

HTX FREDERIKSHAVN

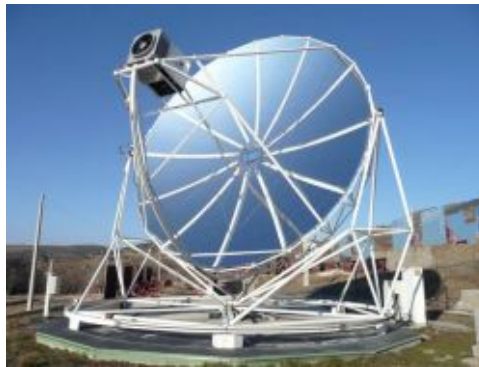
STUDIERETNINGSCASE

MATEMATIK OG FYSIK

---

## P6 - Studieretningscase

---



Figur 1: (promes, u.d.)

*Af*

CHRISTIAN KAAE LARSEN,

2. B

*Vejledere*

KASPER WEIRUM,

KRISTIAN HOLM

19. februar 2021

## Problemstilling

Termodynamiske maskiner som f.eks. benzin-eller dieselmotorer indgår som en naturlig og nødvendig del af hverdagen i det moderne samfund. Den teknologiske udvikling har effektiviseret motorerne, men samtidig er der opstået nye udfordringer i forhold til resourcer, miljø og klima. På den ene side har vi svært ved at undvære motorerne på den anden side er det nødvendigt med yderligere ændringer og tilpasninger. Afhængigt af motortypen kan de fossile brændstoffer erstattes af alternativer, baseret på vedvarende energikilder. Derudover spekuleres der i anvendelse af alternative motortyper.

## Anslag

## Resumé

Opgaven undersøger ved hjælp af den naturvidenskabelige metode om en EuroDish kan være et realistisk bud på et grønnere alternativ til nuværende kraftvarmemaskiner, som anvender fossile brændsler. Der redegøres for de forskellige termodynamiske processor samt kredsprocessor og funktionaliteten og delene af en EuroDish. I undersøgelsen og analysen opstilles og udledes en matematisk model på baggrund af redegørelsen med afsæt i den matematiske metode, modelleringskompetencen. Gennem analysens beregninger med afsæt i indsamlet empirisk materialer, bestemmes den teoretiske nyttevirkning for den opstillede model til 58 %. Den teoretiske nyttevirkning sammenlignes med nyttevirkningen af et mono-krystallinsk solpanel, hvor modellens nyttevirkning er omtrent dobbelt så effektiv, idet solpanelets nyttevirkning er 22-27 %. Gennem diskussionen tydeliggøres det, at den opstillede matematiske model ikke er realistisk eller repræsentativ, da den reelle nyttevirkning for en EuroDish er langt lavere og ligger på 22 %. Ligeledes udelades flere vigtige faktorer, såsom klima, anvendelse af strøm og den totale afgivelse af varme til omgivelserne. Gennem de tre taksonomiske niveauer har opgaven nået konklusionen, at modellen ikke kan anvendes som et realistisk bud på et grønnere alternativ, da den afviger for meget fra den reelle EuroDish, dog fungerer den reelle EuroDish som en god grøn energiproduktion, da den primært kører på den vedvarende solenergi.

# Indhold

<b>1</b>	<b>Indledning</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Problemformulering</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Termodynamiske processor og kredsprocessor</b>	<b>6</b>
3.1	Termodynamiske processor . . . . .	6
3.1.1	Isokor process . . . . .	7
3.1.2	Isobar proces . . . . .	7
3.1.3	Isoterm proces . . . . .	8
3.1.4	Adiabatisk proces . . . . .	9
3.2	Kredsprocesser . . . . .	10
3.2.1	Arbejde i kredsprocessor . . . . .	10
3.3	EuroDish . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Analyse af EuroDishs effektivitet</b>	<b>12</b>
4.1	Analyse af en idealiseret Stirlingmotor . . . . .	12
4.1.1	Arbejde udført af en idealiseret Stirlingmotor . . . . .	13
4.1.2	Tilførsel af varme til systemet . . . . .	14
4.1.3	Nyttevirkning af en idealiseret Stirling motor . . . . .	14
4.2	Beregning på modellen . . . . .	15
4.3	Sammenligning med solpanel . . . . .	16

5	Er modellen et realistisk grønnere alternativ?	17
6	Konklusion	19
7	Referencer	19
8	Bilag	21

# 1 Indledning

Gennem tidens løb har mennesket adapteret sig til og anvendt sine omgivelser til deres fordel ved at udarbejde redskaber, som gjorde dagligdagens opgaver nemmere. Denne tilpasning har fundet sted og finder stadig sted den dag i dag. Før i tiden har udviklingen været motiveret ved at skabe hurtigere og mere effektive redskaber og maskineri, som kunne erstatte manuelt arbejde. Denne forskydning, hvor mennesker hele tiden har fundet nyere, smartere og mere effektive måder at udføre jobs på, har medført at flere mennesker kan arbejde i det tertiære erhverv. Ultimativt vil denne udvikling nok resultere i en næsten komplet overtagelse af arbejde. I takt med at jordens befolkningsmængde stiger eksponentielt, kræves der flere og flere ressourcer, både i form af energi, varme og fødevarer, mere specifikt så har verdensenergiforbruget mere end tredoblet siden 1970 (DrivKraft-Danmark, 2019). Produktionen af el i USA kommer primært fra fossile brændsler, som er en andel på 81 procent, hvoraf 61.8 procent kommer fra naturgas og kul (American Farm Bureau, u.d.). For at kunne følge med på denne trend, med en voksende befolkningsmængde og et voksende energiforbrug, så vurderer forskere, at de naturlige ressourcer, som kul og olie, vil blive opbrugt indenfor ca. 53 år (Dilallo, u.d.). Derfor er det nødvendigt at ændre på hvilke ressourcer, der anvendes til energiproduktion, for ellers løber verden tør. Der er generel konsensus på dette, og der bliver indgået aftaler om nedskæring af anvendelse af fossile brændsler og CO<sub>2</sub> udledning. Et eksempel på dette er Parisaftalen, som er en international aftale inden for FN's klimakonvention UNFCCC (Wikipedia, u.d.). I Danmark er der også en grøn omstillingsplan, som har til mål at reducere den danske udledning af drivhusgasser med 70 procent i 2030 (Gate21, u.d.). Danmark er i forvejen et meget grønt land. Hvis man kigger på det nuværende danske elforbrug, så stammer 49 procent fra sol- og vindkraft, hvis energi produceret med biomasse inkluderes, så stammer hele 72 procent af Danmarks elforbrug fra CO<sub>2</sub>-frie energikilder (Ritzau, 2019).

Dette projekt arbejder med, hvordan man kan forebygge det altoverskyggende problem; global opvarmning, som med sig bringer mange konsekvenser. Blandt andet vil de naturlige ressourcer være opbrugt indenfor 53 år, grundet det nuværende forbrug på verdensplan, som netop består af disse ressourcer. I og med jordens ressourcer er ved at være opbrugt, så er det nødvendigt for menneskeheden at omlægge energiproduktionen til primært at bestå, hvis ikke udelukkende, af vedvarende energikilder, som solenergi, vindenergi og

bølgeenergi m.m. I denne opgave tages der afsæt i maskinen, Dish-Stirling, som er en maskine, der omdanner solens energi til el med en Stirling motor, der er koblet til en generator. (Se figur 6 for et grafisk overblik over projektets afgrænsning)

## 2 Problemformulering

Det er et problem, at verdens naturlige ressourcer er ved at være opbrugt i forhold til den nuværende produktion af el og varme.

- Hvordan fungerer en EuroDish og hvilke termodynamiske processor anvendes?
- Hvordan kan man opstille en matematisk model?
- Hvordan forholder nyttevirkningen sig i praksis og ved opstillede teoretiske modeller?
- Hvor effektiv er en EuroDish i forhold til eksempelvis en solcelle?
- Hvilke begrænsninger er der ved EuroDish generatoren i forhold til klima og eventuelle andre faktorer, samt om den er et realistisk bud på et grønnere alternativ?

## 3 Termodynamiske processor og kredsp processor

### 3.1 Termodynamiske processor

Idealgasligningen er en ligning, som kan anvendes til at beskrive sammenhængen mellem *tryk*, *volumen*, *stofmængde* og *temperatur* for en ideal gas og derved dens tilstand. Den kan afbildes rent matematisk som

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (1)$$

hvor  $p$  er gassens tryk,  $V$  er gassenes volumen,  $n$  er stofmængden,  $R$  er gaskonstanten og har værdien  $8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$  og  $T$  er temperaturen angivet i Kelvin. Mere specifikt gør ligningen sig gældende for ideale gasser, hvilket betyder, at der antages at gasmolekylerne kolliderer total elastisk imellem hinanden, altså at der ikke går nogen energi tabt ved

sammenstød af molekyler. Hvis man begynder at ændre på to af de resterende faktorer ved en indespæret gas, som har en konstant stofmængde, så vil den tredje variable indstille sig, så den overholder idealgasligningen. Denne indstilling fra et stadie til et andet kaldes for en *proces*. Generelt for alle processer gælder det, at temperaturen direkte korrelerer til ændringen af en given gas' indre energi, som er et begreb for molekylernes kinetisk energi og indbyrdes kræfter i gassen. Dette kan illustreres ved

$$\Delta E_i = n \cdot c_{mV} \cdot \Delta T \quad (2)$$

hvor  $\Delta E_i$  er den indre energi i gassen,  $n$  er stofmængdekonzentrationen i mol,  $c_{mV}$  er den specifikke molære varmekapacitet ved et konstant volumen. (Holck og Kraaer, 2009)

### 3.1.1 Isokor proces

Hvis en gas indespæret med konstant volume oplever en varmetilførsel, så vil gassens tryk variere alt efter, om der er en positiv eller negativ varmetilførsel. En sådan proces, hvor volumenet holdes konstant kaldes en *isokor* proces. Arbejdet som en gas under en isokor proces udfører kan beregnes ved som følgende

$$A = p \cdot \Delta V. \quad (3)$$

Idet volumenet i en isokor proces er konstant, så er volumeændringen  $\Delta V$  lig nul, og derved vil arbejdet også være lig nul, da gassen ikke kan 'skubbe' på omgivelserne ved at udvide sig ligeledes er omgivelsernes arbejde på gassen lig nul.

$$A = 0 \quad (4)$$

Formlen for at beregne den nødvendige mængde varme,  $Q$ , som skal tilføres til gassen under en isokor proces, kan findes ved den tidligere nævnte formel (2)

$$Q = n \cdot c_{mV} \cdot \Delta T \quad (5)$$

(Holck og Kraaer, 2009)

### 3.1.2 Isobar proces

Forskellen fra en isokor til en isobar proces er, at trykket holdes konstant fremfor volumenet som i det forrige. Ved denne proces kan det udførte arbejde på gassen, altså



omgivelsernes arbejde, findes ved

$$A = -p \cdot \Delta V \quad (6)$$

som er den samme som ligning (3) bortset fra at der er introduceret et negativt fortegn. Dette er gjort fordi det er arbejdet fra omgivelserne på gassen, der betragtes. Arbejdet vil kun være positivt, når gassen komprimeres, idet det vil resultere i en negativ volumeændring.

Den tilførte varme,  $Q$ , som skal tilføres gassen for at resultere i temperaturændringen  $\Delta T$  kan findes ved

$$Q = n \cdot (c_{mV} + R) \cdot \Delta T \quad (7)$$

hvor man indfører en special varmekapacitet, som kaldes *den specifikke molære varmekapacitet ved konstant tryk* der denoteres som  $c_{mp}$ . Denne varmekapacitet anvendes ved en isobar proces og er defineret som

$$c_{mp} = c_{mV} + R \quad (8)$$

Så beregnes den tilførte varme,  $Q$ , nu ved

$$Q = n \cdot c_{mp} \cdot \Delta T \quad (9)$$

(Holck og Kraaer, 2009)

### 3.1.3 Isoterm proces

En isoterm proces er en proces, hvor temperaturen holdes konstant. Derfor må gassens indre energi også være konstant, da den direkte indikerer temperaturen på gassen, ligesom i formel (2). Hvis der tilføres eller fjernes varme under en isoterm proces, så må der på tilsvarende vis udføres et arbejde for at komme af med den overskydne varme og holde temperaturen konstant, og hvis der fjernes varme, så må der tilføres et arbejde på gassen for at holde temperaturen konstant. Ved en isoterm proces kan det arbejde, som omgivelserne skal udføre på gassen beregnes ved

$$A = -n \cdot R \cdot T \cdot \ln \left( \frac{V_{slut}}{V_{start}} \right) \quad (10)$$

Det arbejde, som udføres på en gas under en isotherm proces, skal udlignes af den tilførte varme  $Q$  for at temperaturen kan forblive konstant, deraf har vi

$$Q = n \cdot R \cdot T \cdot \ln \left( \frac{V_{\text{slut}}}{V_{\text{start}}} \right) \quad (11)$$

Den eneste forskel på ligning (10) og (11) er fortegnet, hvilket bevidner, at de to er modsatte.

Endvidere, hvis en isotherm proces plottes i et  $pV$ -diagram, så vil den afbilde en hyperbel. Netop da, hvis man isolerer  $p$  og  $V$  i idealgasligningen (1), så følger det

$$p = n \cdot R \cdot T \cdot \frac{1}{V} \quad (12)$$

Netop da den plottes i et  $pV$ -diagram, hvor førsteaksen er volumenet,  $V$ , så vil trykket  $p$  aftage asymptotisk som volumenet stiger.

### 3.1.4 Adiabatisk proces

En adiabatisk proces er en proces, hvorved der ikke udveksles varme med omgivelserne. Denne proces finder eksempelvis sted i en dieselmotor, hvor dens stempel, som komprimerer en blanding af dieselolie og luft så hurtigt og kraftigt, at gassen ikke har tid til at afgive varme til hverken cylindreret eller stemplet. Så alt arbejdet går til at få temperaturen på gassen til at stige. Altså sker der en stigning i indre energi, hvilket betyder at

$$Q = 0 \quad (13)$$

Med andre ord, så forekommer der ingen varmetilførsel, hverken til eller fra gassen. Netop da alt det udførte arbejde bliver omdannet til indre energi i gassen. Heraf kan følgende opstilles med formel (2)

$$A = n \cdot c_{mV} \cdot \Delta T \quad (14)$$

Følgende gælder for en adiabatisk proces

$$p \cdot V^\gamma = k, \quad \text{det betyder at } p_1 \cdot V_1^\gamma = p_2 \cdot V_2^\gamma \quad (15)$$

og

$$T \cdot V^{\gamma-1} = k, \quad \text{det betyder at } p_1 \cdot V_1^{\gamma-1} = T_2 \cdot V_2^{\gamma-1} \quad (16)$$

hvor  $k$  er en konstant og  $\gamma$  kaldes for adiabatkonstanen eller varmekapacitetsforholdet, der er defineret som

$$\gamma = \frac{c_{mp}}{c_{mV}} \quad (17)$$

(Holck og Kraaer, 2009)

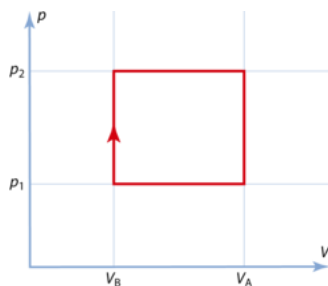
## 3.2 Kredsprocesser

Alle ovenstående termodynamiske processer kan kombineres til at danne en såkaldt *kredsproces*. En kredsproces består af op til flere forskellige termodynamiske processer i en vilkårlig rækkefølge, som en gas i et lukket system ville opleve. Det definerende ved en kredsproces er at det fungerer som en kreds, altså at efter alle påvirkninger fra de forskellige termodynamiske processer, så vender gassen tilbage i dens starttilstand med samme tryk, temperatur og volume. Udledningsvist, betyder dette, at ændringen i gassens indre energi er nul, da den starter og slutter samme sted. Derfor gælder følgende for en kredsproces

$$\Delta E_i = 0 \quad (18)$$

### 3.2.1 Arbejde i kredsprocesser

For at få et overblik over en kredsproces, så kan det være fordelagtigt at integre dem i et  $pV$ -diagram, hvor førsteaksen er volume,  $V$  og andenaksen er trykket,  $p$ , dette er gjort på figur 2



Figur 2: simpel kredsproces indtegnet i et  $pV$ -diagram. Kilde: <https://orbithtxa.systime.dk/?id=281>

I kredsprocessen i figur 2 ses det, at pilen indikerer, at omløbsretningen er med uret, derfor

udføres der først en isokor opvarmning, så en isobar ekspansion, så en isokor afkøling og endelig en isobar kompression, så den er tilbage til starttilstanden. I kredsprocessen udføres der et arbejde ved to isobare processer. Først ved den isobare ekspansion, hvor gassen udvider sig og derved udfører et arbejde på omgivelserne, derefter udfører omgivelserne et arbejde på gassen idet den komprimeres ved den isobare kompression. Bemærk, at de to stykker arbejde der udføres, ikke er lige store, idet den isobare ekspansion finder sted ved et meget højere tryk end den isobare kompression. Nettoarbejdet for enhver kredsproces er lig det areal, som termodynamiske processer afgrænser i  $pV$ -diagrammet.

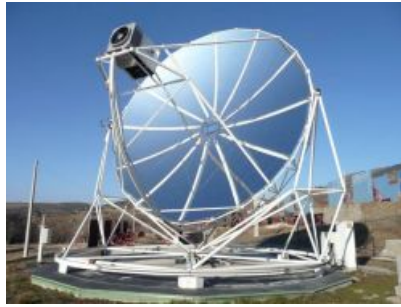
Hvis kredsprocessens gas' omløbsretning forløber med uret i  $pV$ -diagrammet, så udfører gassen et positivt arbejde på omgivelserne, ligesom i eksemplet, hvor gassens arbejde er større end omgivelsernes arbejde på gassen, derfor vil nettoarbejdet være positivt. Dermed så modtager gassen varme og udfører et mekanisk arbejde - en sådan maskine benævnes som en kraftvarmemaskine. Hvorimod hvis gassen forløber mod uret, så udfører omgivelserne et positivt arbejde på gassen. Udfra termodynamikkens første hovedsætning samt at i en kredsproces gælder  $\Delta E_i = 0$ , kan følgende opstilles

$$A_{\text{gas}} = Q_{\text{tilført}} - Q_{\text{afgivet}} \quad (19)$$

hvor  $A_{\text{gas}}$  er gassens nettoarbejde på omgivelserne,  $Q_{\text{tilført}}$  er den varme, som omgivelserne tilfører gassen i kredsprocessens forløb og  $Q_{\text{afgivet}}$  er den varme, der afgives til omgivelserne fra gassen. (Holck og Kraaer, 2009) (Systime)

### 3.3 EuroDish

EuroDish er en maskine, som udvikles i projektet EnviroDish. Maskinen består af en parabolisk formet koncentrator, som koncentrerer solens lys i et brændpunkt. I brændpunktet er monteret en Stirling motor, som er koblet til en el-generator, der omdanner Stirling motorens mekaniske arbejde til el, der kan sendes ud til elnettet eller anvendes lokalt. For at udnytte solens energi bedst muligt, så er selve monteringsanordningen konfigureret sådan, at den ved instruktioner fra en sensor kan følge solens bane på himlen og derved altid være optimalt placeret i forhold til solen. Se figur 3 for et billede af en monteret EuroDish. (promes, u.d.)



Figur 3: Billede af en monteret EuroDish kilde: (promes, u.d.)

## 4 Analyse af EuroDishs effektivitet

For at kunne regne på, hvor effektiv en EuroDish er, så er det nødvendigt at opstille en matematisk model, som der kan regnes på. En sådan model tager afsæt i selve den del på EuroDishen, som omdanner solens energi til mekanisk energi, altså Stirlingmotoren.

### 4.1 Analyse af en idealiseret Stirlingmotor

En idealiseret stirling motor er en model, som kan opstilles til en Stirling motor, hvor de termodynamiske processorer sammensættes til en kredsproces. Da de termodynamiske processorer er udledt af idealgasligningen, så giver det god mening, at en model opstillet med disse også vil være ideal. Den idealeliserede Stirling motor vil derfor ikke matche en realistisk Stirling Motor. Den idealiserede stirling motors  $pV$ -diagram kan ses på figur 4

Hvor proces:

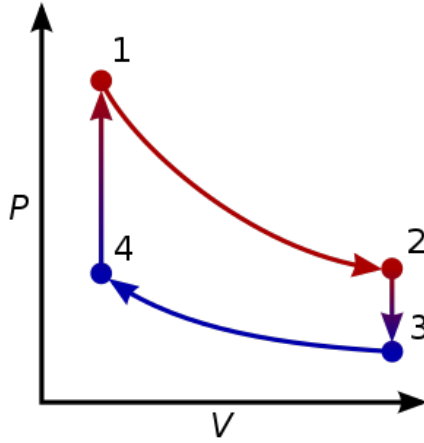
$1 \rightarrow 2$ : er en isotherm ekspansion

$2 \rightarrow 3$ : er en iskor afkøling

$3 \rightarrow 4$ : er en isotherm kompression

$4 \rightarrow 1$ : er en iskor opvarmning

(Holck og Kraaer, 2009)



Figur 4: En idealiseret Stirling motos kredsproces indtegnet i et  $pV$ -diagram. Kilde: (Wikipedia, u.d.)

#### 4.1.1 Arbejde udført af en idealiseret Stirlingmotor

Nettoarbejdet for en idealiseret Stirling motor kan beregnes ved at finde arealet, der afgrænses af de termodynamiske processor i  $pV$ -diagrammet. Der udføres kun et arbejde ved proces  $1 \rightarrow 2$ , altså den isoterme ekspansion og ved den proces  $3 \rightarrow 4$ , den isoterme kompression. Arbejdet for en isoterm proces kan opfattes som arealet under den afbillede graf i diagrammet. Derfor må nettoarbejdet være lig med forskellen på den øverste process og den nederste process, som rent matematisk kan udregnes som

$$A_{\text{netto}} = \int_{V_1}^{V_2} p dV - \int_{V_3}^{V_4} p dV \quad (20)$$

Selve arbejdet, som en isoterm udfører undervejs, kan findes ved at betrage ligning (20), idealgasligningen, og huske at for en isoterm proces er temperaturen  $T$  konstant, samt stofmængden  $n$ , da det er en kredsproces. Ud fra dette kan et udtryk for det udførte arbejde skrives som

$$\int_{V_A}^{V_B} p dV = \int_{V_A}^{V_B} \frac{nRT}{V} dV = nRT \cdot \int_{V_A}^{V_B} \frac{1}{V} dV \quad (21a)$$

$$= nRT \cdot [\ln V]_{V_A}^{V_B} = nRT \cdot (\ln V_B - \ln V_A) \quad (21b)$$

$$= nRT \ln \left( \frac{V_B}{V_A} \right) \quad (21c)$$

hvor  $V_B$  og  $V_A$  er henholdsvis slut- og startvolumenet. Fra trin b til c i ligning (21c) anvendes, at

$$\ln(A) - \ln(B) = \ln \left( \frac{A}{B} \right).$$

Dette er den samme ligning, som blev introduceret i redegørelse, navnlig ligning (10), den eneste forskel er fortegnet. I redegørelsen var det arbejdet, som omgivelserne skulle udføre på gassen, hvorimod det her er gassens arbejde. Ved at substituere ligning (21c) i ligning (20), så kan integralet for nettoarbejdet evalueres på følgende vis

$$A_{\text{netto}} = nRT_H \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right) - nRT_L \ln \left( \frac{V_3}{V_4} \right) \quad (22)$$

hvor subskriftene  $H$  og  $L$  denoterer henholdsvis den høje og lave temperatur i den isoterme proces. Ved at observere  $pV$ -diagrammet på figur 4, så kan det ses at  $V_4 = V_1$  samt at  $V_3 = V_2$ , netop da to lodrette processer, er isokore processer, hvor volumen holdes konstant. Herved kan ligningen omskrives til

$$A_{\text{netto}} = nRT_H \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right) - nRT_L \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right) \quad (23)$$

Ved at faktorisere kan udtrykket skrives som

$$A_{\text{netto}} = nR \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right) \cdot (T_H - T_L) \quad (24)$$

Så arbejdet, som udføres på omgivelserne af en idealiseret Stirling motor kan beregnes ved anvendelse af ligning (24). (Haywood) (Holck og Kraaer, 2009)

#### 4.1.2 Tilførsel af varme til systemet

Når den idealiserede cyklus når proces  $1 \rightarrow 2$ , så sker der en ekspansion, altså volumen på gassen bliver større. Derfor skal der tilføres en hvis mængde energi til gassen for at holde temperaturen i gassen konstant. Den mængde,  $Q$ , som skal tilføres til gassen i kredsløbet kan udledes ud fra ligning

$$Q_{\text{tilført}} = nRT_H \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right) \quad (25)$$

(Holck og Kraaer, 2009)

#### 4.1.3 Nyttetvirkning af en idealiseret Stirling motor

For en kraftvarmemaskine, som Stirling maskinen, er dens nyttevirkning defineret som forholdet mellem maskinens arbejde og den tilførte energi. Nyttetvirkningen kan beregnes

ved

$$\eta = \frac{A_{\text{maskine}}}{Q_{\text{tilført}}} \quad (26)$$

hvor  $A_{\text{maskine}}$  er maskinens arbejde og  $Q_{\text{tilført}}$  er varmen, der tilføres maskinen undervejs. For en idealiseret Stirling motor, så kan nyttevirksomheden udregnes ved at indsætte ligning (24) og (25) i ligning (26), som resulterer i

$$\eta = \frac{nR \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \cdot (T_H - T_L)}{nRT_H \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)} \quad (27)$$

Her kan det let ses, at  $nR \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$  i tæller og nævner vil udligne hinanden og så kan nyttevirksomheden nu beregnes med

$$\eta = \frac{T_H - T_L}{T_H} \quad (28)$$

Heraf kan det ses, at nyttevirksomheden af en idealiseret Stirling motor udelukkende afhænger af den højeste og laveste temperatur. Ved at omskrive ligning (28) som følgende

$$\eta = \frac{T_H - T_L}{T_H} \quad (29a)$$

$$= \frac{T_H}{T_H} - \frac{T_L}{T_H} \quad (29b)$$

$$= 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad (29c)$$

så kan det observeres, at nyttevirksomheden for en idealiseret Stirling motor aldrig kan overstige 1. (Holck og Kraaer, 2009)(Haywood)

## 4.2 Beregning på modellen

Som det fremstod i det forrige, så kan nyttevirksomheden for en idealiseret Stirling motor beregnes, hvis man kender den maksimale og minimale temperatur for gassen i kredsløbet. I EuroDishen anvendes Stirling motoren, SOLO Stirling 161, der produceres af SOLO Kleinmotoren (Schiel og Laing, 2015). I databladet for den anvendte Stirling motor fremgår det, at den maksimale driftstemperatur er 650 °C, dog så fremgår den minimale temperatur ikke i databladet (SOLO Stirling). Derfor tages der i det følgende afsæt i en anden Stirling motor, som har en maksimal temperatur på 1054 K og en minimum på 308 K (Granados, 2014). Ud fra disse data, så kan den teoretiske og idealiserede



nyttevirkning for denne Stirling motor beregnes med ligning (28), som resulterer i

$$\eta_{\text{Stirling}} = \frac{1054 \text{ K} - 308 \text{ K}}{1054 \text{ K}} = 0.708 = 70.8 \% \quad (30)$$

Det vil altså sige, at for al energi som tilføres til den idealiserede Stirling maskine, så vil en andel på 70.8 % blive omdannet til mekanisk energi. For at udvide modellen til hele EuroDishen og ikke kun Stirling motoren, så kan der tilføres noget data, der gør modellen mere virkelighedsnær. For at en EuroDish kan generere el, så er der koblet en elgenerator på Stirling motoren, som omdanner det mekaniske energi til elektricitet. I det tidligere nævnte datablad, så fremgår virkningsgraden for den anvendte elgenerator, og er opgivet til at være  $\eta_{\text{gen}} = 94 \%$ . Heraf kan den nyttevirkning fra tilført varmeenergi til elektrisk energi, genereret af generatoren, findes ved produktet af disse nyttevirkninger

$$\eta_{\text{q} \rightarrow \text{el}} = \eta_{\text{stirling}} \cdot \eta_{\text{gen}} = 0.708 \cdot 0.94 = 0.665 = 66.5 \% \quad (31)$$

Så for den energi, som tilføres til Stirling generatoren via sollys, vil en andel af 67 % blive omdannet til elektrisk energi, der kan sendes ud til elnettet. Ligeledes kan der introduceres en faktor  $r$  om reflektiviteten af spejlene, som reflektere solen lys til Stirling Motoren i brændpunktet. Det er ikke alt lyset, som reflekteres af spejlene, hvilket ses ved at tilgå det tidligere nævnte datablad. Så kan det ses, at spejlene reflekterer 97 % af det indgående sollys (Schiel og Laing, 2015) . Det reflekterede sollys modtages af en såkaldt 'reciever', som sidder på Stirling motoren og overfører varmen dertil. Ved denne introduceres også et tab af energi, nemlig da den har en nyttevirkning,  $\eta_{\text{reciever}} = 90 \%$ . Så kan reflektivens faktor,  $r$  og nyttevirkningen af recieveren ganges på ligning (31). Heraf fås en mere præcis model af EuroDishens nyttevirkning.

$$\eta_{\text{eurodish}} = \eta_{\text{q} \rightarrow \text{el}} \cdot r \cdot \eta_{\text{reciever}} = 0.665 \cdot 0.97 \cdot 0.90 = 0.58 = 58 \% \quad (32)$$

Så af al ingående solenergi, så vil, efter denne model, 58 % af energien blive omdannet til elektricitet.

### 4.3 Sammenligning med solpanel

De største indenfor anvendelsen af solenergi er solcellerne. Mono-krystallinske solceller har en nyttevirkning på 22-27 % (Vourvoulis, 2021). Den opstillede model for EuroDishen

fremsætter, at den har en nyttevirkning på 58 % og dermed omdanner den lidt over dobbelt så meget, som solcellerne eller rettere sagt solpanelerne og dermed en EuroDish modellen præsenteret i dette projekt mere effektiv end solpanelerne.

## 5 Er modellen et realistisk grønnere alternativ?

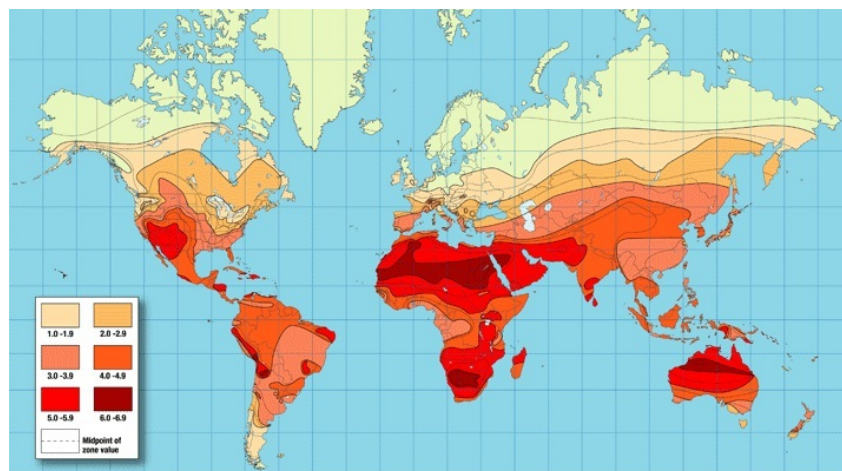
Da verdensbefolkningen er i markant vækst, kræves der flere ressourcer, end vi anvender nu. Dette kan blive problematisk, da eksempelvis 81 procent af USA's elproduktion, som tidligere nævnt, bygger på fossile brændsler. Dermed vurderer forskere, at de naturlige ressourcer er opbrugt om 53 år. Derfor afhænger verdens eksistens og udvikling af, at det traditionelle ressourceforbrug særligt til produktion nytænkes og omlægges til grøn energi baseret på vedvarende energikilder som b.la. sol- og vindenergi.

Ud fra et miljømæssigt og vedvarende perspektiv virker EuroDishen teoretisk som et godt bud på et grønnere alternativ, da den opererer på solenergi, som opvarmer Stirling motoren, og dermed omdanner solens energi til anvendelig el. Ligeledes viser beregning (32), at Stirling motorens nyttevirkning, udregnet i den teoretisk opstillede model, er 58 %. Dermed har den idealiserede Stirling motor teoretisk en bedre nyttevirkning og omdannelsesevne end en Mono-krystallinsk solcelle, hvis nyttevirkning er på 22-27 %.

Selvom Stirling motoren på papiret virker som et oplagt, grønt og godt alternativ, er den opstillede model og den idealiserede Stirling motor langt fra realistisk, da en EuroDish har en overordnet nyttevirkning på 22 %, hvilket er omkring halvdelen af den opstillede model (Schiel, W., og Laing). En af grundene til, at den opstillede model afviger så meget fra det reelle system, er fordi der er blevet opstillet en teoretisk og idealiseret model i form af en kredsproces, der består af termodynamiske processer, som alle tager afsæt i idealgas-ligningen. Ligeledes tages der ikke højde for gassens afgivelse af varme til omgivelserne, eller rettere sagt til materialet, som indeslutter gassen. En anden faktor, som modellen ikke tager højde for i dens opstilling af nyttevirkningen for solenergi til el, er den strøm og energi, som systemet i sig selv bruger. Selve Eurodishen kan rotere omkring sig selv, netop for at kunne udnytte solens indstråling optimalt. For at den kan opnå dette, så sidder der en sensor og en styrecomputer, som behandler sensordataen og udregner, hvor den

skal dreje hen. Ligeledes anvendes der også strøm og energi til at afkøle gassen i Stirling motoren. Dette er især vigtigt, da det er temperaturforskellen mellem de to køleflader, som er med til at bestemme nyttevirkningen for maskinen. Da den opstillede model ikke er repræsentativ for virkeligheden, så giver den ovenstående sammenligning mellem modellen og et solpanel heller ikke et realistisk resultat. Her viser det sig nu, at solcellen er mere nyttig end EuroDishen samt, at solpanelet ikke skal tilføres noget energi i drift, ligesom EuroDishen skal.

For at kunne have opstillet en mere realistisk model, så skulle der have været mere data inden over, hvorved der kunne tages højde for flere forskellige faktorer. Andre faktorer, som kan have en indflydelse på nyttevirkningen af en EuroDish kunne være geografisk placering. Altså i forhold til klima og deraf mængden af soltimer og indfaldsvinklen af solen. Som det fremgår på figur 5, så er Danmark og generelt Norden et uoptimalt sted for udnyttelsen af en EuroDish og generelt for udnyttelsen af solenergi. I stedet kunne Stirling motoren måske være et godt og reelt alternativ, hvis den udnyttes og anvendes i de røde lande og kontinenter fra figur 5, som Afrika, Sydamerika, Australien osv. Kontinenternes solrige klima vil bidrage til bedre forudsætninger for Stirling motoren, da den bygger på solenergi.



Figur 5: Verdenskort med anførte soltimer. Kilde: <https://rameznaam.com/wp-content/uploads/2013/11/World-Insolation-Map.gif>

Anskues EuroDishen ud fra den teoretisk opstillede model, som fremstiller en idealiseret Stirling motor, så fremstår den som et godt alternativ til anvendelsen af det traditionelle ressourceforbrug, da nyttevirkningen er 58 %. Anskues EuroDishen i stedet ud fra et rea-

listisk synspunkt, er den opstillede model ikke et realistisk bud på et grønnere alternativ, da den reelle nyttevirkning er 22 % mens der ligeledes ikke er taget højde for, at motoren også anvender strøm i omdannelsesprocessen, samt de geografiske faktorer. For at man kan anvende en model som forklaring på virkelige fænomener, skal der være en teoretisk og praktisk overensstemmelse. En overensstemmelse som ikke er tilstede i sammenligningen af resultaterne fra den idealiserede motor og den reelle motor. Dermed kan modellen ikke anvendes som et realistisk bud på et grønnere alternativ, da den afviger for meget fra den reelle EuroDish, dog fungerer den reelle EuroDish som en god grøn energiproduktion, da den primært kører på den vedvarende solenergi.

## 6 Konklusion

På baggrund af de termodynamiske processor samt kredsprocesser, der beskrives i redegørelsen, opstilles der i analysen ved hjælp af metoden, matematisk modellering, en idealiserede model af en EuroDish. Beregninger af den opstillede model resulterede i en teoretisk nyttevirkning på 58 %. Sammenlignet med et solpanel bestående af Mono-krystallinske solceller fremstår den idealiserede model som værende ca. dobbelt så effektiv, da nyttevirkningen for solpanelet er 22-27 %. Det diskuteres frem, at analysens resultater ikke er realistiske eller repræsentative, da der ikke tages højde for nogle realistiske faktorer, såsom klima, alle afgivelser af varme til omgivelserne, at der i omdanningsprocessen anvendes strøm samt at den reelle nyttevirkningen for en EuroDish er 22 %. Dermed kan det konkluderes, at modellen ikke kan anvendes som et realistisk bud på et grønnere alternativ, da den afviger for meget fra den reelle EuroDish, dog fungerer den reelle EuroDish som en god grøn energiproduktion, da den primært kører på den vedvarende solenergi.

## 7 Referencer

American Farm Bureau. (n.d.). Where does energy come from? Retrieved from American farm bureau foundation for agriculture:

<https://www.agfoundation.org/common-questions/view/Where-does-energy-come-from>

Dilallo, M. (n.d.). The world has 53.3 years of oil left. Retrieved from USA TODAY:  
<https://eu.usatoday.com/story/money/business/2014/06/28/the-world-was-533-years-of-oil-left/11528999/>

DrivKraftDanmark. (2019). Energistatistik 2019. DrivKraftDanmark.

Gate21. (n.d.). Grøn omstilling i 2030. Retrieved from Gate21: <https://www.gate21.dk/groen-omstilling-i-2030/>

Granados, F. (2014). Thermal model of the EuroDish Solar Stirling Engine.

Haywood, D. (n.d.). AN INTRODUCTION TO STIRLING-CYCLE MACHINES.

Holck, P., og Kraaer, J. (2009). Orbit A. Systime.

promes. (n.d.). EURODISH SYSTEM. Retrieved from promes: <https://www.promes.cnrs.fr/index.php?page=eurodish-system#prettyPhoto>

Ritzau. (2019, december 20). Nye rekorder for grøn energi i Danmark. Retrieved from energiwatch: <https://energiwatch.dk/Energinyt/PolitikMarkeder/article11839395.ece>

Schiel, W., og Laing, D. (2015). Survey on Solar-Electric Dish/Stirling Technology.

SOLO Stirling. (n.d.). Fact sheet: SOLO Stirling 161. Retrieved from Buildup: <https://www.buildup.eu/en/practices/cases/solo-stirling-161-fact-sheet-germany>

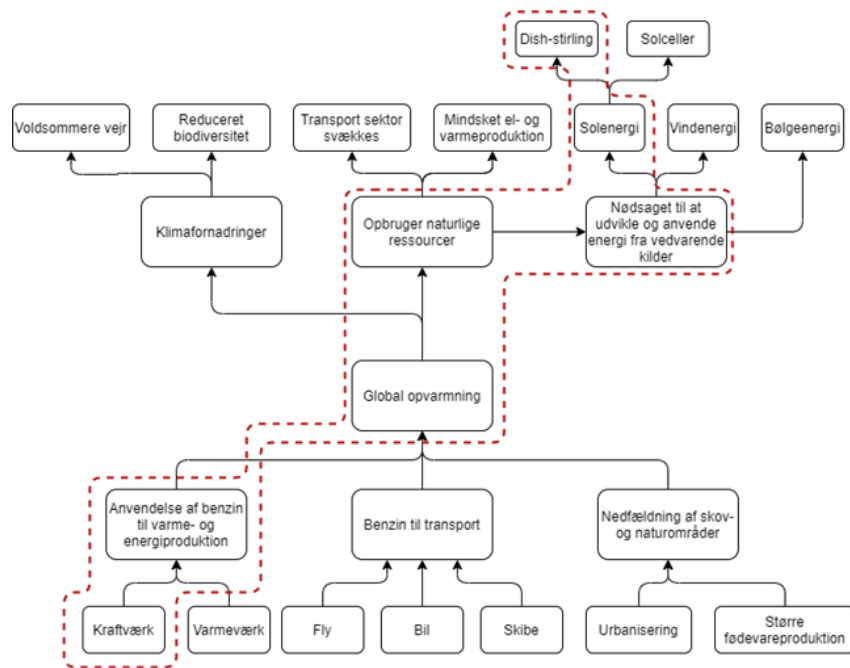
Systime. (n.d.). Orbit A HTX. Systime.

Vourvoulas, A. (2021, februar 16). How Efficient Are Solar Panels? Retrieved from Greenmatch: <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2014/11/how-efficient-are-solar-panels>

Wikipedia. (n.d.). Parisaftalen (2015). Retrieved from Wikipedia: [https://da.wikipedia.org/wiki/Parisaftalen\(2015\)](https://da.wikipedia.org/wiki/Parisaftalen(2015))

Wikipedia. (n.d.). Stirling Engine. Retrieved from Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Stirling\\_engine#/media/File:Stirling\\_Cycle\\_color.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Stirling_engine#/media/File:Stirling_Cycle_color.svg)

## 8 Bilag



Figur 6: Afgrænset problemtræ udarbejde ud fra problemstillingen