



CHALMERS

Är Waste Heat Recovery-system för sjöfarten möjligt att använda i personbilar och tung transport?

Examensarbete inom Sjöingenjörsprogrammet

ROBIN ANDERSSON

JÖRGEN HOERSCHELMAN

RAPPORTNR. SI-16/189

**Är Waste Heat Recovery-system för sjöfarten
möjligt att använda i personbilar och tung
transport?**

ROBIN ANDERSSON
JÖRGEN HOERSCHELMAN

Institutionen för sjöfart och marin teknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige, 2016

Är Waste Heat Recovery-system- för sjöfarten möjligt att använda i personbilar och tung transport?

Are Waste Heat Recovery-systems in shipping possible to use in cars and heavy transport?

ROBIN ANDERSSON
JÖRGEN HOERSCHELMAN

© ROBIN ANDERSSON, 2016.

© JÖRGEN HOERSHELMAN, 2016.

Rapportnr. SI-16/189
Institutionen för sjöfart och marin teknik
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon + 46 (0)31-772 1000

Tryckt av Chalmers
Göteborg, Sverige, 2016

Är Waste Heat Recovery-System för sjöfarten möjligt att använda i personbilar och tung transport?

ROBIN ANDERSSON

JÖRGEN HOERSCHELMAN

Institutionen för sjöfart och marin teknik

Chalmers tekniska högskola

Sammanfattning

Större fartyg var tidiga med att använda Waste Heat Recovery-system (WHR) ,bland annat avgaspanna där man producerarånga till olika uppvärmningsändamål samt elproduktion.

I rapporten beskrivs de vanligt förekommande metoderna för WHR-system samt Thermo Electric Generator (TEG) och Thermo Accustic Generator (TAG) som kan anses vara mindre förekommande inom WHR. WHR-systemen ligger till grund för att öka verkningsgraden på värmemotorer av olika slag, likväl anpassa dessa till miljöregler och för bränslebesparing. I rapporten undersöks om WHR-metoder liknande de som finns på fartyg kan användas eller används i fordonsindustrin och hur de tekniska utmaningarna ser ut. Med litteraturstudier som granskar WHR-system samt beskriver dem och med intervjuer på Volvo har en bra insikt i detta ämne erhållits. Det visar sig att både Volvo Cars och Volvo Trucks forskar inom WHR och startat igång labbtester på motorer som använder WHR.

WHR-systemen skiljer sig åt mellan lastbilar och personbilar, därav skiljer de sig också i storlek och vikt. Systemen måste vara så enkla och billiga som möjligt för att göra serieproduktion hållbar och minska de totala förlusterna. För att ett WHR-system ska vara en bra åtgärd vad det gäller bränslereducering och minskning av avgasemissioner måste verkningsgraden vara så hög som möjligt och förlusterna små.

Det forskas på olika metoder men ett system sprunget ur Rankinecykeln med ett mekaniskt effekttillskott på motorns vevaxel eller för drift av elektrisk generator ser ut att vara det mest lovande konceptet.

Nyckelord:

Avgasvärme, avgaspanna, ORC, Rankinecykel, spillvärme, TEG, TAG, WHR-system

Abstract

Large vessels were early in time to use Waste heat recovery-systems (WHR) such as an exhaust gas economizer to produce steam for heating and electric power production.

The report describes common methods used for WHR systems and Thermo electric generator (TEG) and Thermo acoustic generator (TAG) that are not so usually common in WHR. WHR systems are used to increase the efficiency level of heat engines of different kinds and adapt them to environmental regulations but also to fuel saving. These reports investigate if WHR systems like the ones on board ships are or will be used in the car factoring industry and what the challenges are. With literature examine WHR systems and describes them and interviews with Volvo has revolved in a good insight in this subject. It shows that both Volvo cars and Volvo Trucks has already begin their research in WHR and lab tests with engines running connected to WHR systems are being carried out.

The WHR-systems for trucks and cars differs in size and weight. They are supposed to be simple and cheap to produce and with minimum losses. A WHR-system is only a good arrangement in vehicles if the losses are small and the efficacy high whereby the fuel consumption and the exhaust emissions can be kept low.

Different WHR systems are being researched upon but the most promising alternative is the system based on the Rankine cycle.

Keywords:

Exhaust heat, economizer, OCR, Rankinecykel, TAG, TEG, WHR-system, Waste heat

Förkortningslista

EGR-Exhaust gas recirculation

HD-Heavy duty

IFM-Intern förbränningsmotor

ORC-Organic rankine cycle

RPM-Revolutions per minute

TAG-Thermo acoustic generator, Termo Akustisk Generator

TC-Turbo compounding

TEG-Thermo electric generator, Termo Elektrisk Generator

WHR-Waste Heat Recovery

Förord

WHR-system har för oss varit ett mycket intressant ämne att studera då det kan ge så mycket mereffekt av ett bränsle och är ett väldigt modernt och hett område inom miljöforskningen. Vi vill tacka Cecilia Gabrielii (handledare), Fredrik Ekström (Volvo Cars) och Henrik Salsinger (Volvo Trucks) för deras engagemang i detta arbete och för upplysningar och information gällande dessa system. Vi vill också tacka Kent Salo (examinator) för bedömningsarbetet och engagemanget att korrekt kritisera arbetet.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	i
Abstract	ii
Förord	iii
Figurförteckning	v
1. Inledning	1
1.1 syfte	2
1.2 Frågeställning	2
1.3 Avgränsningar	2
2. Bakgrund och/eller Teori	3
2.1 Bakgrund	3
2.2 Interna förbränningsmotorn	3
2.3 Turbo och elektrisk turbo	4
2.4 Turbocompounding	5
2.5 Rankinecykel	7
2.6 Termo akustisk generator	10
2.7 Termoelektrisk generator	12
3. Metod	14
3.1 Val	13
3.2 Litteratur	13
3.3 Intervjuer	14
4. Resultat	16
4.1 Volvo cars och Volvo trucks forskning	15
4.2 Vilka metoder forskas på och varför	15
4.3 Krav på WHR och lämplighet	16
4.4 WHRs begränsningar/förluster	16
5. Diskussion	Error! Bookmark not defined.17
5.1 Resultatdiskussion	17
5.2 Metoddiskussion	18
6. Slutsatser	19
Referenser	20
Bilagor	23

Figurförteckning

Figur 1. TurboAggregat genomskärningsbild	4
Figur 2. Turbocompounding mekanisk principbeskrivning.....	6
Figur 3. Rankinecykel schematisk beskrivning.....	8
Figur 4. TAG, thermoakustisk generator, schematisk bild.....	11
Figur 5. TEG, thermoelektrisk generator, schematisk bild.....	12

1. Inledning

Runt om i det moderna samhället och i snabbt växande takt i utvecklingsländer används förbränningsmotorer som kraftkälla. Framför allt inom transportsektorn utgör förbränningsmotorn en pålitlig kraftkälla till framdrivning även om hybriddrift med kombinerad förbränningsmotorteknologi och elteknik har påbörjat sitt inträde. Enbart elmotorer som kraftkälla står dock i minoritet till förbränningsmotorn inom transportnäringen (Ridell, Sjölin, 2012).

I Sverige är 581205st fordon registrerade (SCB, 2016). Detta åskådliggör att antalet är stort bara i Sverige. Alla dessa fordon såsom personbilar, bussar, lastbilar, motorcyklar, mopeder m.m. måste ha en kraftkälla som i de flesta fallen utgörs av en intern förbränningsmotor (Ridell, Sjölin, 2012). Fartyg har i de flesta fall också förbränningsmotorer som kraftkälla och oftast mycket högre effekt i förbränningsmotorn eller förbränningsmotorerna då de kan ha flera.

Förutom miljö- och hälsoskadliga avgasemissioner blir även restvärme i avgaserna en biprodukt av förbränning och speciellt då i interna förbränningsmotorer där höga tryck och temperaturer uppstår. En av de större energiförlusterna kommer från avgaserna då moderna värmemotorer inte förmår omvandla all kemisk energi som finns inbundet i kolväteföreningar (bränslen) till mekanisk energi. Avgaserna går ut i avgaskanalen vid gasväxlingen i motorn medan en del av värmeenergin går ut i materialet och kyls bort med kylvätskan. Ungefär en tredjedel av värmeenergin går ut med avgaserna och ca en tredjedel kyls bort och resten omvandlas till mekanisk energi (Hountalas, Katsanos, Kouremenos, 2007).

Det är således mycket värme/energi som försvinner ut med avgaserna som inte brukas till någon nytta. Om denna energi istället för att släppas ut i atmosfären hade tagits till vara på skulle den kunna bidra till att mer nyttigt arbete kan utvinnas ur bränslet. Idag finns modern teknik inom sjöfarten för att ta tillvara värmen i avgaserna men de används i princip inte i mindre motorapplikationer vare sig till sjöss eller i land.

Fordonsindustrin har inte varit sena med att uppmärksamma problemet. Volvo är en fordonstillverkare som framställt olika typer av WHR-system framför allt Turboöverladdning men dessa utgår mer ifrån avgastryck än ren värme enligt Fredrik Ekström på Volvo Cars. Därför riktar de nu in sig på samma typ av system som de stora fartygen använder sig av. Det finns olika metoder att använda sig av, såväl nya som gamla beprövade koncept.

Med återvinning av energin i avgaserna hade verkningsgraden på alla förbränningsmotorer kunnat ökas och det hade således även påverkat miljön positivt då lägre bränsleförbrukning ger lägre avgasemissioner (Aghaali, 2014).

I denna rapport undersöks hur fordonsindustrin forskar på WHR och vilka metoder de vill använda.

1.1 Syfte

Syftet med studien är att ge en insikt i hur bil och lastbilsindustrin forskar på och eventuellt tillämpar olika WHR-metoder. Med tanke på de WHR-system som redan idag finns ombord på fartyg är en del av syftet att se om liknande system är intressanta för bil och lastbilsindustrin.

1.2 Frågeställning

Frågeställningen är följande:

- Vilken/vilka metoder ämnar bil-/lastbilsindustrin att använda för WHR, samt varför?
- Vad begränsar användandet av WHR-metoderna?
- Hur stor kan bränslereduceringen och effekttillskottet bli?

1.3 Avgränsning

Rapporten avgränsas mot interna förbränningsmotorer inom segmenten personbilar och lastbilarinläsning på värmekraftverks WHR-system har delvis använts som teoretisk underlag. Rapporten bygger på litteraturstudier och är inte uppbyggd på matematiska eller fysikaliska antaganden.

Intervjuer sker med fordonsindustri i Göteborgsområdet.

2. Bakgrund och teori

2.1 Bakgrund

Interna förbränningsmotorer (IFM) har funnits länge och dessa har utgjort hjärtat som kraftkälla i sjöfart och likaså i vägtrafiken (Ridell, Sjölin, 2012). Större fartyg var tidiga med att använda sig av WHR-system bland annat i form av avgaspanna där de producerat ånga till olika uppvärmningsändamål samt elproduktion. Transport på land förutom tåg (eldrift) har i jämförelse inte använt sig av system för återvinning av restvärme i avgaser. Idag finns moderna teknologier både med och utan rörliga delar för att omsätta värmeenergi till mekanisk eller elektrisk effekt. Att med hjälp av avgastrycket konvertera tryck genom Turbo eller TurboCompounding (TC) till mekanisk drift är inte riktigt samma sak som den konvertering som sker från värme. Detta har att göra med att all värmeenergi inte bildar tryck. Avgaserna har hög temperatur jämfört med kylvätskan i motorerna, men kylvätskans värme går också att ta till vara på även om det är svårare. Dessa två medium, det ena gas och det andra i flytande form har ungefär samma energiinnehåll vilket frambringar ett intresse ute i fordonsindustrin att utveckla teknologi som utnyttjar dessa. Vad gäller värmemaskiner finns mycket effekt att tillgå i restvärmen från avgaserna och kylvätska. Att omhänderta restvärmen gynnar miljö och ekonomi.

Till viss del utnyttjas redan kylvätskevärmerna i fordon på vintern eller åtminstone då det är kallt. Värmen används i uppvärmningssyfte till förare och passagerare som sitter i ett vägfordon, då ökar verkningsgraden på motorn eftersom mer av bränslets energiinnehåll utnyttjas.

2.2 Interna förbränningsmotorn

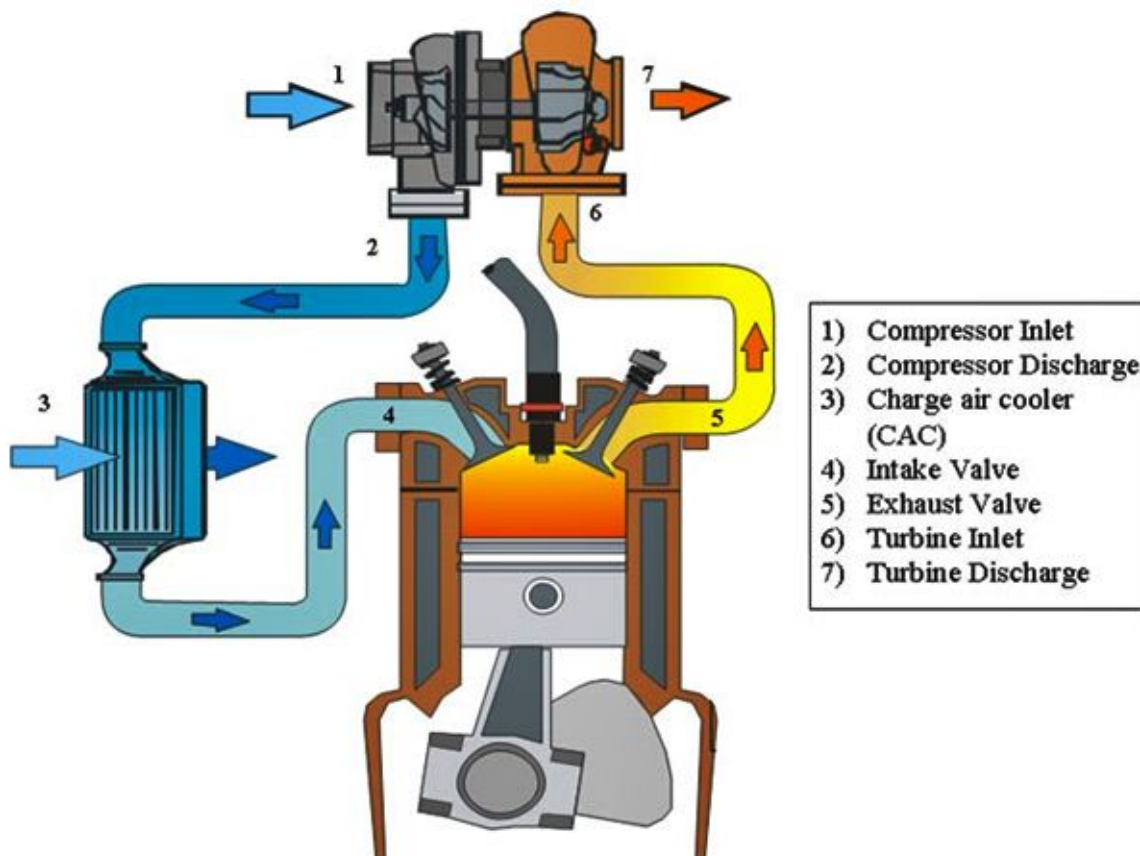
Interna förbränningsmotorn är en vanlig värmemaskin som används både i sjöfarten och i fordonsindustrin. En värmemaskin kan t.ex vara en intern förbränningsmotor eller en gasturbin/ångturbin som omvandlar kemiskt bunden energi ett bränsle till mekanisk energi i form av en roterande rörelse. Denna rotation kopplas vidare och används till drift av propeller, generator, hjul m.m. IFM finns i olika storlekar och konfigurationer beroende på användningsområde och nödvändigt effektuttag (Kuiken, K. 2008).

IFM som en kolvmotor och enligt dieselpincipen (Dieselmotor) fungerar på så vis att bränsle sprutas in och blandas med komprimerad luft. Kompressionen uppstår genom kolvens uppåtgående rörelse. Luft som är nödvändig för att erhålla kompressionen sugas in av kolvens nedåtgående rörelse. Luften kan också tryckas in om motorn har turbo (överbiladning). Denna komprimerade luft blandas sedan med dieselbränsle och självantänds. Värmen som uppstår skapar en utvidgning (expansion) av gasblandningen. En tryckpåverkan sker på kolven vilket forcerar den nedåt till sitt ändläge. Av farten (det lagrade momentet) svänger kolven som är förbunden genom en vevstake med en vevaxel i botten av motorn uppåt igen. När kolven går

uppåt driver den ut avgaserna som nu finns i cylindern genom avgasventilen. Avgaserna är nu ute i avgaskanalen där de kan användas och behandlas på olika sätt (Alvarez, 2006).

2.3 Turbo och elektrisk turbo

Turbon uppfanns av en schweizisk ingenjör, Alfred Buchi, som fick ett patent 1905. Ett Dieselfartyg och ett lokomotiv var de första med turbo på 1920 talet. Ett turboaggregat ökar massflödet av insugsluft till en given cylindervolym vid ett givet varvtal. Turboaggregatet drivs av en avgasexpansion och en del av denna drivkraft används till att få igång turbinen som sitter sammankopplad via en axel med kompressionsdelen. (Bosch, 2014) Se figur 1.



Figur 1 Turboaggregat, genomskärningsbild (commons.wikimedia.org)

Denna koppling från turbo till motorn är rent termodynamisk som via entalpin överförs till mekaniskt arbete. Det som uppstår vid avgasdriven turbo är att vid uppstarts ögonblicket uppstår en så kallad lagg, en tidsfördröjning, innan insugsluften komprimerats och genom entalpiförändring ökat avgasflöde ut. När man har en så kallad lågtrycksturbo, vilket kräver lägre avgasflöde på turbinsidan för att ge full effekt av kompressionsidan på insugsluften. Detta ger dock ett lägre totaltryck av insugsluften på ca 1.8 bar. Där högre varvtal ger mindre effekt. Högtrycksturbo som har en längre kompressionsfördröjning (uppspolningstid av turbin och kompressorhjulet) vilket kräver högre varvtal, som ger ett högre avgasflöde för att ge full effekt på insugsluften. Detta ger ett högre totaltryck av insugsluften på ca 2,5 bar. Turbon ger då inte effekt vid lägre varvtal, där lågtrycksturbon har en snabbare uppbyggnad av övergående

laddtryck. Så för att utnyttja mer av avgasflödet i hela motorns varvtalsregister, kombineras två eller fler turboaggregat. Lågtrycksturbon arbetar mellan ca 900 rpm och 1500 rpm. När lågtrycksturbon börjar nå sitt maxtryck öppnar ett spjäll mot högtrycksturbon där delar av avgasflödet går in. Massflödet går då mot turbinen på högtrycksturbon som börjar komprimera insugsluften. Detta sker genom att spjället öppnar mer och mer, vid ca 1500 rpm - 3250 rpm där lågtrycksturbon och högtrycksturbon samarbetar för att sedan övergå till högtrycksturbon från 3250 rpm upp till 7000 rpm. (Bosch, 2014)

Kopplas en elektrisk motor till turboaggregatet, som driver upp laddtrycket till dess att varvtalet och dess massflöde av avgaser når turboaggregatets optimala arbetsområde, kan avgaserna användas till att driva elmotorn som elektrisk batteriladdare, vilket kräver ett konstant avgasflöde. Detta sker normalt inte på en bilmotor men däremot på en lastbil med last. Det som kan användas är en elektrisk driven kompressor som är i serie med kompressordelen på turboaggregatet och som initialt driver upp massflödet av insugsluft till turboaggregatet och hjälper att driva på. Detta medför problem i det 12 V system som finns på fordon, eftersom det krävs ca 2-3 kW för att få en tillräcklig effekt på hjälpkompressorn, och i dagens system krävs då 48 V.

Turbo används idag till de flesta förbränningsmotorer oavsett bränsletyp för att effektivisera förbränningen, vilket ger en effekttökning på motorn. Rent termodynamiskt så drivs turbon av en avgasexpansion, som ger en tryckförändring, vilket innebär att ren värmeåtervinning inte sker även om de hör samman och är beroende av varandra. (Bosch, 2014)

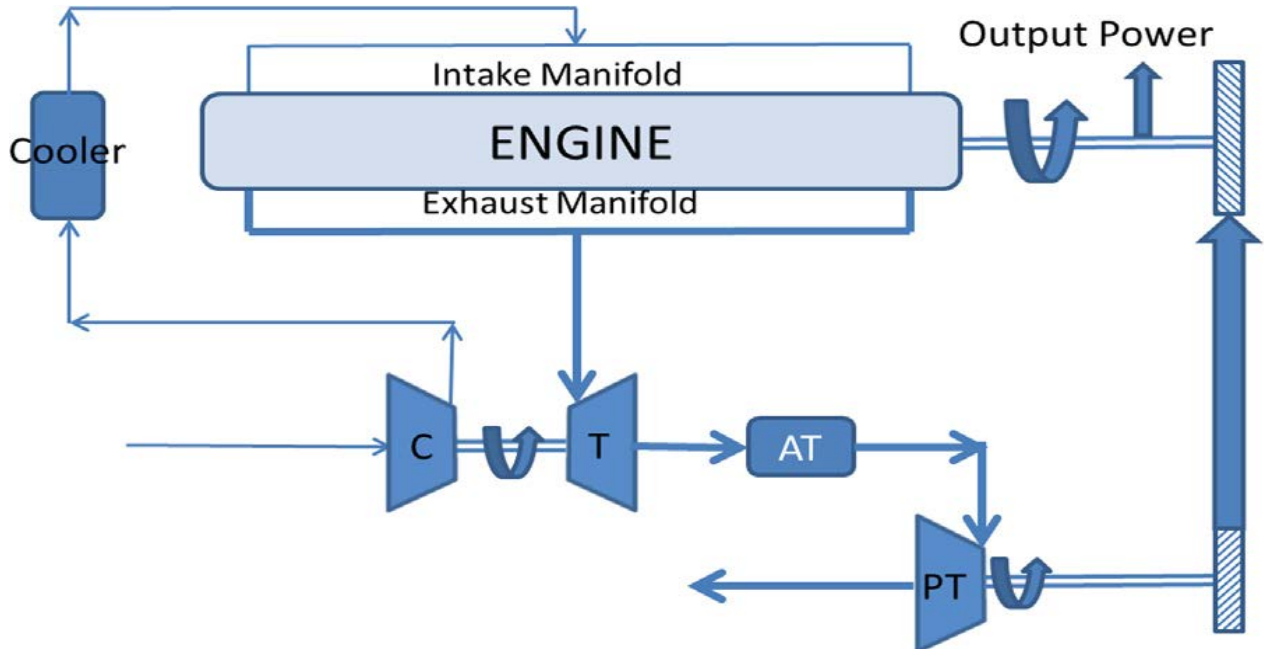
2.4 Turbocompounding

Inom sjöfarten och flygtrafiken har compound-principen använts i många år, ursprungligen härstammar den från ångmaskinen och installerades redan på 1850 talet i fartyg (Middleton, 2011) I vägtrafiken har turbocompounding (TC) sin största utbredning inom lastbilar och bussar så kallad tung transport.

En TC ser ut som en turbo och fungerar likt en turbo jämför avsnitt 2,3 Turbo och elektrisk turbo. Det som skiljer dessa åt är funktionen där en TC driver mekaniskt via en transmission direkt på motorns vevaxel. På detta vis är TC som en "hjälpmotor" som konverterar avgaser till mekanisk rörelse. En TC består av en högvarvsturbin som via en axel är kopplad till en transmission. Konstruktionen är enkel och består huvudsakligen av ett turbinhus och ett turbinhjul med en förbindande axel till en kugghjulstransmission.

När avgaser strömmar in i TC driver detta turbinhjulet som via sin axel är kopplad till transmissionshjul som sedan driver direkt på vevaxeln till dieselmotorn. Detta innebär att extra kraft kan överföras till motorns roterande effekt och ökar således motorns effekt och vridmoment. Kraften kommer alltså av avgasernas tryck som omvandlas till mekanisk energi. En hydraulkoppling behövs till kugghjulstransmissionen mellan TCs turbin och motorns

vevaxel då torsionsvibrationer (svängningsvibrationer) från motorns vevaxel annars kan fördärva transmissionshjul och turbin (Aghaali, Ångström,2015). I figur 2 där C=Compressor, T=Turbin och PT=Power turbine visas en seriekopplad TC i detta fall enligt engelska kallad PT. TC är kopplad efter turbo i serie vilket beteckningen after turbine (AT) tydliggör. Här utnyttjas resttryck i avgaserna som kommer från turbon, direktdrivning på vevaxeln tydliggörs också.



Figur 2, Turbocompounding, mekanisk principbeskrivning (Aghaali, Ångström,2015)

Med turbocompoundingteknik erhålls en nettospecifik bränslereducering men inte i nivå med andra metoder för WHR som exempelvis en rankinecykel (se avsnitt 2.4). Anledningen till detta är att turbinen utgör ett hinder för avgasflödet och ökar mottrycket i cylindern vilket resulterar i pumpningsförluster då det går åt mer kolvarbete för att driva ut avgaserna i avgastakten. Pumpningsarbetet i en förbränningsmotor utgörs av det arbete som krävs för att gasväxla i cylindern/cylindrarna vilket sker i insugstakt och avgastakt. Detta arbete måste erhållas från förbränningstrycket i förbränningstakten och utgör negativt arbete. Dessutom utnyttjas mer tryck än värme och även om dessa hör samman så utnyttjas specifikt värmeenergin dåligt i TC. På grund av mottrycket som blir av TC blir restavgaser kvar i cylindern vilket ger en mindre ren gasväxling och dessutom ökar värmeöverföringen till cylindern men ger lägre NOx-emissioner då mindre syre finns tillgängligt i den efterkommande förbränningstakten (IBID).

Maxvarvtal på turbinaxeln är 70.000 rpm, men kan skilja sig beroende på vilken TC som används. Mekaniskt sett är förhållandet mellan motorns revolutions per minute (RPM) och turbinhjulets RPM fixerat vilket gör att turbinen inte kan gå med optimal hastighet vid låga RPM på motorn (IBID).

Efterbehandling av avgaser så som Exhaust Gas Recirculation (EGR) monterad före TC minskar effektiviteten då avgasernas hastighet och tryck minskar vilket gör att turbinen inte går med optimalt varvtal. Det uppstår också förluster i turbinen, i transmissionen samt vid

pumpningen. Det är därför inte praktiskt möjligt att komma upp i den höga teoretiska energiåtervinning som ett WHR- system idealt skulle kunna uppnå (IBID).

Upp till ca 6% bränslebesparing kan göras med TC installerad för en HD dieselmotor men detta är mycket beroende på den genomsnittliga belastningen på motorn. TC kan även vara konfigurerad på så vis att turbinen driver en generator som alstrar el till fordonets allmänna behov eller till exempel till en elektrisk turbo som drivs med elmotor för överladdning. TC används inte inom personbilssegmentet då belastningen på dessa förbränningsmotorer inte är hög konstant och effekten av systemet blir dålig. Tekniken utvecklas hela tiden och idag är den lätt och tar liten plats. (IBID)

Interna förbränningsmotorer som går med hög last, ungefär 85-90% belastning, är speciellt lämpliga för TC-teknik då detta ger ett högt avgasflöde med hög temperatur.

Tekniken används främst inom flyg och sjöfart där motorerna går med hög konstant belastning. På förbränningsmotorer utan överladdning finns ingen mening att använda TC då de ökade pumpningsförlusterna inte ger någon nettoeffekt för systemet. (IBID)

Även inom tung vägtransport går motorerna med hög genomsnittlig belastning och flera tillverkare använder tekniken i dieselmotorer för lastbilar. Scania lastbilar är idag i fullt bruk med TC på dieselmotorer (Scania, 2016), likaså har Volvo lastvagnar använt detta sedan 2013 i Euro 6 dieselmotorer där höga krav på bränsleförbrukning och miljö ställs (Rejmes lastvagnar, 2016).

2.5 Rankinecykel

Rankinecykeln kan ha olika arbetsmedium för att ta upp energi/värme exempelvis vattenånga eller organiskt arbetsmedium.

Rankinecykeln är i grund och botten en enkel process där arbetsmediumet hettas upp till dess kokpunkt då den förångas och sedan leds till en turbin. I turbinen omvandlas ånga med hög entalpi(energi) till mekanisk energi som oftast används till att driva en elgenerator. Ånga med lägre entalpi i slutet av processen leds ut ur turbinen till en kondensator där den kyls av och kondenserar till vätskeform igen och förs tillbaka till förångaren (se figur 3 för ett typiskt system på vägfordon). Många fartyg utnyttjar denna metod och producerar ånga med hjälp av en avgaspanna som används till olika uppvärmningsbehov samt att driva en turbogenerator som genererar el. På fartyg kyls dock kondensorn av havsvatten och alltså inte av luftkyllning enligt fig.3.

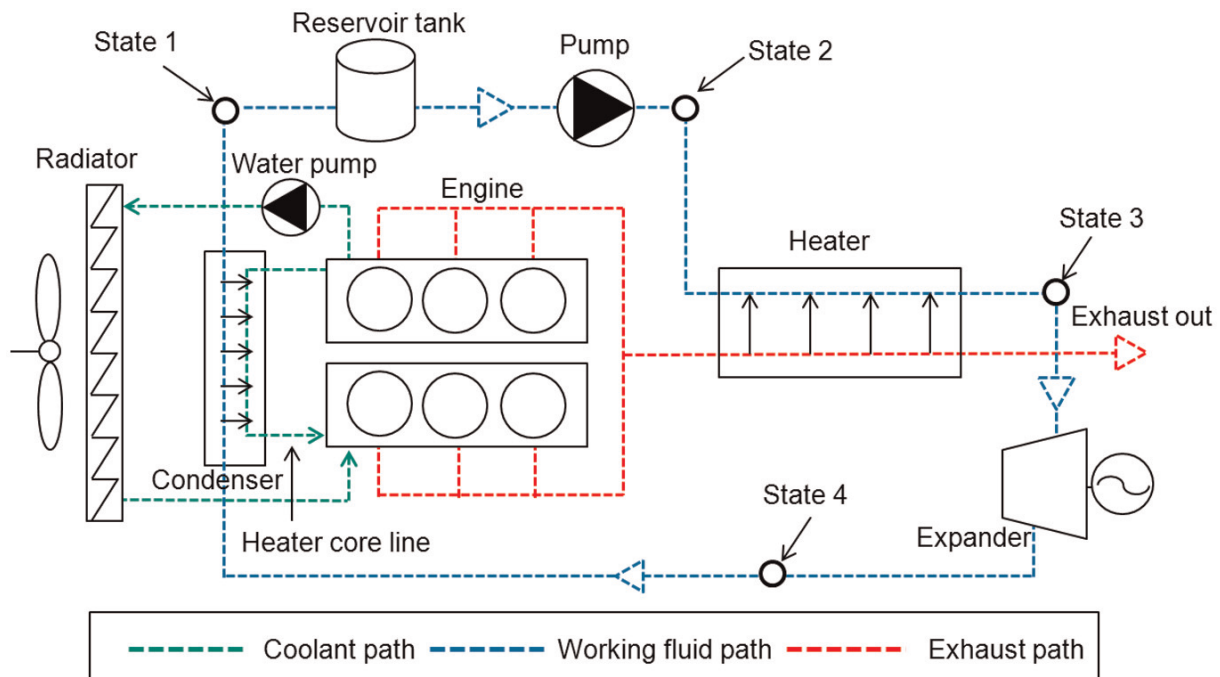


Figure 3 Rankinecykel schematisk beskrivning (J. Lee, Choi, K. Lee, Shin, 2014)

Givetvis kan systemet utvecklas vilket innebär att arbetsmediumet kan förångas under högt tryck och på grund av den mycket högre värmeenergin utvecklas högre tryck vilket ger högre effektivitet. Turbiner med flera olika steg från högtryck till lågtryck kan användas för att få högre verkningsgrad i hela processen.

Den enklare processen och den med flera steg har i studier försökts appliceras på den tunga trafiken där värmekällan till ångproduktion är avgaser från en HD-Dieselmotor. Med hjälp av en värmeväxlare i avgaskanalen hettas arbetsmedium upp till ånga (Hountalas, Katsanos, Kouremenos. 2007).

Kylvätskans energiinnehåll och avgasernas energiinnehåll är relativt lika till mängden men kvaliteten på värmen är sämre då det gäller kylvätska. Kylvätskan har högre densitet men inte lika hög temperatur som avgaserna och har således svårt att hetta upp vatten till vattenånga. Avgaserna har däremot högre temperatur vilket gör det möjligt att hetta upp vatten till dess kokpunkt och även överhetta ångan (IBID).

Rankinecykel med vatten innebär att man har ett slutet system där man i avgaskanalen har en värmeväxlare som genomflödas av en vattenmix, exempelvis vatten och etanol. En mix av vatten och etanol används för att sänka kokpunkten på arbetsmediumet och för att förhindra frysning av arbetsmediumet vid kallt väder om applikationen är installerad för utomhusbruk. Vätskan förångas och leds till en turbin som omvandlar värmen till mekaniskt arbete. Turbinen kan vara kopplad likt turbocompounding direkt på motorns roterande effekt eller som avlastning/försörjning av elkraft via en tillkopplad generator. Ett enkelt system innehåller en värmeväxlare, turbin, kondensator och en matarpump (IBID).

En Rankinecykel med vattenmix som utgår ifrån både kylvätska och avgasvärme skulle i teorin kunna öka maxeffekten från 311KW till 370KW med en bränslebesparing på 16% enligt en studie som utfördes på en Iveco HD dieselmotor i testbänk. I praktiken bidrar förluster med att sänka ökningen av effekt och minska bränslebesparingen. Med tanke på att bränslereduceringen håller sig runt 10% och ca 30% restvärme finns i avgaserna utgör förlusterna ca 65-70%. En del av förlusterna består av pumpförluster på grund av att mottrycket i avgaskanalen ökar på grund av tryckökning i värmeväxlaren/förångaren. Förluster uppstår också i turbinen som omvandlar ångan till mekanisk energi och i kondensorn samt matarpumpen. Även värmeväxlarens effektivitet bidrar till förlusterna då denna inte förmår att leda all värme från avgasflödet till arbetsmediumet.

En binär cykel kan dock minska förlusterna där man använder vattenmix för avgasvärmets och organiskt arbetsmedium för kylvätskevärmets (IBID).

Då kylvätskan har lägre temperatur än avgaserna, oftast under 100°C är den inte lämplig för att producera vattenånga. Organiska medium kan dock förångas med mycket lägre temperaturer än vatten och lämpar sig mer för restvärmets temperaturen ca 80 grader Celsius.

När Rankinecykeln körs som Organic Rankine Cycle (ORC) kan den, eftersom organiska arbetsmedier har lägre kokpunkt än vatten, fördelaktigt användas till att återvinna energi vid lägre temperatur så som i kylvätska. Ett ORC-medium som har testats är t.ex. R245fa (Pentafluorpropan) som är en gas med måttliga hälsorisker (Battista, Mauriello, Cipollone, 2015).

Verkligt test har gjorts med en Iveco dieselmotor med överladdning och slagvolym på 3000 kubikcentimeter. I detta test använde man organiskt arbetsmedium men i en Rankinecykel för avgasvärmens, med plattvärmväxlare och en skruvkompressor. Eftersom testet utfördes med motorn monterad i provbänk drivandes en generator så inkluderades även ett visst procentavdrag på den reducerade specifika bränslekonsumtionen. Detta eftersom ökad vikt på ett fordon medger högre bränsleåtgång. Den specifika bränslereducering blev måttlig, vid 1000 RPM erhöll man 0,17 % reducering och denna reducering steg med varvtalet upp till 2,78 % vid 3500 RPM. Den största procentuella reduceringen gjordes dock mellan 2500-3000 RPM där den näst till fördubblades från 1,24% till 2,40% (IBID).

Rankinecykeln i en binär cykel med upptag av både avgasvärme och kylvätskevärme där organiskt arbetsmedium används för kylvätska och vattenmix för avgasvärmens ökar effekten på systemet. Möjligtvis kan ORC vara mer lämplig än vattenmix för avgasvärmens i vissa fall. Om förbränningsmotorn går med mycket varierande last blir det stora differenser i avgasvärmens och denna värme kan även sjunka till temperaturer mer lämpliga för organiska arbetsmedium. Annars gäller generellt att höga temperaturer runt 300°C och uppåt är mer lämpliga för en vattenmix. (IBID)

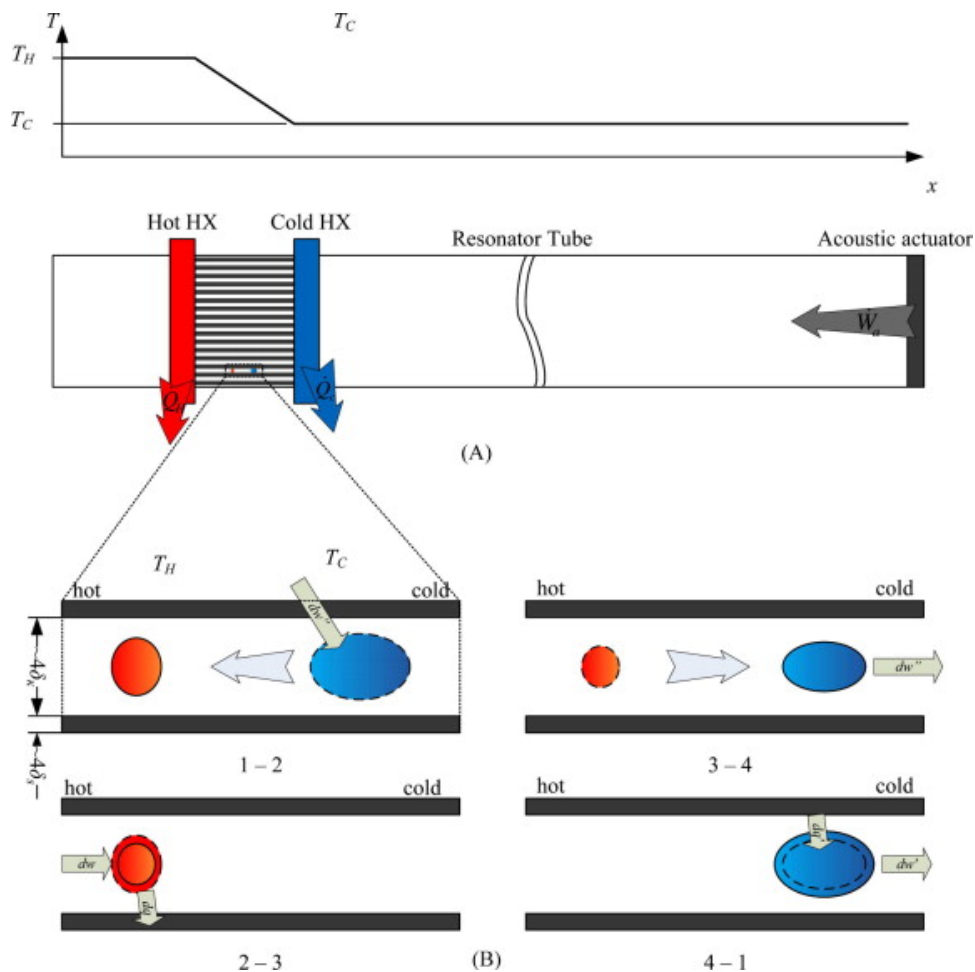
Vad gäller problem med system för en Rankinecykel härrör de till viktökning och volym som har betydelse i mobila arrangemang som sjöfart och motortrafik. I sjöfarten är platsbrist ett mindre problem och Wallenius rederi har installerat en "OPCON Powerbox" på sitt fartyg Figaro. Denna tar till vara på restvärme i kylvattnet med låg värmekvalitet genom ett ORC-system och förhoppningen är en bränslereducering på 5% (Wallenius lines/MV figaro 2011). Problem finns även med värmeväxlarens utformning och design. En tubvärmeväxlare kan exempelvis minska mottrycket i avgaskanalen vilket ökar motorns effektivitet. Förlusterna blir också mindre om förbränningsmotorn kan optimeras eller anpassas efter WHR-systemet vad det gäller avgasflöde, turbotryck, avgas-/insugsventilens timing och tändning av bränsle. Att motorn och WHR-systemet optimeras i samklang med varandra har stor betydelse för hur stor bränslereduceringen blir med tanke på pumpförluster och avgastemperatur (Novella ,García, Sánchez, 2015).

2.6 Termo Akustisk Generator

Termo akustisk generator (TAG) är en ganska ny upptäckt som har studerats och utvecklats över de sista 40 åren. (Ceperley, 1979) TAG använder pulser i ett slutet rörsystem, där det inte finns några rörliga delar, vilket medför att ingen smörjning behövs. Av den termodynamiska expansionen och kompressionen som blir av att ena sidan av en gas värms och den andra sidan av samma gas kyls i ett slutet system, uppkommer pulser i gasen. Värmningen kan ske med t.ex. avgaser och kylningen kan ske med t.ex. luft (Swift, 1988).

Men det var inte förrän 1999 som man med en resonanstub (resonanstuben ser ut som en tub med en förträngning i mitten), i denna tub går pulserna, men pulserna har olika frekvens (svängningar, Hz). Meningen med förträngningen är att ta bort oönskade frekvenser. Resonanstubens uppgift är att ge en ren frekvens (svängning, Hz), mot generatoren. (Backhaus, Swift, 2000).

I detta system används en ädelgas där all värme som tillsätts omvandlas till expansionen (kinetisk energi). En tvåatomig gas får en inre förlust pga. att två atomer roterar och vibrerar mot varandra i dess molekylform, i en enatomig gas har en atom ingen att nöta emot och kan då således uppta all energi. Så för en tvåatomig gas ges detta en lägre värmekapacitetskvot (κ) än för en enatomig gas (ädelgas). Detta innebär att den tvåatomiga gasen helt enkelt inte kan uppta lika hög värmeenergi som den enatomiga och således inte avge (expandera) lika hög värmeenergi. (Alvares, 2003)



Figur 4 TAG , schematisk bild (commons.wikimedia.org)

I en termoakustisk generator används fyra element, tryck, ljud, temperatur och gas. När dessa är i ett slutet system och alla parametrar stämmer kommer en termodynamisk cykel att inträffa. Denna cykel består av en kvantitet av gasmolekyler som blir påverkade av en impuls eller vibrationer som komprimerar gasen, där ökat tryck ger ökad värme och mindre volym. I nästa fas ökas volymen där man får lägre tryck och då mindre värme. Viktigt är att en komprimerad gas tenderar att avge värme till omgivningen och en expanderande gas gör tvärtom. I denna enhet är det viktigt att ha en regenerator som är fastklämd mellan de två värmeväxlarna, som är gjord av ett poröst material till exempel stålull, metallduk eller metallskum. Detta kan lagra värme för en kort stund och fungerar som termisk buffert, med en pordiameter på ca 0,1 mm. Utan denna buffert kan man inte få en användbar temperaturskillnad att existera. (Backhaus, Swift, 2000)

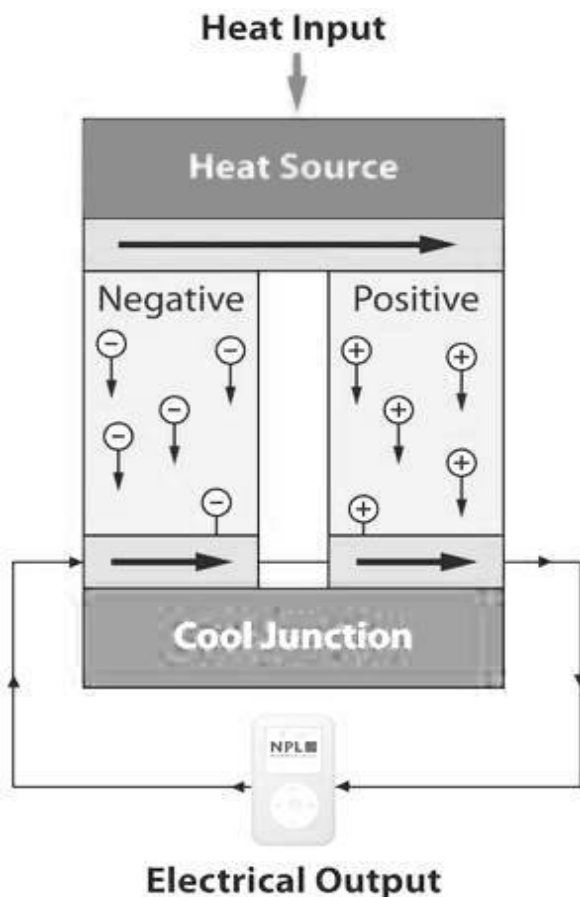
Detta är vad som driver en TAG, att på ett ställe ta upp värme för att avge på ett annat. Där varje TAG har en varm och en kall sida, och för att få en så kraftfull puls mot generatören som möjligt använder man 2 stycken TAG (där en TAG kallas pulsgenerator och den andra TAG kallas värmepump) som seriekopplas via en resonanstub. Där den ena är en pulsgenerator som genererar resonansvågor med en differens mellan den varma sidan på mellan 120° C och 900° C (beroende på applikation) och den kalla sidan på mellan 10° C till 60° C. Och en värmepump, där den värmepumpen ger en förstärkning av pulsen, som genereras mot den generator som alstrar elektricitet. Där differens på varma sidan är mellan 40° C och 60° C och kalla sidan på mellan 10° C och 20° C. Vid större värmedifferens får man en kraftigare våg, som med resonanstuben ger en frekvens på mellan 50 Hz till 100 Hz till den värmepump som får och ger samma frekvens men pulsen blir kraftigare.

Denna frekvens är de pulser som uppstår i röret, dessa skickas in i en axiell turbin som omvandlar puls energi till rotation hos en turbin som genererar elektricitet. Pulserna kan också ledas till en linjär alternator som likt ett omvänd högtalare omvandlar pulsvågorna till elektricitet. (Backhaus, Swift, 2000)

Denna TAG kan också användas för att utvinna elektricitet ur avgasernas spillvärme på både person fordon och stora transport fordon. Genom att avgaser värmer på ena sidan i värmeväxlaren och fartvinden kyler på andra sidan. (Ragnar Glav, Mikael Karlsson, 2014-2015).

2.7 Termo Elektrisk Generator

Att utnyttja avgasens värme och tillverka elektricitet med hjälp av termodynamisk elektrisk generator är ett fenomen som har varit känt i cirka 200 år, och upptäcktes av Thomas Johann Seebeck runt 1822, men som av praktiskt nytta bara har kunnat användas sedan 50-talet i och med att halvledare uppfanns (Fahrner. Schwertheim. 2009).



Figur 5 TEG Termo Elektrisk Generator, schematisk bild (commons.wikimedia.org)

Ett termoelektriskt element omvandlar skillnader i temperaturer för att få en elektrisk ström, där det får exempelvis elektroner att vandra från varm yta mot en kall yta. Detta resulterar i en spänning som kan driva elektriska apparater, där storleken på strömmen är proportionell mot värmen som absorberas eller avges och från den varma sidan diffunderar elektronerna mot den kalla sidan som ger elektromotoriskkraft (EMK).(IBID)

Det är tre saker i materialet som är viktiga för att få en god verkningsgrad. Dels att ha hög termoelektrisk effekt samt få hög spänning av en liten temperaturskillnad och dels vara bra på att leda elektricitet men inte att leda värme igenom materialet. Detta i sin tur är en kontrovers då de flesta material som leder elektricitet bra också leder värme bra. Här bedrivs forskning av material i nanostrukturer för att skilja värmeledningsförmåga från förmåga att leda elektricitet.(*Encyclopedia of Nanotechnology*.ISBN: 9048197503).

3. Metod

3.1 Val

Denna rapport är ämnad som en intervjustudie då detta var mest lämpligt i förhållande till frågeställningarna och tillgängliga resurser.

Litteraturstudier har använts till att beskriva de olika WHR-metoderna/systemen samt för att erhålla god bakgrundskunskap inför intervjuerna. Semistrukturerade intervjuer med förberedda frågor hölls på Volvo Cars huvudkontor i Torslanda (2016-02-25), Göteborg med ingenjör/utvecklare Fredrik Ekström och på Volvo Trucks kontor (23/4-2016), Ramberget, Göteborg med ingenjör/utvecklare Henrik Salsinger. Intervjupersonerna frågades ut men tilläts också fritt resonera och uttrycka sina tankar i ämnet. På Volvo Cars visades också en Powerpointpresentation om bakgrunden till förbränningsmotorn samt olika WHR-metoder. Anteckningar fördes under samtalets gång och annan övrig information om WHR-forskningen noterades.

3.2 Litteratur

Sedan tidigare finns WHR- system inom sjöfarten vilket innebär att god information finns i litteraturen.

Litteraturen som används består av vetenskapliga artiklar, fackböcker och internetsidor av mer kommersiell karaktär. Internetsidor används inte för någon viktig teknisk data men för att visa historik, statistik och exempel (se exempelvis 2.4 Rankinecykeln sista stycket om Wallenius rederi). Grunden för teorin i denna rapport är hämtad från vetenskapliga artiklar och faktaböcker. Validitet och korrekthet bedöms trovärdig och är granskad genom att jämföra om flera artiklar generellt säger samma sak, samt att granska referenserna i artiklarna och böckerna. Dessutom är de flesta skrivna av en eller flera olika forskare. Enligt M. Denscombe som skrivit Forskningshandboken ökar trovärdigheten om en artikel är skriven av flera forskare och att referenserna är flera och vetenskapliga.

3.3 Semistrukturerade intervjuer

Intervjuerna ger en inblick i Volvos forskning som är en stor aktör på fordonsmarknaden. Eftersom syftet är att reda ut hur forskningen ser ut i fordonsindustrin är intervjuerna med Volvo väl motiverade. Dessutom finns en komplexitet i frågorna och en subtilitet som de personer som faktiskt jobbar i forskningsområdet kan besvara. Frågeställningarna är inte statistiskt grundade vilket gör att de lämpligen kan besvaras av för forskningsområdet fåtalinsatta personer därav är en intervju lämplig (Denscombe, 2009). Området är också "nytt" för fordonsbranschen vilket gör att personliga åsikter och idéer kan komma fram i en semistrukturerad intervju som är av

mer flexibel och öppen intervjumetod. Forskningsområdet är hett inom branschen och därför kan företagshemligheter finnas. Intervjupersonerna ges möjligheten att inte spelas in på band och att vara anonyma enligt. Genom att i förväg läsa på om teorin bakom de WHR-metoder som finns kan intervjuvarna kontrollera validiteten i det som sägs på mötet. Detta påtalas också i M. Denscombes bok med titeln Forskningshandboken som en god metod för att det skall vara möjligt att just kontrollera sanningshalten i det som sägs på intervjun. Självklart måste intervjuresultaten "snyggas" till då det annars riskerar att bli korthuggna ord och förlorat sammanhang. Detta innebär att svaret på frågan är kärnpunkten men ord för meningsuppbyggnad läggs till och det skrivs in i sitt sammanhang.

Resultaten är direkt hämtade från intervjufrågorna (se bilaga intervjufrågor).

4. Resultat

4.1 Generellt om Volvo Cars och Volvo Trucks forskning

På Volvo Cars eftersträvar man att höja verkningsgraden på sina bilmotorer och samma resonemang förs även på Volvo Trucks som är koncentrerat till lastbilar för tung transport. Det som experimenteras på vid Trucks förs ibland över på Cars då lastbilar med sitt höga effektuttag och längre körsträckor har mer att ge då det gäller metoder för att öka effekt samt verkningsgrad och är då bättre motorer att tillgå i labbet. Personbilar har ett genomsnittligt mindre effektuttag och körsträcka än lastbilar vilket försvårar för att utveckla metoder med WHR. Därmed tror de att WHR kommer att utvecklas och serieproduceras på lastbilar innan det förs över till personbilar. I nuläget forskas det på WHR-metoder för personbilar samt lastbilar och industrin ser en stor potential i avgaserna som de räknar med är ca 1/3 av den totala energin som går förlorad medan andra tredjedelen går förlorad vid kylning och den tredje tredjedelen går ut på hjulen. Givetvis finns värmeförluster i smörjoljan, samt förluster i friktion som bildar värme i materialet men detta räknar man till kylvätskevärmets.

I forskningen måste flera parametrar inbegripas t.ex i Rankinecykeln där frystemperatur och kondensationstemperatur är mycket viktig. Generellt för alla system gäller miljöaspekter och givetvis kostnader. När det gäller forskning kring mer miljövänlig drift för personbilar så lägger Volvo Cars större vikt på forskningen kring eldrift än WHR-system för förbränningsmotorerna. Eldriften har betydligt lägre förluster än förbränningsmotordrift.

4.2 Vilka metoder forskas på och varför

Volvo Cars forskar på flera olika metoder för WHR eftersom de inte vet exakt vilken metod som är den effektivaste, billigaste och som kommer att få genomslagskraft. TAG är ett WHR-system som Volvo Cars inbegriper i sin forskning och som ingår i den breda WHR-forskningen som pågår hos Volvo. Hur stor effekt eller bränslereducering detta system ger har inte framgått. Även TEG inbegrips i forskningen men denna metod ger en mindre effekttökning på ca 1-2 kW på en vanlig bilmotor med effekt kring 100 kW, vilket är en procentuellt låg nettoeffekt då ca 100 kW går ut med avgaserna i samma motor. Kylvätskans värme vill man inkludera genom att köra en organisk Rankinecykel parallellt med Rankinecykeln för avgasvärmen. Cars inriktar sig nu på TEG och TAG eftersom det verkar lämpa sig bäst för personbilar.

Hittills har Volvo Cars kommit fram till att man möjligtvis med Rankinecykeln skulle kunna komma upp i en bränslebesparing på ca 10%. Volvo Trucks tror att med rankinecykeln skulle en ungefärlig bränslebesparing på 2-4% och ökad effekt med ca 10KW för en dieselmotor på 11000cm² slagvolym(normalstor lastbilmotor) vara möjlig. Forskning pågår och framskrider i deras labb men inga fälttester görs i nuläget. Den metod som Volvo Trucks prioriterar i

forskningen på WHR-system är Rankinecykeln där arbetsmediumet är en mix av vatten och etanol.

Turbo och turbocompounding har det forskats på länge och systemen är väl etablerade i fordonen i dagsläget. Enligt Volvo är dessa dock inga fullständiga WHR-metoder utan snarare metoder för Waste Pressure Recovery (WPR) varför de inte inbegrips i resultatavsnitt.

Volvo Trucks säger att troligtvis inom 5-10år kommer ett WHR-system baserat på Rankinecykeln finnas på lastbilarna. Volvo Cars har ingen tidsaspekt eller vet vilket system som kommer att användas. Detta beror på att de inte vet hur marknaden kommer att se ut eller vad som slår igenom marknadsmässigt hållbart och ekonomiskt.

4.3 Krav på WHR och lämplighet

WHR-systemen måste vara så enkla som möjligt, ha låg vikt, ta liten plats och ge ett lönsamt effekttillskott enligt Volvo Cars och Volvo Trucks. En fördel med lastbilar som går på fjärrtransport är att det höga effekttuttaget pågår under längre tid vilket ger WHR-systemet längre tid att värmeväxla arbetsmediumet mot avgasvärmen, och därmed öka systemets verkningsgrad. Ekonomin är av stor betydelse och ett WHR-system som fungerar efter Rankineprincipen kostar ca 500-700 euro för Volvo Cars att installera. Prioriteringen och bedömningen av att utveckla WHR-system utgår ungefär från hälften ekonomi, hälften teknik. För Volvo Trucks kostar ett WHR-system med Rankinecykel betydligt mer och det handlar om tiotusentals kronor.

4.4 WHRs begränsningar/förluster

Volvo Trucks pålyser problem med att kyla (kondensera) en Rankinecykel vilket ger förlust. Ett till problem, speciellt för lastbilsmotorer som ofta har ureainsprutning och SCR-katalysator (Selective Catalytic Reduction), är att värmeväxlaren för WHR med Rankinecykel måste placeras efter SCR. Detta för att SCR-katalysatorn skall ha en tillräckligt hög temperatur in på avgaserna för att en fullgod reduktion av avgasemissioner ska uppnås. Det ger i sin tur en lägre temperatur på avgaserna för värmeväxling i WHR-systemet vilket försämrar verkningsgraden. Andra problem är platsbristen, systemets komplexitet och ekonomin. Ett WHR-system skall helst återbetala sig inom 1,5år.

Volvo Cars säger som Trucks att problemen härrör teknikens komplexitet och ekonomin.

En del förfiningar kan göras på WHR-systemen och de utvecklas ständigt men man tror inte att någon signifikant större verkningsgrad och effekttuttag kommer att kunna göras. Med nya lagar och regler kommer utvecklingen forceras och forskningen är delvis avvaktande med detta.

5. Diskussion

5.1 Resultatdiskussion

Miljöaspekterna på människans farkoster blir allt mer framträdande när teknikutvecklingen sätter fart och det blir fler människor på jorden. Ekonomier utvecklas och det blir fler transporter, vilket kräver metoder för att bättre ta tillvara energin vi använder oss av. WHR är inte en ny företeelse eftersom den använts i sjöfarten sedan länge och främst då till att producera ånga enligt Rankinecykeln men tillämpningen på personbilar och lastbilar är i sitt förskede.

Eftersom så mycket energi försvinner ut med avgaserna borde det vara ett mycket bra område att försöka ta tillvara på restenergin och det visar sig att det finns ganska många olika metoder; Rankinecykel, Turbocompounding samt turbo. Turbo och Turbocompounding har dock funnits ett tag speciellt när det gäller lastbilar. Dessa metoder ses inte riktigt som äkta WHR då de utnyttjar mer tryck än värme. Givetvis hör dessa ihop och det är svårt att särskilja dem, men åtminstone inom Volvo så finns den uppfattningen och över turbinhjulet i turbon minskar inte avgasvärmens markant se (4,1,3).

Det kan tyckas att en energiåtervinning på ca 10% (Rankinecykel) inte är så bra med tanke på att ca 33% av bränslets energivärde försvinner ut med avgaserna. Förluster finns dock i alla metoder som används för WHR och gemensamt för alla metoderna är att mottrycket i avgaskanalen ökar vilket försämrar en förbränningsmotors effektivitet. Förlusterna i ett WHR-system måste räknas bort från energivinsten. Dessutom är det alltid platsbrist både i tunga fordon och personbilar så den extra platsen ett WHR-system upptar utgör ett problem och en faktor för hur effektivt systemet kan bli. Ett alternativ är att använda energiåtervinning som TAG och TEG för att driva elkonsumenter under gång av fordonet. Då kan motorn användas enbart till framdrivning och därmed inte belastas av elproduktion. Elkonsumenter står för ca 0,5-1kW(personbil) enligt Fredrik Ekström på Volvo Cars. Istället för mekanisk drivning av kringutrustningskulle alla hjälpsystem såsom servostyrning, generator, vattenpump, oljepump, start och stopp och andra elektriska funktioner kunna få sin el producerad av ett TEG eller TAG system.

Med nya miljökrav måste bil- och lastbilsindustrin fortsätta att utveckla sina fordon till att bli mer miljövänliga på alla tänkbara sätt och intressant nog har man tagit detta med WHR i beaktande och lagt en hel del forskning på det. Troligtvis är det så att ett fordon består av så många komponenter och system att varje komponent och system måste granskas var för sig hur den skall bli mer miljövänlig. Ekonomin måste hela tiden finnas med i bilden vilket framgick klart på intervjuerna med Volvo, inget görs utan att räkna på det i ekonomiska termer.

Henrik Salsinger på Volvo Trucks säger att forskningen på WHR fortskrider och inom 5-10 år finns troligtvis något system för WHR med Rankinecykel, först och främst lastbilar och bussar. Som vi ser det kommer framtiden att innebära att fordon utrustas med flera olika reningssystem för avgaser men också med WHR. Elbilarna kommer säkerligen också att finnas med och utgöra

sin kategori i fordonsflottan. Detta tillsammans med alternativa bränslen och alternativa färsätt för människor och gods kommer troligtvis innebära att mångfalden bland teknikerna i fordonsbranschen kommer vara stor.

För de fordon som är långt ifrån att kunna konverteras till eldrift behövs WHR-forskning i syfte att få ut mer av energiinnehållet i bränslet för att spara på miljön och människorna i den. För de fordon eller farkoster som kan konverteras till eldrift vore det bättre att forska på effektivare batterier m.m. Varför? Därför att vid elproduktion i värmekraftverk kan verkningsgraden vara så hög som 87 % och inga stora förluster görs i distributionen. Då skulle fordonet indirekt få ut mycket bättre verkningsgrad av "bränslet" (Mirghaemi Ghahani S, 2013).

5.2 Metoddiskussion

Att genom litteraturstudier skaffa sig bakgrundskunskap till hur de olika WHR-systemen fungerar och i samband med detta göra intervjuerna visade sig fungera bra. Bakgrundskunskap bidrar också till att validiteten i resultat en blir mer betryggande vilket kan ses i jämförelsen mellan teori och resultat i denna rapport, alltså litteratur i förhållande till en aktörs uttalanden.

De förberedda frågorna till de semistrukturerade intervjuerna blev på så vis relevanta för frågeställningarna och teorin samt representativa för den information och förståelse vi behövde. De förberedda frågorna hjälpte så även till att intervjuerna inte skenade iväg utan höll sig någorlunda till ämnet (Denscombe, 2009).

Intervjuerna med för tekniken insatta människor på Volvo blev lärdomsrika och informationsutbytet gediget men ibland lite för utsvävande (se övrigt i bilaga intervjufrågor). Möjligtvis skulle ett besök i deras labb eller liknande kunna ge en ännu bättre överblick och förståelse för systemet. Intervjuerna gav en reell bild av hur Volvo, som är en världsomfattande fordonsindustri och stor aktör på marknaden bedriver sin forskning i ämnet. Att intervjuerna hålls med en så stor aktör som Volvo gynnar självklart reliabiliteten på resultaten. Möjligtvis kunde intervjufrågorna skickats till intervjupersonerna innan mötet. Troligtvis hade frågorna då blivit bättre besvarade och tydligare besvarade. Det blev framför allt på Volvo Cars lite väl mycket sidodiskussioner samt att det tog mycket tid med Cars egna presentation av bakgrunden till WHR. Ett tydligare resultat framför allt då det gäller bränslebesparingar, effekt, motorstorlek o.s.v, hade kunnat presenterats om mer tid till intervjuerna hade getts av Volvo Cars och att intervjun hölls mer inriktad på våra frågor. Här kanske vi rapportskrivare inte var tillräckligt bestämda och tydliga på mötet med Volvo Cars. Enligt Denscombe krävs det att vara väl förberedd och att vara tydlig i intervjun, att det är underförstått att det är intervjuvarna som leder intervjun. Vi amatörer som rapportskrivare kanske inte greppat detta helt varför intervjuerfarenhet är viktigt för en sådan studie.

Rapporten, enligt vår mening, är väl representativ för resultaten som erhöles vid intervjuerna och litteraturstudierna har bidragit till en god översikt av de olika WHR-metoderna som

studerats. Intervjumetoden har lämpat sig väl för att skriva denna rapport som inte är inriktad på komplexiteten vad gäller WHR-systemen utan inriktar sig på hur fordonsindustrin, i detta fall Volvo, förhåller sig till tekniken. Liknande forskning bedrivs hos andra fordonstillverkare och därför tror vi att denna rapport speglar generellt hur intresset för WHR ser ut på marknaden. Givetvis hade det bästa varit att kunna intervjua flera olika fordonstillverkare men dessa resurser och tid fanns inte.

6. Slutsatser

Den i nuläget mest effektiva metoden för att återvinna energi från avgaser är en Ångcykel (Rankinecykel).

Rankinecykeln med en mix av vatten och etanol är troligtvis den metod som kommer att utvecklas inom fordonsindustrin för WHR. De teoretiska bränslebesparingarna angavs till ca 10% för bilar och 2-4% för lastbilar, men eftersom inga fälttester har gjorts är det svårt att säga om detta skulle stämma i praktiken.

WHR-systemen begränsas av effektuttaget ur IFM. Lågt genomsnittligt effektuttag ger ett dåligt fungerande WHR-system med följande dålig verkningsgrad på systemet. Sjöfarten har mycket större genomsnittligt effektuttag ur sina framdrivningsmaskiner än vägfordon. Därför kan det konstateras att WHR-system är mest lämpligt för sjöfart. På väg är det lastbilar och bussar som har högt genomsnittligt effektuttag och således utgör de för vägfordon den mest lämpliga fordonskategorin för WHR-system.

WHR-systemens produktionskostnad och vikt i förhållande till energivinst, samt systemens komplexitet är andra begränsande faktorer. De komponenter som monteras inom WHR-systemet i avgaskanalen skapar ett mottryck vilket ökar pumpförlusterna i IFM. Detta begränsar IFMs effektivitet och tillika konstruktionsmöjligheterna för speciellt WHR-systemets värmeväxlare. Givetvis är teknikutvecklingen en begränsande faktor då mer resurser skulle åstadkomma bättre lösningar.

Fortsatt forskning kring effektivare WHR-komponenter och även WHR-system som TEG och TAG vilka vid en ökad verkningsgrad kan komma bli mycket användbara, bedrivs redan och bör fortsätta. Användande av mindre förbränningsmotorer i förhållande till storleken på fordonet, som därav får ett högre genomsnittligt effektuttag, kan också vara värt att forska på. Mer värt att forska på långsiktigt är fullständig eldrift, vilket skulle ge lägre totala energiförluster.

Referenser

Aghaali, H. (2014). *Exhaust heat utilisation and losses in internal combustion engines with focus on the gas exchange system*. Diss. (sammanfattning) Stockholm : Kungliga Tekniska högskolan, 2014. Stockholm.

Alvarez, H. (2003). *Energiteknik. D. 1. 2. (2. uppl.)* Lund: Studentlitteratur.

Bosch GmbH. (2014). Bosch Automotive Handbook. i R. Bosch, *Bosch Automotive Handbook - 9th Edition* (s. 1550). BOSCH9.

Ceperley, P. (1979). A pistonless Stirling engine-the traveling wave heat engine. *J Acoust Soc Am.* 66 , ss. 1508-1513.

Denscombe, M. (2016). *Forskningshandboken för småskaliga forskningsprojekt inom samhällsvetenskaperna /*. Johanneshov: MTM.

D.T. Hountalas*, C.O. Katsanos, Kouremenos, D., & Rogdakis, a. E. (2007). Study of available exhaust gas heat recovery technologies for HD diesel engine applications. *Int. J. Alternative Propulsion, Vol. 1, No. 2/3* , s. 228.

Fahrner, W. R., Schwertheim, S., & Ebrary (e-book collection). (2009). *Semiconductor thermoelectric generators* (1st ed.). Zurich: Trans Tech Publications.

Filip Ridell, Mikael Sjölin, 2012, Bilens tidiga historia, Linköpings tekniska högskola
<http://www.eit.lth.se/fileadmin/eit/courses/gema50/bilen.pdf>

Friends of Dundee City Archives. (2011). *fdca.org.uk*. Hämtat från www.fdca.org.uk:
<http://www.fdca.org.uk/index.html> den 27 04 2016

Kuiken, K. (2008). *Diesel engines: for ship propulsion and power plants from 0 to 100,000 kW*. Onnen: Target Global Energy Training.

MirghaemiGhahani, S. (2013). Energibalans Dåva Kraftvärmeverk. (Student paper). Umeå universitet. <http://umu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:654830>

Ragnar Glav, Scania. Mikael Karlsson, KTH. (2014-2015). *energimyndigheten.se*. Hämtat från <https://www.energimyndigheten.se>:
<https://www.energimyndigheten.se/globalassets/forskning--innovation/konferenser/energirelaterad-fordonsforskning/2016/dokumentation/session-12-1-mikael-karlsson.pdf> den 10 05 2016

Scania. (2015). www.scania.se. Hämtat från <http://www.scania.se>:
<http://www.scania.se/lastbilar/main-components/engines/engine-technology/turbocompound/> 03 2016

Siuru, B. (den 4 Juni 2013). *Professional Mariner*. Hämtat från [professionalmariner.com](http://www.professionalmariner.com):
<http://www.professionalmariner.com/June-July-2013/Turning-waste-heat-into-electricity-saves-fuel-reduces-CO2-emissions/> den 27 04 2016

Springer Science+Business Media B.V. (2012). *Encyclopedia of Nanotechnology*. ISBN: 9048197503.

Swift, G. (1988). Thermoacoustic engine. *Acoustical Society of America.* 84 , p. 1145.

Swift, G., & Backhaus, S. (2000). *Acoustical Society of America* 107 , pp. 3148-3166.

V. Dolz, R. N. (den 24 October 2011). HD Diesel engine equipped with a bottoming Rankine cycle as a waste heat recovery system. Part 1: Study and analysis of the waste heat energy. *Applied Thermal Engineering.* 36 , ss. 269-278.

Volvotrucks. (2012). www.volvotrucks.com. Hämtat från <http://www.volvotrucks.com/dealers-vtc>: <http://www.volvotrucks.com/dealers-vtc/sv-se/tage-rejmes/newsmedia/pressreleases/Pages/pressreleases.aspx?pubid=13754> 03 2016

wikipedia.org. (2001). *en.wikipedia.org*. Hämtat från en.wikipedia.org/wiki/Main_Page: https://en.wikipedia.org/wiki/Compound_engine den 27 04 2016

Bilagor

Bilaga 1

Intervjuvfrågor Volvo

Ser ni någon möjlighet med att inom snar framtid kunna använda någon av waste heat recovery systemen i serieproduktion vad gäller motorfordon? Exkluderat turbo och turbocompounding. Egentligen ingen WHR turbo utan tryckåtervinning. Dem håller på med allt möjligt på grund av att man vet inte vad som slår igenom och vad som är ekonomiskt, marknadsmässigt hållbart och hur tekniken skall se ut.

Intervjuv 2 (Trucks): inte inom snar framtid, 5-10år eller mer

Hur mycket energi/bränslebesparing tror ni att det i praktiken är möjligt att göra?

TEG ca 1kw, rankine ca 10%

Intervjuv 2 (Trucks): med rankinecykel 5-10kw och 2-4% bränslebesparing med 11liters motor efter en speciell körcykel.

Görs några fältprover idag eller är forskningen i labbet enbart?

Bara labb än så länge

Intervjuv 2 (Trucks): Bara labbprov än så länge förutom en viss demoversion som tas fram.

Vad är hindren eller möjligheterna, tekniskt och ekonomiskt?

Hälften teknikutveckling o hälften ekonomi,

Intervjuv2(Trucks): Lagkrav om CO2, måste kyla rankinecykeln och då måste motorfläkten gå mer=förlust. Vikt och komplexitet. Platsbrist.

Tar ni med i beräkningen och forskning på heat recovery systemen värmen i kylvätska och smörjolja? Jo den slås ihop med kylvätskevärmens bortfall men det kollas på också men främst avgasvärmen som har högst kvalite.

Intervjuv 2(Trucks): Inte alls för tillfället.

Om ni forskar på Rankine cykeln vilket anser ni att det är bäst att använda som arbetsmedium, vatten och ånga eller organiska medium?

Mest forskas på vatten blandat med etanol, men mer saker måste tänkas på som miljö, kostnad, fryspunkt kondensationstemperatur m.m.

Intervjuv 2(Trucks): Vatten och etanol men vidgar sina vyer till rent organiskt arbetsmedium.

Finns andra metoder som ni forskar på förutom TEG, Rankine cykel, turbocompounding, turbo?

TAG-Thermal accoustic generator.

Intervjuv 2 (Trucks): Liten bimaskin av kolvtyp (eriksson) som drivs av avgasvärmen och eriksson metod.

Vilken vikt lägger ni vid forskning med heat recovery jämfört med elektrisk och hybriddrift?

Mer forskning på elektrisk drift än WHR,

Intervjuv 2 (Trucks): Beror på om körning görs typ i stan eller på fjärr. Många korta stopp gas eller längre transporter.

Övrigt: Cars

Ungefär lika mycket energi bort i avgaser som kylvatten. Friktion och oljevärme räknas med i kylvattnet. TAG thermo acoustisk generator ny metod som stirlingmotor fast utan rörliga delar. WHR- var i bilen, transformering av värme, format=el, 0,5-1kw kontinuerligt till lampor o annat i en personbil. Fuelreforming en metod inom WHR. Antagligen kommer WHR på lastbilar först. Komplet rankinecykel för bil kostar ca 500-700 euro.

Hälften av värmen i gasen blir till rotation i molekylerna och inre vibrationer.

Algränsle, man kan även använda naturen till att tillverka gröna bränslen o ottoprincipen på motor då det är väldigt rena, i princip bara co2 ut. Då behövs ju inte WHR.

Övrigt: Trucks

Gör fältprov med dimetyleter, nytt bränsle, livscykelgraden är hög jämfört med andra bränslen. Produktionsstadiet. Inga sotpartiklar. Intervjuvpersonens WHR-roll, har i frankrike och i usa utveckling och han ska koordinera ihop det till sverige. Mycket beror på lagstiftning om CO2 hur pass viktig forskningen blir. Hybriddrift och WHR är alternativ beroende på fjärr eller stadskörning. Alternativ med kolvmotor som drivs av avgasvärme brevid huvudmaskin men behöver temp på 500 grader. Bryr sig inte så mycket om kylvätskevärmen på grund av att utrustningen blir så stor för att ta tillvara på värmen. Vikt rankinesystem ca 120-150kg.

5-10kw på lastbilar och 2-4% bränslebesparing.

Fjärrtransporter bättre, längre tid för värmewäxling än stadsbilar. Varmare avgaser under längre tid.

Man tror att man kan förfina tekniken o öka verkningsgraden i systemet. Men det blir inga stora skillnader troligtvis.

Helst ska kunden kunna spara in WHR-systemet på ca 1,5år ekonomiskt. Ur livscykelperspektiv vet man inte hur länge systemet måste köras.

Tiotusentalskronor för ett Rankine WHR. Ekonomi och komplexitet spelar roll.

Tanken är att expandern skall driva direkt på vevaxel, kan också tillverka enbart el men då måste lastbilen dra el.

Kan ta avgaser från EGR men påverkar systemet.