

EXAMENSARBETE I FLYGTEKNIK 15 HP, GRUNDNIVÅ 300

Underhåll av Turbomin 100



Författare: Kiarash Khaksa och Parsa Pour Moghadam

Sammanfattning

Studenterna vid Mälardalens högskola har länge utfört laboration på en liten turbojetmotor i kursen flygmotorteknik. Sedan 2011 har motorn varit ur funktion. Orsaken var brist på underhåll. Eftersom laborationer har varit ett viktigt inslag i undervisning bestämde man sig för att få motorn funktionell igen. Vi fick detta i uppdrag som examensarbete av Mälardalens högskola.

Arbetsuppgiften som tilldelades till oss var:

1. Få motorn funktionell.
2. Göra motorn och mätutrustningen mobil.
3. Skriva ett kortfattat underhållsprogram, t.ex. vad som ska göras före och efter körning.

Efter att fått motorn funktionell och mobil tillsammans med mätutrustningen har vi även tagit fram ett enkelt underhållsprogram som vi starkt rekommenderar för att undvika liknande haverier i framtiden, samt förslag på hur man kan uppgradera och optimera motorns prestanda.

Abstract

Students at Mälardalen University have long performed their lab on a small turbojet engine in the course Aircraft Engine Technology. Since 2011, the engine has been dysfunctional. This was due to lack of maintenance. Since the lab has been an important element in teaching, the University had decided to get the engine functional again. This thesis project has been a request of Mälardalen University.

The task we were assigned to was:

1. To make the engine functional.
2. Make the engine and the measuring equipment mobile.
3. Writing a brief maintenance program, such as what needs to be done before and after engine start.

After we got the engine functional and mobile along with the measuring equipment, we have also developed a simple maintenance program which we strongly recommend in order to avoid similar accidents in the future. We also made suggestions on how to upgrade the engine and optimize its performance.

Date: 29 Maj 2013

Utfört vid/Carried out at: Mälardalens Högskola

Handledare vid MDH/Advisor at MDH: Mirko Senkovski

Examinator: / Examiner: Tommy Nygren

Förord

Detta examensarbete är vår sista rapport vid flygingenjörsprogrammet Mälardalens Högskola i Västerås, akademi för innovation och design. Arbetet påbörjades i början av 2013 och slutfördes under sommaren. Resan var varken enkel eller rak. Stenar fick vändas och tålamod prövades. Men nu står vi här ett halvår senare och det är slutfört.

Vi vill särskilt rikta ett tack till Mirko Senkovski vår handledare för allt stöd och vägledning, Göran Lidenvik för alla trevliga samtal och den fina vagnen. När man kör fast behövs ibland lättsamhet och det stod du för. Vi vill även tacka Dag Hermansson och Göran Alme för hjälpen med motorn.

Kiarash Khaksa & Parsa Pour Moghadam

Västerås. Maj 2013

Nomenklatur

Beteckning	Förklaring
TN100	Turbojet med 100 newton dragkraft
TN150	Turbojet med 150 newton dragkraft
TH300	Turbojet med 300 kilo Watt Värme
EGT	Exhaust Gas Temperature
SAA	Scandinavian Aviation Academy

Innehållsförteckning

Kapitel 1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Frågeställning	2
1.4 Avgränsningar.....	2
1.5 Målgrupp.....	2
1.6 Turbomin 100	3
1.6.1 Isolerboxen och Mätpulten.....	3
1.6.2 Styrpanelen	4
Kapitel 2. Metod	5
2.1 Kartläggning av motorhaveri	5
2.2 C-S Turbin Service AB	6
2.2.1 Turbomin AB	7
2.2.2 Ny motor.....	7
2.2.3 Alternativ motor.....	8
2.2.4 Förslag på åtgärder TN-100	9
2.3 Åtgärder på TN-100.....	11
2.4 Mobilitet	13
2.4.1 Mobila vagnen	14
2.4.2 Uppgradering av datorn	15
2.5 Framtagande av underhållsprogram.....	15
Kapitel 3. Resultat	16
3.1 Reparation av Turbomin 100.....	16
3.2. Provkörning av Turbomin 100	17
3.2.1 Andra provkörningen	17
3.2.2 Tredje provkörningen	17
3.3 Laboration med studenter.....	18
3.4 Fastställande av funktionsfel.....	18
3.5 Sista provkörningen	18
3.6 Underhållsprogram för Turbomin 100	19
Kapitel 4. Diskussion	21
Kapitel 5. Slutsats och rekommendationer	22
Kapitel 6. Referenser	23
Kapitel 7. Bilagor	24

Kapitel 1. Inledning

1.1 Bakgrund

1989 köpte Hässlögymnasiet i Västerås en liten turbojetmotor i utbildningssyfte av företaget Turbomin AB. Med denna motor har eleverna på Hässlögymnasiet kunnat utföra enklare beräkningar för att få kunskap om hur en turbojetmotor fungerar i praktiken.

Mälardalens högskola har sedan flera år samarbetat med Hässlögymnasiet för att erbjuda flygingenjörstudenter en optimal labbrationsundervisning med tillgång till Turbomin 100.

Turbominen har varit dysfunktionell sedan 2011. Orsaken var dåligt underhåll och service. Skador fanns på turbinledskenor, brännkammaren och lager i lagerhuset.

Laboration med turbojetmotorn har varit ett viktigt inslag i undervisning vid Mälardalens högskola därför bestämde man sig för att få den funktionell igen.

Ett annan viktig uppgift har varit att göra motorn mobil då man inte längre kan utnyttja SAAs lokaler vid Hässlögymnasiet. (se bild 1)

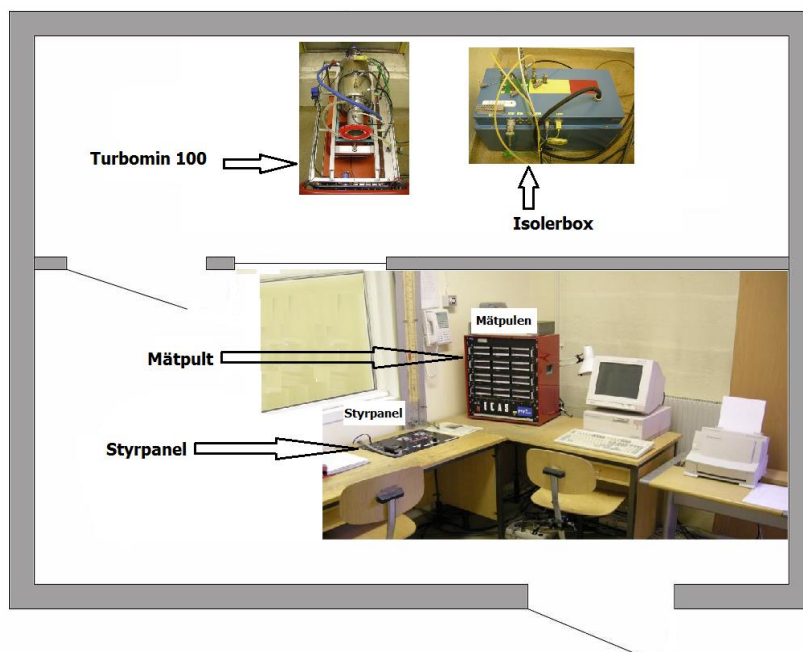


Bild 1. Skiss över laborationslokalen

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är först och främst att fastställa funktionsfelen på en liten turbojetmotor TN-100 vilket idag används som laborationsutrustning av flygingenjörstudenter vid Mälardalens högskola i Västerås, för att därefter åtgärda bristerna. Vi har även i uppgift att ta fram ett underhållsprogram för att minimera riskerna för framtida skador och förlänga livstiden, samt göra motorn mobil för att underlätta förflyttning av den.

1.3 Frågeställning

- Kartlägga orsaken till varför jetmotorn, Turbomin 100, havererat.
- Åtgärda felen som gör motorn defekt idag.
- Ta fram ett enkelt underhållsprogram.
- Göra motorn samt tillhörande utrustning mobil.

1.4 Avgränsningar

Mot bakgrund av att detta är en C-uppsats på 15 hp kommer vi inte att fördjupa oss i detaljer. Det har varit prioriterat och mest angeläget att få motorn funktionell så att den kan börja användas i undervisningen igen, efter ett uppehåll på cirka 2 år. Vi kommer även att ta fram förslag på hur man kan modernisera tillhörande dator. Däremot kommer vi inte ägna tid åt att lägga förslag på hur man kan modernisera mätutrustning, då vi gjort bedömning att detta framförallt är ett projekt för elektronikstudenter som innehar sakkunskapen.

1.5 Målgrupp

Detta examensarbete riktar sig till studenter som studerar flygteknik vid Mälardalens högskola. Den primära målgruppen är A-nivå studenter som ska utföra laborationer som en del av kursen för att få en djupare förståelse för hur jetmotorer fungerar i praktiken. För att fullt ut kunna tillgodogöra sig det som förmedlas i detta arbete krävs förkunskaper i teknik.

1.6 Turbomin 100

Turbomin 100 är en liten turbojetmotor av enkelströmtyp som är i dragkraftklassen 100N. Motorn har en enkel rotor med enstegs centrifugalkompressor. Brännkammaren är cylinderformad med radial turbin, och digital elektronisk reglersystem.

Motorn är avsedd för undervisnings- och instruktions ändamål. Som bränsle användas Jet A-1, man kan även använda fotogen eller diesel, detta rekommenderas dock inte. Motoroljan ska vara av typen 10W 50 då den är tjockare i konsistensen.



Bild 2. Turbomin 100

Motorn startas med hjälp av tryckluft från en kompressor och tändsystemet är integrerad elektroniskt med 12V. Turbominen är fastmonterad på en provvagn. En speciell fjädervåg är monterad mellan vagn och motor för att registrera dragkraften.

Turbominen är rustad med flera mätinstrument, däribland tryck, temperatur och varvtal. På detta sätt kan man mäta motorprestanda. (se bild 2)

1.6.1 Isolerboxen och Mätpulten

Isolerboxen består av termoelement och tryckgivare som är en del av mätutrustningen.

Isolerboxen är kopplad till turbominen. Tryck och temperaturgivarna är kopplade till motorns mätpunkter via slangar.

Isolerboxens uppgift är att omvandla tryck, temperatur och dragkraft till elektronisk mätdata, som sedan via signalkablar är vidarekopplade till Mätpulten. I den omvandlas sedan signalerna till mätdata som visas i de olika displayerna. Mätpulten är i sin tur kopplad till en dator där alla värden kan ses och skrivas ut. (se bild 3,4)



Bild 3. Mätpulten



Bild 4. Isolerboxen

1.6.2 Styrpanelen

Styrpanelen är själva kontrollsystemet för turbominen där flera knappar och instrument är placerade, det är från startpanelen som man kan styra Turbominen. Dessa knappar är huvudströmknappen, startknappen, bränsleknappen, oljeknappen, luftknappen, gasreglaget. Styrpanelen har även tre manometrar. En för utloppstemperatur, en till batterispänningen och en annan till varvtalet. (se bild 5)



Bild 5. Styrpanel

Kapitel 2. Metod

I detta kapitel redogör vi för hur vi gått tillväga för att besvara nedan fyra frågeställningar. Vi kommer i systematisk och kronologisk ordning redovisa de metoder som vi använt oss av under arbetets gång. Eftersom vi haft flera frågeställningar, med en stor bredd och höjd har detta verkligen krävt ett öppet sinne.

- Kartlägga orsaken till varför jetmotorn, Turbomin 100, havererat.
- Åtgärda felen som sätter motorn ur drift idag.
- Ta fram ett enkelt underhållsprogram.
- Göra motorn samt tillhörande utrustning mobil.

2.1 Kartläggning av motorhaveri

Kort efter att motorn havererat i slutet av 2011 plockades den isär. Under cirka 2 år har den varit ur drift. Då motorn fram till dess användes vid laborationer som är ett viktigt inslag i undervisningen vid flygingenjörsprogrammet, beslutade Mälardalens Högskola att felen skulle åtgärdas för att få den funktionell igen.

Som ett första steg tog vi kontakt med Göran Lidenvik, yrkeslärare vid Hässlögymnasiet tillika vår kontaktperson. Ett möte bokades in. Genom Göran fick vi tillgång till den isärplockade motorn som förvarades i ett cellrum. Vi undersökte de olika delarna samt påbörjade en diskussion kring hypoteser om varför motorn havererat.

Genom att undersöka de isärplockade delarna konstaterade vi att följande var skadade eller saknades:

- Värmeskadat flamrör i brännkammare. (se bild 6)
- Deformerade turbinledskenor. (se bild 7)
- 1st turbinledskena saknades
- Skrapmärken i kompressorhuset
- Lösa blad i diffusorn
- Trasig packning vid utloppsdel och bränslespridaren
- Metallspån förekomst i olja

Lågan från bränslespridarna hade ändrat riktning och skadat flamröret i brännkammaren, orsaken har varit att bränslespridarna hade täppts till. Under längre tid har man använt sig av en mindre utloppsdel för att öka dragkraften på motorn. Detta kan ha orsakat överhettning i motor och med tiden har turbinledskenorna deformerats. Metallspåns förekomst i oljan kan ha varit delar från den saknade utloppsledskenan.

Efter undersökningen drogs slutsatsen, i konsensus, att orsaken till motorhaveriet var bristfälligt underhåll och serviceintervall. De vitala delarna som behövde repareras alternativt ersättas med nya, för att få motorn i drift, var flamrör och turbinledskenor.

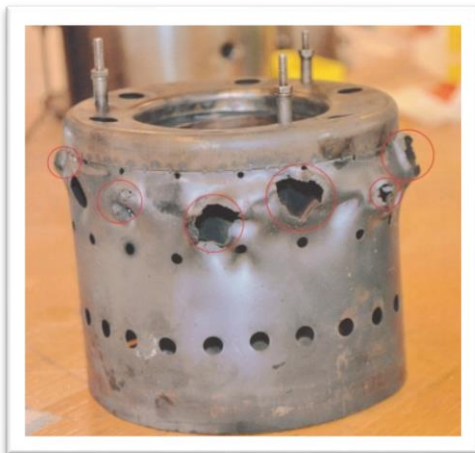


Bild6. Skadad flamrör



Bild7. Skadade turbinledskenor

2.2 C-S Turbin Service AB

Efter kartläggningen tog vi först kontakt med Christer Söderhäll på företaget C-S Turbin Service AB, via telefon, som är en av Sveriges mest erfaren personer inom turbojetmotorer och modellflygplansmotorer (Jet-Cat). Christer har även tidigare varit involverad i turbominen då en annan student som läst flygingenjörsprogrammet vid Mälardalens Högskola skrivit sitt examensarbete om motorn.

Inledningsvis diskuterade vi reparation av befintligt flamrör och ledskenor, ett alternativ som valdes bort direkt då dessa delar var så pass deformerade att det inte gick att åtgärda, det andra alternativet var att tillverka helt nya delar.

Enligt Christer skulle nytt flamrör och ledskenor till Turbominen vara för kostsamt, då han hade varit tvungen att tillverka helt nya verktyg för framställning av de reservdelar som vi var i behov av. Det mest kostsamma och komplicerade av allt skulle vara framställningen av turbinledskenorna då både ritningar som verktyg till framställning saknades.

Christers rekommendation var att vi skulle ta kontakt med tillverkaren av motorn för att se om företaget hade kvarstående reservdelar. Vid ett negativt besked kunde vi återkomma till C-S Turbin Service AB.

2.2.1 Turbomin AB

Motorn är konstruerad av företaget Turbin AB som tillverkar turbojetmotorer för modellflygplan och små jetmotorer i utbildningssyfte för skolor och högskolor. Vi kontaktade huvudkonstruktören via mail, Göran Alme, för att höra om han hade befintliga reservdelar till motorn.

Eftersom det inte fanns några reservdelar föreslog Göran att vi skulle köpa en ny motor-turbojetmotor TN150. Enligt Göran skulle dessutom uppgraderingen och reparationen av turbomin 100 bli för tidskrävande och kostsamt. Inte minst då det skett teknologiska framsteg sedan 1989 då turbominen tillverkades.

2.2.2 Ny motor

Den förslagna motorn från Göran Alme är en turbojetmotor TN150 med dragkraftklassen 150N/ 300kW värme och ca 0.35 kg luftintag per sekund. Den drar ca 30L fotogen eller JETA-1 i timmen. Reglagen på den horisontella delen är från vänster: startluft, reglage för tomgångsbränsle och gasreglage. Den svarta vertikala slangen är istället för en normal rotameter för avläsning av bränsleflöde. På baksidan finns tändsystem, pumpar för bränsle och smörjolja samt oljetank.

Enligt Göran *skulle* ett införskaffande av denna motor innebära en höjning av ambitionsnivån ur flera aspekter. T.ex. för att öka tillgänglighet som grundar sig på högre kvalitet hos ingående komponenter. Inte minst skulle service och reparationer blir enklare, då reservdelarna redan finns tillgängliga. En TN150 skulle ha högre prestanda än TN100, men ekonomiskt var en TN150 inte ett alternativ för högskolan. (se bild. 8-10)



Bild8. Framsida TN150

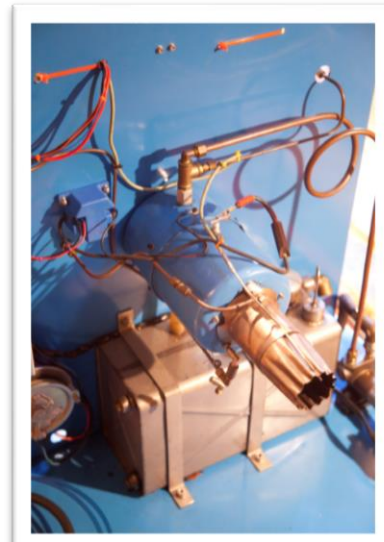


Bild9. Baksida TN150



Bild10. Framsida TN150

2.2.3 Alternativ motor

Göran har även levererat en turbojetmotor TH 300 till Curt Nickolin Gymnasiet i Finnspånga 2006, som använts i utbildningssyfte.

Kontakt togs med motoransvarig Benny Nicklasson som är verkstadslärare på Curt Nickolin Gymnasiet i Finnspånga för att undersöka om Mälardalens Högskola istället kunde använda sig av deras motor för laboration om vi inte skulle få TN100 i drift igen, då inköp av en TN150 inte var ett ekonomiskt alternativ.

Dessvärre var även deras motor ur funktion. Vi kunde efter mottagande av bilder konstatera att motorn inte heller passade till Mdh:s laborationer. Deras huvudsyfte med undervisningsmotorn var att demonstrera hur en gasturbin fungerar och mäta avgaser, värme samt luft. Motorn är en turbojetmotor med 300kw, huvudbeståndsdelar består av turboaggregat och en separat brännkammare. Motorn drar 30L diesel i timme. (se bild 11-13)



Bild 11. Baksida. TH-300



Bild 12. TH-300 från sidan



Bild 13. Framsida TH-300

2.2.4 Förslag på åtgärder TN-100

Uppföljande kontakt togs med Göran Alme, det första officiella mötet bokades in på Hässlö gymnasium. Medverkande utöver Göran var Mirko Senkovski som är universitetsadjunkt i flygteknik vid Mälardalens Högskola och även handledare för detta examensarbete samt Göran Lidenvik.

Efter mötet tog Göran Alme med sig den isärplockade motorn för att fastställa vilka åtgärder som behövde vidtas, mer än det vi uppmärksammat, för att få motorn i drift.

Göran Alme undersökte motorn och kom med förslag på ett antal åtgärder som redogörs för nedan.

- Nytt främre och bakre turbinhus av senare design med övergångar till befintliga design av utlopp, flamrör och lagerhus.
- Nytt flamrör av befintlig design. Bränslet är JET A1.
- Modifiering av befintligt lagerhus för fastsättning av främre turbinhus.
- Nya lager i lagerhuset.
- Temperaturgivare för mätning i inloppet till turbinhuset. Tre stycken termoelement K för att upptäcka förändringar i flamrör och spridare. Tillsyn på övertemperatur vid start, vilket skulle vara till fördel vid laboration.
- Temperaturgivare för mätning i utloppet från turbinhuset. Tre stycken för att få ett bättre värde på utloppstemperaturen EGT.
- Temperaturgivare för mätning av temperaturen efter kompressorn.
- Ny sensor med pulsformning för att kunna mäta varvtal hos turbin med frekvensräknare.
- Befintlig provbänk och elektronik kan skrotas. Befintliga komponenter provas med motorn i en ny provbänk.
- Befintligt smörjsystem provas. Risken är att pumpen är för svag. Bakre lagret för turbinen var nämligen slitet. Oljetanken bör bytas mot en riktig tank med nivåsticka och skorsten för separation av avgaser och olja. Turbomin har sådana. Det kan också behövas en större oljekylare med fläkt. Setra har sådana.
- Det behövs ett nytt och enklare bränslesystem liknande det som vi har på Turbomin TN150 demo, se bild. Företaget Turbomin AB gör ritning på detta. Dock kan pumpen eller åtminstone elmotorn bytas då TN100 har tryckspridare, 11 till 12 Bar vid max pådrag. Pumpen måste således ge 12 Bar kontinuerligt. Företaget Turbomin AB gör enkel ritning på bränslesystem. enligt TN150 demo. Leverantör av komponenter är lämpligen OEM Automatic och för nålventilerna/ rotameter lämpligen OMNI Process.
- Företaget Turbomin AB gör enkelt elschema och lista på komponenter enligt vår TN150 demo.

- Det behövs ett nytt stativ för att kunna få plats med allt och kunna presentera alla mätdata. Förslag är Movomech med rör i 40 x 40 mm² profil. Motorn bör hänga i ett linjärt lager för att mäta dragkraft med fjädervåg. Alternativt hänga i gummibussningar med lastsensor och tillhörande elektronik. Allt bör stå på en kärra tillsammans med luftkompressor, batterier, brandsläckningsutrustning och hörselskydd.
- Det behövs fem manometrar som på TN150 demo.
- Det behövs en frekvensräknare för att presentera varvtal på rotorn.
- Motorn har åtta termoelement för temperatur se punkt 5, 6 samt för luftens temperatur vid insug och efter kompressor. För att enkelt komma igång är det lämpligt att koppla varje termoelement till varsin temperaturmätare. Dessa kostar idag 500 kr styck och fungerar utmärkt. Sedan går det alltid att göra något mer intelligent och överskådligt. Leverantör är Clas Ohlson eller Kjell & Company
- Det behövs en körmanual och servicemanual. Dessutom en säkerhetsföreskrift.

2.3 Åtgärder på TN-100

Efter jämförelse av de tre olika huvudalternativen;

- Inköp av en helt ny motor TN-150
- Reparation av befintlig motor TN-100
- Samarbete med Kurt Nickolin gymnasiet TH-300

Kom vi fram till att alternativ 2 var att föredra av budget, tidsmässiga skäl. Nästa steg var att utifrån Göran Almes åtgärdsförslag, se kapitel 2.2.4, på befintlig motor TN-100 komma fram till vilka som skulle prioriteras för att få motorn funktionell. Vi konstaterade att det viktigaste var att åtgärda det skadade flamröret och turbinledskenorna. Av Görans 17 åtgärdsförslag genomfördes fem stycken.

- Turbinhuset ersattes med en helt ny av moderna design med urfrästa ledskenor då det gamla var helt defekt. Det nya turbinhuset har både längre livstid och fungerar effektivare mekaniskt.

- Plåtsvepet på flamröret byttes ut då det inte gick att reparera. Det defekta plåtsvepet ersattes med tunnare plåt från 0,7 mm till 0,5. Vilket är standard tjocklek i detta användningsområde.
- Nytt batteri, 72Ah, och batteriladdare införskaffades så att motorn även skulle kunna användas utomhus. Säkerhetsutrustning i form av två brandsläckare och hörselskydd inköptes då risk för brand föreligger och ljudnivån från motorn kan överstiga 120 dB, vilket är skadligt för hörseln.
- På grund av slitage ersattes lagerhuset med nya lager. Två manometrar monterades, en för tryckluft och en för oljetryck. Manometern för tryckluft är viktig för att säkerställa att man minst har 7 bar vid motorstart. Om detta inte uppnås finns det risk för varmstart vilket leder till extremt höga temperaturer som kan värmeskada vitala delar i motorn. Tryckluft används även för nedkylning av motorn efter körning. Oljemanometern har som funktion att visa oljetrycket vilket ska vara mellan 2-3 bar. Vid lägre tryck kan slitage uppstå och även skadligt höga temperaturer.
- Vi bestämde oss även för att upprätta en körmanual och servicemanual. Detta för att optimera ett effektivt användande av motorn samt förlänga livslängden.

2.4 Mobilitet

En av våra uppgifter efter att fått motorn funktionell var att göra den mobil tillsammans med mätutrustningen.

Vi diskuterade fyra olika alternativ:

- Släpvagn med kåpa, all utrustning tillsammans med en separat kompressor skulle monteras i släpvagnen.
- Separat vagn till mätutrustningen då turbominen redan är flyttbar eftersom den är monterad på en provvagn.
- Att ha motor och mätutrustningen på en vagn, sedan styrpanelen tillsammans med dator och skrivare på en bänk.
- Stor vagn till all utrustning. (se bild 14)

Slutsatsen blev att en släpvagn inte var ett alternativ då det var för kostsamt. En separat vagn till mätutrustningen skulle bli opraktiskt. Beslutet blev därför en stor vagn till all utrustning, med tanke på alla sladdar och kablar som är kopplade mellan motor och mätutrustning.



Bild 14. Mobila vagnen

2.4.1 Mobila vagnen

Vår kontaktperson på Hässlögymnasiet yrkesläraren Göran Lidenvik erbjöd oss en gammal vagn för att montera fast motorn och tillhörande mätutrustning. (se bild 14)

Då vagnen var i väldigt dåligt skick och behövde blåstras samt ommålas monterade vi ner och maskerade den för transport till företaget MPA Rostskydd måleriproduktion. Åtgärderna utfördes kostnadsfritt av en praktikant från Hässlögymnasiet.

Vagnen sattes ihop och fyra stycken plåtskivor skruvades fast på vagnen innan utrustningen monterades på enligt nedan ordning: (se bild 15)

1. Provvagn placerades horisontellt på den bakre axeln av vagnen.
 - För att vagnen inte ska kunna röra på sig när motorn är på hög effekt och motorns inlopps och utloppsdel ska vara fri från närstående objekt.
2. Isolerverket placerades i mittpartiet av vagnen.
 - För att lätt kunna koppla alla kablar och slangar från motorn till boxen.
3. Mätpulten placerades vertikalt i främre axeln med den nya dataskärmen på.
4. Styrpanelen, datorn och skrivaren placerades på främre delen av vagnen.
5. Nästa steg var att sammankoppla utrustningen.
6. Brandsläckare monterades på respektive sida av vagnen ifall det skulle uppstå brand vid motorkörning.
7. Som sista steg spändes all utrustningen fast med spännband för att öka säkerheten. Kablar och slangar organiserades samt säkrades med buntband. (se bilaga 1, 2)



Bild 15. Mobila laborationsutrustningen

2.4.2 Uppgradering av datorn

Som ett led i att modernisera utrustningen såg vi även över möjligheten att uppgradera den funktionella datorn som var kopplad till mätpulsten. Tidigare användes en stationär dator som upplevdes svåröflyttad, vilket påverkade mobiliteten av utrustningen. Istället övervägdes användning av en bärbar dator. Detta skulle även underlätta lagring av mätdata genom användning av ex USB-minne vid laborationer. Skrivaren kunde därför skrotas.

Detta diskuterades med två dataprogrammerare som arbetar vid Mälardalens högskola. Efter en snabb undersökning av datorn och det installerade programmet för turbominen kunde de konstatera att datorn och programmet är av så pass gammal modell att varken en uppgradering eller överföring av det befintliga programmet till en bärbar dator var möjligt. Programmet är skrivet i BASIC vilket är ett dataspråk som inte längre används.

Beslutet blev därför att behålla den ursprungliga datorn och endast införskaffa en ny dataskärm, vilket donerades av Hässlögymnasiet.

2.5 Framtagande av underhållsprogram

Vi började med att gå igenom en pärm med underhållsrekommendationer framtagen av motorns tillverkare. Eftersom de skador som uppkommit på grund av bristfälligt underhåll samt mobilisering av utrustning konstaterade vi snabbt att tillägg samt uppdatering av befintligt program behövde genomföras. Vi utgick från de åtgärder som vi genomfört för att reparera defekta delar och inköp av nya delar i framtagande av vårt förslag till underhållsprogram.

Kapitel 3. Resultat

3.1 Reparation av Turbomin 100

Mirko Senkovski ansåg att den befintlig labbrationsutrustning uppfyllde laborationens syfte. Vidare bedömde han att en omfattande uppgradering av motorn inte var aktuellt då motorn endast används ett fåtal tillfällen per år och rekommenderade därför att endast de befintliga skadorna skulle åtgärdas.

- Flamröret lagades genom att plåtsvepet byttes ut på den gamla gaveln.
- Turbinhuset byts ut mot ett av senare design med utfrästa ledskenor. (se bild 16)
- Lager i lagerhuset byttes ut mot nya lager.



Bild 16. Turbinhus med utfrästa ledskenor

3.2. Provkörning av Turbomin 100

Tillsammans med Göran Alme installerades den åtgärdade motorn på provvagnen. En första testkörningen påbörjades. Kort efter start fick vi bränsletryckfall pga. bränsleläckage då bränsle slangen som är kopplade till regulator läkte. Även temperaturinstrumenten på styrpanelen visade fel, vi visste inte hur mycket tryck vi hade i startluft. Testet fick därför avbrytas. Göran rekommenderade oss att införskaffa och installera vissa saker för att vidta nödvändiga åtgärder innan en ytterligare testkörning kunde genomföras.

Vidtagna åtgärder:

- Manometer för tryckluft 0-10 bar med kopplingar. För att motorn ska kunna starta behöver den minst 7 bar i tryckluft.
- Bränsle slang 1m i längd och 5mm i diametern, tät i ena ändan.
- Bilbatteri 80 AH och en laddare till. Nödvändigt för start av motorn.
- Temperaturinstrument K-typ. För att kunna se den exakta utloppstemperaturen, då styrpanelens temperaturinstrument visar fel.

3.2.1 Andra provkörningen

Dag Hermansson, före detta lärare på Hässlögymnasiet, tidigare laboration och motoransvarig kontaktades. Dag har varit involverad i turbominen från första leveransdagen 1990.

Dag genomförde en genomgående kontroll av all mätutrustningen som är kopplad till turbominen för att fastställa att alla kablar och givare är korrekt kopplade. Därefter kunde testkörningen påbörjas. Motorn startades men gick endast på startbränsle då ventilerna till huvudspridarna för bränsleflödet till motorn inte öppnades. Ventilerna till huvudspridarna ska öppnas automatiskt då motorvarvtalet når 24 000 v/min. Då ytterligare en testkörning misslyckats bestämde vi oss för att ta en uppföljande kontakt med Göran Alme.

3.2.2 Tredje provkörningen

Vid den tredje testkörningen fanns både Dag Hermansson och Göran Alme på plats. En genomgång av hela motorn och startpanelen genomfördes för att fastställa att inga skador fanns på det elektroniska systemet. Efter flera försök konstaterades att sensorerna från varvtalet som är placerade i inloppsdelen ger felaktiga signaler på grund av ströljus. Motorn flyttades till ett mörkt utrymme fritt från ströljus och började då fungera som önskat.

3.3 Laboration med studenter

Laborationsgruppen var samlad för att utföra sin laboration tillsammans med Dag Hermansson. När man försökte starta motorn så blev det kortslutning i elektroniken, motorn startade inte. Efter fler genomgångar och mätning av elspänningen i olika delar av utrustningen kunde man inte fastställa orsaken. Laborationen på turbominen fick därför avbrytas och en uppföljande kontakt med Göran Alme fick tas.

3.4 Fastställande av funktionsfel

Göran Alme besökte Hässlögymnasiet för att undersöka motorn. På plats berättade han att elektroniken till utrustningen är tillverkat av enklare material och bör därför stå i ett cellrum utan fuktighet i luften då fuktigheten påverkade elektroniken och kunde även leda till kortslutning.

Göran gjorde först en genomsökning men hittade inget större fel förutom att batteriet var dåligt laddad och tryckluften till motorn var för lite endast 4,3 bar. Orsaken kan vara att munstycket till rören för tryckluft i tvätthallen från den centrala kompressorn är för liten då användningsområdet egentligen är till luftverktyg. På grund av dålig tryckluft i slangen startar inte motorn korrekt.

Den mobila utrustningen var placerad i ett dåligt isolerat utrymme, en tidigare tvätthall i Hässlögymnasiet. Fukt har kommit in i elektroniken, då det hade regnat i några dagar och det även var hög luftfuktighet på laborationsdagen.

3.5 Sista provkörningen

För att säkerställa att tillräcklig nivå av tryckluft uppnåddes använde vi oss av en separat lufttub där vi kunde reglera trycket manuellt. (se bild 17)

Som strömkälla användes ett spänningsaggregat då batteriet, under start, laddas ur och inte kunde leverera en konstant spänning på 12 V. (se bild 18)

Efter utförande av dessa åtgärder genomfördes en sista provkörning. Motorn startade. För att undersöka att det inte endast var en tillfällighet stängde vi av motorn för att starta upp den på nytt efter ca 30 min i drift. Denna gång startade inte motorn. Då vi utfört reparation och utbyte av de vitala delarna kunde vi dra slutsatsen av motorns elektroniska system är föråldrat och påverkar driften negativt. Något som bekräftades genom de olika testkörningarna.



Bild 17. Lufttub



Bild 18. Spänningsaggregat

3.6 Underhållsprogram för Turbomin 100

Moment att utföra före och efter start av motorn.

Före start:

- Kontrollera olja och bränslemängd i respektive tank, bränsletanken ska vara fulltankad.
- Blås ut kompressorslangen i några sekunder innan koppling av slangen till motorn. Detta för att avlägsna främmande partiklar som eventuellt kan finnas i kompressorslangen från att komma in i motorn.
- Trycket för startluft måste vara minst på 7 bar vid flöde, annars är det risk för snabb temperatur ökning i motorn med skador som följd.
- Sensorerna för varvtalet som är placerade i inloppsdelen måste skyddas från ströljus, då de kan ge felaktiga signaler.
- Det behövs ett högt tryck på smörjoljan på minst 1,5 till 2 bar när motorn är igång.

Efter start:

- Var uppmärksam på eventuellt läckage.
- Använd det gula temperaturinstrumentet K-typ som primär och temperaturmanometern i styrpanel som sekundär för utloppstemperatur. (se bild 19,20)



Bild 19. Primärt temperaturinstrument

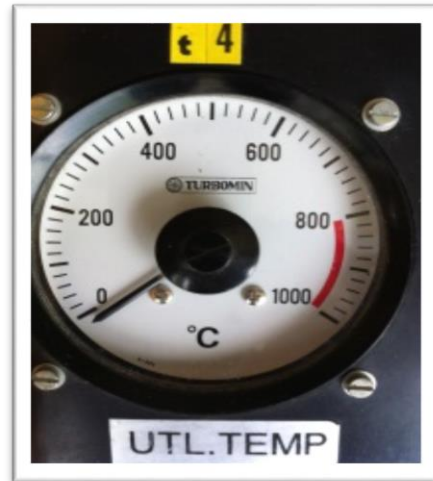


Bild 20. Sekundärt temperaturinstrument

- Om utloppstemperaturen skulle överstiga 730°C ska bränsleflödet omedelbart stängas av och låta motorn kylas ner med kompressorluften.
- För att undvika varmstart måste varvtalet vara ca 24000rpm, alltså 8000 på mätaren i styrpanelen.
- Efter körning stäng inte av luftknappen, låt motorn köras med endas kompressorluft, då detta hjälper nerkyllning och rensning av kvarstående partiklar i motorn.
- Utloppstemperaturen måste vara under 100°C innan man kan slå av luftknappen.
- Efter laboration koppla bort sladdarna till batteriet då det kan leda till urladdning.

Serviceintervall rekommenderas:

- Bränslespridaren måste monteras av från motorn och rengöras med hjälp av en gammal tandborste, efter sista labbrationsdagen på året. Efter en period koksar spridarna och det kan i sin tur leda till att lågornas riktning ändras och brännkammaren kan få skador.
- Bränsle och luftfilter måste rengöras kontinuerligt.

Kapitel 4. Diskussion

Vi hade en uppfattning om att det skulle vara lätt att hitta reservdelar till motorn då företaget som tillverkar Jet-Cat motorer till modellflygplan även kan tillverka de reservdelar som vi var i behov av. Men efter undersökning av frågan kunde vi konstatera att det är betydligt svårare och kostsamt. Vårt enda alternativ blev därför att kontakta tillverkaren av turbomotorn för reservdelar.

Med en stram budget att förhålla sig till blev endast de dysfunktionella delarna på motorn åtgärdade. Detta eliminerade förnyelse av elektroniska delarna som är kopplade från motor till provvagnen. Som egentligen var nödvändiga då syftet med att göra utrustningen mobil var att man även ska kunna genomföra laborationen utomhus.

Med den kunskap som vi nu besitter om att elektroniken på utrustningen är tillverkad för inomhusbruk är vi starkt självkritiska till att vi inte inledningsvis konsulterade lektorer i elektronik. Arbetet hade förenklats avsevärt och fler misstag kunde ha undvikits.

Kapitel 5. Slutsats och rekommendationer

Sedan lång tid har man uppmärksammat tecken på att motorn både tappat i effekt och tillförlitlighet. Orsaken var brist på underhåll. Resultatet blev en dysfunktionell motor. Med facit i hand kan vi konstatera att detta kunde ha undvikits om ett enkelt underhållsprogram hade upprättats och efterföljts.

Vi har tagit fram ett enkelt underhållsprogram som vi starkt rekommenderar efterföljande av för att undvika liknande haverier i framtiden. Samt förslag på hur man kan uppgradera och optimera motorns prestanda.

Vi rekommenderar att man ger datateknikstudenter vid Mälardalens Högskola uppgiften att utveckla ett modernt programvara till turbominen samt uppgradering av datorn.

Vidare rekommenderar vi att man införskaffar nedan föreslagna nya delar och vidtar följande åtgärder:

- En oljekylare med fläkt. När oljan blir för varm sjunker viskositeten, delar i motor och effekten påverkas negativ.
- En separat kompressor till motorn. Det finns risk för lite tryck från den centrala kompressorn i byggnaden.
- Längre tratt till inloppsdelen eller måla den befintliga trattens insida med svart matt färg. För att skydda sensorerna från ströljus.
- Färdiggjorda slangar med koppling till bränsle och olja.
- Bränsletryck manometer 0-16 bar.
- Smörjolja tryck manometer 0-6 bar. För att kunna bevaka tryck på oljan.
- Manometer måste vara 62 eller 100 med anslutningen neråt.

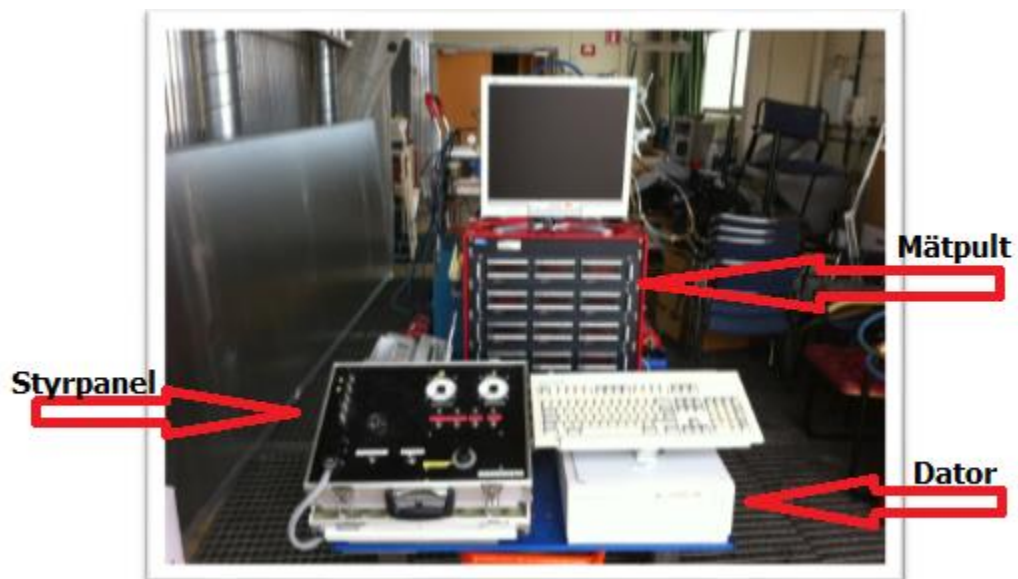
Alla dessa produkter kan införskaffas från företaget Swedol i Västerås

Kapitel 6. Referenser

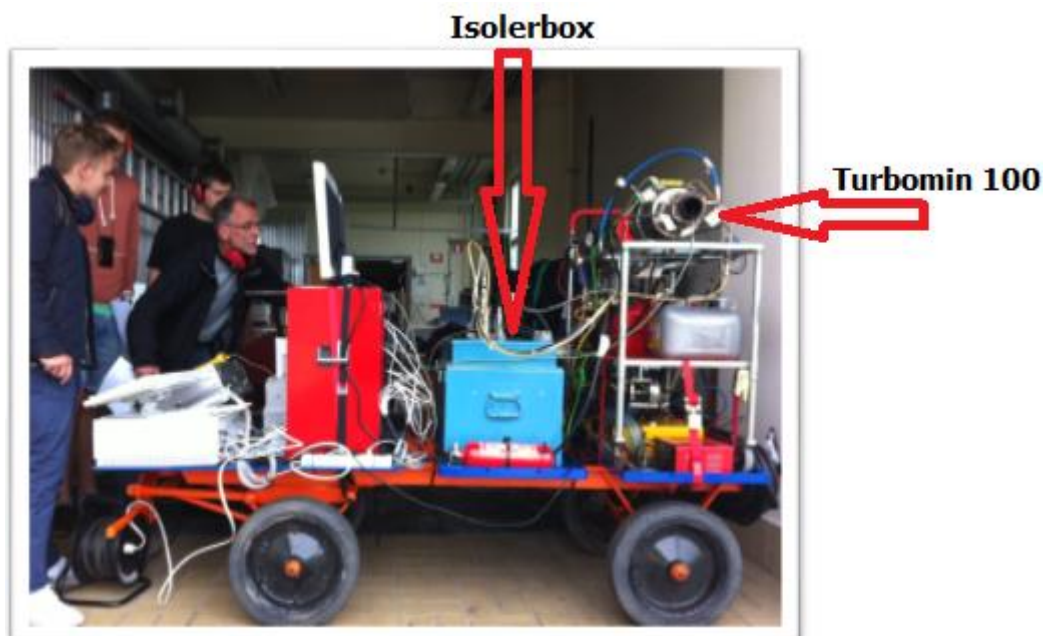
Pärmarna till motorn: Turbomin100 och Turbojet instructor

Författare: Anders Lilliesköld mdh.diva-portal.org/smash/get/diva2:375547/FULLTEXT01

Kapitel 7. Bilagor



Bilaga 1. Slutresultat, framifrån på den mobila laborationsutrustningen



Bilaga 2. Slutresultat, från sidan på den mobila laborationsutrustningen