Technologies, Passenger and Cargo vessels, Marine and Ports, ABB. (K. Wolsing, Interviewer)
- Regeringen. (2011, Februar). *Energistyrelsen*. Retrieved from Energistrategi 2050 - fra kul, olie og gas til grøn energi: [http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/forbrug-besparelser/energipareraadet/moeder-energipareraadet/moede-energipareraadet-16-marts-2011/Energistrategi2050\\_sammenfatning.pdf](http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/forbrug-besparelser/energipareraadet/moeder-energipareraadet/moede-energipareraadet-16-marts-2011/Energistrategi2050_sammenfatning.pdf)
- Rieksen, L. (2016, Juni). Rederiinspektør, Læsø Line. (K. Wolsing, Interviewer)
- Riisgaard, H. (2016). Lektor ved Aalborg Universitet. (K. Wolsing, Interviewer)
- Samsø Kommune. (N/A). *Samsø Kommune*. Retrieved from Pressemeddelelse - Samsø Kommune offentliggør udbud: [http://www.samsoe.dk/dokumenter/pressemeddelelse\\_-\\_samsoe\\_kommunes\\_kontrolbud.pdf](http://www.samsoe.dk/dokumenter/pressemeddelelse_-_samsoe_kommunes_kontrolbud.pdf)
- Ship and bunker. (2015, Februar 9). *Ship and bunker*. Retrieved from Wärtsilä to Power World's First CNG Vessel: <http://shipandbunker.com/news/apac/402156-wartsila-to-power-worlds-first-cng-vessel>
- Skovmose, P. (N/A). *Climate Minds*. Retrieved from Elsystemet i Danmark: <http://www.climateminds.dk/index.php?id=686>
- Statistikbanken. (2016). *Danmarks Statistik*. Retrieved from Danske skibe pr. 1. januar 2015: <http://www.statistikbanken.dk/statbank5a/default.asp?w=1745>

- Stensgaard, S. (2016, Juni). Teknisk Chef, Samsø Kommune. (K. Wolsing, Interviewer)
- Teknikbloggen. (N/A). *Teknikbloggen*. Retrieved from Projekt Elmotorn: <http://teknikbloggen.skolbloggen.se/ak9-genomgangar/1-teknik-i-hemmet-ak9/elmotorn-ak9/>
- Thomsen, L. (2016, August 23). Formand for Danish Methanol Association. (K. Wolsing, Interviewer)
- Tomar, V. S. (2015). *Quora*. Retrieved from Why engine efficiency low at part load?: <https://www.quora.com/Why-engine-efficiency-low-at-part-load>
- Turns, S. R. (2012). *An Introduction to Combustion - Concepts and Applications* (Vol. 3.). New York: McGraw-Hill.
- Tybirk, K. (2016, Marts). Projektleder, Samsø Kommune. (K. Wolsing, Interviewer)
- Ullegård, J. (2016, Juni). Direktør i Danmarks Rederiforening. (K. Wolsing, Interviewer)
- Usman, W. (2013, may). Retrieved from Air quality management: <http://www.slideshare.net/muhammadwaleedusman/air-quality-management-22255529>
- von Hessberg, P., & Nielsen, O. J. (2009). *Drivhusgasserne - fra CO2 til SF6*. København: Københavns Universitet.
- Wikipedia. (2016, Juni 20). *Wikipedia*. Retrieved from Destillation: <https://da.wikipedia.org/wiki/Destillation>
- WWF. (N/A). *WWF Global*. Retrieved from Species threatened by climate change: [http://wwf.panda.org/about\\_our\\_earth/aboutcc/problems/impacts/species/](http://wwf.panda.org/about_our_earth/aboutcc/problems/impacts/species/)



## 13 Bilag

### 13.1 Bilag 1

Bilag 1 er det anvendte Excel ark, som kan findes på den vedlagte cd.