

JÖNKÖPING UNIVERSITY
School of Engineering

Effektivisering av provkörning för handhållna produkter

HUVUDOMRÅDE: Maskinteknik, industriell ekonomi och produktionsledning

FÖRFATTARE: Rikard Månsson

HANDLEDARE: Jonas Bjarnehäll

JÖNKÖPING 2022 juni

Detta examensarbete är utfört vid Tekniska Högskolan i Jönköping inom maskinteknik.
Författaren svarar själv för framförda åsikter, slutsatser och resultat.

Examinator: Leif Svensson

Handledare: Jonas Bjarnehäll

Omfattning: 15 hp (grundnivå)

Datum: 2022-06-12

Postadress:
Box 1026
551 11 Jönköping

Besöksadress:
Gjuterigatan 5

Telefon:
036-10 10 00 (vx)

Abstract

This report describes a study that analyzes various factors that affect the combustion of a 2-stroke engine. This is done to find efficiency opportunities for test driving handheld products, because the testing is a bottleneck in Husqvarna's production. First, the first question is answered,

1. What is it that takes time in the testing and means that the tempo is a bottleneck?

Inspired by Six Sigma's system for developing improvement work, a feasibility study, a literature study, a study of the pace, interviews with operators and tests of the testing pace are performed. The results show that there are many moments in the pace but only two of their influential variations of the total test run time. The reason for these variations is examined to answer the second question in the report.

2. How can the test run time of a hand-held petrol-powered product be made more efficient so that the variations in time required are reduced?

To get answers to this, more tests were made, also these with the help of Six Sigma's analysis tool. The parameters that cannot be changed in the first place (fuel, humidity, and the possibility of building new equipment) are excluded from the tests. Finally, there are two proposed measures that are analyzed in. The first is to develop a new carburetor setting that entails a faster test run time and which is not so dependent on the fitter's competence and experience. The second proposed measure is to review the leakage value of the products. The tests done in the study show a good correlation between engine leakage value and how fast a gasoline-powered handheld product can be adjusted. A higher leakage value led to products that had unpredictable exhaust values and unstable idle that were difficult to adjust. They also required more adjustment on the carburetor than the products that had less leakage.

Sammanfattning

Denna rapport beskriver en studie som analyserar olika faktorer som påverkar en 2taktsmotors förbränning. Detta görs för att hitta effektiviseringsmöjligheter av provkörning för handhållna produkter, eftersom provkörningen är en flaskhals i Husqvarnas produktion. Först besvaras frågan,

1. Vad är det som tar tid i provkörningen och medför att tempot är en flaskhals?

Med inspiration av Sex Sigmas systematik för att utveckla ett förbättringsarbete, görs en förstudie, en litteraturstudie, en studie över tempot, intervjuer med operatörer och tester över provkörningstempot. Resultatet visar att det finns många moment i tempot men bara två av dem påverkar variationer av totala provkörningstiden. Orsaken till dessa variationer undersöks för att svara på frågeställning 2 i rapporten,

2. Hur kan provkörningstiden av en produkt effektiviseras så att variationerna i tidsåtgången minskar?

För att få fram svar på detta görs fler tester, även dessa med hjälp av Sex Sigmas analysverktyg. De parametrar som inte går att påverka i första hand (drivmedel, luftfuktighet och möjligheten att bygga ny utrustning) utesluts. Det blir slutligen två åtgärdsförslag som analysen resulterar i. Det första är att ta fram en ny förgasarinställning som medför en snabbare provkörningstid och som inte är så beroende av montörens kompetens och erfarenhet. Det andre åtgärdsförslaget handlar om att se över läckagevärdet på produkterna. Testerna som gjordes i studien påvisa en god korrelation mellan motorns täthet, läckagevärde, och snabbt en bensindriven handhållenprodukt går att justera in. Ett högre läckagevärde ledde till produkter som hade oförutsägbara avgasvärden och ostabil tomgång som var svår att justera in och krävde mer justering på förgasarens nålar.

Innehållsförteckning

1	Introduktion	5
1.1	PROBLEMBAKGRUND	5
1.2	PROBLEMBESKRIVNING	5
1.3	SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR	5
1.4	AVGRÄNSNINGAR	6
1.5	DISPOSITION	6
2	Teoretiskt ramverk	7
2.1	TVÅTAKTSMOTOR	7
2.2	FÖRGASARE	7
2.3	TIDSSTUDIER	7
2.4	FLASKHALS	7
2.5	SEX SIGMA	8
2.5.1	<i>Variation</i>	8
2.5.2	<i>Processer</i>	8
2.5.3	<i>Kroniska problem</i>	8
2.5.4	<i>Kundfokus</i>	8
2.5.5	<i>Resultat</i>	9
2.6	SEX SIGMA, PROCESS OCH VERKTYG	9
2.6.1	<i>DMAIC. Define–Measure–Analyze–Improve–Control</i>	9
2.6.2	<i>Ishikawadiagram</i>	10
2.6.3	<i>Duglighet</i>	10
2.7	AVGAS REGULATION	10
3	Metod	11
3.1	KOPPLING MELLAN METOD OCH FRÅGESTÄLLNING	11
3.2	FÖRSTUDIE	11
3.3	STUDIE ÖVER PROVKÖRNINGSTEMPOT	11
3.4	LITTERATURSTUDIE	11
3.5	INTERVJUER	11
3.6	TESTER	11
3.7	ANALYSMETOD FÖR RESULTAT	12
4	Nulägesbeskrivning	13
4.1	PROVKÖRNINGSTEMPOT.	13
4.1.1	<i>Provkörningscykel i provbox.</i>	13
4.2	MONTERINGSLINA	14
4.3	FÖRGASARE	14
4.4	MOTORN	14
4.5	TÄNDSYSTEM	14
4.6	BENSIN	14
4.7	VARMKÖRD MOTOR	14
4.8	INTERVJU MED OPERATÖR	14
4.9	VARIATION I PROVKÖRNINGSTID.	15
5	Mätning och Analys	17
5.1	TESTER PÅ VARMKÖRNING OCH PÅ FÖRGASARINSTÄLLNING	17
5.1.1	<i>Varmkörningsanalys TEST-1</i>	17
5.1.2	<i>Förgasarinställning, TEST-2,</i>	19
5.2	VAD ÄR DET SOM TAR TID I PROVKÖRNINGEN OCH MEDFÖR ATT DETTA TEMPO ÄR EN FLASKHALS?	20
5.3	HUR KAN EN PROVKÖRNING EFFEKTIVISERAS?	21
5.3.1	<i>Ishikawadiagram</i>	21
5.3.2	<i>Analys och test av fiskbensdiagrammet</i>	22
5.3.3	<i>Samanställning av testerna</i>	24
6	Åtgärdsförslag och diskussion	25

Innehållsförteckning

6.1	VAD ÄR DET SOM TAR TID I PROVKÖRNINGEN OCH MEDFÖR ATT DETTA TEMPO ÄR EN FLASKHALS?	25
6.2	HUR KAN PROVKÖRNINGSTIDEN AV EN PRODUKT EFFEKTIVISERAS SÅ ATT CYKELTID OCH VARIATIONER I CYKELTID PÅ TEMPOT MINSKAR?	25
6.2.1	<i>Åtgärdsförslag 1, Förgasarinställning.</i>	25
6.2.2	<i>Åtgärdsförslag 2, läckagevärdet på modell Y.</i>	26
6.3	DISKUSSION KRING VALIDITET OCH RELIABILITET I UNDERSÖKNINGEN	27
6.3.1	<i>Validitet och reliabilitet över läckaget påverkan på provkörningstid.</i>	27
6.3.2	<i>Validitet och reliabilitet över en ny förgasarinställning.</i>	27
7	Slutsatser	28
7.1	IMPLIKATIONER	28
7.1.1	<i>Kompetenskrav</i>	28
7.1.2	<i>Miljö</i>	28
7.1.3	<i>Arbetsmiljö</i>	28
7.1.4	<i>Kapacitet</i>	28
7.2	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	28
7.3	VIDARE ARBETE OCH FORSKNING	29
7.3.1	<i>Vidare arbete</i>	29
7.3.2	<i>Vidare forskning</i>	29
8	Referenser	30

1 Introduktion

1.1 Problembakgrund

Industrialiseringen genomgår sin 4:e industriella revolution, industri 4.0. Det är en digitalisering av fabriker för bland annat att få en högre effektivitet och bättre kontroll över produktionen. Det möjliggör att produktion kan flyttas tillbaka till västvärlden och tidigare flytt av produktion till andra länder, så kallad offshore och outsourcing, kan minska eftersom det blir mer lönsamt att ha produktionen kvar [11]. Husqvarna är ett av de företag som utvecklar sin produktion för att kunna förbli lönsamma, i Sverige. När det gäller produktionen strävar företaget efter att effektivisera bland annat minimera omställningar och ledtider.

På Husqvarna finns det flera monteringslinor som monterar ihop bensindrivna, handhållna produkter. Linorna är uppdelade i flera olika arbetsstationer, så kallade tempon. Varje tempo är balanserat efter en cykeltid, den tid det tar för arbetsstationen att göra alla arbetsmoment på produkten.

Det finns olika krav och regler på handhållna produkter. Ett krav är ett EU-krav på hur mycket avgaser en bensindriven handhållen produkt får släppa ut [4]. Det leder till att företagen måste justera in produkterna och göra funktionstester på dem innan försäljning.

Avgaserna påverkas av motorns förbränning som i sin tur påverkas av flera olika aspekter. Dessa är tändsystemets olika toleranser, förgasarnas inställning från leverantör, hur exakt motorn är monterad och hur tät motorn är mellan lager och tätningar. Utöver produktens delar är både lufttemperatur och bensinens kvalitet en faktor som påverkar produktens förbränning. För att justera in en motor behöver operatören höra hur motorn går, läsa av värden och ha tillräcklig kompetens för att veta hur mycket som ska justeras för att få produkten att gå enligt kundkrav. Alla dessa olika aspekter gör att arbetet med att justera en produkt är ett omfattande moment för operatören och för hela produktionen. De moment som utförs av en operatör är både tids- och kunskapskrävande.

1.2 Problembeskrivning

Funktionstesterna och justering av förgasarna görs i ett provkörningstempo i monteringslinorna. Tempot består av en maskin som kallas för provbox. Vissa tester görs automatiserat av provboxen och andra tester och arbetsmoment kräver en operatör.

Från början var boxarna väldigt enkelt utformade men genom åren har boxarnas process blivit alltmer komplex. Provboxarnas funktion har utökats och ser inte likadana ut som de gjorde för 20 år sedan. De har fått nya testfunktioner utifrån nya lagkrav. De har också tillkommit fler tester för att kontrollera vanliga fel som uppkommer vid montering för att säkerställa att inget felmonterats i något tidigare tempo. Detta är en anledning som lett till att provboxarna inte klarar av produkternas cykeltidsvariationer.

Problemet är att provkörningen av produkterna tar för lång tid och leder till att stationen med provkörning blir en flaskhals. Cykeltiderna varierar och leder till svårberäknade köer innan och efter provkörningen vilket även leder till att när väl bufferten fyllts upp är det svårt att hinna jobba ned buffertkön igen. Det är ett tempo som har hög cykeltid och stora cykeltidsvariationer som leder till en kapacitetsbrist på samtliga linor i Husqvarna. Detta medför att linorna inte får ut de antalet produkter de borde få under ett skift och varje sekund som provkörningen kan effektiviseras värderas högt.

Husqvarna behöver alltså nå en effektivare provkörning med de stationer som finns idag då det råder platsbrist och att öka kapaciteten med fler stationer kostar för mycket.

1.3 Syfte och frågeställningar

Provkörning av en handhållen produkt är ett tidskrävande och komplext moment som är en flaskhals i produktionen. Att se över testförfarandet som görs i provboxarna och hitta en lösningsmängd över hur provkörningen kan effektiviseras behövs.

Studiens syfte är att se över möjligheten för att öka kapaciteten och effektiviteten i provkörningsförfarandet, genom att reducera cykeltiden på en produkts provkörning och minska cykeltidens variationer.

Därmed är studiens frågeställningar:

1. Vad är det som tar tid i provkörningen och medför att detta tempo är en flaskhals?
2. Hur kan provkörningstiden av en produkt effektiviseras så att cykeltid och variationer i cykeltid i tempot minskar?

1.4 Avgränsningar

Studien kommer inte se över vad ytterligare provboxar och stationer kan bidra med i kostnadssparning eftersom detta inte får plats i fabriken. Studien kommer att avgränsas till att bara göra tester och analyser på 2 produktfamiljer som här i rapporten benämns som modell Y och modell X. Produkterna monteras på en lina eftersom ena av dessa 2 produktfamiljer har en genomsnittlig cykeltid som är över önskade cykeltiden.

Eftersom alla monteringslinor ser annorlunda ut beroende på vilka produkter som monteras där ser även provboxarna annorlunda ut. Detta medför att denna studie inte avser en effektivisering av operatörernas arbete med lastning och lossning av produkter i provkörningstempot då detta är olika förfarande på varje lina.

Denna studie omfattar inte heller effektivisering av de automatstyrda funktionerna i provboxarna då arbetet är avgränsat till att se över vad som går att göra för att minska cykeltiden i tempot över lag på alla linor. Eftersom det finns olika automatstyrda funktioner i provboxarna beroende på vilka produkter som testas i provboxen.

Testresultat och ingående beskrivningar av testförfarandet har utelämnats ifrån denna rapport för att inte skada företaget och sprida deras lösningar på problem.

1.5 Disposition

Rapporten är uppbyggd med en logisk struktur. Kapitel 2 beskriver de teorier som ligger till grund för studien, dess analys och slutsats. I kapitel 3 beskrivs vilka metoder som används och hur teorierna kopplas mot frågeställningarna för att kunna analysera resultaten och diskutera fram åtgärdsförslag. Även vilka arbetssätt som användes för att göra detta lyfts fram. Kapitel 4 är en nulägesbeskrivning för att ge en bakgrund om nuläget och för att skapa en grund till analysen som sker i kapitel 5. Kapitel 6 är ett kapitel som används till diskussion och åtgärdsförslag, för att skapa reliabilitet och validitet och lyfta fram åtgärdsförslag på problemen som analyserats i analyskapitlet. Efter åtgärdsförslag och diskussioner nämns tas studien upp till en större aspekt och tar upp studiens implikationer, slutsatser och rekommendationer. Rapporten avslutas med förslag på vidare arbete och forskning.

2 Teoretiskt ramverk

För att besvara rapportens två frågeställningar och för att planera och genomföra studien behövs ett teoretiskt ramverk. I detta kapitel beskrivs de teorier som ligger till grund för studien.

2.1 Tvåtaktsmotor

En tvåtaktsmotor är väldigt krafteffektiv och varvvänlig vilket gör det till en effektiv motor för handhållna bensindrivna produkter [1].

Tvåtaktsmotor går runt på 2 takter och ett helt varv på vevaxeln. Kolven rör sig upp och kolven rör sig ned i en hel cykel. När kolven rör sig uppåt komprimeras bränsleluftblandningen av kolven i cylinderhuset och skapar ett undertryck i vevhuset. Undertrycket leder till att det sugas bränsleblandadluft in i vevhuset från förgasaren. När kolven når toppläget och komprimerat bränsleblandade luften tändes tändstiftet till bränsleblandningen [2].

Explosionen medför att kolven trycks ned och motorn går in i andra takten. Explosionen skapar ett tryck som gör att avgaserna och luften ifrån cylinderhuset transporteras via utloppet [2].

Samtidigt som avgaserna går ut ur cylindern går kolven ned och öppnar upp inloppet som medför att cylindern fylls upp med den bränsleblandade luften som förflyttas ifrån vevhuset. När bränsleblandningen förflyttas ifrån vevhuset till cylinderinloppet sugas ny bränsleblandadluft in i vevhuset ifrån förgasaren [2].

Motorerna har en funktion som kallas för varvstopp som medför att när produkten varvar över ett satt varvtal bryts kontakten till tändstiftet som medför att produkterna inte antänder på ett varvtal över det satta värdet [1].

2.2 Förgasare

Förgasarens funktion är att ge motorn en bränsleblandad-luft. Det undertryck som kolven skapar medför ett undertryck i förgasaren som drar igenom luft från luftfiltret igenom förgasaren in i vevhuset på motorn. Denna luft går förbi ett venturirör inne i förgasaren. Ett venturirör är ett rör som har en mindre diameter i mitten. Detta medför att hastigheten kommer öka enligt kontinuitetsekvationen och trycket kommer minska i enlighet med Bernoullis ekvation. I avsmalnade delen av röret sitter nålar i en förgasare. Dessa nålar släpper in bränsle i luften som skapar en bränsleluftblandning som sedan går in i motorn [1].

Förgasaren har även en liten behållare likt en bensintank som styrs med gummimembran som hjälper till att få ut bensinen genom nålarna [2].

En förgasare har 2-nålar och en trottelskruv som går att justera. Trottelskruv justerar spjället i förgasaren till att vara mer öppet eller stängt på tomgång, detta styr tomgångsvarvtalet. Nålarna styr hur mycket bensin som blandas med luften i venturiröret. H-nålen är för högvarv och justerar mängden bensin vid höga varvtal och L-nålen justerar mängden bensin vid tomgång och låga varvtal.

2.3 Tidsstudier

Direktanalys av ett arbete kan göras genom att studera det och använda ett stoppur. Det kan göras vid synligt och repetitivt arbete för att kunna ta ut och fastställa en styck tid för en speciell operation. Genom att använda sig av en risknivå, konfidensgrad, standardavvikelse och förväntat värde för tidsstudie objektet kan man få fram hur många observationer. Detta antal observationer ger då ett konfidentiellt utfall utifrån de värden som användes [5].

$$N = ((k/r)(\sigma/\text{medel } t))^2 [5].$$

2.4 Flaskhals

Om en process i arbetskedjan har en lägre takt än värdekedjan i sig begränsar oftast denna maskin kapaciteten i produktionssystemet. Eftersom flaskhalsar begränsar andra maskiners

kapacitet, bör materialet eller produkterna denna process bearbetar vara kvalitetskontrollerat. Att lägga arbetskraft och tid på att bearbeta icke kvalitetskontrollerat material, är ett onödigt slöseri [5].

En flaskhals leder antingen till blockering eller svält. Blockering menas att föregående tempo måste vänta på flaskhalsen att bli färdig för att kunna börja producera nästa produkt. Svält menas med att tempot måste vänta på produkter ifrån flaskhalsen [5].

Eliminering av flaskhals görs genom att öka flödet och kapaciteten, då definitionen av flaskhals är att det begränsar flödet. Detta leder till att hela systemets kapacitet ökar så att fler enheter kan tillverkas och tillverkningskostnaden per enhet sjunker [5].

2.5 Sex Sigma

Konceptet Sex Sigma handlar om att kontinuerligt förbättra verksamhetsprocesser och produkter. Det bygger på ett faktabaserat analytiskt och systematiskt problemlösningsförfarande. Erfarenheter tyder på att när verkningsfulla analysmetoder och fakta används för en analys skapas ny kunskap, lösningar och genombrott som inte hade uppnåtts med traditionella verktyg [3].

Det kan användas som grund till en infrastruktur över hur förbättringsarbete bör ske med tydliga roller. Berörda individer ges omfattande kompetens gällande både enkel och avancerad problemlösningsmetodik. En systematisk modell bestående av fem faser (Definiera-Mäta-Analysera-Förbättra-Styra) utgör basen för de förbättringsprojekt som drivs. Sex Sigma kännetecknas dessutom av ett mycket starkt och engagerat ledarskap. Men Sex Sigma används också som en värdefull inspirationskälla när det gäller strukturer, metoder och verktyg i förbättringsarbete [3].

Grunderna för detta koncept bygger på fem fokuserade områden.

2.5.1 Variation

Aktiviteter i en verksamhet är sällan identiska vid varje tillfälle de utförs, detta leder till brister och problem. Hade alla aktiviteter varit identiska hade det medfört att det inte hade funnits variationer, saker och ting hade blivit exakt som avsett och kvalitetsarbetet hade varit enkelt. Sex Sigma jobbet inom variationer handlar om att bestämma, förstå och reducera variationer i processer. Variationerna används för att definiera processens duglighet, vilken definieras som förhållandet mellan processens toleransvidd och dess spridning med hjälp av standardavvikelsen [3].

2.5.2 Processer

Sex Sigma har fokus på processen eftersom det är processen som knyter samman arbetsmomenten och aktiviteter. För att utveckla verksamheten måste processerna ses över. Processer bör därför identifieras, kartläggas och analyseras för att skapa förutsättning för ett förbättringsarbete som gör genombrott och är framgångsrikt. För att effektivt kunna eliminera grundorsaker till problem bör processen studeras och förbättras genom ett tvärfunktionellt perspektiv. Uppföljning av förbättringsarbetet och resultatet har en stark processkoppling [3].

2.5.3 Kroniska problem

Det finns både akuta och kroniska problem. Akuta problem, det är även kallat för sporadiska problem som uppstår i processer dagligen och är avvikelser i dagliga arbetet som avviker accepterade problemlivån. Kroniska problem är däremot problem som är svåra att identifiera eftersom det är problem som inte sticker ut på samma sätt. Kroniska problemen medför att företaget inte uppnår fullständig kapacitet eftersom det är en del av vardagen som ingen handskas med. För att eliminera dessa accepterade problem krävs sofistikerade analysmetoder både för att identifiera och lösa dem [3].

2.5.4 Kundfokus

Centralt i arbetet med Sex Sigma är att möta kundens behov och förväntningar. Genom att tydliggöra "kundens röst" väljs ofta projekt ut för att öka kundtillfredsställelsen [3].

2.5.5 Resultat

Resultatfokus är avgörande för ett bra framgångsrikt Sex Sigma-arbete. Det resultat som uppnås ska vara validerade lätta att synliggöra och därmed väldokumenterade [3].

2.6 Sex Sigma, process och verktyg

2.6.1 DMAIC. Define–Measure–Analyze–Improve–Control

DMAIC är ett verktyg som används som en problemlösningsmodell. På svenska översätts den till, definiera, mäta, analysera, förbättra, styra.

De fem stegen i modellen bygger på att för att först definiera vad problemet som ska lösas egentligen är. Detta för att kunna mäta och hämta in data som påverkar problemet och analysera data. Detta för att genom en analys av data kan problemets bakgrund identifieras och lämpliga åtgärder tas fram och förbättring genomförs. Efteråt kontrolleras att lösningen förblir effektiv genom uppföljningsmetodik [3].

2.6.1.1 Definiera

Att börja med en definition och få en förståelse för problemet som ska lösas krävs för att få bra lösningsförslag och en enklare väg till lösningsförslagen. Det som menas är att en problemformulering ska tas fram över problemet. Följt av ska projektarbetet planeras utifrån en tydlig beskrivning av projektets syfte, mål, nödvändiga resurser och tänkbara risker. Detta så att projektet följer en struktur och har information om vad som krävs och vad som behövs för att sedan kunna gå vidare med att lösa problemet [3].

2.6.1.2 Mäta

För att fortsätta ett effektivt och framgångsrikt arbete måste det baseras på fakta. Fakta kan vara både kvalitativ och kvantitativ. För att kunna börja mäta data måste informationsbehovet bestämmas eftersom mängden data och vilken data som krävs skiljer från problem till problem. För att analysera det definierade problemet behöver viktiga mått identifieras. Datainsamling har många olika tillvägagångsätt och metoden bör fastställas utifrån vad för förbättringsarbete som ska genomföras. I samband med planering och utförandet av mätningen definieras nuläget och fastställande av krav ska göras så att det är tydligt med hur nuläget är kontra kraven som finns när mätningarna gjorts [3].

2.6.1.3 Analysera

Efter mätning och insamling av data kan förståelse uppnås. Datamaterialet analyseras för att identifiera vad problemets orsakssamband är. Det finns flera metoder inom Sex Sigma på hur detta kan genomföras men eftersom alla problem är olika finns det inget som funkar till allt.

Utifrån mätningarna bör en analys av variationerna genomföras för att se över dugligheten i processen och processens stabilitet. Det finns ofta orsaker till att det finns variationer. Genom att gå igenom tänkbara orsaker kan variationer elimineras. Ishikawadiagram är ett sätt att bringa klarhet och få en struktur över problemets orsaker [6].

Av analysen fås det fram hypoteser om problem som bidrar till problemet som förbättringsarbetet görs på. Av dessa orsaker ska de viktigaste väljas ut eller de som är mest troliga för fortsatt analys [3].

2.6.1.4 Förbättra

Förbättringsarbetet görs genom att identifiera möjliga lösningar på det som orsakar problemet. De olika lösningsalternativen bör utvärderas och jämföras för att ta fram de lösningar som blir den bästa lösningen. Det viktiga är att testa lösningen som togs fram ordentligt och utvärdera. Se över om lösningen ger det önskade resultatet. Är det stora ändringar bör en riskanalys göras på förbättringsförslaget så att det inte uppkommer större problem än det som försöks lösas. Om förbättringen har utvärderats och förslaget inte bidrar med problem utifrån riskanalysen så ska planeringen av genomförandet göras [3].

2.6.1.5 Styra

När ett systematiskt, framgångsrikt arbetssätt används är det även viktigt att säkerställa att det resultat som fås kvarstår. Det är viktigt att införa detta som en ny standard och standardisera arbetssättet och metoden så det inte återgår till det gamla vanliga tillvägagångssättet. En slutlig uppföljning med verifiering av det uppnådda resultatet ska ske efter ett tag för att det tydligt ska följas upp fungerande lösningar och inte bara teoretiska antagande som gjorts fram till förbättringssteget. Genom en slutrapport som redogör projektets syfte kan det föras vidare så en förståelse bakom förändringarna sprids i verksamheten och ge kunskap till framtida förbättringsarbeten [3].

2.6.2 Ishikawadiagram

Ishikawadiagram, orsak/verkan-diagram eller Fiskbensdiagram har många olika namn. Det används för att identifiera, utforska och grafiskt visa de orsaker som är tänkbara utifrån den samlade kunskap som finns om problemet. Det skapar en ögonblicksbild som medför att teamet som jobbar med problemet kan rikta in sig på problemets innehåll och bortse från deras personliga intressen [6].

2.6.3 Duglighet

När en process är i statisk jämvikt kan processen med god approximation beskrivas med en normalfördelning. Detta medför att dugligheten av en process att producera enheter bestäms då av genomsnittsvärde, väntevärde, och spridning, standardavvikelse, samt den undre och övre toleransgränsen. Övre toleransgränsen kallas för USL och undre för LSL efter engelskans upper specification limit och lower specification limit. Processens möjlighet att producera mellan dessa toleransgränser är dess duglighetsindex [7].

2.7 Avgas regulation

I EU finns det avgaskrav på samtliga produkter som säljs och inte minst handhållna bensindrivna produkter. Dessa krav beskriver vilka utsläpp en produkt får ha utifrån motorns volym på cylindern [4]. Se tabell 2.1.

Tabell 2.1, Avgaskrav för handhållna bensenprodukter [4]

	< 20 cc	20-50 cc	> 50 cc
CO g/kWh	805	805	603
HC+NO _x g/kWh	50	50	72

3 Metod

3.1 Koppling mellan metod och frågeställning

Genomgående denna rapport används Edward Demings DMAIC metod som innefattas som en Sex Sigma metod för, för att systematiskt gå igenom förbättringen på problemet [9].

För att få svar på rapportens första frågeställning, *Vad är det som tar tid i provkörningen och medför att detta tempo är en flaskhals?* Görs en förstudie, litteraturstudie, studie över tempot, intervjuer och några tester över provkörningstempot.

För att få svar på rapportens andre frågeställningen, *Hur kan provkörningstiden av en produkt effektiviseras så att cykeltid och variationer i cykeltid på tempot minskar?* Görs det tester, utifrån vad som togs fram ifrån första frågeställningen. Dessa tester analyseras med hjälp av Sex Sigma.

3.2 Förstudie

Arbetet startade med en förstudie för att få fram förutsättningarna för studien och tillfälle gavs att praktisera i provkörningstempot. Detta gjordes för att få fram förutsättningarna för studien. Det innebar besök i produktionen och fick även praktisera i provkörningstempot. Observationer genomfördes för att kunna kartlägga hela tempot och kunna planera vad som saknas för att genomföra denna studie och svara på. Det togs även fram vilken data som fanns på provkörningstempot och hur man gick till väga. Enligt Sex Sigma är förstudien viktig för att ge förutsättningar för att problemlösandet ska bli enklare och lösningsförslagen ska bli bättre. Detta ingår i Fas 1 i DMAIC [3].

3.3 Studie över Provkörningstempot

En studie över provkörningstempot gjordes för att verkligen tränga sig in i det aktuella problemet, detta för att kunna kartlägga vad tempot innefattade och arbetsmomenten i tempot. Data ifrån provkörning togs fram, testfunktioner i provboxen kartlades och det användes tidsstudie för att ta reda på tiderna provboxen tog för de olika delmomenten. Detta för att kunna kartlägga och tidsätta hela arbetsmomentet

3.4 Litteraturstudie

Litteraturstudien är grunden för teorin i arbetet och bidrog till att få en så bra och effektiv studie som möjligt. Innan arbetet började togs relevanta teorier fram så att när studien började fanns det en utgångspunkt. Teorierna är blandade utifrån kurslitteratur, tryckt format och digitalt format som söktes upp via bibliotek, kurslitteratur och Jönköping Universitys sökmotor.

3.5 Intervjuer

Under arbetsstudierna genomfördes semistrukturerade intervjuer med operatörerna för att få en insikt hur de uppfattade problemen och hur nuläget är. En och samma fråga ställdes till alla operatörerna och därefter kunde olika följdfrågor ställas beroende på vad operatören svarade. Detta för att personalen inte skulle känna sig pressade och bli stressade av samtalet [10]. Dessa samtal gjordes undertiden operatörerna arbetade i arbetsmomentet så att de kunde visa och förklara vad dem mena med deras svar. En ifrån varje skift intervjuades för att få alla skiftens uppfattning om "hur produkterna skiljer sig åt att justera och vad det svåra är med dem".

3.6 Tester

Först när en god förståelse finns över problemet kan det börja mätas på problemet för att få fram måtet, Fas 2 i DMAIC [3]. Detta gjordes genom tester på produkter som efterliknade provkörningstempot för att skapa en förståelse över hur en produkt arbetar över tid och över hur produkterna beter sig. I dessa tester monterades produkterna upp i en bromsbänk med olika mätinstrument för att efterlikna provboxarna. Hur testerna utfördes beskrivs inför testresultatet senare i rapporten utifrån vilka tester som gjordes.

3.7 Analyismetod för resultat

Som analysmetod användes Sex Sigma egna analysmetoder. Duglighetsanalys användes för att undersöka processen. Fiskbensdiagram användes sedan för att ta fram vilka faktorer som kan påverka den data som togs fram i nulägesanalysen. För att sedan systematiskt kunna analysera deras olika påverkan på processen. De olika faktorerna testades genom att ändra på faktorerna och lämna produkten till operatörerna i produktion för att hanteras som vilken produkt som helst.

Programmet Minitab användes för samtliga uträkningar eftersom Sex Sigma analysmetoder kan tas fram via detta program [5].

4 Nulägesbeskrivning

4.1 Provkörningstempot.

Provkörningstempot går till på så sätt att operatören hämtar en produkt från bufferten efter tempot innan, placerar produkten i en provbox och provkör sedan produkten. När produkten har gått igenom testcykeln tar montören ut produkten och lämnar till nästa tempo.

Provkörningstempot ser olika ut beroende på vilken lina och vilka produkter som monteras där. Varje lina har olika antal operatörer då det beror på hur många provboxar som står på linan. Det finns ingen generalisering över arbetsmomentet eftersom alla linor ser olika ut och de producerar inte samma mängd produkter.

4.1.1 Provkörningscykel i provbox.

En provkörningscykel genomförs av en operatör. Operatören monterar fast produkten och ger info till provboxen om vilken produkt som körs. Detta för att provkörningsboxen ska veta vilken produkt som ska testas och vilka parametrar produkten ska justeras efter. Operatören trycker på start på provboxen för att starta provkörningssekvensen på handhållna produkten. När produkten startat varmkörs motorn i ett antal sekunder, beroende på modell. Efter varmkörningstiden när produkten uppnått sin arbetstemperatur ska produkten justeras rätt för att få ett bra CO/CO₂ värde. Detta görs genom att operatören justerar H-nålen på förgasaren. H-nålen justerar hur mycket bränsle som används vid högvarv. Operatören försöker få avgasvärdet att hålla sig mellan 2 givna värden. När produkten varit stabil mellan dessa parametrar går provkörningsprogrammet vidare till nästa steg. Varmkörningen och justeringen görs när produkten har fullgas, men bromsas ned till ett specifikt varvtal av externa krafter för att inte gå på varvstopp.

Nästa steg i processen är tomgångsinställningen och den ställs efter 2 värden, bränsleförbrukning och varvtal. Operatören justerar då L-nålen för förbrukning och T skruven för varvtalet. Dessa 2 värden ska också vara stabila inom givna parametrar. När tomgången är godkänd görs några till tester av produktens funktioner innan den är färdig att plockas ut ur provboxen.

I provkörningsmomentet finns det fasta tider som inte går att ändra på. En del av tiderna är testtider såsom test av gasspär som görs mekaniskt och inte går att göra snabbare utan ombyggnad av provbox. Sedan är det stabiliseringstiderna som nämns ovan.

I tabell 4.1 ses tiderna över provkörningen på de 2 modeller som valts ut för analys som även körs på samma lina. Denna lina har flera provkörningsstationer och ska hålla en cykeltid, C/T, per provkörning på 240sec. Dessa tider är ett medelvärde på alla produkter som producerades år 2021. Totala "Provkörningstid i provbox" består av all tid de är i provboxen från start till stopp.

Tabell 4.1, medelvärde på tider ifrån 2021.

Justeringsstider i provbox:	MODELL X	MODELL Y
Varmkörningstid, sekunder	140	140
CO/CO ₂ inställning, sekunder	12	22
Tomgångsinställning, sekunder	30	44
Provkörningstid i provbox, sekunder	220	244

Operatörerna som provkör modell Y och modell X hanterar flera provboxar var. Eftersom det tar 10 sekunder för produkten att stabiliseras och ytterligare någon sekund för att bli godkänd när den är rätt inställd har operatörerna möjligheten att justera flera produkter och sedan återgå att justera ena produkten igen. Eller plocka ur en produkt och montera i en ny i ena provboxen i väntan på att se om de andra produkterna som körs samtidigt behöver justeras.

Under provkörningstempot tänds en grön lampa. Lampan lyser när produkten är redo att justeras för att justeras in inom sina parametrar.

4.2 Monteringslina

Husqvarna använder sig av ett palettsystem för att effektivt montera ihop produkterna. Eftersom paletterna inte används vid provkörning monteras produkten av paletten och ställs i ett buffertsystem innan provboxarna. Detta buffertsystem är dimensionerat utifrån takttiden och variationerna på produkterna i provkörningen. Skulle det dock ta längre tid eftersom variationen är svårberäknad och har en stor spridning eller det bli stopp i provkörningen finns möjligheten att ställa produkterna på golvet bredvid när buffertkön blir full.

4.3 Förgasare

Husqvarna tar fram en leveransinställning de vill ha sina förgasare levererade som. Detta fås fram genom att ta och ställa in en fullt fungerande produkt till så effektiv inställning som möjligt. När produkten är rätt justerad tas förgasaren av för att mäta upp hur förgasaren är inställd för att sättas som nya leverantörsinställningen.

4.4 Motorn

Motorblocken monteras ihop i en annan lina. Efter monteringen av motorblocket testas det med en provtryckning för att godkännas eller inte godkännas. Denna provtryckning kontrollerar läckaget i vevhuset genom att sätta ett vakuum och mäter hur mycket kubikmillimeter vevhuset läcker per sekund och ger värden mellan 0–2000 mm³/s.

4.5 Tändsystem

Tändsystemet som används i Husqvarna produkter produceras inte på plats. Det görs inga tester på tändsystemen utan utgår endast på att de produkter som levereras fungerar enligt kravspecifikation och håller leverantörens toleranser. Monteringen av tändsystemet kontrolleras noggrant så att distansen är rätt för effektiv antändning.

4.6 Bensin

Till provkörning används Husqvarnas egen Alkylatbensin. Husqvarna blandar sin egen 2-takts bensin för att användas i monteringen.

4.7 Varmkörd motor

Avgaskraven som finns i EU avser hur mycket avgasutsläpp en motor får ha. Detta avser då en motor under drift vilket då är en varmkörd motor. En varmkörd motor har en stabil förbränning då temperaturen i produktens delar håller samma temperatur medan en kallstartad motor ökar temperatur tills den uppnå arbetstemperatur. Detta leder till att under varmkörning ändras värdena och hur tomgångsinställningen ska vara för att ha en fin och jämn tomgång [2].

4.8 Intervju med operatör

Den semistrukturerade intervjun med operatörerna gav info om hur produkterna var att justera i provkörningen. Operatörerna tyckte att det var stor skillnad att provköra modell X och modell Y.

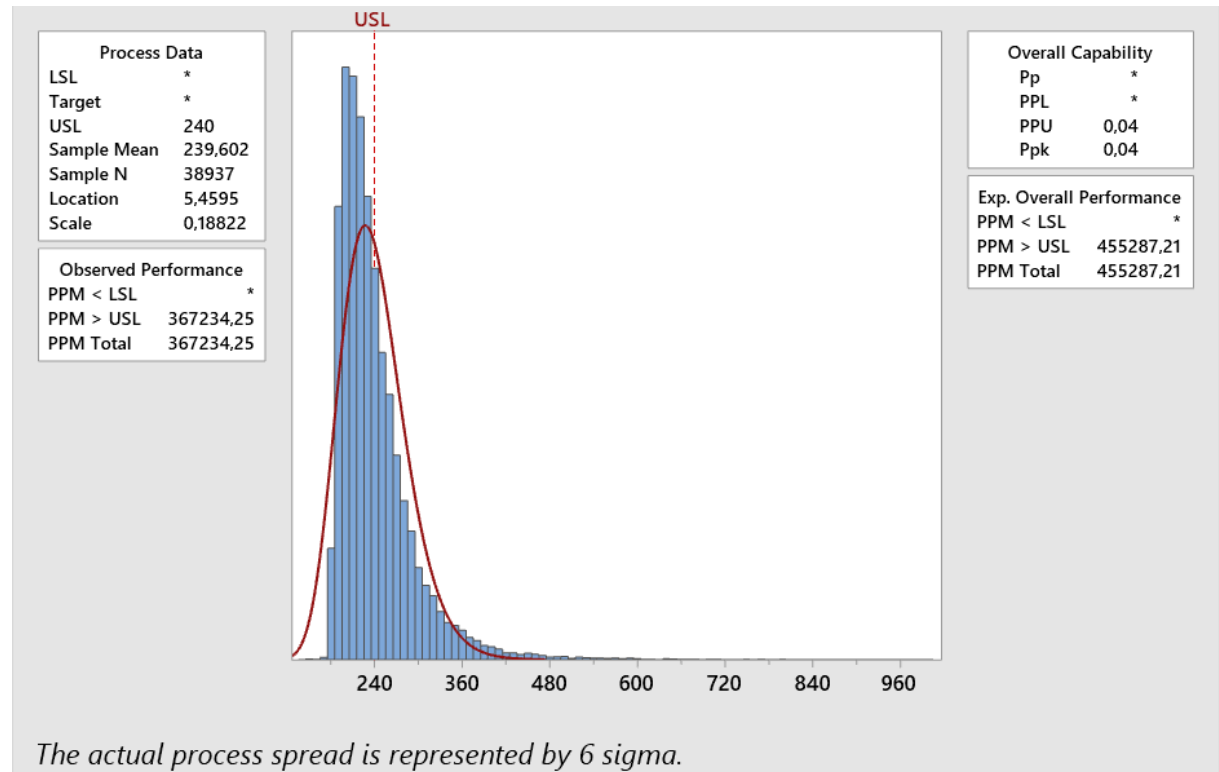
Det problem som finns med modell X är att de inte går på tomgång utan justering så det är som rutin att justera tomgångsskruven det första dem gör när dem ställer in produkten i provboxen.

Modell Y går på tomgång men trots det är dessa mindre uppskattade produkter. Fyra av fyra operatörer menar att modell Y är ”oberäkneliga och man vet aldrig hur de kommer bete sig efter en justering.

4.9 Variation i provkörningstid.

Data från senaste månadernas provkörningar togs fram och räknades på i en duglighetsanalys med hjälp av Minitab [5]. Figur 4.1 och 4.2 diagrammen som togs fram är positivt skeva och har bara en topp var [6].

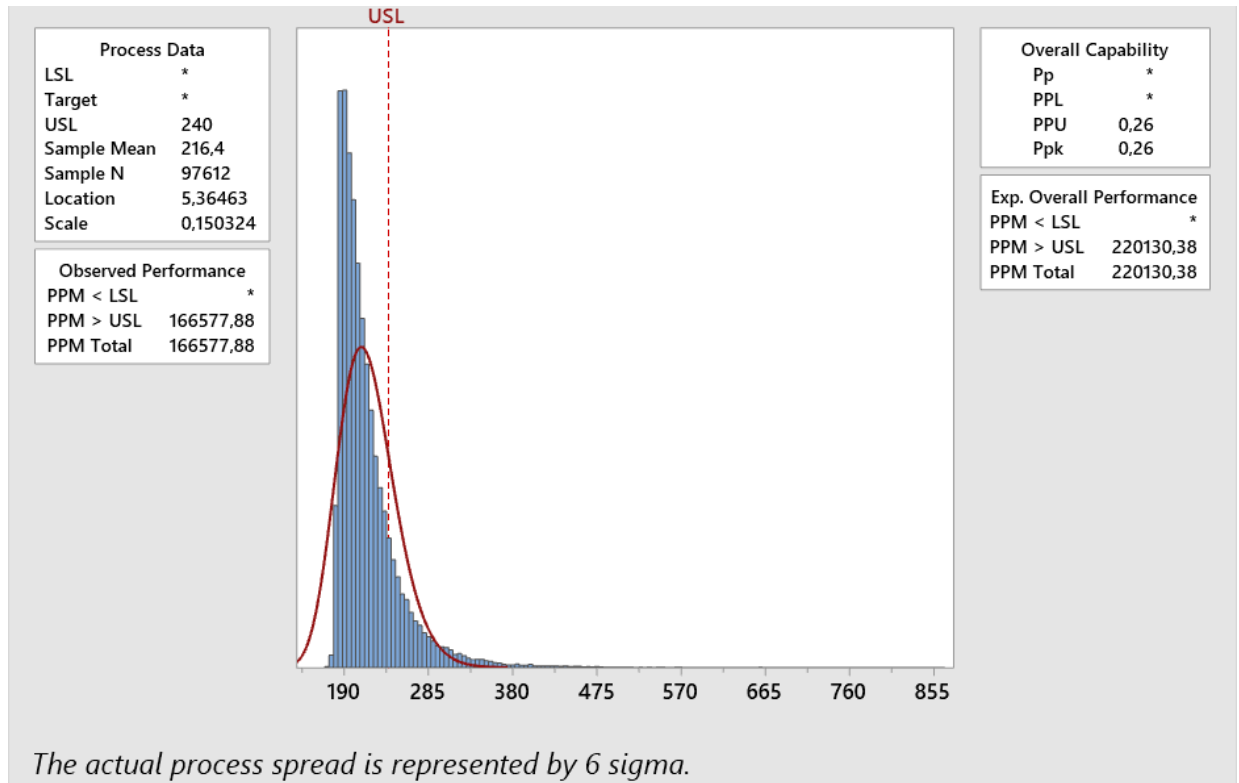
Figur 4.1 visar att 36,7% av produkterna är ovanför USL när USL är satt till 240sec som är önskade cykeltiden. Alltså 36,7% av 38 937 modell Y produkter tog längre tid än önskade cykeltiden.



Figur 4.1, Totalprovkörningstid modell Y

Figur 4.2 visar att 16,6% av produkterna är ovanför USL när USL är satt till 240sec som är önskade cykeltiden. Alltså 16,6% av 97 612 modell X produkter tog längre tid än önskade cykeltiden.

Nulägesbeskrivning



Figur 4.2, Totalprovkörningstid modell X

5 Mätning och Analys

Analysen har inspirerats av Six Sigmas process och använder sig av DMAIC. fas 3, mäta, och Fas4, Analysera [3], [6]. Provboxarna består av elektriska och pneumatiska komponenter som gör automatiska tester på produkterna. Dessa tester tar endast några sekunder att genomföra för maskinen och vissa tester görs under tiden som produkten varmkörs. Att lägga kostnader på nya komponenter i provboxarna är inte relevant att undersöka i denna rapport utan det som analyseras är att i ett första steg se om det finns andra effektiviseringsvägar att gå som inte har någon kostnad. Detta medför att tester har gjorts på produkterna för att analysera tiderna som är produktrelaterade, såsom varmkörning och justeringstider. Det är dessutom justeringstiderna som har variationer.

5.1 Tester på varmkörning och på förgasarinställning

För att få en förståelse hur produkterna beter sig och hur mycket som justeras på produkterna görs 2 tester.

I Test-1 och Test-2 hängs produkten upp i en provkörningsfixtur och det monteras på en broms som bromsar ned produkten till 150rpm. Detta för att man ska kunna ha fullt gasutslag på produkten och kunna bromsa ned till ett givet varvtal så att produkten inte går på varvstopp. När en produkt går på varvstopp antänder inte produkten i varje cykel vilket medför konstiga avgasvärden, därav bromsas produkten i stället ned till samma varvtal som produkterna bromsas ned till i provboxen.

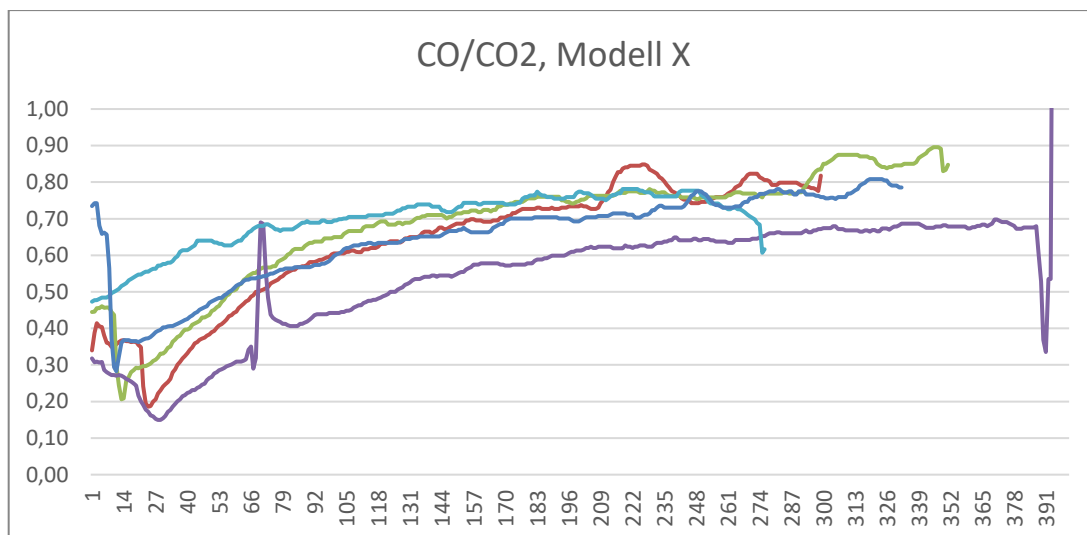
5.1.1 Varmkörningsanalys TEST-1

Test-1 är ett test för att undersöka hur 2 produktmodeller, modell Y och modell X beter sig under varmkörning, för att se varför varmkörningstiden är satt på 140sec. Detta test utfördes genom att varmköra produkter som dem körs i provbox. Produkten startas, gasas fullt och bromsas ned som beskrivet. Tiden startar när produkten startar och det som grafen visar är hur förgasarens och motorns temperatur sakta uppnår arbetstemperatur. Dessa tester är gjorda på produkter som plockats direkt ifrån linan innan provkörningstempot för att analysera värdena likt provkörningstempot.

I graferna, figur 5.1 och 5.2 presenteras hur CO/CO₂ kurvan utvecklas utifrån hur långtid produkten varmkörs.

5.1.1.1 Modell X

Testen visar att modell X håller en hög korrelation mellan de olika produkterna som provkördes, mellan 0,67 och 0,85. Modell X ger uppfattningen att bete sig stabilt och håller sig stabila nog för att vara godkända redan efter cirka 90 sekunders varmkörning. Ytterligare så blir produkten ännu mer stabil efter 140 sekunder som kan ses i grafen, se figur 5.1.



Figur 5.1, avgasvärdets förändring under varmkörning för flera produkter.

Tabell 5.1, korrelation mellan graferna i Figur 5.1.

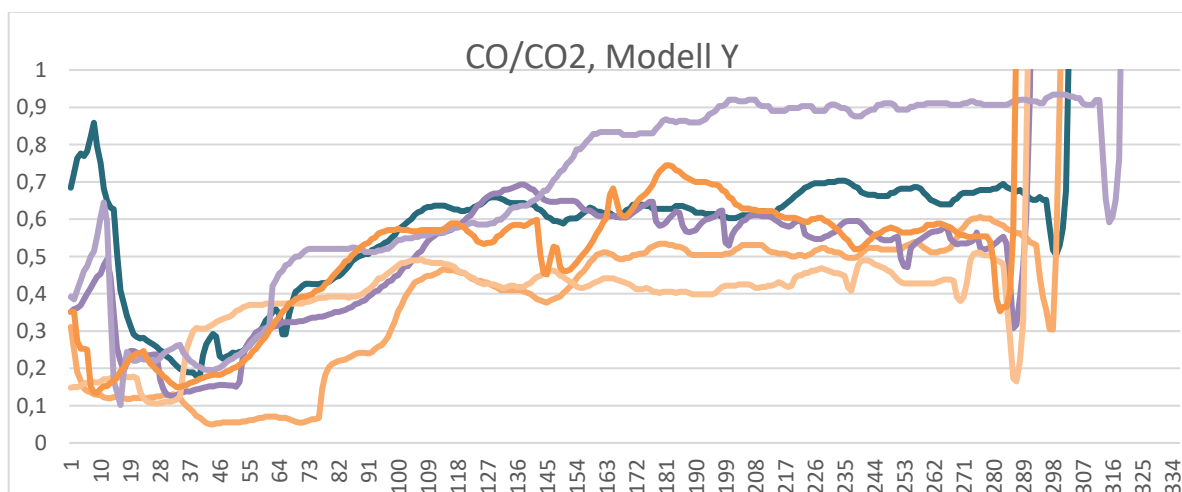
	1	2	3	4	5
2	0,963				
3	0,965	0,946			
4	0,877	0,909	0,861		
5	0,910	0,928	0,908	0,761	
6	0,934	0,953	0,921	0,901	0,922

5.1.1.2 Modell Y

Modell Y testerna i figur 5.2 visar att de inte håller samma korrelation mot varandra som modell X gör. De fluktuerar mer och vissa produkter börjar minska i CO/CO₂ värde och vissa börjar öka även efter de är varmkörda på 140sec. Dessa produkter har även ett spann mellan 0,4 – 0,9 i värdet.

Figur 2 visar att det är en stor spridning av utfall i modell Y som ger en uppfattning att dessa är mer oförutsägbara än modell X som visas i Figur 1 ovan. Detta styrker det operatörerna menar med att Modell Y är "oberäkneliga".

Att CO/CO₂ värdet är ostabilt kan vara en grund till att de tar längre tid till att justera eftersom operatörerna har svårt att avgöra om H-nålen ska justeras in eller ut.



Figur 5.2, avgasvärdets förändring under varmkörning för flera produkter.

Tabell 5.2, korrelation mellan graferna i Figur 5.2

	1	2	3	4	5	6
2	0,424					
3	0,590	0,787				
4	0,631	0,856	0,880			
5	0,585	0,482	0,667	0,677		
6	0,457	0,785	0,904	0,842	0,654	
7	0,607	0,691	0,894	0,842	0,784	0,852

Jämförs figur 5.1 och 5.2 så har modell X en jämnare kurva och minskar inte något utan ökar endast över tid där lutningen blir mer horisontell.

5.1.2 Förgasarinställning, TEST-2,

Tabell 5.3 visar 12 varmkörningar med modell X och 10 varmkörningar med modell Y. Testet gick ut på att köra produkterna som i Test-1, full gas och bromsas ned till samma varvtal som i provkörningsmomentet. Efter 200 sekunders körning släpps gasen för att kontrollera om produkten går på tomgång. Dessa tester är gjorda på produkter som plockats direkt ifrån linan innan provkörningstempot för att ha samma förutsättningar som provkörningsmomentet. Detta test jämför alltså produktens förinställning innan en operatör börjar eller måste börja justera på produkten.

Tabell 5.3, värden ifrån test-2.

Modell X	Varmkörning-OK, Sekunder	CO/CO2 Parametervärde i provbox	Tomgång
test1	85	Över	Nej
test2	84	Över	Nej
test3	93	Över	Nej
test4	91	Över	Nej
test5	94	Över	Nej
test6	100	Inom	Nej
test7	86	Över	Nej
test8	81	Över	Nej
test9	160	Över	Nej
test10	85	Över	Nej
test11	90	Över	Nej
test12	90	Över	Nej
Modell Y		CO/CO2 Parametervärde i provbox	
test1	160	Över	Ja
test3	120	Över	Ja
test4	180	Över	Ja
test5	150	Över	Ja
test6	170	Över	Ja
test7	144	Över	Ja
test8	155	Över	Ja

test9	130	Över	Ja
test10	EJ stabil	EJ stabil	Ja

I Tabell 5.3 är det gröna markerat att produkten är godkänd och röda inte godkänd. Tomgångsspalten säger om produkten dör vid gasläppet eller om den går på tomgång. Om produkten dör kräver det att den måste startas om och det tar ytterligare tid. 12/12 produkter av MODELL X gick inte på tomgång och måste justeras av operatör för att kunna gå på tomgång. 10/10 MODELL Y produkter gick på tomgång.

CO/CO₂ spalten visar om produktens CO/CO₂ värde är över, inom eller under provboxens parametervärde efter 200 sekunders körning. Bara 1 modell X produkt var inom värdena och skulle inte behövas justeras för att få godkänt avgasvärde. Ingen av Modell Y var inom parametrarna och samtliga produkter hade behövs justeras av operatör för att bli godkända.

Varmkörning-OK i tabellen är då produkten fått upp sin arbetstemperatur för att bli godkänd enligt stabilitetskraven på hur mycket CO/CO₂ får öka och minska under 6 sekunder. Provboxarna har däremot en fast tid på 140 sekunder som medför att de inte kan bli godkända innan.

Att modell X blir stabil av varmkörning i ett snitt på 90 sekunder medför att operatören lättare kan justera H-nålen under varmkörningstiden i provboxen. Detta är anledningen till att modell X har en låg Justeringstid på CO/CO₂ på 12 sekunder medan modell Y har längre på 22 sekunder, se tabell 4.1.

MODELL Y är stabila nog att bli godkända efter 140 sekunder blir detta en direkt ökning till justeringstiden eftersom justeringstiden räknar all tid från när den fasta 140 sekunders varmkörningstiden är färdig.

5.2 Vad är det som tar tid i provkörningen och medför att detta tempo är en flaskhals?

Hela provkörningen tar tid och varenda litet test som görs med produkten i provboxen lägger till sekunder på provkörningen. Dessa tester görs mekaniskt och tar lika lång tid varje gång och har ingen variation. Enligt TOC är det variationerna på cykeltiderna som bidrar till en oberäknelig flaskhals, därför analyseras dessa tider. [5] Stora variationer gör att tempot blir svårt att balansera ut och medför krav på buffert innan och efter tempot för att slippa blockering och svält. Dessa kan säkert effektiviseras men ett första steg är att analysera de tider som har variationer. Redan innan tester gjordes så visar data att modell Ys medelvärde på provkörningstid är över cykeltiden, se tabell 4.1, vilket medför att denna produkt blir en flaskhals.

Test-1 och Test-2 visar två saker:

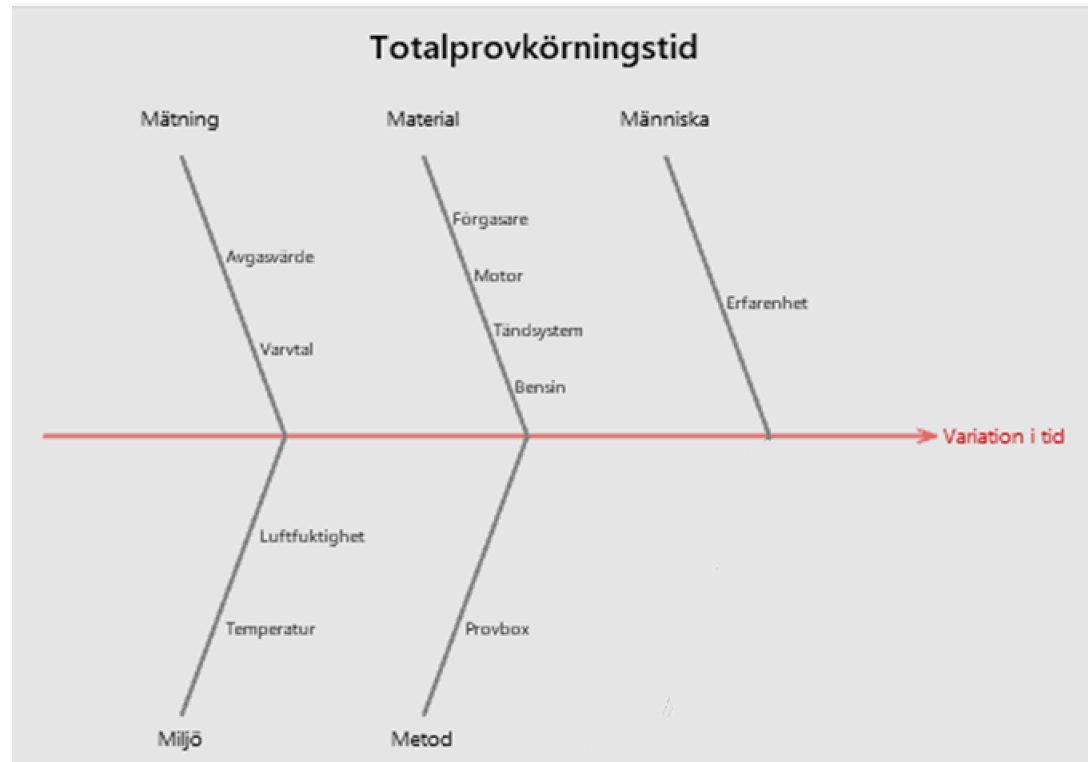
- Modell Y är ostabila. Det är svårt att förutsäga i kvotinställning eftersom de har ett varmkörnings medelvärde på 140sec. Detta medför att operatören har svårt att börja justera under den fasta varmkörningstiden och förutsäga hur mycket som behöver justeras. Modell X är lättare eftersom medelvärdet för varmkörning är 90 sekunder vilket medför att operatören har längre tid på sig att kunna justera produkten och kan då ha justerat färdigt h-nålen innan varmkörningstiden på 140sec är klar och produkten blir godkänd direkt.
- Både modell X och modell Y har felaktiga förgasarinställningar. Alla förutom 1 produkt som körts i både Test1 och Test 2 har haft för högt CO/CO₂ värde. Dessutom är modell X för lågt inställda på tomgång vilket medför att de dör.

Den enda tiden i provkörningsmomentet som varierar är justering av högvarv och lågvarv. Detta är tider som har stora variationer och leder då till variationer i totala provkörningstiden. Variationer är ofta en orsak av bristande kvalitet. [3]

5.3 Hur kan en provkörning effektiviseras?

5.3.1 Ishikawadiagram

För att bena ut vad som skulle kunna effektiviseras i provkörningen används ett Ishikawadiagram. Detta för att på ett strukturerat sätt kunna gå igenom vad som kan påverka och vilka förbättringar som kan införas. Finns det variationer finns det oftast orsak till detta enligt Sex Sigmas verktyg [6]. I fiskbensdiagrammet finns det uppdelat olika orsaker utifrån brainstorming och utifrån teorierna för att hitta rotorsaker till vad som leder till en variation i provkörningstid. Se figur 5.



Figur 5.3, Ishikawadiagram över totalprovkörningstid

5.3.1.1 Mätning:

Mätinstrumenten mäter upp avgasvärdena och varvtalet som operatörerna justerar efter. Är dessa inte kalibrerade rätt eller rätt underhållna kan det påverka utfallet och justeringstiderna i provkörningen.

5.3.1.2 Människa:

Operatörernas förkunskaper och erfarenheter av justering av förgasare påverkar provkörningstiden. En ny operatör måste läsa av värdet, ta in vad värdet menas och sedan justera rätt skruv. En rutinerad operatör justerar nästan samtidigt som värdet läses av.

5.3.1.3 Miljö:

Temperaturen kan påverka på så sätt att är det för varmt antänder bensinen för lätt eller för kallt vilket leder till att det krävs mer energi att antända bensinen ifrån tändstiftet. [2]

Luftfuktigheten påverkar också produkterna. Är det för hög luftfuktighet påverkas motorernas effekt negativt och kan inte antända all bensin som produkten är tillverkad att göra vilket medför en lägre effektivitet och annat avgasvärde. [2]

5.3.1.4 Metod

Provkörningstiden och variationerna kan påverkas av provboxen. Hur snabbt provboxen genomför testerna och om något går sönder i provboxen som medför längre test tid.

5.3.1.5 Material

Material, i detta fall produkten, har flera delar som påverkar. Utifrån teorin påverkar tändsystemet, förgasare, motorn och bensinen. Förgasaren påverkar provkörningstiden beroende hur mycket den måste justeras in. Tändsystemet påverkar hur mycket energi tändstiftet får som kan antända bensinen så att det blir en ren förbränning. [2] Motorns kvalitet bör påverka avgasvärdena. Om motorn har fel toleranser, monterats fel, med mera, leder detta till att antändning i takten sker vid fel tillfälle eller att det är för liten kompression för att antändningen ska bli ren och få bra avgasvärden. Det handlar om att produkten ska monterats ihop på rätt sätt och materialet som används är inom specifikationerna för att produkten ska uppfylla kundkraven och bli en bra produkt.

5.3.2 Analys och test av fiskbensdiagrammet

För att kunna hitta hur provkörningen kan effektiviseras testas de olika delarna ur fiskbensdiagrammet som är möjligt. Mätinstrumenten, metod och människa är inget som undersöks vidare i denna studie då det är utanför avgränsningen, därför görs kommande tester av samma operatör i samma provbox för att försöka utesluta dessa punkters påverkan på tid och varians. Miljön har påverkan på provkörningen, därför görs nästkommande tester i samma provbox med samma temperatur på luften. Luftfuktigheten kan inte kontrolleras.

Tändsystemet kan inte testas och verifieras mer än att de håller leveranskraven. Bensinen blandar Husqvarna sin egen och det finns inte möjlighet att testa olika sorter eller bensin ifrån olika tillverkningsdatum.

Det som kvarstår att genomföra tester på är förgasarinställningen som i tidigare test, tabell 5.3, visat ha en trend som är ovanför och fel gentemot provbox parametrarna.

5.3.2.1 Test av förgasarinställning

I TEST-2 visades att samtliga förgasare behövde justeras för att produkterna ska bli godkända på modell Y. Eftersom samtliga produkter hade ett CO/CO₂ värde över godkända värdet och ingen produkt hade för lågt värde gjordes ett till test för att undersöka om det gick att hitta en bättre förinställning på förgasaren.

Inför detta test togs det fram en ny ”leveransinställning”. Det plockades en nyproducerad produkt efter provboxen, monterades av förgasaren och tog ut alla värden ifrån förgasaren. Dessa värden ställdes 5 andra förgasare in emot. Dessa 5 förgasare togs sedan in i produktionen och monterades på produkter som ska provköras i textboxarna.

Tiderna och justeringar dokumenterades. I tabell 5.4 ses totala justeringstiden, det är både högvarv- och tomgångs-justeringstiden. I nulägesbeskrivningen i tabellen ”Provkörningstid i provbox”, tabell 4.1, står dagens medelvärde, som ligger på 66 sekunder. I effektiviseringskolumnen visas hur mycket snabbare produkten tog att justera in med denna nya förgasarinställning jämfört med medelvärdet ifrån tabell 4.1. Se Tabell 5.4.

Tabell 5.4, Test av förgasarinställning

Produkt NR	Total Justeringstid, sekunder	Antal justeringar	Effektivisering, sekunder
1	46	0 justering	26
2	33	0 justering	39
3	40	0 justering	26
4	38	0 justering	28
5	39	0 justering	27
6	65	1 justering	1

Genom att se över vilken inställning förgasaren har innan produkten provköras kan justeringstiden minska i provboxen. Enligt dessa 6 produkter mellan 1–39 sekunder snabbare provkörning.

5.3.2.2 Produktens kvalitet

Utfallen på modell Y testerna visar att variationen är bred och vissa av modell Y produkter går att provköra snabbare än 240sekunder. Det är alltså något som påverkar dessa produkter så pass negativt att det blir en sådan stor variation där 36,7% av produkterna provkörs längre än cykeltiden. Därför undersöks vad det är som gör att en modell Y blir instabil och svår att ställa in för att kunna hitta lösning så att det blir en mindre variation.

Tändsystemet, bensinen, förgasaren och motorn är delar som påverkar hur bra en motor går och alla delar är väsentliga. För att kunna hitta en effektivisering på justering av tomgång och högvarv måste det därför göras tester med olika värden på det som kan påverka stabiliteten och förbränningen i en produkt. I detta fall levereras tändsystemet, inom leveranstoleranserna enligt produktspecifikation och är svårt att testa. Bensinen använder Husqvarna sin egen. Det som är kvar att kontrollera är motorn och förgasaren. Motorn kontrolleras med provtryck för att kontrollera om den är rätt ihop monterad och om motorn håller för kravspecifikationerna.

Ett läckage på en motor påverkar flera delar i en motor. Hur mycket kompression som sker av kolven, hur mycket luft som flödar igenom förgasaren och hur mycket övertryck det blir som medför att avgaserna går ut i avgassystemet. En tät motor enligt specifikationerna är en förutsättning på att motorn ska gå bra och som förväntat.

Läckvärdet är ett värde som kan tas ut och testa hur mycket det påverkar provkörningstiden, därav det som kan ändras är tomgång och högvarvjustering.

4 produkter plockades fram med 4 olika läckvärden, 49, 648, 1400 och 2000+. 2000+ betyder att det är över 2000 i läckvärde men testverktyget är inte specificerad att kunna mäta mer än 2000. Dessa 4 produkter gavs till en operatör i provkörningstempot för att provköra produkterna i produktion. I tabell 5.4 visas tiderna dessa produkter tog att provköra. Tabellen visar hur läckvärdet påverkar totalprovkörningstiden. Produkt 3 och 4 som har relativt lågt läckvärde var väldigt stabila under varmkörningen som ledde till att de blev godkända på CO/CO₂ värdet på endast 6 sekunder. Där produkt 1 och 2 var väldigt ostabila och svåra att justera in för operatören som medförde att det tog längre tid.

Tomgångstiden var lättare att ställa in desto lägre läckvärde vilket ses i tabellens justeringstider. Se Tabell 5.5.

Tabell 5.5, Test av provkörningstid med läckvärde

Produkt utan förinställd förgasare.	Läck, mm ³ /s	Kvot-tid, sekunder	Tomgångstid:	Totaljusteringstid
1	1400	23	29	52
2	2000+	22	37	59
3	648	6	27	33
4	49	6	18	24

Ytterligare ett test gjordes med samma 4 produkter, denna gång byttes förgasarna ut mot 4 förgasare med den förinställning som togs fram till förgasarinställningstestet. Detta för att utsluta förgasarens påverkan i testet och se om det blev någon förändring.

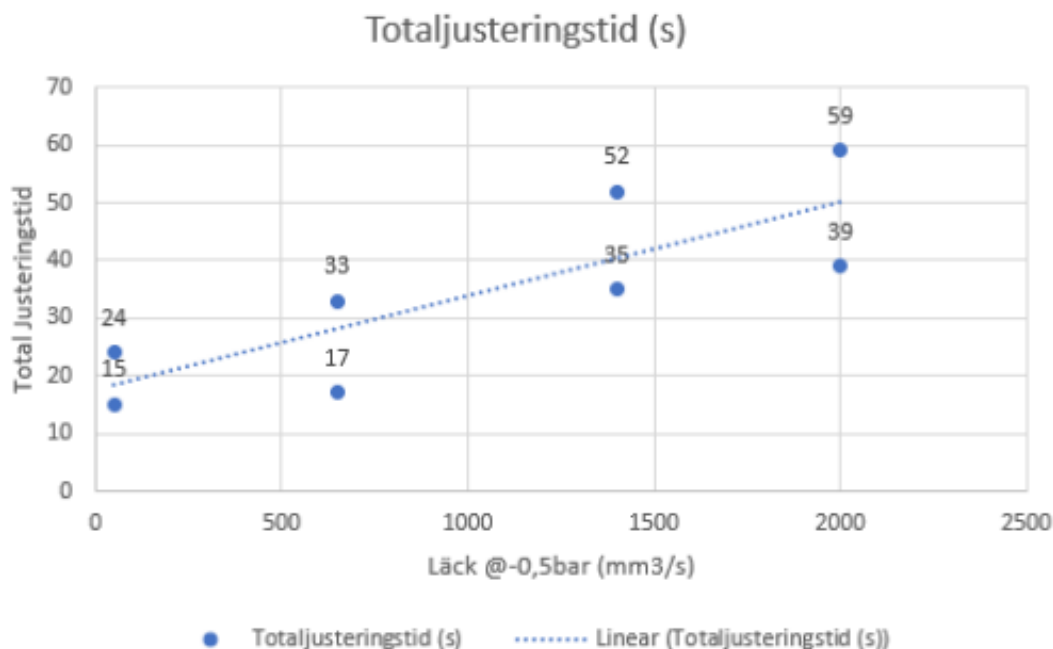
I tabellen 5.6 syns samma trend som visades i tabell 5.5, en korrelation mellan läckvärde och provkörningstid. Ytterligare så förstärks korrelationen mellan att en annan förinställning på förgasaren medför en kortare justeringstid, se tabell 5.6.

Tabell 5.6, Test av provkörningstid med läckvärde och förinställdförgasare

Produkt med förinställd förgasare.	Läck, mm ³ /s	Kvot-tid, sekunder	Tomgångstid:	Totaljusteringstid
1	1400	18	17	35
2	2000+	21	18	39

3	648	6	11	17
4	49	6	9	15

En sammanställning av testerna med olika läckvärde, tabell 5.5 och 5.6, gjordes för att se hur det korrelerar med justeringstiden. Matlab användes och ett korrelationsvärde på 0,97 togs fram som tyder på att justeringstiden korrelerar starkt med läckagevärde. Se figur 5.4.



Figur 5.4, Korrelation mellan läckagevärde och justeringstid

5.3.3 Samanställning av testerna

Genom att ändra förgasar inställningen visar testerna att provkörningstiden minskar. Det beror på att dagens förgasarinställning är för långt ifrån godkända värdet där operatörer behöver justera på H, L och T- skruven för att få produkterna godkända.

Genom att se över läckvärdet och sätta snävare toleranser på modell Y produkterna kommer det att medföra en snabbare provkörning då ett högre läckvärde påverkar provkörningstiden negativt. Testet visade att ett läckvärde på 49 och 648 var produkterna så pass stabila att CO/CO₂ kvoten kunde ställas in under varmkörning vilket ledde till att produkterna blev godkända på 6 sekunder medan ett högre läckvärde gjorde de så pass ostabila och oförutsägbara att denna justeringstid ökade till 18sekunder+. Tomgångsinställningen tog också längre tid vid ett högre läckvärde.

6 Åtgärdsförslag och diskussion

6.1 Vad är det som tar tid i provkörningen och medför att detta tempo är en flaskhals?

Svaret på rapportens första frågeställning är att provkörningstiden består av många delmoment och samtliga delmoment bidrar med att detta tempo flaskhalsar. Det är dock bara 2 tider som påverkar variationen på provkörningen och det är justering av CO/CO₂ värdet och tomgångsjusteringen. Dessa tider varierar eftersom alla produkter måste justeras och det sker av en operatör som måste med hjälp av sina sinnen inse hur mycket produkterna måste justeras. Det är flera olika faktorer som påverkar hur en produkt måste justeras. I nuläget har modell Y 36,7% av produkterna provkörningstid över cykeltiden och modell X ligger med 16,6% av produkterna över cykeltiden.

Det som skapar variationer och medför att cykeltiden är lång är behovet av olika mycket justeringar av CO/CO₂ och tomgångsjusteringen.

6.2 Hur kan provkörningstiden av en produkt effektiviseras så att cykeltid och variationer i cykeltid på tempot minskar?

Ishikawa diagrammet användes för att ta fram och identifiera orsakshypoteser som kan medföra en längre eller kortare provkörningstid. Dessa punkter i diagrammet påverkar cykeltiden och beroende på hur mycket de olika punkterna påverkar blir det olika stora variationer på faktiska cykeltiden. Denna studie analyserade bara några av dessa punkter som påverkar provkörningstiden därför riktar sig åtgärdsförslagen endast mot det och skulle dessa justeringar inte vara tillräckligt bör de återgå till att mäta och analys stegen i DMAIC för att undersöka de andra punkterna i fiskbensdiagrammet.

Svaret på rapportens andra frågeställning är de två åtgärdsförslagen. De ska minska variationerna och cykeltiden. Genom att minska variationerna i ett positivt skevt utfall som provkörningstiderna är, medför det att variationerna som är över USL kommer att minskas. Detta bidrar med att genomsnittliga cykeltiden kommer minska. Att minimera det antal produkter som tar längre än önskade cykeltiden att köra medför att cykeltiden minskar. Utifrån testerna har studien fått fram 2 åtgärdsförslag. Första åtgärdsförslaget innefattar bara MODELL Y medan andra åtgärdsförslaget om förgasarinställning är en åtgärd som går att genomföra på samtliga förgasare som används av alla produkter som monteras i Husqvarna.

6.2.1 Åtgärdsförslag 1, Förgasarinställning.

Eftersom det är operatörer som justerar produkter har alla operatörer olika erfarenhet och olika tillvägagångssätt för hur de genomför justeringen från en inte godkänd produkt till en godkänd produkt. Genom att ta fram en ny förgasarinställning medför en snabbare provkörningstid eftersom det minimerar hur mycket förgasarna måste justeras för att bli godkända. Mindre behov av justering leder till mindre tid för justering. En ny förgasarinställning kan leda till produkter som går igenom provkörningsmomentet utan att behöva justeras. Det visas i testerna.

Testerna på en ny förgasarinställning visade resultat på att förgasarinställningen är fel i nuläget på både modell X och modell Y. Ytterligare testerna på en ny förgasarinställning på modell Y som dokumenterats i Tabell 5.5, visar att det finns en inställning som är bättre och medför mindre arbeten i provkörningsmomentet.

Åtgärdsförslaget är att ta fram nya leveransinställningar och skicka infon till leverantören. Den fungerande förgasarinställningen för modell Y är redan framtagen och redo att skickas till leverantör men det saknas en bättre förinställning på modell X som borde tas fram och sättas som ny leverantörsstandard.

6.2.2 Åtgärdsförslag 2, läckagevärdet på modell Y.

Eftersom medelcykeltiden är över takttiden ges ett åtgärdsförslag specifikt för modell Y. Operatörernas uppfattning är att modell Y är omständliga produkter som alltid är kluriga att justera in, detta är något som styrks av genomsnittliga provkörningstiden och även testdiagrammet på hur CO/CO₂ kurvan betedde sig i figur 5.2. Detta är ett kroniskt problem som beskrivs i Sex Sigma teorin [3] som kan ändras med hjälp av att minska toleransen för läckagevärdet.

Genom analysen av läckagevärdet mot provkörningstiden som gjordes med modell Y kom det fram en hög korrelation mellan värdena som tyder på ett lägre läckvärde på motorblocken leder till stabilare produkter. De stabilare produkterna har bättre förbränning och är lättare att justera in efter provboxparametrarna. Testerna som gjordes var endast på 4 olika läckvärden när korrelationen visade på att ett högre läckvärde bidrog till längre provkörningstid. Det var dock 8 provkörningar på 4 olika läckagevärden. Att Analysera vidare enligt fas 3, i DMAIC-modellen [3, 6] för att få ut mer konfidentiella värden på hur mycket tid som kan sparas beroende på vilket läckagevärde produkten har rekommenderas.

I Tabellerna 5.5 och 5.6 ser vi att när värdet är under 648 är det en stor skillnad för produkternas provkörningstid gentemot dem som är över 648. När läckvärdet var under 648 kunde operatören justera in CO/CO₂ värdet under varmkörningstiden så att produkterna blev godkända på 6 sekunder efter varmkörningen blev färdig. Även tomgångstiden var väldigt stor skillnad mellan 648 värdet och 1400 värdet. Läckvärdet är en orsaksfaktor som leder till ostabila provkörningar och är en anledning till variationen som finns på provkörningstiderna för modell Y. Åtgärdsförslaget är att undersöka vilket läckvärde där produkterna påverkas avsevärt. I testet som gjordes framgick det att under 650 är produkterna stabila och 1400+ är dem ostabila.

Åtgärdsförslaget är att minska toleranserna i läckvärdet på kontrollen efter motorblocksmonteringen för att få mindre variation i provkörningstempot och därmed minska genomsnittliga cykeltiden. Enligt DMAIC kan det behövas en riskanalys innan en omfattande förbättring genomförs. [3, 6] Detta för att inte göra en förbättring på ett ställe som i sin tur leder till försämringar på andra ställen, 2 punkter som bör tas är:

- När man justerar en flaskhals kan problemet flyttas till andra tempon och annat tempo kan bli ny flaskhals. Om cykeltiden och variationerna minskar i provkörningstempot kan det medföra en påverkan någon annanstans i produktionslinan. Det medför att en ny flaskhals kan uppstå och behöver undersökas för att effektivisera linans cykeltid. [5]
- Genom att minska en parametergräns och snäva åt den till ett nytt värde kommer leda till fler kassationer och omarbeten på den linan. Därför borde det ses över hur mycket kassationer och omarbeten denna justering medför och blir det för mycket kan detta bli en dyr lösning. Det som bör räknas på för att detta ska bli en ekonomisk lönsamhet är att ställa operatörskostnaden och besparingarna från provkörningstempot på en kortare provkörningstid mot kostnaden av kassationerna och operatörskostnad för omarbeten av motorblocken.

Utfallen av både förgasarinställningen och läckagevärdet kan ses som ett kroniskt problem, såsom det beskrivs i Sex Sigma teorin [3]. Det är problem som operatörer och produktionstekniker accepterat att det är så, men det finns en förbättringsmöjlighet. Läckagevärdet leder till att modell Y blir stabilare och inte lika omständliga att justera in vilket även effektiviserar provkörningen. Att varje modell X behöver justeras för att kunna gå på tomgång och att både modell X och modell Y har förgasarinställning som medför att alla nålar måste justeras för att bli godkända anses som ett kroniskt problem och kronisk förlust. Det leder till ett merarbete som är ett slöseri eftersom det är något som skulle kunna lösas. Vikten att se över läckagevärdet är också stor eftersom ett högre läckagevärde ger en ostabilare produkt som kanske inte håller kundkraven. Håller dem inte kundkraven är detta ett onödigt mer arbete då det hanteras produkter som har bristfällig kvalitet i en flaskhals. Det kan även leda till att produkterna inte håller specifikationskraven och hållbarhetskraven och kan leda till missnöjda kunder i framtiden.

Precis som Lesya och Roman nämner i sin rapport [8] kan Sex Sigma användas för att identifiera kvalitetsfel som inte hittats innan. I detta fall användes Sex Sigma efter flaskhalsen blivit utnämnd för att analysera förbättringsförslag för att eliminera flaskhalsen. I slutändan kom två förbättringsförslag fram där ett förslag med att sänka läckagevärdet på modell Y togs fram. Detta kvalitetsfel är inte på monteringslinan där provboxarna står utan sker på en annan lina i produktionen. Detta tyder på vikten som nämns i Sex Sigma att ha en bra förståelse över problemet och ha ett systematiskt arbetssätt utifrån en rotorsaks analys, som Ishikawa diagrammet.

6.3 Diskussion kring validitet och reliabilitet i undersökningen

Eftersom variationerna är så stora i nuläget är det svårt att säga hur mycket mindre den genomsnittliga cykeltiden kommer bli av någon förändring. Testerna och analyserna som gjorts tyder på att den kommer minska men att säga hur mycket med ett säkert konfidenssvar är svårt. Dock så är kostnaden på att ändra förgasarinställningen minimal och kan implementeras på samtliga produkter som produceras på Husqvarna. Justering av läckagevärdet bör däremot undersökas mer beroende hur mycket kostnaden blir av omarbete och kassation.

6.3.1 Validitet och reliabilitet över läckaget påverkan på provkörningstid.

Det som testades var 4 olika läckvärden och hur lång tid det tog att justera produkterna i en provbox. Detta följdes upp av ett till test med samma 4 produkter men med nya förgasare som var förinställda på den nya framtagna leveransinställningen. Detta för att utesluta att det är förgasarna som påverkade att produkterna tog längre tid att provköra. Eftersom testerna med förgasarna ifrån produktion och förgasarna som var förinställda enligt nya värdet visade samma trend med läckvärdet är det bara 2 faktorer ur Ishikawa diagrammet som inte togs med i försöksplaneringen. Bensinens kvalitet och tändsystemets kvalitet. Dessa kan påverka provkörningsförfarandet men eftersom alla 8 körningar gjordes utifrån samma parti av bensin är det inte rimligt att bensinkvalitén skulle skilja mellan körningarna. Då kvarstår bara tändsystemet och tändsystemets olika toleransgränser ifrån leverantör har inte kunnat testats.

6.3.2 Validitet och reliabilitet över en ny förgasarinställning.

Första analys testet enligt tabell 5.4 om förgasarinställning visade att 5/6 produkter inte behövde justeras någonting medan den 6:e produkten behövdes justeras en gång. Eftersom testet gjordes av samma operatör, i samma provbox, med samma miljöförutsättningar eftersom testerna gjordes eftervarandra på samma temperatur och värdena mättes av samma mätinstrument är det bara produktens kvalitet som skulle påverka tiderna enligt Ishikawa diagrammet, Figur 5.3. Det som saknas för att ge en fullständig reliabilitet och validitet är att se hur läckvärdet hade varit på dessa produkter. I så fall skulle testet tagit fram om det är ett högt läckvärde som påverkade att produkt nr 6 behövde justeras engång. Eftersom det inte är bekräftat varför nr 6 behövde justeras dras trovärdigheten ned på att en ny förgasarinställning medför snabbare provkörningstid.

7 Slutsatser

7.1 Implikationer

7.1.1 Kompetenskrav

Kompetenskraven på en operatör minskar om en produkt är stabilare att justera in, en stabil produkt är lätt att förutsäga hur den kommer bete sig av justeringar på förgasaren medan en ostabil produkt är oförutsägbar och kräver mer erfarenhet.

7.1.2 Miljö

Genom en effektivisering av provkörningsmomentet sänks inte bara cykeltiden för att möta kundkravet. Eftersom produkterna är i gång under provkörningsförfarandet förbrukas även bensinen. Syftet med effektiviseringen är att försöka minimera provkörningsmomentet som flaskhals, få en högre output på lägre tid. Detta blir då en kortare provkörningstid som i sin tur leder till mindre bensinåtgång per produkt i testförfarandet.

7.1.3 Arbetsmiljö

Arbetsmiljön i ett tempo som är känt att vara en flaskhals sätter en stor press på operatörerna. I artikeln tas det upp att en stressfull arbetsmiljö har en negativ påverkan på hur effektivt en operatör arbetar i en tillverkningsindustri. Detta kan liknas vid att provköra handhållna produkter i en lina. Om ett förändrat provkörningstempo kan leda till en minskad press på operatörerna skulle denna effektivisering även bidra till en högre produktivitet av operatörerna [9].

7.1.4 Kapacitet

En kortare cykeltid på provkörningen leder till en ökad kapacitet som kan göra det möjligt för större efterfrågan i framtiden. Det kommer även leda till ett mindre antal produkter i bufferten och köerna kommer minska.

7.2 Slutsatser och rekommendationer

En produkt har flera olika faktorer som påverkar hur bra de går. Slutsatsen av denna studie tyder på att motorns läckagevärde påverkar avsevärt hur stabilt en motor går. Studien visar också på att en förgasarens förinställning kan justeras in för att vara så nära optimal inställning som möjligt. Den kommer aldrig att kunna bli optimal eftersom det är många olika faktorer både på produkten och förgasaren som påverkar driften, men möjligheten att vara inom ett godkänt spann både enligt miljökrav som finns i EU och även kraven som finns ifrån kund att få en bra gående produkt som funkar direkt ur lådan. Då kundfokus är en viktig del i Sex Sigma arbetet. [3, 6]

Rekommendationen är att minska godkända gränsen på läckagevärdet ifrån motorblocket och ta fram nya leveransinställningar på förgasarna på samtliga produkter. Detta blir då 4:e fasen, förbättra steget, ur DMAIC verktyget. [3, 6] Efter detta är implementerat är det viktigt att resultaten följs upp enligt 5:e fasen, styrandet. Det krävs en slutlig uppföljning och verifiering av arbetet och detta blir då ett bevis på om förbättringen verkligen var en förbättring eller om det bara var teoretiska antagande som inte fungerade i verkligheten.

Slutrapportering är viktig för framtiden att kunna ta del av förbättringsarbetet och vad som ledde till slutsatserna och implementeringen av ändringarna i arbetet. Speciellt när det handlar om Förgasarinställningen.

Eftersom det finns rutiner på hur en effektiv förgasarinställning tagits fram har detta gjorts när produkterna implementerades i produktion. Det som inte tagit hänsyn till är att ändringar på produktens komponenter kan leda till behov av annan förgasarinställning. Om leverantören skulle göra någon justering av material eller stigning på nålarna medför detta att den leveransinställning vi har bett om är utdaterad och måste uppdateras. Genom att ha det dokumenterat och implementera kontroller på hur förgasarinställningen beter sig ofta kan medföra att Husqvarna fångar upp ändringar som leverantören gör som påverkar förgasarens funktion.

Att implementera ett systematiskt arbetsätt genom tidsbaserade kontroller på förgasarnas inställning på samtliga produkter kan vara ett tillvägagångsätt för att få en bra styrning på detta förbättringsarbete. I Sex Sigma är en punkt i fas 5, vikten att utreda vilken risk det finns att uppnådda resultatet inte blir stabilt och bestående på en längre sikt. [3]

7.3 Vidare arbete och forskning

7.3.1 Vidare arbete

En frågeställning som skulle kunna vara nästa steg att undersöka är, *Vad påverkar att förgasarleveransinställningen måste ändras?*

Genom att ta reda på alla faktorer som medför att en ny förgasarleveransinställning måste implementeras kan det sättas in som ett systematiskt arbetsätt att undersöka en ny inställning när någon av dessa faktorer blivit ändrade. Det kan vara antingen en justering leverantör gör med materialval eller Husqvarna själva. Detta skulle leda till ett standardiserat arbetsätt som medför att förgasarinställningarna nästintill är uppdaterade att vara så nära optimal inställning som möjligt.

7.3.2 Vidare forskning

Forskning inom vad det är som medför att ett högre läckagevärde ger ostabila avgasvärden. Om det finns forskning om vad det är som medför ostabila avgasvärden kan detta vara givande för all produktframtagning av förbränningsmotorer. Detta leder till att det kommer kunna göras uträkningar och simuleringar på högsta möjliga läckvärde innan produkten blir bristfällig och inte håller kundkraven.

8 Referenser

- [1] A. Atkins and M. Escudier, *A dictionary of mechanical engineering*, 2nd ed. Oxford University Press, 2019.
- [2] Internal combustion engines : applied thermosciences, <https://ebookcentral-proquest-com.proxy.library.ju.se/lib/jonhh-ebooks/reader.action?docID=4039918> [Accessed: 10- Apr- 2022]
- [3] L. Sörqvist and F. Höglund, *Sex Sigma*, 2nd ed. Lund: Studentlitteratur AB, 2017.
- [5] Olhager, *Produktionsekonomi*, 2nd ed. Lund: Studentlitteratur, 2013.
- [4] *EUR-LEX*, 2022. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32016R1628>. [Accessed: 22-May- 2022].
- [5] Data Analysis, Statistical & Process Improvement Tools", *Minitab*, 2022. [Online]. Available: <https://www.minitab.com/en-us/>. [Accessed: 01- Mar- 2022].
- [6] M. Brassard, E. Skarin and G. Johansson, *Minnestrimmaren Sex Sigma*, 1st ed. Stockholm: Liber, 2003.
- [7] M. Bellgran and K. Säfsten, *Produktionsutveckling*, 1st ed. Lund: Studentlitteratur, 2005.
- [8] L. Demchuk and R. Baitsar, "Combined Usage of Theory of Constraints, Lean and Six Sigma in Quality Assurance of Manufacturing Processes," *Key Eng Mat*, vol. 637, pp. 21-26, 2015. Available: <http://proxy.library.ju.se/login?url=https://www.proquest.com/scholarly-journals/combined-usage-theory-constraints-lean-six-sigma/docview/1791487778/se-2?accountid=11754>. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.637.21>. [Accessed: 02- May- 2022].
- [9] M. Omair, M. Ullah, B. Ganguly, S. Noor, S. Maqsood, and B. Sarkar, "The Quantitative Analysis of Workers' Stress Due to Working Environment in the Production System of the Automobile Part Manufacturing Industry," *Mathematics*, vol. 7, no. 7, p. 627, Jul. 2019, doi: 10.3390/math7070627. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.3390/math7070627> [Accessed: 03-May- 2022].
- [10] Semistrukturerad intervju - Kvalitativ metod", *5dok.org*, 2022. [Online]. Available: <https://5dok.org/article/semistrukturerad-intervju-kvalitativ-metod.ozllolgz>. [Accessed: 14-May- 2022].
- [11] C. Machado and J. Davim, *Industry 4.0*, 1st ed. Boca Raton, 2020.