

Föravskiljarens ekonomiska påverkan på förbränningsmotorer

Jonathan Schweitz Boge



EXAMENSARBETE

Förord

Examensarbetet är utfört på Sveadiesel AB som ligger i Sundbyberg utanför Stockholm. Arbetet har pågått under vårterminen 2024 och har omfattat 22,5 högskolepoäng. Arbetet är gjort i samarbete med Högskolan Väst i Trollhättan. Examensarbetet har varit ett individuellt arbete och endast skriven av författaren men med ett stort stöd av ett antal personer och företag som jag vill tacka nedan.

Först vill jag rikta ett stort tack till Fallströms Maskinservice AB, Råsjö Kross AB och Ljungby maskin AB för att ni ställt upp med er tid att ge mig möjlighet att få utföra intervjuer hos er. Jag tackar för ert samarbete att med gott engagemang och hjälpsamhet ge mig så bra svar som möjligt till mitt arbete. Sen vill jag även tacka Andreas Cronhjort från Kungliga tekniska högskolan, KTH som guidat mig i att finna bra och kvalitativ litteratur.

Sveadiesel AB med medarbetare Peter Holm, Daniel Raftö och Mattias Alm-Zetterqvist vill jag ge all min tacksamhet för ert trevliga bemötande. Den tid ni har lagt ner för att ge mig den stöttning jag behövt har gett mig möjlighet att kunna skapa detta arbete. Ett stort tack till er alla.

Till sist vill jag även tacka Fabian Hanning för sitt engagemang och stöttning under denna vårtermin med regelbunden kontakt och bra konstruktiv feedback för att skapa en så bra rapport som möjligt.

Stockholm, Maj 2024
Jonathan Schweitz Boge

Bild framsida: Tillåtelse av Sveadiesel AB för användning i rapport.

Föravskiljarens ekonomiska påverkan på förbränningsmotorer

Sammanfattning

Detta examensarbete utreder vad den ekonomiska nyttan är av att använda en föravskiljare. Föravskiljarens användningsområde är i miljöer som är väldigt dammiga och där problem med smutsiga motorluftfilter uppstår. Föravskiljaren finns i olika tekniker och rapporten behandlar cyklonavskiljaren och oljebadsavskiljaren.

Metoden för arbetet har inbegripit att kategorisera och kvantifiera den ekonomiska nyttan av att använda föravskiljaren. Tre intervjuer har utförts och tidigare litteratur har sammanställts. Utifrån insamlade data har sedan en teoretisk modell utformats och redogjorts för. Analysen har diskuterat hur föravskiljaren kan utnyttjas effektivt för att nå störst ekonomisk nytta.

Resultatet visar att använda föravskiljaren leder till att motorluftfiltren inte behöver rengöras lika ofta. En hypotes har formulerats för hur ett motorluftfilter ser ut vid upprepad rengöring. Minskat antal rengöringar innebär ett renare filter vid service. Ett renare motorluftfilter innebär en mycket lägre bränsleförbrukning. Att använda en föravskiljare innebär en liten ökning i bränsleförbrukning vilket också stärks genom intervjuerna som antyder att förändringarna i bränsleförbrukning av att använda en föravskiljare är försumbar.

Analysen kommer fram till att föravskiljaren förlänger tiden det tar för ett motorluftfilter att nå sitt maximala tillåtna undertryck. Analysen har diskuterat att för att uppnå en bättre bränsleförbrukning minska antalet rengöringar av motorluftfiltret. Detta uppnås genom användning av föravskiljaren samt att rengöra vid lägre restriktioner än maximalt accepterat undertryck. Rengörs filtret tidigare kommer filtret hållas renare längre.

Modellen som tagits fram förklarar vad som påverkas och varför, av att använda en föravskiljare. Det som saknas för modellen är hur mycket den exakta kostnaden påverkas av att använda en föravskiljare. För det krävs fler oberoende tester av olika typer av föravskiljare.

Datum:	2024-05-31
Författare:	Jonathan Schweitz Boge
Examinator:	Claes Fredriksson
Handledare:	Fabian Hanning (Högskolan Väst), Peter Holm (Sveadiesel AB)
Program:	Examensarbete
Huvudområde:	Maskinteknik
Kurspoäng:	22,5 högskolepoäng
Utgivare:	Institutionen för ingenjörsvetenskap, Högskolan Väst, 461 86 Trollhättan

Pre-separators economic impact on internal combustion engines

Abstract

This thesis is a work to find out the financial benefits of using a pre-separator. The area where the pre-separators are used is in very dusty environments and where problems arise with dirty engine air filters. The pre-separators are available in different technologies and the report explains the cyclone separator and the oil bath separator.

The method of the work has been to categorize and quantify the economic benefits of using a pre-separator. Three interviews have been conducted and previous literature has been compiled. Based on the collected data, a theoretical model has been developed and explained. The analysis has discussed how the pre-separator based on the model can be used in the most effective way to achieve the best economic benefits.

The result shows that the benefit of using a pre-cleaner is that the engine air filter does not need to be cleaned as often. A hypothesis has been formulated from what an engine air filter looks like when cleaning is repeated. A reduced number of cleanings results in a cleaner filter when time for service. A cleaner engine air filter means reduced fuel consumption. Using a pre-separator means a small increase in fuel consumption. The small increase in fuel consumption is reinforced by the interviews which considered that fuel consumption from using a pre-separator is negligible.

The analysis has concluded that a pre-separator extends the time for an engine air filter to reach its maximum allowable negative pressure. The analysis has discussed how to achieve a better fuel consumption, and reduce the number of cleanings of the engine air filter. This is done by using the pre-separator and to clean at lower restrictions than the maximum accepted negative pressure. If the filter is cleaned sooner, the filter will be kept clean for a longer time.

The model that has been developed explains what is affected and why, by using a pre-separator. What is missing from the model is how much the exact cost is affected by using a pre-separator. For that more independent tests of different pre-separators are required.

Date:	May 31, 2024
Author(s):	Jonathan Schweitz Boge
Examiner:	Claes Fredriksson
Advisor(s):	Fabian Hanning (University West), Peter Holm (Sveadiesel AB)
Programme name:	Thesis project
Main field of study:	Machine engineering
Course credits:	22,5 HE credits
Publisher:	Department of Engineering Science, University West, S-461 86 Trollhättan, SWEDEN

EXAMENSARBETE

EXM508

Institutionen för ingenjörsvetenskap

Innehåll

Förord	ii
Sammanfattning	iii
Abstract	iv
1 Introduktion	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.1.1 Teknisk beskrivning av olika typer av föravskiljare.....	1
1.1.2 Dieselmotorn.....	5
1.2 Problembeskrivning	6
1.3 Syfte.....	7
1.4 Mål	7
1.5 Avgränsningar.....	7
1.6 Antaganden.....	7
2 Metod	8
2.1 Litteraturstudie	8
2.2 Intervjuer.....	8
2.3 Modellen för kostnader	9
2.3.1 Verifiering av modellen	9
2.4 Analysfas med slutsats	9
2.4.1 Analys av olika föravskiljare.....	10
3 Resultat	11
3.1 Resultat av informations- och datainhämtning.....	11
3.1.1 Sammanställning från intervjuer	11
3.1.2 Sammanställning från litteratur	12
3.2 Bytesintervall motorluftfilter.....	16
3.2.1 Hypotes för motorluftfiltrets restriktion vid upprepad rengöring	16
3.3 Bränsleförbrukningen.....	17
3.4 Modell	20
3.4.1 Rengöring av motorluftfilter vid rätt tidpunkt	20
3.4.2 Service av föravskiljare.....	20
3.4.3 Anskaffningskostnad.....	21
3.5 Verifiera modellen	21
4 Analys	22
4.1 Begränsningar.....	24
4.2 Framtida arbete.....	24
5 Slutsats	26
Referenser	27
Bilagor	29
A: Intervjufrågor.....	A:1
B: Sammanfattning av ISO 5011:2020.....	B:1

Figurer

Figur 1: Luftens flöde genom oljerenaren där luften vänder skarpt och föroreningar slungas ner i oljan.....	2
Figur 2: Luftens flöde genom oljeavskiljaren där luften flödar genom oljebadet.....	2
Figur 3: Beskrivning av cyklons tekniska funktion.	3
Figur 4: Luftens flöde genom en turbo II och turbo III.....	4
Figur 5: Turbo II och Turbo III pre-cleaner [8].....	4
Figur 6: Luftens flöde genom Engineaire och Sy-klone 9000.....	5
Figur 7: Luftens flöde i dieselmotorn innan den förbränns i cylindern.	6
Figur 8: Olika föravskiljares luftmotstånd vid ett givet luftflöde.[18].....	14
Figur 9: Graf som förklarar motorfiltrets förändring i flöde under dess drifttid. Återskapat med data från [19].	15
Figur 10: Olika föravskiljares separeringsförmåga beroende på luftflödet. [21]	16
Figur 11: Hypotes över motorfiltrets restriktioner vid rengöring.....	17
Figur 12: Bränsleförbrukningen vid ett undertryck på 6,0mbar.....	19
Figur 13: Bränsleförbrukningen vid ett undertryck på 11,5mbar.....	19

Tabeller

Tabell 1: Bränsleförbrukningen för en traktor vid specifikt varvtal och undertryck.	18
--	----

1 Introduktion

Förbränningsmotorn drivs genom förbränning av luft och bränsle. Luft tillsammans med bränsle, exempelvis bensin eller diesel förbränns och skapar värmeenergi, vilket omvandlas till en mekanisk verkan. Värmeenergin skapas i cylindrarna där luft-bränsleblandningen antänds. I cylindrarna finns kolvar som rör sig upp och ner. De får sin rörelse av det expanderade gastryck som bildas. I en förbränningsmotor kan antalet cylindrar och kolvar variera i antal. Kolvarna är ihopkopplade med en vevaxel som skapar den mekaniska rotationen från motorn [1].

Luften som kommer in i cylindrarna tillsammans med bränslet har renats genom ett motorluftfilter som sitter monterat på luftintaget. Motorluftfiltrets funktion är att samla upp föroreningar som kommer med luften. Det är viktigt att luften som kommer in i motorn är ren då den annars kan skada motorn och försämra förbränningen. I smutsiga och dammiga miljöer exempelvis i gruvor och grustag krävs det korta bytesintervaller. I dessa fall kan föravskiljaren användas. Föravskiljaren monteras på förbränningsmotorn före motorns luftfilter. Föravskiljarens uppgift är att skilja på smuts och luft innan luften går in i motorn och dess motorluftfilter. Det finns olika tekniker för att skilja smuts från luft vilket beskrivs i rapporten [2], [3], [4].

Examensarbetet gjordes på företaget Sveadiesel, som ligger i Sundbyberg, Stockholm. Företaget är agent åt Maradyne i USA som producerar föravskiljare. Företaget saknar idag en teoretisk modell för att styrka att föravskiljaren har en ekonomisk fördel av att användas. Därför har de intresse av att få fram modellen för att kunna få en bra förståelse och jämföra olika föravskiljare.

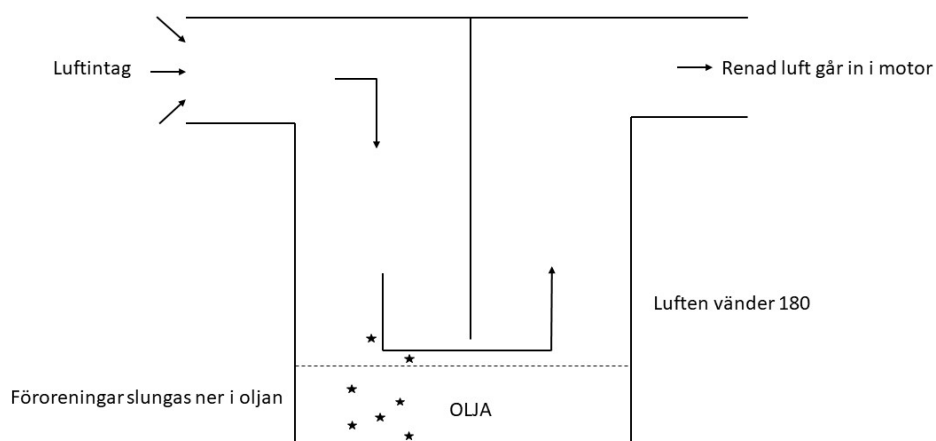
1.1 Bakgrund

1.1.1 Teknisk beskrivning av olika typer av föravskiljare

Luft som renas med föravskiljaren kan renas med olika metoder. Den ena metoden är att rena med olja. Föroreningarna som kommer med luften när motorn suger luft fastnar i oljan och renare luft går in i motorn och dess egna filter. Den andra metoden är att centrifugera luften. Tekniken kallas cyklonavskiljning. Rotationen av luften gör att föroreningarna med högre densitet slungas ut och renad luft går in i motorn [3], [5].

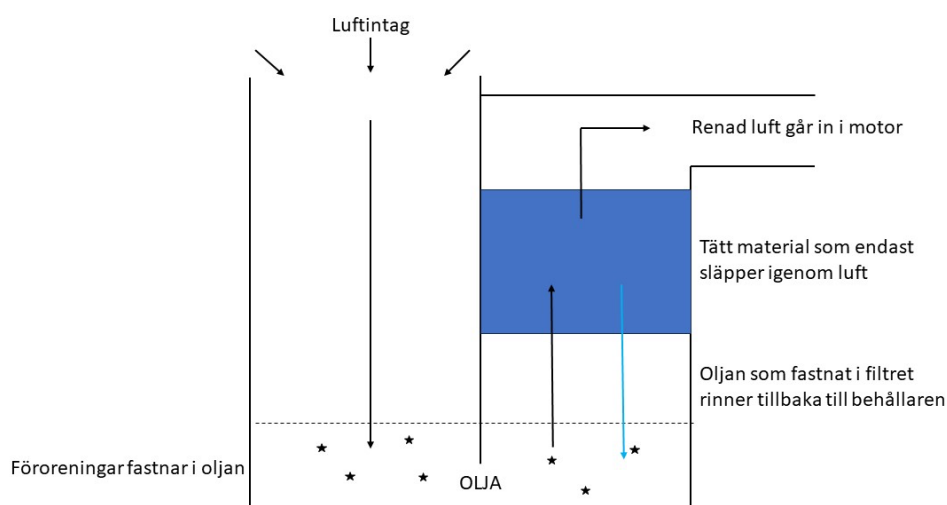
Oljebadsavskiljaren

Oljebadsavskiljaren separerar smuts från luften som ska in i motorn med hjälp av olja, se Figur 1. Med hjälp av motorns insug går luften ner i en behållare som har en vägg i mitten. Väggens delar upp behållaren och gör att luften tvingas neråt. Längst ner på väggen finns det ett mellanrum där luften kan passera under. I botten finns olja. Oljan samlar upp partiklarna som kommer med luften. Separeringen av smuts och luft inträffar när luften byter riktning längst ner i behållaren. Riktningen ändras kraftigt och den smuts som följt med luften fortsätter ner i oljan där den fastnar [3].



Figur 1: Luftens flöde genom oljerenaren där luften vänder skarpt och föroreningar slungas ner i oljan

En annan teknik för oljebadsavskiljaren är att trycka luften ner i oljan, se Figur 2. Luften sugas in genom ett rör som leds ner i oljebadet. Partiklarna fastnar i oljan och luften förs vidare av motorns insug. När luften kommer ut från oljebadet följer olja med. Luften går igenom ett filtermaterial som endast släpper igenom luft. Där separeras den olja och smuts som följt med luften. Materialet består av fibrer, nät, skum eller metallspån [3].

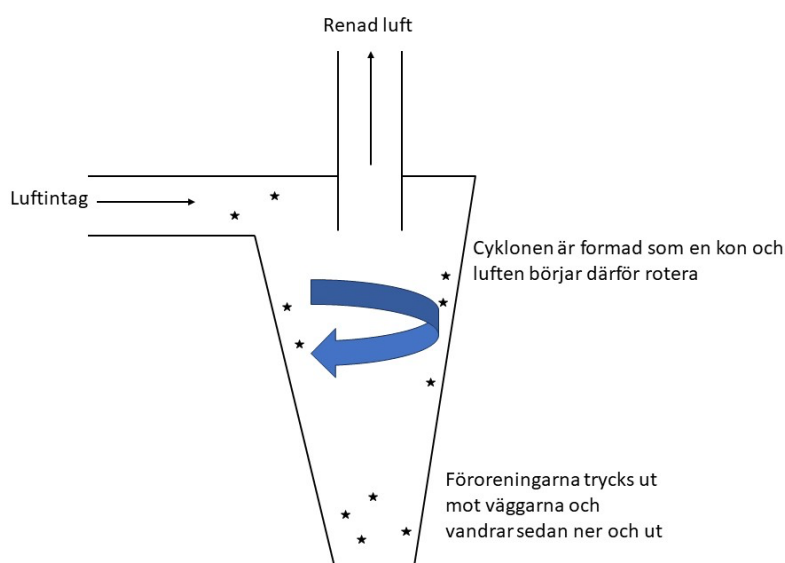


Figur 2: Luftens flöde genom oljebadsavskiljaren där luften flödar genom oljebadet.

Ett litet flöde med luft kräver en mindre oljebadsavskiljare och mängd olja medan ett större luftflöde kräver större oljebadsavskiljare med större mängd olja. Oljan som rekommenderas för oljebadsavskiljare är SAE 10W vid temperaturer under 0 °C och SAE 30W för temperatur över 0 °C [5].

Cyklonavskiljaren

Cyklonavskiljaren använder centrifugalkraft för att separera luft och föroreningar. Avskiljaren tillverkas i olika modeller och storlekar. Avskiljaren renar luften genom att förorenad luft förs in i cyklonen, se Figur 3. När luften är inne i cyklonen sätts den i rotation. Föroreningarna slungas ut mot kanterna och förs sedan ut. Hur effektiv en cyklonavskiljare är beror på storlek av de partiklar som ska renas och avskiljarens design. En effektiv avskiljare har bäst avskiljningsförmåga när den renar luft med stora smutspartiklar. När luftflödet ökar blir avskiljningen av föroreningar mer effektiv. Cyklonavskiljarens längd påverkar avskiljningen. Längre cyklon ger möjlighet för luften att rotera fler varv i cyklonen vilket medför bättre avskiljning [5], [6].

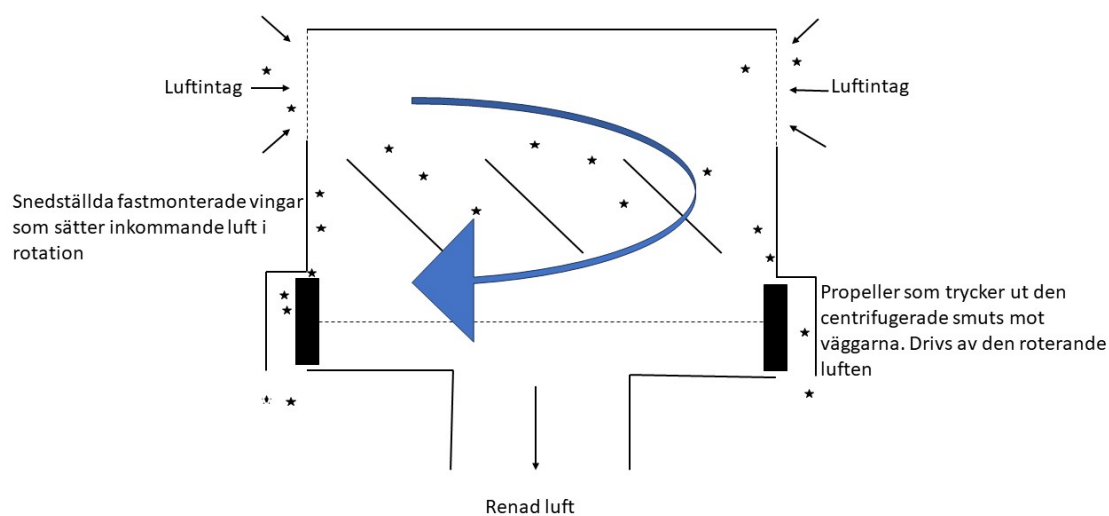


Figur 3: Beskrivning av cyklonens tekniska funktion.

Cyklonavskiljare finns i flera olika modeller och tillverkas av olika leverantörer. Nedan nämns fyra olika cyklonavskiljare där två tekniker av cyklonavskiljning förklaras.

Turbo II och Turbo III

Turbo II och turbo III är två modeller av cyklonavskiljare med samma teknik. Luften sugas in genom ett galler, se Figur 4. Luften flödar sedan ner mot snedställda fastmonterade vingor som är monterade runt hela avskiljaren. Vinkeln på vingarna gör att luften sätts i rotation och slungas runt. Rotationen av luft gör att föroreningarna slungas ut mot kanterna. Längre ner i cyklonavskiljaren sitter en propeller som får sin rörelse av luftrotationen. Längst ut på propellern sitter blad som har funktionen att föra föroreningarna ut genom kantöppningarna. Renad luft sugas vidare ut från nedre delen av avskiljaren [4].



Figur 4: Luftens flöde genom en turbo II och turbo III.

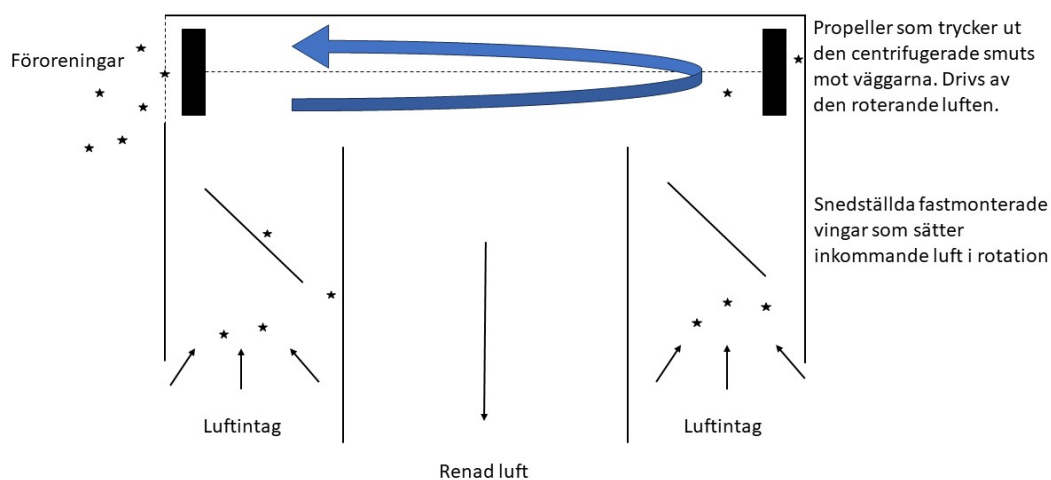
Turbo II som visas till vänster i Figur 5 är konstruerad i stål, ytbehandlad med rostskyddsgrundfärg och sedan målad. Turbo III som visas till höger i Figur 5 är konstruerad i plast. Avskiljarnas separeringseffektivitet beror på mängden luft som sugas in i motorn. Ett högre luftflöde innebär en bättre separering [7].



Figur 5: Turbo II och Turbo III pre-cleaner [8].

Engineaire och Sy-klone 9000 series

Engineaire och Sy-klone är två föravskiljare av olika märken som har liknande teknik vad gäller luftens flöde genom föravskiljaren, se Figur 6. Luften sugas in underifrån med hjälp av motorns luftinsug. Därefter går luften in i snedställda fastmonterade vingar som sätter luften i rotation. Luftens rotation centrifugerar föroreningarna mot föravskiljarens väggar. Propellern som finns i föravskiljaren drivs av motorns luftflöde och ser till att föroreningarna trycks ut genom öppningen från föravskiljaren. Renad luft sugas sedan ner i mitten av föravskiljaren in i motorns luftintagssystem [9], [10].



Figur 6: Luftens flöde genom Engineaire och Sy-klone 9000.

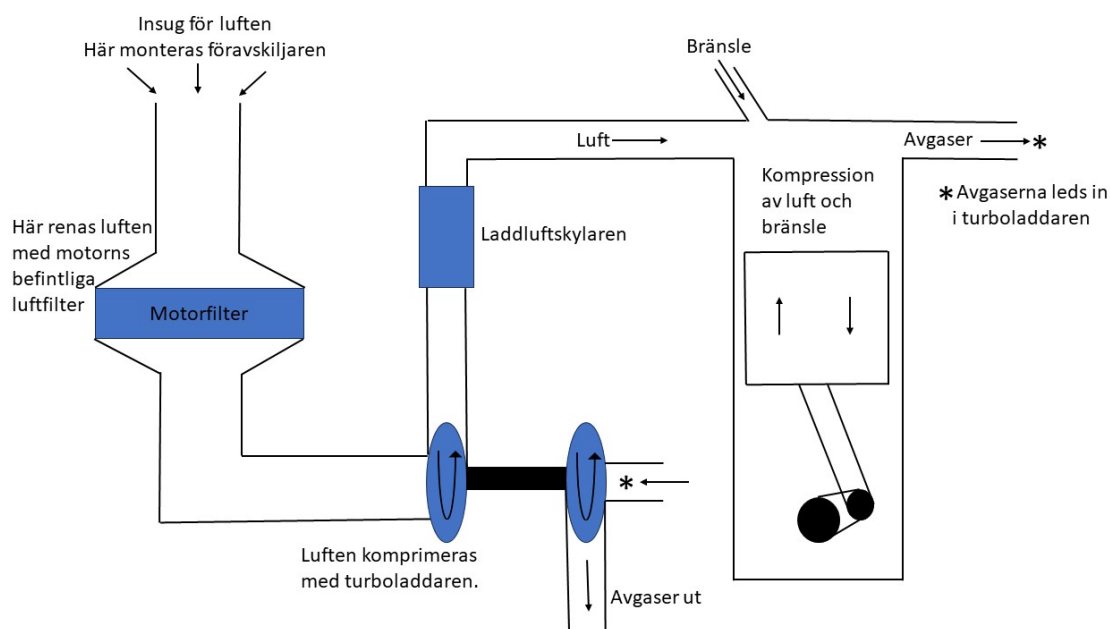
1.1.2 Dieselmotorn

Första dieselmotorn tillverkades av Rudolf Diesel och hade en verkningsgrad på 26%. Dieselmotorn ersatte ångmaskinen som hade en verkningsgrad på 12% [11]. Diesel förbränns med kompressionständning. Kompressionständning komprimerar den insugna luften och en liten mängd gas från tidigare förbränningscykel. Luften komprimeras med hjälp av kolven till ett högt tryck och diesel sprutas in. När luften komprimeras stiger dess temperatur över antändningstemperaturen för diesel. När dieseln sprutas in antänds den därför. Effekten regleras av den mängd diesel som sprutas in i samband med förbränning [1]. Lufttrycket och dess densitet påverkar också motorns prestanda. Ett högt lufttryck i kombination med en hög densitet (som beror på luftens temperatur) ger en ökad prestanda av dieselmotorn. Detta kan regleras med luftintagssystemet.

Teknisk beskrivning av luftintagssystemet

Luftintaget för en dieselmotor ser till att rätt mängd luft levereras till cylindrarna för att få önskad förbränning, se Figur 7. Systemet ser till att ett kontinuerligt flöde med luft tillförs till motorn för att få en jämn gång. Luftintagssystemet renar luften med hjälp av ett motorluftfilter. Luftfiltret ser till att endast ren luft släpps igenom [12]. Efter filtret sitter det

på många dieselmotorer en flödessensor som mäter det undertryck som blir efter filtret. Ett igensatt filter ökar undertrycket [13]. Andra typer av partiklar såsom damm och jord fastnar. Renade luften minskar slitage och kostsamma reparationer på motorn och bidrar till hållbarhet. Luftflödet som går in i cylindern vid förbränning kontrolleras med en gasspjällsventil. Gasspjället kan öppnas och stängas beroende på hur mycket luft som krävs. Trycket och temperaturen regleras med turboladdaren och laddluftkylaren. Turboladdaren ökar lufttrycket innan det når cylindern och laddluftkylaren kyler luften [12]. Turboladdaren når temperaturer på 830°C. Varm luft har lägre densitet än kall luft. Genom att leda luften genom en laddluftkylare blir densiteten högre då luften kyls ner. Kall luft är mer syrerik vilket skapar bättre förutsättningar för effektiv förbränning [14]. Luftintagningssystemet har påverkan på de utsläpp som skapas. Ren luft i rätt koncentration och mängd minskar mängden skadliga utsläpp [12].



Figur 7: Luftens flöde i dieselmotorn innan den förbränns i cylindern.

1.2 Problembeskrivning

Att föravskiljaren har en positiv inverkan på maskiner som arbetar i smutsiga, snöiga och dammiga miljöer vet man. Det man däremot inte vet är hur mycket positiv effekt en föravskiljare har på en förbränningsmotor och vad den ekonomiska vinsten faktiskt blir (nettovinst). Den ekonomiska vinsten ska teoretiskt förklaras genom att redogöra vilka parametrar som påverkar livscykelkostnaden för en förbränningsmotor utan föravskiljare och med en motsvarande motor med en föravskiljare monterad. Vad blir den ökade livslängden på ett motorluftfilter när en föravskiljare används och hur mycket kan man förlänga bytesintervallet för motorluftfiltret? Blir det en ökad bränsleförbrukning när

föravskiljaren är monterat och bidrar det till en ökad kostnad? Kostnaderna som påverkas av föravskiljaren ska samlas in för att skapa förutsättningar att förstå vad som påverkar ekonomiska vinsten.

1.3 Syfte

Arbetet syftar till att få en bra förståelse för den ekonomiska nyttan av att använda en föravskiljare. Teoretiska modellen som skapas ska vara ett enkelt verktyg för att få information om vilka kostnader som påverkas vid användning av föravskiljare. Modellen kommer även ge en förståelse för olika föravskiljares ekonomiska vinst.

1.4 Mål

Målet är att få fram en bra teoretisk modell för förståelse av den ekonomiska nyttan med att använda en föravskiljare.

Examensarbetets mål för att uppfylla syftet är att identifiera och sammanställa kostnader för:

- Motorfilterbyten
- Driftstopp av maskin för service
- Bränsleförbrukningen
- Anskaffning

Kostnaderna kommer sammanställas och förklaras för att redogöra för vilka som påverkas av en föravskiljare. Den teoretiska modellen kommer att verifieras och diskuteras med tidigare data gällande föravskiljaren och med intervjuer från företag som använder produkten.

1.5 Avgränsningar

Det kommer inte göras några praktiska tester för att räkna ut livscykelkostnad utan endast insamling av teoretiska data och tidigare tester för att besvara frågeställningen. Det kommer inte ingå jämförelser mellan alla olika typer av föravskiljare utan endast ett antal föravskiljare. Då avskiljaren i sitt huvudsyfte används på större yrkesmaskiner har rapporten avgränsats till att bygga den teoretiska modellen utifrån en turboladdad dieselmotor med laddluftkylare.

1.6 Antaganden

För rapporten har det antagits att den data som samlats in utgår från en lufttemperatur på 20°C och ett normalt lufttryck. Det har också gjorts en hypotes för hur ett luftfilters restriktion bör se ut när det rengörs istället för att ersättas med nytt. För rapporten har inte alla föravskiljare tagits in och granskats. Antagande har gjorts att de tekniker som nämnts i rapporten är de mest vanliga. Föravskiljarna har antagits arbeta i förorenade miljöer.

2 Metod

För denna rapport har en litteraturstudie utförts samt intervjuer och insamling av data från tidigare tester. Fakta har sammanställts för att bygga upp en modell som ger en teoretisk förklaring på vad kostnaderna blir vad det gäller bränsleförbrukning, filterbyten, driftstopp och anskaffning. Kostnadspåverkan har sammanställts och förklarats. Utifrån totalkostnaden har sedan ett nyckeltal utredds för att användaren tydligt ska förstå den ekonomiska nyttan av att använda föravskiljaren. Arbetets metod har varit att verifiera den skapade modellens pålitlighet. Detta har gjorts genom att jämföra modellens resultat med redan befintliga data.

2.1 Litteraturstudie

I rapportens litteraturstudie har teori för dieselmotorns teknik redogjorts med fokus på dess luftintagssystem. Olika föravskiljares teknik har förklarats och illustrerats med figurer. Fakta om luftrestriktioners påverkan på bränsleförbrukningen har sammanställts. Tidigare matematiska modeller för bränsleförbrukning som beror på luftens restriktion vid insuget till motorn har undersökts. Bränsleförbrukningens modell har sedan sammanställts utifrån insamlad litteratur för att stämma in på den modell som ska uppfylla syftet och målet. Information om nyckeltalet ROI och dess användning har hämtats från webbsidor.

Sökverket på Högskolan Väst biblioteks hemsida har använts för sökningar efter relevanta artiklar i olika databaser. Sökord som bland annat använts har varit ”Intake air system engines”, ”Förbränningsmotor”, ” Air intake pressure fuel consumption”. Databaser som använts är IEEE Xplore, DiVA portal, osti.gov, Science direct och Directory of open access Journals med flera. Genom sökning med Högskolan Västs sökverktyg har konferenshandlingar, examensarbeten, tekniska rapporter och akademiska tidskrifter använts. Internetbaserade webbsidor har också nyttjats för den insamlade teori som behövts för att förstå rapporten. Alla källor har refererats i texten samt listats i referensförteckningen.

2.2 Intervjuer

I den skapade modellen ingår filterbytesintervall och en sammanställning av dess påverkan på kostnader. För att få information om hur filterbytesintervallen ser ut har kontakt tagits med företag som säljer föravskiljare till deras maskiner och företag som använder produkten. Intervju om hur föravskiljarens användning påverkar filterbytesintervallet när maskinen är i drift har gjorts för att kunna användas i verifiering av modell samt för besvarande av frågeställning. Intervjun bestod av 18 frågor och har hållits med tre företag. Intervjun genomfördes med förberedda frågor som handlade om luftflöde, filterbytesintervall, bränsleförbrukning, driftstopp och generella frågor om vad användare tycker om produkten.

2.3 Modellen för kostnader

Modellen har tagits fram med hjälp av befintliga data. Data kommer ifrån intervjuer, litteratur och tidigare tester. Befintliga data har sedan sammanställts och utifrån det har sedan modellen skapats. Skapade modellen har modellerats och anpassats efter kostnadspåverkande parametrar beskrivet i avsnitt 1.4.

2.3.1 Verifiering av modellen

Cyklonavskiljaren och oljebadsavskiljaren har använts för att verifiera och förstå vad som påverkar den byggda modellen. Resultatet av att använda en föravskiljare har sammanställts med hjälp av inhämtning av information från användare. Resultatet från användarna har sedan använts för att stärka det resultat som hämtats från litteratur för den teoretiska modellen.

Bränsleförbrukning

Litteratur har använts för att förklara luftrestriktionernas påverkan på bränsleförbrukningen. Matematiska förklaringar har även hämtats från litteratur för att förklara luftrestriktionernas påverkan.

Kostnad filterbytesintervall

Intervjun har inhämtat information om filterbytesintervallet från olika användare. Bidragande kostnader till byte av motorluftfilter har delats upp i kostnad för material, antal filterbyten under ett utsatt tidsintervall och antal drifttimmar innan filterbyte. Information har hämtats via intervju om vid vilket värde på undertryck som motorfiltret bör bytas ut.

Driftstopp av maskin

Driftstoppets längd vid filterbyte och kostnaderna det medför har inhämtats via intervju.

Anskaffningskostnad

Detta innebär inhämtande av information rörande kostnader av att montera en föravskiljare för att kunna räkna ut nyckeltalet *ROI*.

ROI står för Return on investment och är ett nyckeltal som ger en procentuell förklaring över den avkastningen i förhållande till investering. *ROI* beror på anskaffningskostnaden samt det nettoresultat som investeringen resulterar i [15].

$$ROI (\%) = \frac{\text{Nettoresultat}}{\text{Anskaffningskostnad}} \quad (1.1)$$

2.4 Analysfas med slutsats

Resultatet har analyserats och bedömts utifrån trovärdighet av insamlade data, brister, och saknade data. Analysen diskuterade även den modell som skapats utifrån insamlade data.

Modellen analyserades utifrån den data den är uppbyggd av. Slutsatsen redogör för huruvida frågeställningen bedömdes vara besvarad samt för förslag inför fortsatt arbete.

2.4.1 Analys av olika föravskiljare

Den byggda teoretiska modellen sammanställer vad som påverkar driftkostnaderna vid användning av föravskiljaren. I diskussionen har den insamlade data som sammanställts från litteratur och intervju analyserats. Resonemang kring för- och nackdelar av cyklonföravskiljare och oljebadsavskiljare har redogjorts.

3 Resultat

3.1 Resultat av informations- och datainhämtning

3.1.1 Sammanställning från intervjuer

Intervjuerna har visat att föravskiljarna används i dammiga och förorenade miljöer. Inhämtad information har varierat då varje individ har haft olika åsikter och erfarenhet av föravskiljarna. Miljöer där föravskiljaren används är i stenkrossar, vid sophantering och vid fräsning av asfalt. Maskinerna som har använt sig av föravskiljare är generatorer som driver stenkrossar, sopkrossar, asfaltsfräsar, grävmaskiner och hjullastare. Föravskiljarna som använts har varit Turbo II, oljebadsavskiljare av olika märken samt andra typer av cyklonavskiljare. Ett viktigt resultat från intervjuerna visar på att motorluftfilter ofta knackas av som en form av rengöring. Därefter återmonteras i maskinen. Nedan visas resultatet av den information som framkommit från intervjuerna.

Sammanställning av resultat från intervju 1

Föravskiljarna av typ oljebadsavskiljare användes i miljö med mycket stendamm. Maskinen där föravskiljaren användes var en generator som drev ett elektriskt krossverk. Motorn som användes var en 13L motor av märke Volvo. Tekniken som användes för oljebadsavskiljningen var att vända på luften kraftigt så att smutsen slungas ner i oljan. Se avsnitt 1.1.1. Upplevelsen av att använda oljebadsavskiljaren var att den renade luften bra. Nackdel är att det kräver många oljebyten med en intervall om 250 timmar. Oljebadsavskiljaren krävde 20L olja och 30 minuters arbetstid för oljebytet. Med en oljebadsavskiljare monterad behövde motorluftfiltret endast knackas av och göras rent någon gång per år. Med oljebadsavskiljaren monterad byter man filter 1 gång/år oavsett antal drifttimmar. Hade inte en oljebadsavskiljare varit monterad skulle filtren behövt knackas av efter cirka 500 timmar och bytas två till tre gånger per år. Symptom på att ett filter är igentäppt uppgavs vara trött motor, slö och orkeslös. Det fanns ingen indikator för dåligt luftflöde i maskinen. För en oljebadsavskiljare var det viktigt att följa serviceintervall för att begränsa risken att få igensatta rör i oljebadsavskiljaren.

Sammanställning av resultat från intervju 2

Föravskiljarna användes i maskiner som arbetade i stenkrossar och sopkrossar. Maskinerna står mitt i den dammiga smutsen. Enstaka föravskiljare monterades även på grävmaskiner och hjullastare. För denna användare monterades ofta en cyklonavskiljare som en första rening för att sedan använda oljebadsavskiljare som andra rening innan det går in i motorns system. Oljebadsavskiljaren är ett dyrt system men enligt användaren det bästa systemet för att få så ren luft som möjligt. Nackdel med oljebadsavskiljaren är att oljan regelbundet behöver bytas ut och nackdel med cyklonavskiljaren är att den inte renar tillräckligt bra. Användaren föredrog att använda cyklonavskiljning i kombination med oljebadsavskiljning för bästa resultat. Föravskiljaren monterades för att motorluftfiltren blev igentäppta och

behövde knäckas rena för ofta. Vid montering av föravskiljaren blev det en ökad luftrestriktion. Luftrestriktion bedömdes väldigt liten. Användaren såg ingen skillnad på bränsleförbrukningen och bedömde den som försumbar. Ett problem som nämnades var att motorluftfiltrena knäckades rena för ofta. Filter som knäckas rena istället för att bytas ut riskeras att skadas vilket kan skada motorn. Istället för att knacka filter nämnades ett företag som istället hade tätare intervall på motorluftfilter bytena. På de maskinerna fanns det två motorluftfilter. Ett yttre och ett inre och föravskiljning användes. I det här fallet bytte man yttre motorfiltret varje 500:e timme och inre varje 1000:e timme trots att tillverkaren för maskinen rekommenderade dubbla tiden för byte av filtren. Detta byte gjordes för att maskinerna gick i väldigt dammiga miljöer. Vid ett undertryck på 62,3mbar indikerade motorerna på att motorluftfiltrena var igentäppta och behövde ersättas.

Sammanställning av resultat från intervju 3

Maskinerna som användes var i miljöer där det dammade kraftigt. Kylfläktarna som kylde motorn sög åt sig dammet, vilket innebar att mycket även hamnade luftintagssystemet. Föravskiljaren som användes var en cyklonavskiljare av märket turbo II. Fördelen med den är att den är helt underhållsfri. Vid användning av turbo II slipper man stanna maskinen och knacka av motorluftfiltren. Motorfiltren byttes med en intervall på 250 timmar och vid byte av motorluftfilter såg man att filtren var mycket renare när föravskiljaren användes. Föravskiljarens påverkan på bränsleekonomin bedömdes som väldigt liten. Motorluftfiltren var renare under intervallet på 250 timmar innan filterbyte. Detta bedömdes vara en större effekt av föravskiljarna. Man hade inte förändrat bytesintervallet på luftfilter för att föravskiljaren använts. Skillnaden blev att motorluftfiltret inte behövdes knäckas rent lika ofta. Innan föravskiljaren monterades kunde ett motorluftfilter behöva göras rent 4–5 gånger per vecka. Indikation på att ett luftfilter är igentäppt sker vid ett undertryck på 65mbar. Då är luften blockerad. Användaren upplevde inga nackdelar med turbo II föravskiljare. Maskinerna följer samma bytesintervall på motorluftfiltrena oavsett om de har en föravskiljare eller inte. Föravskiljaren påverkade inte kostnader för filterbyten utan innebar endast att filtren inte behövde knäckas rena lika ofta. Användaren är nöjd med produkten.

3.1.2 Sammanställning från litteratur

Volymmetrisk effektivitet

En dieselmotor, vilket är en motor som använder tekniken kompressionständning, påverkas av förhållandet mellan luften och bränslet i cylindern. Större mängd luft leder till mer förbränt bränsle och bättre prestanda av motorn. I en motor finns det flera komponenter som begränsar ett luftflöde, bland annat motorluftfiltret. Detta medför att det finns ett teoretiskt luftflöde som beror på motorns cylindervolym, motorns varvtal, fyrtaktsmotor eller tvåtaktsmotor samt antal cylindrar. Teoretiska luftflödet jämförs med det verkliga luftflödet som kommer in i cylindern. Utav det förhållandet får man fram motorns volymmetriska effektivitet.

$$n_v = \frac{2 \cdot m'_a}{\rho_{a,i} \cdot V_d \cdot N} \quad (3.1)$$

Ekvation 3.1 förklarar Volymmetrisk effektivitet n_v för en fyrtaktsmotor. Luftflödet m'_a [kg/min] är den verkliga massa som befinner sig i motorns cylindrar per minut. Densiteten $\rho_{a,i}$ [kg/m³] är atmosfärens luftdensitet som sugas in i luftintaget. V_d [m³] är cylindrarnas totala volym tillsammans och N [varv/min] är motorns varvtal per minut [16], [17].

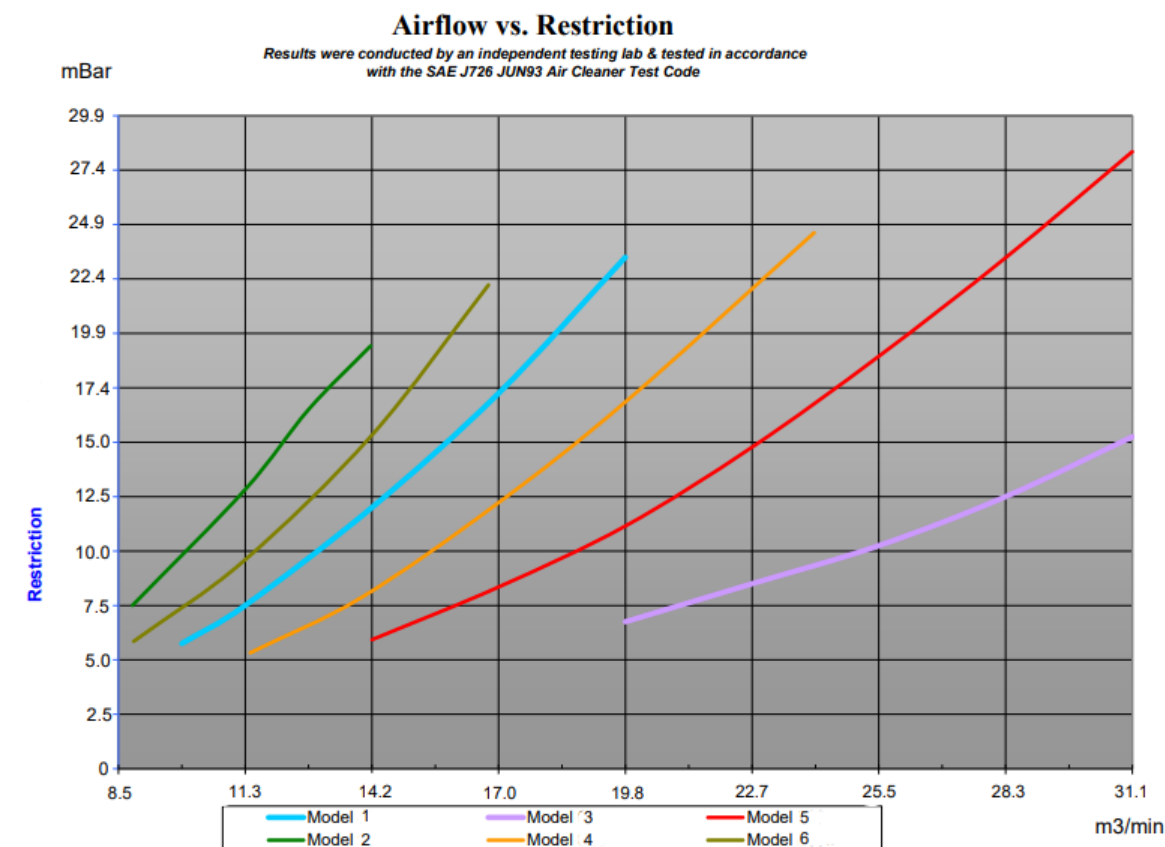
Verkliga luftflödet m'_a påverkas av de luftrestriktioner som finns i motorns luftintagssystem. Alla delar som stryper luftflödet exempelvis motorluftfiltret gör att det blir svårare för motorn att suga in den luft som teoretiskt skulle få plats utan några restriktioner. Dieselmotorns volymmetriska effektivitet påverkas om motorn är turboladdad och/eller har laddluftkylare. Dieselmotor utan turboladdning och laddluftkylare har en volymmetrisk effektivitet på $n_v = 0,85$. Med turboladdning är $n_v = 1,85$ och för en dieselmotor med turboladdning och laddluftkylare är $n_v = 2,2$. Dessa värden gäller för en motor utan föravskiljare. När värdena är högre än 1 betyder det att man pressat in en större luftmassa i cylindern än vad den teoretiska luftmassan beräknats till. Det beror på att turbo och laddluftkylare komprimerar luften vilket betyder högre densitet än atmosfärens vilket innebär större luftmassa [4], [12].

Föravskiljarens påverkan på volymmetrisk effektivitet

$$m'_a = \frac{V_d \cdot N \cdot n_{vol\ turbo}}{33,3 \cdot 60} - \text{Föravskiljarens luftrestriktion} \quad (3.2)$$

Verkliga luftmassan som flödas in i motorn per minut m'_a [kg/min] påverkas av föravskiljarens luftrestriktion. En föravskiljare ger ett undertryck [mbar] vilket stryper luften. Eftersom luften stryps kommer inte cylindern fyllas upp med den luft den annars hade gjort utan föravskiljare. Ekvation 3.2 förklarar hur luftflödet beräknas för en dieselmotor. Första delen av formeln är luftflödet för motorn utan en föravskiljare och utan några restriktioner på luftfiltret. Med pålagda restriktioner kommer luftflödet [kg/min] in i motorn förändras.

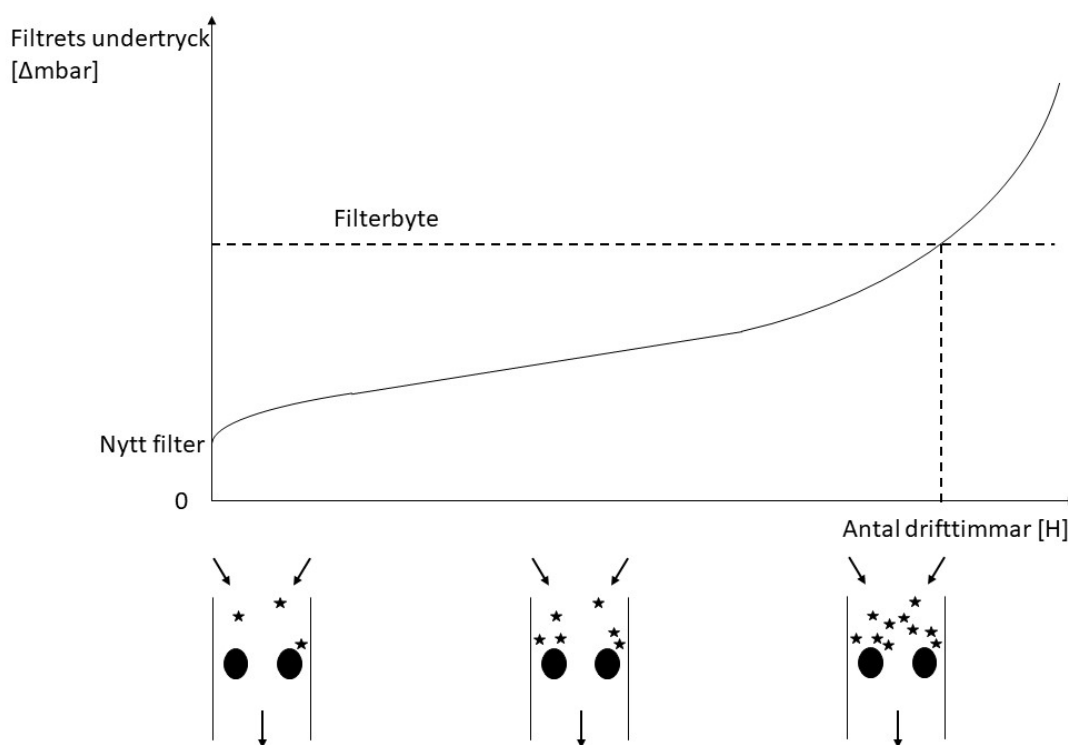
Föravskiljaren påverkar den volymmetriska effektiviteten beroende på typ. Olika föravskiljare har olika luftrestriktioner beroende på teknik. Beroende på storlek och modell har föravskiljaren olika intervall som de verkar i. Intervallet beror på den luftmassa som motorn kräver för att kunna verka. Luftmassan varierar beroende på varvtal och storlek av motor. Nedan i Figur 8 visas 6 föravskiljare av teknik cyklonavskiljning. Tabellen förklarar det verkningsområde de arbetar i och vad deras restriktion (mbar) är beroende på luftflödet [m³/min]. Testerna är gjorda efter standard SAE J726 juni-93 som idag är ersatt av ISO5011:2020. Se bilaga B.



Figur 8: Olika föravskiljares luftmotstånd vid ett givet luftflöde. [18]

Motorluftfiltrets påverkan på volymmetrisk effektivitet

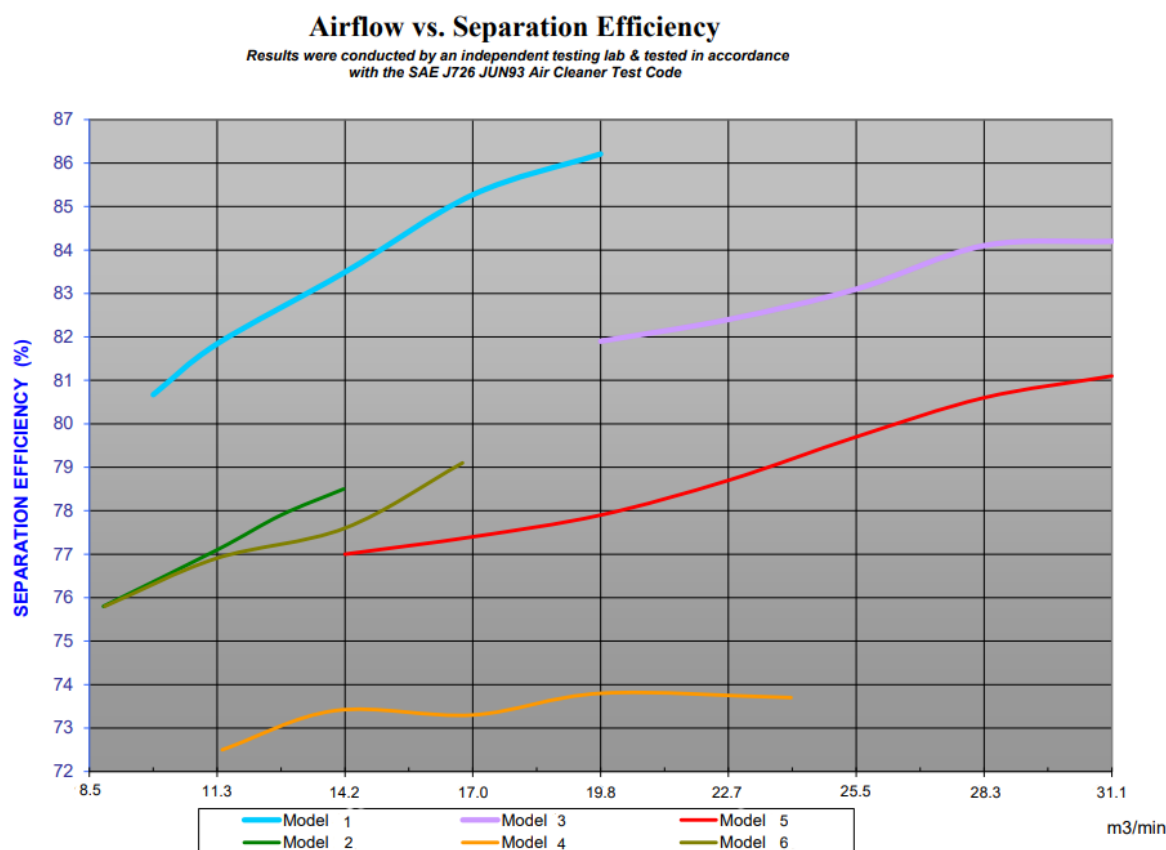
Motorluftfiltret ger också upphov till luftrestriktioner. Ett nytt luftfilter på en maskin med en Perkins 1104A-44T har ett undertryck på -1mBar medan ett förorenat luftfilter som ska ersättas har ett undertryck på -65mBar. Motorluftfiltrets luftrestriktioner förändras under tid. Figur 9 visar hur luftfiltret under ett visst antal drifttimmar ökar undertrycket [mbar] på grund av den ökade mängden föroreningar som fastnat i filtret. Större mängd föroreningar ger ökade luftrestriktioner och ett sämre flöde. Filtrets livstid beror på mängden föroreningar som sugas in, vilken typ av föroreningar och dess storlek. Större partiklar leder till att filtret täpps igen snabbare medan mindre partiklar innebär ett längre filterbytesintervall [19], [20].



Figur 9: Graf som förklarar motorfiltrets förändring i flöde under dess drifttid. Återskapat med data från [19].

Föravskiljarens separeringsförmåga

Föravskiljarens förmåga att separera beror på det varvtal motorn arbetar på. Lägre varvtal innebär mindre luftflöde och ett högre varvtal ger ett större flöde av luften. Figur 10 visar hur olika föravskiljare av teknik cyklonavskiljning separerar föroreningar från luften. Separeringens effektivitet uttrycks i procent [%] och innebär att den luft som sugas in i föravskiljaren oberoende av mängd smuts ska renas till det procentuella resultat som redovisas. Detta betyder att mängden smuts som går vidare in i motorns luftintagssystem kan variera beroende på den mängd smuts som maskinen verkar i. Testerna är utförda efter standard SAE J726, juni -93. Standarden avslutades juni 2002 och ersattes med ISO5011. För ISO5011 har luften en grad av förorening som är 1 g/m^3 luft. Se bilaga B [4].



Figur 10: Olika föravskiljares separeringsförmåga beroende på luftflödet. [21]

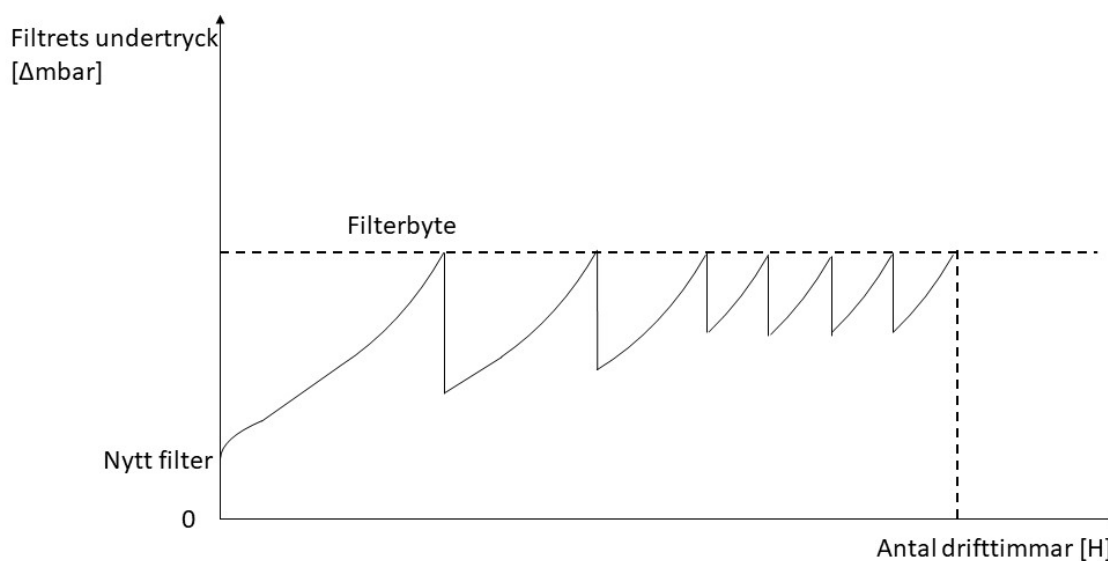
3.2 Bytesintervall motorluftfilter

Resultatet visar att bytesintervall för motorluftfilter är svårt att definiera då användaren knackar rent filtren istället för att ersätta med nytt när maskinen indikerar för igentäppt filter. Detta medför att det blir svårt att finna en trend för hur tidsintervallet ser ut för filtret när föravskiljaren används. Dammiga miljöer har enligt intervju 2 även medfört att man har kortat ner intervallet för filterbyte på sina maskiner till halva intervalltiden trots att föravskiljaren används jämfört med den intervalltid leverantören rekommenderar. Enligt intervju 1 uppskattades det att det skulle innebära en ökning i filterbyten om inte föravskiljaren av typ oljebadsavskiljning användes men trots föravskiljare innebar det fortfarande att filtren behövde knackas rena. Från intervju 3 kunde man även se att bytesintervallet för filtren inte förändrades men att de var renare vid service när de skulle bytas. Sammantaget ur alla tre intervjuer så tyder det inte på att en förändring har gjorts i filterbytesintervall utan den trend som visas är att filtren inte behöver rengöras lika ofta.

3.2.1 Hypotes för motorluftfiltrets restriktion vid upprepad rengöring

Luftfilter som förorenats innebär en större restriktion av luft. Från intervjuerna har det framkommit att tekniken för filterrengöring varierar. Användare av maskinen kan antingen knacka rent filtret genom att slå på det så att föroreningarna släpper från filtret. Andra

alternativet är att smutsen blåses bort med luft. Beroende på vilken metod som används kommer filtret efter rengöring vara av olika nivå i renhetsgrad. Hypotesen vill visa att ett filter som rengjorts aldrig kommer återgå till nyskick. Filtret kommer medföra ett större undertryck [mbar] än vad ett nytt filter hade gjort. Rengörs filtren i flera omgångar kommer restriktionerna på filtret öka då mer smuts kommer fastna och inte gå att rengöra. Se Figur 11 för graf över filtrets försämring av undertryck vid rengöring av filter under [H] antal timmar.



Figur 11: Hypotes över motorfiltrets restriktioner vid rengöring.

3.3 Bränsleförbrukningen

Luftrestriktionerna påverkar bränsleförbrukningen negativt. En restriktion innebär en sämre volymmetrisk effektivitet och därmed en försämrad bränsleförbrukning. Detta avsnitt kommer referera till tidigare data från ett arbete som undersökt hur restriktioner i ett motorluftfilter påverkar bränsleförbrukningen. Testerna är gjorda på en traktor med en 1104A-44T Perkins motor med total cylindervolym på 4400 cm³. Motorn är turboladdad och har en laddluftkylare. Mätningar för bränsleförbrukningen har skett vid ett varvtal på 1400 varv/min och 2200 varv/min.

Bränsleförbrukningen har mätts vid ett undertryck på 1 mbar vilket inträffar när filtret är nytt. Därefter har filtret simulerats att bli förorenat med hjälp av filterpapper och mätningar har gjorts vid ett undertryck på 21mbar, 40 mbar och 65 mbar (det är maximal luftrestriktion som tillåts).

Tabell 1 visar hur bränsleförbrukningen påverkas av ett förorenat filter. Vad det visar är att ett förorenat filter som har ett undertryck på 65mbar medför en ökad bränsleförbrukning på 109% vid 1400varv/min och en ökad bränsleförbrukning på 111% vid 2200 varv/min.

Tabell 1: Bränsleförbrukningen för en traktor vid specifikt varvtal och undertryck.

	1400 varv/min [l/h]	2200 varv/min [l/h]
1mbar	16,4	14,8
21mbar	18,6	16,3
40mbar	30,6	27,1
65mbar	34,3	31,2

Med data från Tabell 1 har sedan föravskiljarens påverkan på bränsleförbrukningen beräknats. Föravskiljare av teknik cyklonavskiljning har använts för beräkning. Cyklonavskiljaren finns i flera storlekar beroende på luftflöde på motorn. Traktorns luftflöde från tidigare rapport har beräknats nedan för varvtal på 1400 varv/min och 2200 varv/min med hjälp av ekvation 3.2 [20], [4].

$$m'_a = \frac{V_d \cdot N \cdot n_{vol}}{33,3 \cdot 60} \quad (3.2)$$

Motorns totala slagvolym: $V_d [dm^3] = 4,4$

Motorns varvtal: $N [varv/min] = 1400/2200$

Volymmetrisk effektivitet: $n_{vol} = 2,2$

1400 varv/min: $m'_a = 6,8 \text{ m}^3/\text{min}$

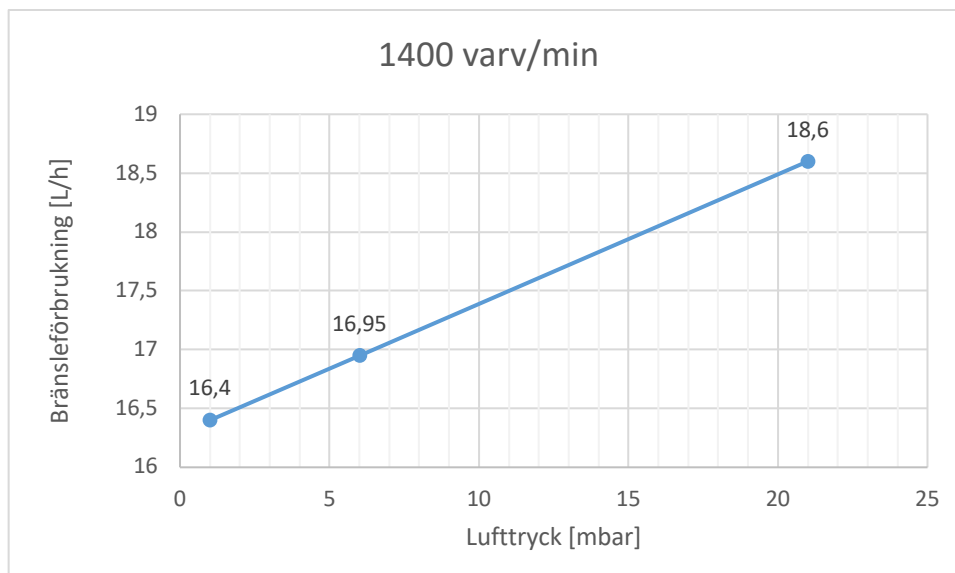
2200 varv/min: $m'_a = 10,7 \text{ m}^3/\text{min}$

Från beräknat luftflöde väljs sedan korrekt modell som fungerar inom intervallet. Data från tester utförda genom ISO5011:2020 har hämtats för föravskiljarens restriktioner vid givet luftflöde. Intervallet för mätningen av föravskiljaren är inom 7,1 – 9,9 m³/min vilket är lite innanför undre och övre luftflöde på motorn. Vid 1400 varv/min har motorn ett luftflöde på 6,8 m³/min och föravskiljarens data är mätt från 7,1 m³/min. Vid 2200 varv/min har motorn ett luftflöde på 10,7 m³/min och föravskiljarens högsta uppmätta luftflöde är 9,9 m³/min. Rapporten antar, att eftersom värdena från motorns luftflöde och föravskiljarens data är väldigt nära varandra kommer differensen anses vara försumbar. Restriktionen hos föravskiljarens undertryck kommer läsas av vid ett luftflöde på 7,1 m³/min vid varvtal 1400 varv/min och läsas av vid ett luftflöde på 9,9 m³/min vid varvtal 2200 varv/min då värden utanför det intervallet 7,1–9,9 m³/min saknas.

1400 varv/min: 6,0 mbar

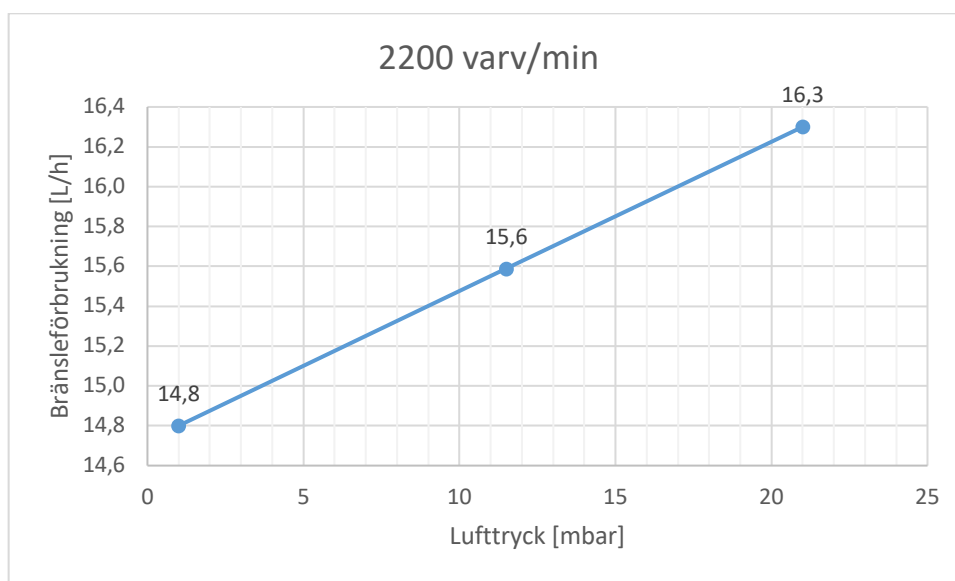
2200 varv/min: 11,5 mbar

Utifrån det beräknade undertryck som blir på motorn när föravskiljaren monterats har data från uppmätt bränsleförbrukning vid restriktion i motorluftfilter som redovisas i Tabell 1 använts. Utifrån tabellen har två diagram för bränsleförbrukning beroende på restriktion inom intervall 1–21 mbar och bränsleförbrukningen redovisats när föravskiljaren används. Figur 12 förklarar bränsleförbrukningen vid 1400 varv/min och Figur 13 förklarar bränsleförbrukningen vid 2200 varv/min.



Figur 12: Bränsleförbrukningen vid ett undertryck på 6,0mbar.

Data som visas i Figur 12 tyder på att en föravskiljare av typ cyklon ger en bränsleförbrukning på 16,95 l/h. När luftfiltret är nytt och ingen föravskiljare var monterad visade data på en bränsleförbrukning på 16,4 l/h. Detta betyder en ökning på 0,55 l/h.



Figur 13: Bränsleförbrukningen vid ett undertryck på 11,5mbar.

Data som visas i Figur 13 tyder på att en föravskiljare av typ cyklon ger en bränsleförbrukning på 15,6 l/h. När luftfiltret är nytt och ingen föravskiljare var monterad visade data på en bränsleförbrukning på 14,8 l/h. Detta betyder en ökning på 0,8 l/h [20].

3.4 Modell

Teoretiska modellen är en sammanställning av den data som tagits fram avseende bytesintervall motorluftfilter och bränsleförbrukning. Trenden som visas efter den data som sammanställts är att bytesintervallet inte kan förändras när föravskiljaren används. Eftersom resultatet visar på att motorluftfilter upprepat behöver rengöras vid användning av föravskiljaren så kan inte modellen visa på att bytesintervallet kan förändras. Resultatet visar att motorluftfiltret behöver rengöras mindre. Ekonomiska nyttan som modellen visar utifrån den data som sammanställts beror på dessa fyra faktorer:

- Renare luftfilter under längre tid.
- Rengöring av filter vid rätt tidpunkt.
- Eventuella kostnader för service av föravskiljare.
- Anskaffningskostnad.

3.4.1 Rengöring av motorluftfilter vid rätt tidpunkt

Intervjuerna visade att användare ofta rengör filter istället för att ersätta med nytt. Genom att rengöra filtret vid rätt tidpunkt kan bränsleförbrukning hållas lägre. Föravskiljaren gör att intervallet för rengöring kan förlängas vilket innebär att rengöring av filtret kan minskas under intervallet innan motorfiltret ersätts med nytt. Enligt hypotes så försämras luftfiltret och undertrycket efter rengöring. Filtret försämras efter upprepade rengöringar. Att göra rent ett filter innan motorn varnar för ett maximalt accepterat undertryck (65 mbar) bidrar till en förbättrad bränsleförbrukning. Att rengöra ett filter vid ett undertryck på 21 mbar skulle innebära en mycket lägre bränsleförbrukning under en längre period. Användning av föravskiljare gör att rengöring av motorfiltret kan minskas. Har föravskiljaren en avskiljning på 80% betyder det att rengöringen av filtret vid ett specificerat undertryck kan förlängas med upp till 5 gånger. Det innebär färre driftstopp vilket betyder en lägre kostnad för stopp av maskin samt personalkostnader på grund av rengöring. Då resultatet visar att rengöring av motorluftfilter utförs, framförs även hur rengöring av motorluftfilter kan utföras på bästa sätt. Stor vikt ligger på användaren att ansvara för att garantier och den användningspolicy företaget har för sin utrustning följs.

3.4.2 Service av föravskiljare

Föravskiljare av modell oljebadsavskiljning kräver service. Oljan som renar luften måste regelbundet ersättas vilket betyder att det är en av kostnaderna som måste ingå i modellen. Olika föravskiljare innehåller olika mängd olja som måste inkluderas i kostnad för service.

Byte av olja i föravskiljaren tar cirka 30 minuter vilket innebär en personalkostnad och stopp av maskin om det utförs under tiden då maskin annars skulle varit i drift.

3.4.3 Anskaffningskostnad

Kostnaden för inköp samt installation sätts i relation till den kostnad som tjänas in av att använda en föravskiljare. Med anskaffningskostnad och mer data från tester kan ROI räknas ut. Anskaffningskostnaden beror på inköp av produkt, installation och kostnad för implementering i verksamhet.

3.5 Verifiera modellen

Modellen som skapats kan användas av användaren för att få en förståelse samt ger en trend över hur den ekonomiska nyttan ser ut över tid av att använda föravskiljaren. För att en mer detaljerad modell ska kunna göras behövs fler tester utföras för att kunna verifiera modellen och säkerställa att data är korrekt.

4 Analys

Rapporten har haft som bakgrund att redogöra den fakta som krävs för att förstå dess resultat. Fakta har presenterats samt olika typer av föravskiljare har förklarats för att läsaren ska förstå dess funktion och hur de skiljer sig. För att få fortsatt förståelse över varför man monterar dem och var har en turboladdad dieselmotor med laddluftkylare redogjorts för grundligt. Detta för att läsaren ska få en helhetsuppfattning över användningen. Dieselmotorn har inte redogjorts för i detalj men grundläggande kunskap för dieselmotorns funktion krävs för full förståelse. Metoden för rapporten har varit att samla in data från litteratur och intervjuer. Litteratur om föravskiljarens påverkan på förbränningsmotorn har varit väldigt begränsad. Litteraturen som samlats in har istället handlat om motorluftfiltrets påverkan på motorn. Tidigare arbeten har handlat om hur restriktioner i ett motorluftfilter, beroende på hur igentäppt den är på grund av föroreningar, påverkar motorn. Data från tidigare arbeten har använts för att förstå hur föravskiljaren påverkar motorn på grund av dess restriktion. Modellen som metoden förklarar har modellerats upp utifrån en teoretisk grund. Svårigheten att få fram data som är tillräckligt pålitlig har gjort att rapporten inte kunnat skapa en exakt modell. Den teoretiska modellen som modellerats upp förklarar parametrarna som föravskiljaren påverkar ur ett ekonomiskt perspektiv.

Intervjuerna gav en bra förståelse av hur föravskiljarna verkar i drift. Tre intervjuer har utförts. Företagen som intervjuats har haft varierande kunskap om föravskiljaren. Metoden för rapporten var att samla in data från intervjuerna. Intervjuerna visade att användarna inte hade så mycket data att tillföra till rapporten. Intervjuerna medförde dock mycket bra information om hur användandet påverkade bränsleförbrukningen samt bytesintervall för motorluftfilter.

Utifrån litteraturen sammanställdes fakta om hur restriktioner påverkar förbränningsmotorn. Restriktionen av en föravskiljare förklarades med hjälp av litteraturen. Matematiska beräkningar har redogjorts för samt hur man kan beräkna dess påverkan. Volymmetrisk effektivitet var det som påverkades av att montera en föravskiljare vilket i sin tur också påverkar bränsleförbrukningen vid försämring under användning. Rapporten har inte presenterat vad den volymmetriska effektiviteten blir av att använda en föravskiljare på grund av brist på relevanta och pålitliga data. Litteratur om motorluftfiltret har hämtats in för att ge förståelse för hur mycket den påverkar effektiviteten och bränsleförbrukningen i jämförelse med en föravskiljare. Rapporten har även påvisat en trend för hur trycket förändras under filtrets livstid. För att förstå hur mycket en föravskiljare renar har data från ett antal föravskiljare använts. Detta har gjorts för att man ska få en generell uppfattning över inom vilket intervall man antar att en föravskiljare bör ligga.

En av målsättningarna för detta examensarbete var att undersöka om bytesintervallet för motorluftfiltret kunde förändras vid användning av föravskiljare. Bytesintervallet undersöktes genom intervjuer. Intervjuerna gav ingen säker data och generellt visade användningen av en föravskiljare inte på en förändring av bytesintervall. Maskinerna som använde föravskiljaren arbetade i väldigt dammiga miljöer. Det medförde att även vid

användning av föravskiljaren så behövde de flesta användare rengöra sitt filter innan det var dags för byte av motorluftfilter vid service.

Innan arbetet påbörjades fanns det väldigt lite information offentligt om hur bra föravskiljaren fungerade. Det medförde att hypoteser innan arbetet startat i vissa fall inte stämde överens med verkligheten. Resultatet från intervjuerna visar att antalet driftstopp för rengöring av motorluftfilter förändrades av att använda föravskiljaren. Utifrån resultatet gjordes en hypotes över hur rengöring av motorluftfiltret påverkar dess funktion vid upprepad rengöring. Eftersom hypotesen visade på en försämrad funktion av motorluftfiltret vid rengöring visar det på en positiv effekt för den ekonomiska vinsten av att använda en föravskiljare. Eftersom föravskiljaren kommer separera bort stora delar av föroreningarna kommer mindre mängd smuts in i motorluftfiltret vilket betyder att det kommer vara renare under en längre period innan rengöring krävs. En alternativ tillämpning (som inte används av användarna som intervjuats) av att använda föravskiljaren kan vara att förlänga motorluftfiltrets bytesintervall, om tillverkaren tillåter det. Som exempel, en användare utan föravskiljare rengör sitt motorluftfilter 5 gånger under det driftintervall (antal timmar) som är satt för filtret. Monteras föravskiljaren med en rening på 80% skulle det innebära att drifttiden för användaren förlängs 5 gånger för att uppnå samma antal driftstopp för rengöring samt samma grad förorening som det motorluftfilter som endast använts under ett intervall.

Rapporten visar att den restriktion föravskiljaren medför har en väldigt liten inverkan på bränsleförbrukningen. Detta har beräknats med hjälp av tidigare undersökningar där bränsleförbrukningen mätts beroende på restriktion på motorluftfiltret. Detta resultat visas även efter intervjuerna som gjorts. Ingen av användarna kan se någon förändring i att föravskiljare monterats. Utifrån litteratur har det däremot framkommit att motorluftfiltrets restriktion har en stor påverkan på bränsleförbrukning. Användning av en föravskiljare kan minska problemet och lägre bränsleförbrukning kan uppnås. Reningen medför att ett motorluftfilter kommer vara renare under en längre period. Ett renare luftfilter kommer innebära en lägre förbrukning. Det som också kan hålla nere förbrukning är att rengöra ett motorluftfilter vid en tidigare tidpunkt, innan maskinen varnar för maximalt acceptabelt undertryck. En rutin för användaren skulle kunna vara att ha en indikator som tänds vid ett lägre undertryck än vad tillverkaren rekommenderar. Med föravskiljare kommer intervallet för när indikatorn indikerar för rengöring förlängas vilket innebär att filtret kommer vara i bättre skick under intervallet innan service och byte av motorluftfilter. Samtidigt hålls en lägre restriktion vilket ger en bättre bränsleförbrukning. Något som försvårar arbetet att se föravskiljarens påverkan på bränsleförbrukningen är eftersom maskinerna används i olika miljöer. Beroende på hur hårt en maskin körs innebär det en varierad förbrukning och det är svårt att skilja på om det är miljön och användaren som påverkar bränsleförbrukningen eller om det är föravskiljaren. För detta skulle tester behöva utföras i labbmiljö där parametrarna kan kontrolleras bättre.

Resultatet för vilken teknik av avskiljning som var bäst kräver fler intervjuer. Detta för att användarna hade erfarenhet av olika tekniker. Intervjuerna kan påvisa att oljebadsavskiljaren kan ge en bättre rening men det saknas data för hur stor restriktionen är. Det saknas även data på hur bra de separerar vilket gör att det inte går att påvisa om de har en positiv ekonomisk effekt. Eventuella servicekostnader för olika typer av föravskiljare har redogjorts för att användaren ska komma ihåg att ta med den kostnaden vid kalkyl av ekonomiska nyttan. Utifrån rapportens data har inte något ROI räknats ut. Det beror på att det krävs mer data för att utreda hur mycket de olika parametrarna påverkar kostnaden. Den data som finns nu är ett bra stöd för att förstå vilka faktorer som påverkar ekonomin samt hur dessa påverkas för att på ett enklare sätt kunna ta reda på ROI. Rapporten har skapat förutsättningar för att veta vad som påverkas. Syftet med rapporten att skapa ett enkelt verktyg för att förstå vilka kostnader som påverkas av en föravskiljare har redogjorts för i resultatet. Resultatet visar däremot inte exakt vad användarens ekonomiska vinst skulle bli genom att använda en föravskiljare. Rapporten kräver mer data samt tester för att kunna redogöra det.

4.1 Begränsningar

Rapportens begränsningar är att inga direkta kostnader har kunnat sammanställas vid användning av föravskiljare. Rapporten har därför svårt att påvisa hur mycket som kan besparas utan endast hur användning av föravskiljaren appliceras på bästa sätt för att uppnå högsta grad av ekonomisk nytta. Volymmetriska effektiviteten påverkas men för att bygga upp en tydlig modell bör mätvärden direkt på den faktiska bränsleförbrukningen användas. Mätvärden fanns inte att tillgå men hade gjort modellen lättare att förstå.

Data är endast hämtade från tidigare arbeten samt från tester. För att säkerställa och få ett mer pålitligt resultat behöver egna kvalitativa tester utföras. Testerna behöver göras på en förbränningsmotor där mätningar sker utifrån de faktorer som nämnts i rapporten påverka föravskiljaren. Det hade även behövts mer data över oljebadsavskiljarens separeringsförmåga samt dess restriktioner beroende på dess luftflöde.

Teoretiska modellen hade varit tydligare om mer data samlats in. Modellen hade då blivit ännu tydligare och mer exakta värden hade kunnat framställas av modellen. Detta har inte kunnat göras då mycket information om hur en föravskiljare påverkar en motor saknats. Då väldigt lite vetenskapliga fakta om föravskiljare och dess påverkan har funnits tillgängligt, har mycket tid för arbetet istället gått åt till att granska och bygga modellen efter vad som påverkats samt hur mycket av att använda föravskiljaren.

4.2 Framtida arbete

För framtida projekt kan egna tester utföras. Testerna som skulle medföra en bättre modell är mätningar på bränsleförbrukningen med en föravskiljare för att säkerställa att dess påverkan är mycket liten. Ett annat arbete som skulle göra modellen mer pålitlig är att göra mätningar med motorluftfiltrets restriktioner och hur mycket de minskas av att använda en

föravskiljare under serviceintervallen. Här kan även mätningar göras för huruvida det är ekonomiskt försvarbart att förlänga bytesintervallet när en föravskiljare används eller om det är bättre att byta filter på för samma tidsintervall och därigenom hålla dem renare under sin drifttid. När mer data från tidigare arbeten inhämtats kan en bra matematisk modell modelleras upp där man får en tydlig förklaring över hur nyckeltalet ROI skulle se ut av att investera i en föravskiljare.

5 Slutsats

Rapporten har beskrivit den bakgrund som bedömts lämplig för att läsaren ska få förståelse för resultatet och analysen. Projektets mål att bygga fram en modell för föravskiljarens ekonomiska nytta har redogjorts för i resultatet och sedan analyserats. Resultatet har utifrån litteratur och intervjuerna visat att det föravskiljarens påverkar är det minskade antalet stopp av maskin för rengöring av motorluftfilter. Resultatet har även visat att använda en föravskiljare har en väldigt liten påverkan på bränsleförbrukningen. Detta styrks både med stöd från intervjuer och beräknade data från litteratur. Resultatet visar att oftast används en föravskiljare i väldigt dammiga miljöer vilket inte gör det möjligt att förlänga motorluftfiltrets bytesintervall. Rapporten har visat att motorluftfiltret och dess grad av förorening påverkar bränsleförbrukningen. Genom föravskiljaren kommer antal stopp för rengöring av filtret bli färre vilket kommer innebära ett renare filter vid service. Därmed har föravskiljaren bidragit med ett bättre flöde av luft tack vare ett renare motorluftfilter. Målet att skapa en teoretisk modell har uppnåtts men kan bli ännu mer detaljerad om egna oberoende tester gjordes. Modellen som är skapad förklarar **vad** som påverkas, **varför** det påverkas. Framtida projekt är att ta reda på **hur** mycket kostnaderna påverkas av att använda en föravskiljare.

Referenser

- [1] O. Backlund, ”Förbränningsmotor”, Nationalencyklopedin. Åtkomstdatum: 01 februari 2024. [Online]. Tillgänglig vid: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/f%C3%B6rbr%C3%A4nningmotor>
- [2] KG international, ”Importance of Air Filters in Automotive Engines: A Comprehensive Guide”, KG international. Åtkomstdatum: 01 februari 2024. [Online]. Tillgänglig vid: <https://www.kginternational.com/resources/importance-of-air-filters-in-automotive-engines-a-comprehensive-guide/>
- [3] ”Oil Bath Air Cleaners For Tractors”, Vintage tractor engineer. Åtkomstdatum: 14 februari 2024. [Online]. Tillgänglig vid: <http://vintagetractorengineer.com/2009/01/oil-bath-air-cleaners-for-tractors/>
- [4] Sveadiesel AB, ”TURBO II föravskiljare”.
- [5] ”Cyclone separator”, Energy education. Åtkomstdatum: 21 februari 2024. [Online]. Tillgänglig vid: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Cyclone_separator
- [6] ”Air Pollution Control Technology Fact Sheet”, United states Environmental protection agency. Åtkomstdatum: 21 februari 2024. [Online]. Tillgänglig vid: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P100C75Q.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2000+Thru+2005&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C00thru05%5Ctxt%5C00000028%5CP100C75Q.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyURL>
- [7] Maradyne, ”Volvo/Maradyne Turbo III Discussion”,
- [8] Sveadiesel AB, tillåtelse för användning i rapport, ”Bild av föravskiljare turbo II och turbo III”.
- [9] ”Engineair superior air precleaners”, Engineair. Åtkomstdatum: 17 april 2024. [Online]. Tillgänglig vid: <https://engineair.com/air-precleaners/>
- [10] ”Series 9000 How it Works & Patented Features”, Sy-Klone International. Åtkomstdatum: 17 april 2024. [Online]. Tillgänglig vid: <https://www.sy-klone.com/series-9000-patented-features.html>
- [11] J. Pohjanen, ”Teknologianalys förbränningsmotorer”, Umeå universitet, 2013. Åtkomstdatum: 22 februari 2024. [Online]. Tillgänglig vid: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:umu:diva-80269>
- [12] L. Geeks, ”Diesel Engine Air Intake Systems: Maximizing Performance and Efficiency”, Lambda Geeks. Åtkomstdatum: 22 februari 2024. [Online]. Tillgänglig vid: <https://lambdageeks.com/diesel-engine-air-intake-systems/>
- [13] S. Karthikayan, B. N. Raju, G. Sankaranarayanan, och M. Purushothaman, ”Study of air intake system of turbo charged diesel engines”, i *Frontiers in Automobile and Mechanical Engineering -2010*, nov. 2010, s. 175–178. doi: 10.1109/FAME.2010.5714827.
- [14] ”Så fungerar en intercooler: viktiga funktioner och symptom på fel”, Autodoc CLUB. Åtkomstdatum: 22 februari 2024. [Online]. Tillgänglig vid: <https://club.autodoc.se/magazin/sa-fungerar-en-intercooler-viktiga-funktioner-och-symptom-pa-fel>

- [15] "Vad är ROI, hur räknas det ut och hur kan det användas?", Börskollen. Åtkomstdatum: 04 mars 2024. [Online]. Tillgänglig vid: <https://www.borskollen.se/vad-ar-roi-hur-raknar-man-ut-och-anvander-roi>
- [16] "Volumetric efficiency of an internal combustion engine", x-engineer. Åtkomstdatum: 06 april 2024. [Online]. Tillgänglig vid: <https://x-engineer.org/calculate-volumetric-efficiency/>
- [17] J. B. Heywood, *Internal combustion engine fundamentals*. i McGraw-Hill series in mechanical engineering. New York: McGraw-Hill, 1988.
- [18] Maradyne med tillåtelse för användning av SveadieselAB, "Datablad föravskiljares restriktioner beroende på luftflöde".
- [19] T. Dziubak och M. Karczewski, "Experimental Study of the Effect of Air Filter Pressure Drop on Internal Combustion Engine Performance", *Energies*, vol. 15, nr 9, s. 3285, apr. 2022, doi: 10.3390/en15093285.
- [20] D. Akal och Í. Selvi, "Effects of clogged air filter on power, torque, fuel consumption and emissions of diesel engines in tractors", *Petroleum Science and Technology*, vol. 41, nr 24, s. 2419–2433, dec. 2023, doi: 10.1080/10916466.2023.2230248.
- [21] Maradyne med tillåtelse för användning av SveadieselAB, "Datablad föravskiljares separeringseffektivitet."
- [22] International organisation for standardization, "ISO5011:2020".

Bilagor

A: Intervjufrågor

1. Vilka typer av miljöer arbetar era maskiner i?
2. Vilka typer av maskiner har ni?
3. Vad använder ni för föravskiljare?
4. Vilka fördelar har ni märkt av att använda respektive föravskiljare? Motorfilter och bränsleförbrukning
5. Vilka nackdelar har ni märkt av att använda respektive föravskiljare?
6. Vilken teknik av föravskiljare föredrar ni och varför?
7. Vad är det som leder/triggar till att erbjuda ett filter (miljön)? Erbjuds era maskiner med förfiltrering som standard om inte, när föreslår ni föravskiljare? Är det fabriken eller kunden?
8. Har ni reflekterat över föravskiljarens roll på driftsekonomin?
9. Anonym fråga: Vid användning av oljebadavskiljare, hur hanteras serviceintervallet och vad görs med den oljan som byts när maskinen är ute på fält?
10. Hur många motorfilterbyten gör ni på XX maskinen som har en föravskiljare under ett år? Hur många drifttimmar?
11. Hur många filterbyten gjordes det på maskinen innan föravskiljare monterades? Hur många drifttimmar?
12. Vad kostar ett filterbyte?
13. Bankar man på filtret och sätter tillbaka?
14. Indikation igentäppt luftfilter, vid vilket undertryck indikerar det för byte?
15. Hur återställer man indikatorn?
16. Hur länge är en maskin stilla för filterbyte och vad blir kostnaden?
17. Varför vet ni inte varför ni monterar den.
18. Skulle ni vilja att vi tittar på någonting mer, är det något ni gärna skulle vilja ha mer information om?

B: Sammanfattning av ISO 5011:2020

- Föroreningarnas mängd vid testerna är $1\text{g}/\text{m}^3$ luft. Vid mindre filter kan mängden föroreningar vara $0,25\text{g}/\text{m}^3$ alternativt $0,5\text{g}/\text{m}^3$.
- Filtren som ska samla upp smutsen vägs.
- Samla in aktuell temperatur, lufttryck och luftfuktighet.
- Kontrollera testutrustning.
- Förbered aktuell mängd förorening.
- Starta luftflödet.
- Ställ in lufttrycket till korrekt flöde.
- Mängden föroreningar matas in i behållaren som sedan skickas rätt mängd förorening med luften.
- Vid olika tider mäts sedan luftflödet.
- Testet pågår specificerad tid till rätt tillstånd för mätningen är nådd.
- Samla in aktuell temperatur, lufttryck och luftfuktighet.
- När testet är färdigt samlas föroreningarna som inte nått genom föravskiljaren eller fastnat på vägen in. Föroreningarna vägs.
- Föroreningar som finns kvar i behållaren vägs.
- Föravskiljaren monteras bort och kontroll efter läckage utförs. Eventuella föroreningar kvar i föravskiljaren samlas upp
- Filtren som samlat upp föroreningarna vägs.

För detaljerad beskrivning av standard se ISO 5011:2020 [22]