

# ONTWERP EN FABRICAGE VAN JETMOTOR MET GERECYCLED TURBOLADERONDERDELEN

Een projectrapport ingediend ter gedeeltelijke voldoening van de vereiste voor de  
toekenning van de graad van

BACHELOR IN TECHNOLOGIE IN  
MECHANISCHE WERKTUIGKUNDE

By

G.G. Ravi Teja (315126520060) G.Chakradhar  
(315126520062) D. Sai Sri Ram (315126520045) C.B.V.S.N.  
Reddy (315126520028) D.Shekhar Reddy (315126520046)

Onder begeleiding van

Mevrouw P.RAMYA, M.E.  
Assistant Professor

DEPARTEMENT MECHANISCHE WERKTUIGKUNDE ANIL NEERUKONDA  
INSTITUUT VOOR TECHNOLOGIE EN WETENSCHAP (AUTONOOM)

(Goedgekeurd door AICTE, Aangesloten bij Andhra Universiteit, Geaccrediteerd door NBA,  
goedgekeurd met NAAC-'A' graad)

SANGIVALASA, VISAKHAPATNAM – 531162 2019

**ANIL NEERUKONDA INSTITUUT VOOR TECHNOLOGIE EN  
WETENSCHAP (AUTONOOM)**

(Goedgekeurd door AICTE, Aangesloten bij Andhra Universiteit, Geaccrediteerd door NBA, NAAC -  
A grade goedgekeurd)

SANGIVALASA, VISAKHAPATNAM



**CERTIFICAAT**

Hierbij wordt gecertificeerd dat het projectrapport getiteld "ONTWERP EN FABRICAGE VAN JETMOTOR MET GERECYCLEDE TURBOLADERONDERDELEN" is uitgevoerd door G.G. Ravi Teja (315126520060), G.Chakradhar (315126520062), D.Sai Sri Ram (315126520045), C.B.V.S.N. Reddy (315126520028), D. Shekar Reddy (315126520046) onder mijn begeleiding, ter gedeeltelijke vervulling van de vereisten voor de graad van BACHELOR IN TECHNOLOGIE van MECHANISCHE WERKTUIGKUNDE aan de Andhra Universiteit, Visakhapatnam.

GOEDGEKEURD DOOR

(Prof. B.Naga Raju)

Hoofd van de Afdeling

Afdeling Werktuigbouwkunde

ANITS, Visakhapatnam.

PROJECTBEGELEIDER

(Mevrouw P . R 2 l o l

Assistant Professor

Afdeling Werktuigbouwkunde

ANITS, Visakhapatnam.

DIT PROJECT IS GOEDGEKEURD DOOR DE COMMISSIE VAN EXAMEN.

INTERNE EXAMINATOR:

3 7

EXTERNE EXAMINATOR: . R

## **ERKENNING**

Wij uiten onze diepe dankbaarheid aan Mevrouw P.Ramya, Assistant Professor, Afdeling Mechanische Werktuigkunde, ANIL NEERUKONDA INSTITUUT VOOR TECHNOLOGIE EN WETENSCHAP, Sangivilsa, Bheemunipatnam Mandal, Visakhapatnam district voor haar waardevolle begeleiding en aanmoediging in elke fase van het werk, wat het tot een succesvolle voltooiing heeft gemaakt.

Wij zijn zeer dankbaar aan Prof. T.Subrahmanyam, Rector, en Prof. B.Naga Raju, Hoofd van de Afdeling Mechanische Werktuigkunde, ANIL NEERUKONDA INSTITUUT VOOR TECHNOLOGIE EN WETENSCHAP voor hun waardevolle suggesties.

Wij uiten onze oprechte dank aan de leden van het niet-onderwijzend personeel van de afdeling mechanische werktuigkunde voor hun vriendelijke medewerking en ondersteuning bij het voltooien van ons werk, en wij willen onze dank overbrengen aan allen die direct of indirect hebben bijgedragen aan de voltooiing van ons werk.

G.G. Ravi Teja (315126520060)  
G.Chakradhar (315126520062) D.  
Sai Sri Ram (315126520045)  
C.B.V.S.N. Reddy (315126520028)  
D.Shekhar Reddy (315126520046)

## SAMENVATTING

Dit is een afstudeerproject dat het idee beschrijft over hoe een Model Turbojet Motor te ontwerpen en te fabriceren uit schroot en gerecyclede onderdelen van een oude turbocharger van een oude vrachtwagen. Het belangrijkste motto van het project is om een werkend model turbojetmotor te bouwen uit schroot dat betrouwbaar en goedkoop is.

Een turbine jetmotor bestaat uit vier hoofdonderdelen, namelijk een compressor, een verbrandingskamer, een turbine en een uitlaatmondstuk. De turbine jetmotor werkt op een open cyclus die een jet voortstuwingscyclus wordt genoemd. Een kleinschalige turbine jetmotor bestaat uit dezelfde elementen als de gasturbine motor, maar op een kleinere schaal. Beide motoren verschillen in gebruik en doel van hun productie. Turbine jetmotoren zijn voornamelijk geconstrueerd voor luchttransport, terwijl de kleinschalige turbine jetmotoren zijn ontwikkeld voor een breder doel, variërend van onderzoeksactiviteiten tot enthousiaste hobbyisten. Daarom omvat deze thesis het ontwerp, de fabricage en het testen van een kleinschalige turbine jetmotor. De motor is afgeleid van een automobielturbocharger, die de turbine- en compressorcomponenten heeft geleverd. Een verbrandingskamer is ontworpen en gefabriceerd. Het motorsupportsysteem, bestaande uit ontsteking, smering en brandstofleveringssysteem, is geïnstalleerd op de motor. De motorassemblage is gemonteerd in een testopstelling.

Dit project is een replica van de werkelijke werking van de JETMOTOR op kleine schaal. De turbocharger fungeert als een geïntegreerde compressor- en turbineassemblage die geschikt is gemanipuleerd (zorgvuldig omgevormd) tot een open cyclus constante druk gasturbine. Het project omvat voornamelijk complexe modellering, ontwerpen en analyse van de verbrandingskamer met behulp van softwarepakketten zoals mat lab, ANSYS en andere gerelateerde software zoals AutoCAD, solid works, enz.; en vervolgens de volledige fabricage daarvan volledig door ons.

# Inhoud

1.2.1 Het Turbojetconcept van Sir Frank Whittle.	3
1.4.1. Inleiding.	8
1.4.2. Braytoncyclus.	8
1.4.3. Eenvoudige straalmotorcyclus.	9
1. Ontwerpprocedure voor Modelstraalmotor.	22
1.1. Voorlopige apparatuur en materialen.	22
1.1.1. Materiaalkeuze.	22
1.1.2. Gebruikte Gereedschap en Apparatuur.	23
1.1.3. Lijst van materialen:	31
1.2. Ontwerpcalculaties.	32
1.2.1. Berekeningen van de straalmotorcyclus.	32
1.3. CAD-modellering.	37
1.3.1. Inleiding tot Solid Works.	37
1.3.2. Ontwerp van motoronderdelen met solid works:	41
1.4. Fabricage van motor.	65
1.4.1. As.	65
1.4.2. Asbehuizing.	67
1.4.3. compressor en turbine.	68
1.4.4. Diffuserblad.	70
1.4.5. Ontstekingspijp.	71
1.4.6. Verbrandingskamer.	72
1.4.7. Buitenbehuizing.	73
1.4.8. Behuizingen van compressor en turbine.	74
1.5. Assemblage van de motor.	76
1.5.1. Aansluiten van de as en de behuizing.	76
1.5.2. Aansluiten van de turbine en de compressor.	76
1.5.3. Aansluiten van de diffuser en de mondstukgeleiders.	77
1.5.4. Aansluiten van de verbrandingskamer en de ontstekingspijp op de behuizing.	77
1.5.5. Invoegen in de buitenbehuizing.	77
1.5.6. Bevestigen van de compressor en turbine behuizing.	78
1.5.7. Verbinden van het model met het platform.	79
1.6. Toepassingen en verder onderzoek.	80
1.7. Conclusie:	82
1.8. Referenties.	82



## NAAMGEVING

E	Young's modulus van elasticiteit (MPa)
$\Lambda$	graad van reactie
$\dot{m}$	massastroom (kg/s)
$C_p$	Specifieke warmte bij constante druk (J/kg K)
$\gamma_R$	verliescoëfficiënt

### Griekse Letters

$\alpha_1, \beta_1$	Dichtheid van gas/lucht ( )
$\alpha_2, \beta_2$	Hoeken van het mondstukblad
$\psi$	Hoeken van het rotorblad
$U$	Stroomcoëfficiënt
$\psi$	Temperatuurdalingscoëfficiënt
$k$	Verhouding van specifieke warmtes
$\sigma$	Slipfactor

# HOOFDSTUK I

## LUCHT INGENIËREN

### 1.1 Inleiding

De uitvinding van de gasturbines rond de twintigste eeuw tijdens de Tweede Wereldoorlog leidde tot een belangrijke doorbraak op het gebied van primaire aandrijvingen. De afwezigheid van de terugkerende en wrijvende onderdelen, enkele balansproblemen, uitzonderlijk laag verbruik van smeerolie in combinatie met een hoge kracht-gewichtsverhouding maakten gasturbines zeer betrouwbaar. Deze inherente voordelen van de gasturbines werden gerealiseerd toen ze voor het eerst werden gebruikt voor vliegtuig voortstuwing rond het midden van de twintigste eeuw; en sindsdien hebben gasturbines speciale aandacht gekregen van een potentiële massa ingenieurs en wetenschappers over de hele wereld. De gasturbines zijn gebruikt als energiebron voor een verscheidenheid aan toepassingen, waarvan de meeste stationaire energiecentrale toepassingen omvatten, als voortstuwingssysteem voor maritieme toepassingen, locomotieven, enzovoort, maar het grootste deel van de toepassing van gasturbines is te vinden in de vliegtuigindustrie. De introductie van de gasturbine als voortstuwingssysteem in de vliegtuigen heeft de luchtwegen tot een zeer betrouwbare transportbron gemaakt. Het zijn niet alleen de ingenieurs en wetenschappers die enthousiast zijn over deze nieuwe, snel opkomende en zich ontwikkelende primaire aandrijving, maar het heeft ook de aandacht getrokken van het algemene publiek dat gefascineerd is door de inherente voordelen, de eenvoud van de constructie en de hoge betrouwbaarheid.

Een straalvoortstuwingssysteem werd al lang voor de fabricage van het straalvliegtuig geconciepeerd. Al in 150 v.Chr. visualiseerde de Egyptische filosoof Hero een ketelvormige machine die stoomdruk zou omzetten in een straalkracht. Hij noemde het de Aeropile. Ongeveer 300 jaar geleden ontwikkelde de derde wet van beweging van Sir Isaac Newton het concept van straalkrachtvoortstuwing verder door uit te leggen dat "voor elke actie er een gelijke en tegengestelde reactie is." Hij stelde het idee voor van een voertuig zonder paarden, de Newton Stoommachine, dat straalvoortstuwing zou gebruiken om te bewegen.

De ontwikkeling van de JETMOTOR maakte een drastische sprong toen, in 1928, Sir Frank Whittle het eerste echte praktische idee aanbood dat effectief in een vliegtuig kon worden gebruikt. Tegen 1930 was het idee van de JETMOTOR gepatenteerd, maar het was pas in 1937 dat het idee echt van de grond kwam. Toen, in april 1941, werd een vliegtuig genaamd de Gloster E.28, aangedreven door een W1X motor, getest. Slechts een maand later vloog hetzelfde vliegtuig met een W1 motor. De resultaten leverden onbetwistbaar bewijs dat Sir Frank Whittle een eersteklas krachtbron voor vliegtuig voortstuwing had uitgevonden.

De ontwikkeling van de gasturbine motor als vliegtuig krachtcentrale is zo snel gegaan dat het moeilijk is te waarderen dat vóór de jaren 50 zeer weinigen van deze methode van vliegtuig voortstuwing hadden gehoord. De mogelijkheid om een reactieturbine te gebruiken had vliegtuigontwerpers lange tijd geïnteresseerd, maar aanvankelijk presenteerden de lage snelheden van vroege vliegtuigen en de ongeschiktheid van een zuigermotor voor het produceren van de grote hoge snelheid luchtstroom die nodig is voor de straal veel obstakels.

Een Franse ingenieur, RenØ Lorin, patenteerde een straalmotor (fig. 1-1) in 1913, maar dit was een athodyd (para. 11) en was in die periode onmogelijk te vervaardigen of te gebruiken, aangezien geschikte warmtebestendige materialen toen nog niet waren ontwikkeld en, ten tweede, straalvoortstuwing extreem inefficiënt zou zijn geweest bij de lage snelheden van de vliegtuigen van die dagen. Echter, vandaag de dag is de moderne ramjet zeer vergelijkbaar met Lorin's conceptie.

In 1930 kreeg Frank Whittle zijn eerste patent voor het gebruik van een gasturbine om een voortstuwend straal te produceren,

Maar het duurde elf jaar voordat zijn motor zijn eerste vlucht voltooide. De Whittle-motor vormde de basis van de moderne gasturbine motor, en daaruit werden de Rolls-Royce Welland, Derwent, Nene en Dart motoren ontwikkeld. De Derwent en Nene turbo-jet motoren hadden wereldwijde militaire toepassingen; de Dart turbo-schroef motor werd wereldberoemd als de krachtbron voor de Vickers Viscount vliegtuig. Hoewel andere vliegtuigen kunnen worden uitgerust met latere motoren die twin-spool, triple-spool, by-pass, geducte ventilator, ongeducte ventilator en prop ventilator worden genoemd, zijn dit onvermijdelijke ontwikkelingen van Whittle's vroege motor.

## 1.2 Geschiedenis

Hoewel de uitvinding van de JETMOTOR kan worden teruggevoerd op de aeolipile die rond 150 v.Chr. werd gemaakt, worden Dr. Hans von Ohain en Sir Frank Whittle beide erkend als de mede-uitvinders van de JETMOTOR zoals we die vandaag de dag kennen, hoewel ze elk afzonderlijk werkten en niets wisten van elkaar's werk.

Straalvoortstuwing wordt eenvoudig gedefinieerd als elke voorwaartse beweging die wordt veroorzaakt door de achterwaartse uitwerping van een hogesnelheidsstraal van gas of vloeistof. In het geval van luchtvaart en motoren betekent straalvoortstuwing dat de machine zelf wordt aangedreven door straalbrandstof.

Hoewel von Ohain wordt beschouwd als de ontwerper van de eerste operationele turbojetmotor, was Whittle de eerste die een patent registreerde voor zijn schema's van een prototype, in 1930. Von Ohain verkreeg een patent voor zijn prototype in 1936, en zijn straalmotor was de eerste die vloog in 1939. Whittle's nam voor het eerst de lucht in 1941.

Hoewel von Ohain en Whittle erkende vaders van de moderne jetmotor zijn, kwamen er veel grootvaders voor hen, die hen begeleidden terwijl ze de weg banen voor de jetmotoren van vandaag.

De aeolipile van 150 v.Chr. werd gemaakt als een curiositeit en nooit voor een praktisch mechanisch doel gebruikt. In feite zou het pas met de uitvinding van de vuurwerkraak in de 13e eeuw door Chinese kunstenaars zijn dat een praktische toepassing van straalvoortstuwing voor het eerst werd geïmplementeerd.

In 1633 gebruikte de Ottomaanse Lagari Hasan Çelebi een kegelvormige raket aangedreven door straalvoortstuwing om de lucht in te vliegen en een set vleugels om het weer veilig te laten landen. Omdat raketten echter inefficiënt zijn bij lage snelheden voor de algemene luchtvaart, was dit gebruik van straalvoortstuwing in wezen een eenmalige stunt. Hoe dan ook, zijn inspanning werd beloond met een positie in het Ottomaanse leger.

Tussen de jaren 1600 en de Tweede Wereldoorlog experimenteerden veel wetenschappers met hybride motoren om vliegtuigen voort te stuwen. Velen gebruikten een van de vormen van de zuigermotor, waaronder luchtgekoelde en vloeistofgekoelde inline- en rotormotoren en statische radiale motoren, als de energiebron voor vliegtuigen.

#### 1.2.1 Het Turbojetconcept van Sir Frank Whittle

Sir Frank Whittle was een Engelse luchtvaartingenieur en piloot die als leerling bij de Royal Air Force kwam, en later in 1931 testpiloot werd.

Whittle was pas 22 jaar oud toen hij voor het eerst dacht aan het gebruik van een gasturbine motor om een vliegtuig aan te drijven. De jonge officier probeerde zonder succes officiële steun te krijgen voor de studie en ontwikkeling van zijn ideeën, maar werd uiteindelijk gedwongen zijn onderzoek op eigen initiatief voort te zetten.

Hij ontving zijn eerste patent op turbojet voortstuwing in januari 1930.

Gewapend met dit patent zocht Whittle opnieuw financiering om een prototype te ontwikkelen; dit keer met succes. Hij begon in 1935 met de bouw van zijn eerste motor -- een eenfase centrifugale compressor gekoppeld aan een eenfase turbine. Wat bedoeld was als een laboratorium testopstelling, werd in april 1937 met succes getest, wat effectief de haalbaarheid van het turbojetconcept aantoonde.

Power Jets Ltd. -- het bedrijf waarmee Whittle was geassocieerd -- ontving op 7 juli 1939 een contract voor een Whittle-motor, bekend als de W1. In februari 1940 werd de Gloster Aircraft Company gekozen om de Pioneer te ontwikkelen, het kleine motorvliegtuig dat de W1-motor zou aandrijven; de historische eerste vlucht van de Pioneer vond plaats op 15 mei 1941.

De moderne turbojetmotor die vandaag de dag in veel Britse en Amerikaanse vliegtuigen wordt gebruikt, is gebaseerd op het prototype dat door Whittle is uitgevonden.

### 1.2.2 Tijdlijn

1: Voor de eerste eeuw. De aeolipile werd gemaakt door Hero van Alexandrië. Het is de eerste bekende straalmotor.

2: 1791 Eerste gasgestuurde straalmotor. Gemaakt in Duitsland.

3: 1930 Frank Whittle diende zijn eigen patent in voor een vliegtuigmotor. Dit is het ontwerp voor de moderne turbojet.

4: 1932 Frank Whittles patent werd verleend.

5: 1935 begon Hans Von Ohain te werken aan vergelijkbare ontwerpen als Frank Whittle

6: 1937 had Hans Von Ohain zijn eerste motor die goed functioneerde

7: 1937 had Frank Whittle zijn eerste werkende motor.

8: 1939 arriveerde de straalmotor toen Erich Warsitz een turbojet vliegtuig over de Atlantische Oceaan vloog.

9: 1947 bereikte een Bell 1 raketvliegtuig 964 mijl per uur. (Mach 1.06) Het is het eerste vliegtuig dat Mach 1 bereikte

### 1.3 Evolutie van Straalmotoren

De vroege dagen van straalmotoren werden gekenmerkt door luide, schreeuwende motoren die letterlijk je oren deden suizen wanneer er eentje voorbij vloog, wat in groot contrast staat met het lage gerommel of mechanische gefummel dat je vandaag de dag hoort. Dit komt omdat het fundamentele ontwerp de afgelopen zes decennia drastisch is veranderd.

Het diagram illustreert de traditionele straalmotor, een turbojet, waarbij lucht door de compressor wordt aangezogen, verbrand wordt en vervolgens de motor verlaat via de turbine, die ook de compressor aandrijft. Er waren twee belangrijke problemen met dit ontwerp. Het eerste was het geluid; ze gilden en schreeuwden letterlijk terwijl de hete uitlaatgassen zich mengden met de koude atmosferische lucht. Het tweede was de efficiëntie. Deze straalmotoren waren brandstofslurpers omdat alle lucht die gebruikt zou worden om stuwwerking te produceren eerst verbrand moest worden met brandstof in de verbrandingskamer.

Al snel realiseerde iemand zich dat niet alle lucht nodig was om een straalmotor aan te drijven, en zo verscheen het idee van bypassstraalmotoren. Zoals dit diagram laat zien, wordt niet alle lucht verbrand; een deel ervan stroomt om de "kern" heen, in plaats van erdoorheen. Dit loste de twee problemen met turbojets op. De brandstofefficiëntie verbeterde aanzienlijk omdat slechts een deel van de lucht die door de ventilator werd aangezogen, gemengd hoefde te worden met brandstof en verbrand, en het geluid werd ook aanzienlijk verminderd dankzij

een laag koele omleidingslucht die de hete lucht omringt die uit de turbines komt. Vanwege latere ontwikkelingen worden deze motoren lage omleidingsverhouding turbofans genoemd.

Naarmate de vraag naar stuwkracht toenam, groeide de omleidingsverhouding. De motoren die je vandaag de dag op de meeste commerciële luchtvaartmaatschappijen ziet, zijn van het type dat lijns is geïllustreerd. Ze hebben een enorme ventilator aan de voorkant van de motor, waarbij het merendeel van de lucht de kern omleidt. Dit zijn hoge omleidingsverhouding turbofans. De gebruikelijke omleidingsverhouding die wordt gebruikt om dit type motor te onderscheiden van het type hierboven is een omleidingsverhouding van 3:1, wat betekent dat drie keer het volume lucht de kern omleidt in vergelijking met het volume lucht dat door de kern stroomt.

### 1.3.1 Soorten Jets

#### A. Turboprop Jetmotor

Een turbopropmotor is een jetmotor die aan een schroef is bevestigd. De turbine aan de achterkant wordt aangedreven door de hete gassen, en dit draait een as die de schroef aandrijft. Sommige kleine luchtvaartmaatschappijen en transportvliegtuigen worden aangedreven door turboprops.

Net als de turbojet bestaat de turbopropmotor uit een compressor, verbrandingskamer en turbine. De lucht- en gasdruk wordt gebruikt om de turbine aan te drijven, die vervolgens kracht genereert om de compressor te laten draaien. In vergelijking met een turbojetmotor heeft de turboprop een betere voortstuwing efficiëntie bij vliegsnelheden onder ongeveer 500 mijl per uur. Moderne turbopropmotoren zijn uitgerust met schroeven die een kleinere diameter hebben maar een groter aantal bladen voor een efficiënte werking bij veel hogere vliegsnelheden. Om de hogere vliegsnelheden te accommoderen, zijn de bladen scimitar-

gevormd met naar achteren gebogen leidingen aan de bladtips. Motoren met dergelijke schroeven worden prop ventilators genoemd.

De Hongaar Gyorgy Jendrassik, die werkte voor de Ganz wagonwerken in Boedapest, ontwierp in 1938 de allereerste werkende turbopropmotor. De Cs-1, Jendrassik's motor, werd voor het eerst getest in augustus 1940; de Cs-1 werd in 1941 verlaten zonder in productie te gaan vanwege de oorlog. Max Mueller ontwierp de eerste turbopropmotor die in 1942 in productie ging.

## B. Turbofan Jet

Een turbofan motor heeft een grote ventilator aan de voorkant, die lucht aanzuigt. Het merendeel van de luchtstroom gaat rond de buitenkant van de motor, waardoor deze stiller is en meer stuwwereld levert bij lage snelheden. De meeste moderne luchtvaartmaatschappijen worden aangedreven door turbofans. In een turbojet gaat alle lucht die de inlaat binnenkomt door de gasgenerator, die bestaat uit de compressor, verbrandingskamer en turbine. In een turbofan motor gaat slechts een deel van de binnenkomende lucht naar de verbrandingskamer.

De rest stroomt door een ventilator, of laagdrukcompressor, en wordt rechtstreeks als een "koude" straal uitgestoten of gemengd met de uitlaatgassen van de gasgenerator om een "hete" straal te produceren. Het doel van dit soort bypass-systeem is om de stuwwereld te verhogen zonder het brandstofverbruik te verhogen. Dit wordt bereikt door de totale luchtmassa-stroom te verhogen en de snelheid binnen dezelfde totale energievoorziening te verlagen.

## C. Turboshaft Motoren

Dit is een andere vorm van gasturbine motor die veel lijkt op een turboprop-systeem. Het drijft geen schroef aan. In plaats daarvan levert het kracht voor een helikopterrotor. De turboshaft motor is zo ontworpen dat de snelheid van de helikopterrotor onafhankelijk is van de rotatiesnelheid van de gasgenerator. Dit maakt het mogelijk om de rotorsnelheid constant te houden, zelfs wanneer de snelheid van de generator wordt aangepast om de hoeveelheid geproduceerde kracht te moduleren.

## D. Ramjets

De eenvoudigste jetmotor heeft geen bewegende delen. De snelheid van de straal "ramt" of dwingt lucht in de motor. Het is in wezen een turbojet waarvan de roterende machines zijn weggelaten. De toepassing ervan is beperkt door het feit dat de compressieverhouding volledig afhankelijk is van de voortgangssnelheid. De ramjet ontwikkelt geen statische stuwwereld en zeer weinig stuwwereld in het algemeen onder de snelheid van het geluid. Als gevolg hiervan heeft een ramjet-voertuig een of andere vorm van ondersteunde take-off nodig, zoals een ander vliegtuig. Het is voornamelijk gebruikt in geleide raketsystemen. Ruimtevoertuigen maken gebruik van dit type jet.

## 1.4 Turbomachines

### 1.4.1. Inleiding

Een turbomachine is een apparaat waarin energieoverdracht plaatsvindt tussen een stromende vloeistof en een roterend element door dynamische actie, wat resulteert in een verandering in druk en momentum van de vloeistof. De overdracht van mechanische energie vindt plaats binnen of buiten de turbomachine, meestal in een continue stroomproces. Turbomachines omvatten al die machines die energie produceren, zoals turbines, evenals die typen die een hoogte of druk genereren, zoals centrifugale pompen en compressoren. De turbomachine onttrekt energie aan of geeft energie af aan een continu bewegende stroom vloeistof.

Echter, in een positieve verplaatsingsmachine is het intermitterend. De turbomachine zoals hierboven beschreven omvat een breed scala aan machines, zoals gasturbines, stoomturbines, centrifugale pompen, centrifugale en axiale flowcompressoren, windmolens, waterwielen en hydraulische turbines. In deze tekst zullen we ons bezighouden met machines voor de stroming van incompressibele en compressibele vloeistoffen.

Turbomachines waarin vloeistof door het roterende lid in axiale richting beweegt zonder radiale beweging van de stroomlijnen. Dergelijke machines worden axiale flowmachines genoemd, terwijl als de stroom in wezen radiaal is, het een radiale flow- of centrifugale flowmachine wordt genoemd.

### 1.4.2. Braytoncyclus

De Braytoncyclus is een thermodynamische cyclus, vernoemd naar George Brayton, die de werking van een warmte motor met constante druk beschrijft. De oorspronkelijke Brayton-motoren maakten gebruik van een zuigercompressor en zuigerexpander, maar moderne gasturbine motoren en luchtademende straalmotoren volgen ook de Braytoncyclus. Hoewel de cyclus meestal als een open systeem wordt uitgevoerd (en inderdaad als zodanig moet worden uitgevoerd als interne verbranding wordt gebruikt), wordt voor de doeleinden van thermodynamische analyse conventioneel aangenomen dat de uitlaatgassen worden hergebruikt in de inlaat, waardoor analyse als een gesloten systeem mogelijk is.

De motorcyclus is vernoemd naar George Brayton (1830–1892), de Amerikaanse ingenieur die deze oorspronkelijk ontwikkelde voor gebruik in zuigermotoren, hoewel het oorspronkelijk werd voorgesteld en gepatenteerd door de Engelsman John Barber in 1791. Het staat ook soms bekend als de Joule-cyclus. De omgekeerde Joule-cyclus maakt gebruik van een externe warmtebron en omvat het gebruik van een regenerator. Een type Braytoncyclus is open naar de atmosfeer en maakt gebruik van een verbrandingskamer; een ander type is gesloten en maakt gebruik van een warmtewisselaar.

Een Brayton-motor bestaat uit drie componenten: een compressor, een mengkamer en een expander.

Moderne Brayton-motoren zijn bijna altijd van het turbine-type, hoewel Brayton alleen zuiger-motoren maakte. In de originele Brayton-motor uit de 19e eeuw wordt omgeving lucht in een zuigercompressor getrokken, waar deze wordt samengeperst; idealiter een isentropisch proces. De samengeperste lucht stroomt vervolgens door een mengkamer waar brandstof wordt toegevoegd, een isobaar proces. Het onder druk staande lucht- en brandstofmengsel wordt vervolgens ontstoken in een expansiecyylinder en er komt energie vrij, waardoor de verwarmde lucht en verbrandingsproducten zich uitbreiden door een zuiger/cylinder, opnieuw een idealiter isentropisch proces. Een deel van het werk dat door de zuiger/cylinder wordt onttrokken, wordt gebruikt om de compressor aan te drijven via een krukasconfiguratie.

Gasturbines zijn ook Brayton-motoren. Dit heeft ook drie componenten: een gascompressor, een brander (of verbrandingskamer) en een expansieturbine.

Ideale Braytoncyclus:

Isentropisch proces – omgeving lucht wordt in de compressor getrokken, waar deze wordt geperst.

Isobaar proces – de samengeperste lucht stroomt vervolgens door een verbrandingskamer, waar brandstof wordt verbrand, waardoor die lucht wordt verwarmd – een constant-druk proces, aangezien de kamer open is voor in- en uitstroming.

Isentropisch proces – de verwarmde, onder druk staande lucht geeft vervolgens zijn energie op, terwijl het zich uitbreidt door een turbine (of serie turbines). Een deel van het werk dat door de turbine wordt gewonnen, wordt gebruikt om de compressor aan te drijven.

Isobaar proces – warmteafvoer (in de atmosfeer).

Werkelijke Braytoncyclus:

adiabatisch proces – co

mpressie isobaar proces –

warmte toevoeging adiabatisch

proces

uitbreiding isobāar proces

— warmteafvoer

#### 1.4.3. Eenvoudige straalmotorcyclus

Er zijn twee soorten straalmotorcycli:

Het toevoegen van een compressor aan een ramjet die wordt aangedreven door een turbine in de uitlaat, maakt een hogere inlaattemperatuur van de verbrandingskamer mogelijk, wat leidt tot een toename van de mogelijke thermische efficiëntie. De turbine is echter beperkt in de temperatuur die hij kan verwerken, waardoor het maximale vermogen ook beperkt is.

In het onderstaande T-S diagram stelt de aanwezigheid van de compressor ons in staat om de inlaattemperatuur van de verbrandingskamer te verhogen. Het verhogen van het segment van de verbrandingskamer vergroot het cyclusgebied en de thermische efficiëntie.

## 1.5 Modelstraalmotor tot nu toe

Dit zijn enkele van de huidige modelstraalmotoren:

### 1) PBS TJ150 De

#### PBS TJ1

De 50 jetmotor is ontwikkeld voor onbemande voertuigen, trainingsdoelen en raketten. Het voordeel is het compacte ontwerp, het lage gewicht met een stuwwerktrekkracht van tot 1.500 N en het lage brandstofverbruik in de gegeven vermogenscategorie. De generatoroutput is 750 W. Een van de versies van de PBS TJ150 motor maakt landing op water mogelijk. De PBS TJ150 motor is een enkel-as jetmotor die bestaat uit een radiale compressor, radiale en axiale diffuser, annulaire verbrandingskamer, axiale turbine en een vast uitlaatmondstuk. Standaardaccessoires: inbegrepen: besturingssysteem (FADEC), ontsteking, aansluitkabel. Optionele accessoires: elektromagnetische brandstofklep, brandstoffilter, bedieningshendel, signaalpaneel, boostpomp, reductieklep, converter CAN, converter CAN-USB, gebruikerssoftware.

### 2) PBS TJ40-G1

Het is een turbojetmotor ontworpen voor UAV-systemen, zoals doelwitdrones en afleidingsdrones, om vijandelijke luchtverdedigingen en kleine verkenningsdrones te verwarreren. Het heeft het voordeel van een gewicht van slechts 7,16 lb. (3,25 kg) en een stuwwerktrekkracht van 88,8 lbf (395 N).

### 3) KJ-66

De KJ-66 motor is gebaseerd op een KKK turbocharger compressor No 2018. Dit heeft 2 voordelen: de compressor is gemakkelijk beschikbaar in redelijk goed gebalanceerde toestand en kan hogere toeren aan dan het in de motor zal tegenkomen.

Deze motor vertegenwoordigt een belangrijke vooruitgang ten opzichte van de FD3 64 en is verder ontwikkeld om 50 Newtonthrust (11 lbs) te produceren. Hij zal betrouwbaar draaien met de herziene kamer bij een temperatuur van 550 graden C of koeler.

## HOOFDSTUK II

### LITERATUUR OVERZICHT

- 1) Onkar Patel: "EEN OVERZICHT VAN DE TURBOJETMOTOR" In dit overzichtsartikel wordt de werking van de turbojetmotor beschreven en het gebruik van apparaten in de turbojetmotor, zoals de twine spool, en de factoren die de stuwwereld beïnvloeden. Luchtsnelheid, luchttemperatuur, systeemcomponenten en energiebalans.
- 2) Patrick Hendrick: "ONDERZOEK NAAR KLEINE TURBOJETMOTOREN AAN DE KONINKLIJKE MILITaire ACADEMIE VAN BELGIË" Hoge snelheid en hoge-altitude UAV- en MAV-vluchten vereisen bepaalde kwaliteiten van de geïnstalleerde motor(en). Het gebruik van turbojets voor dit doel is gerechtvaardigd, hoewel de motoren mogelijk in prestaties tekortschieten, wat kan worden gecompenseerd met inlaatkoeling. Dit artikel beschrijft het onderzoek dat aan de RMA is gedaan naar inlaatkoeling. Hoofdzakelijk wordt de invloed van de koeling op de stuwwereld en de TSFC van de SR-30mini turbojet behandeld. Hier wordt de koeling verkregen door injectie van vloeibare stikstof in de motorinlaat. Theorie en experimenten worden vergeleken en de invloed van ijsvorming op de prestaties van de motor wordt besproken.
- 3) Edwin Cyril: "Een Studie over Mini Jet Motoren" Het gebruik van Mini Jet Motoren in het huidige scenario is zeer beperkt. Ze bieden veel voordelen ten opzichte van conventionele zuigmotoren, zoals een hoge vermogen-gewichtsverhouding, schonere verbranding, een kleiner aantal bewegende delen, enz. Deze voordelen, samen met hun kleinere formaat en lagere gewicht, presenteren ze als het ideale alternatief voor zuigmotoren in hybride voertuigen. De kenmerken van de motor worden in detail bestudeerd en naar voren gebracht in dit project waarin een mini jet motor wordt ontworpen, gefabriceerd, geassembleerd en getest op bedrijfssnelheden.
- 4) Jassem M.: "Bijdrage aan de ontwikkeling van het ontwerp en de prestaties van de turbine jetmotor" Een turbine jetmotor heeft vier hoofdonderdelen, namelijk compressor, verbrandingskamer, turbine en uitlaatmondstuk. De turbine jetmotor werkt in een open cyclus die een jet voortstuwingssyclus wordt genoemd. Een kleinschalige turbine jetmotor bestaat uit dezelfde elementen als de gasturbine motor, maar op een kleinere schaal. Turbine jetmotoren zijn voornamelijk geconstrueerd voor luchttransport, terwijl de turbine jetmotoren zijn ontwikkeld voor een breder doel, variërend van onderzoeksactiviteiten tot enthousiaste hobbyisten. Daarom omvat dit paper het ontwerp, de fabricage en het testen van een turbine jetmotor. De motor is afgeleid van een automobielturbocharger, die de turbine- en compressorcomponent heeft geleverd. Een verbrandingskamer is ontworpen en gefabriceerd. Het motorsupportsysteem, bestaande uit ontsteking, smering en brandstofleveringssysteem, is geïnstalleerd op de motor. Thermokoppels van type K zijn geïnstalleerd op vier verschillende stations op het motorstroompad om de temperatuur te meten. Brandstofregelaars worden gebruikt om de brandstofdoorstroomsnelheid te meten. Het ontwerp van de verbrandingskamer is ontwikkeld om primaire en secundaire luchtinlaten paden te maken om een reeks verbrandingsprocessen mogelijk te maken die helpen de snelheid van een jetmotor te verhogen.
- 5) Prabodh Singh Virdi1: "Ontwerp en Fabricage van Belangrijke Componenten van de Turbojetmotor". In dit werk is een centrifugale type impeller ontworpen met behulp van ANSYS-software om een druk van 2,9 bar te ontwikkelen bij een massastroom van 0,6 kg/s, en een geschikte diffuser is ontworpen om de luchtstroom in de vereiste richting te geleiden met dezelfde software. Volgens de beschikbare druk en massastroom is een annulaire type verbrandingskamer ontworpen om de geschikte temperatuur te produceren. De turbinerotor, met een reactie van 0,4974, is ontworpen om het vermogen te produceren dat nodig is om de impeller en de accessoires in een enkele fase te laten draaien, gebrekend van de beschikbare druk en temperatuur, wat de kosten van de fabricage aanzienlijk heeft verlaagd. De vereiste aerofoilvorm voor de bladen is ontwikkeld met behulp van de Bludgeon-tool van ANSYS-software. Impeller en diffuser zijn geproduceerd met Aluminium door middel van CNC-bewerking. Om de hoge temperaturen die ontstaan te weerstaan, is roestvrij staal gebruikt voor de verbrandingskamer en geproduceerd met behulp van basisbewerkingsprocessen. Oliegehard nikkelstaal is het materiaal dat is gebruikt voor de fabricage van de stator en rotor van een turbine-sectie, en dit is gedaan met behulp van het CNC-bewerkingsproces. Al deze componenten zijn met succes geassembleerd.

6) Nick Strahan: Een turbocharger straalmotor combineert kennis van vloeistofdynamica, thermodynamica, warmteoverdracht, machine-elementen en straalvoortstuwing. Dit paper beschrijft hoe we een straalmotor hebben gebouwd met behulp van een turbocharger van een vrachtwagen. We bekijken de geschiedenis van straal motoren, de types straalmotoren, hoe we onze straalmotor hebben gebouwd en de technische analyse erachter. We hebben specifieke stuwkracht, specifiek brandstofverbruik en de adiabatische vlamtemperatuur berekend met behulp van concepten die we hebben geleerd in de lessen straalvoortstuwing en thermodynamica. We hebben een luchtbehandelingssysteem uit roestvrij staal gefreesd en een brandstofsysteem, koelolie-systeem en ontstekingsysteem gebouwd om de motor te laten draaien.

## HOOFDSTUK III

### TURBOCHARGERS

#### 3.0 Inleiding

Een turbocharger is een centrifugale compressor die wordt aangedreven door een turbine die wordt aangedreven door de uitlaatgassen van een motor. Het doel van een turbocharger is om de zuurstof die de motor van een auto binnentkomt te comprimeren, waardoor de hoeveelheid zuurstof die binnentkomt toeneemt en daarmee de vermogenoutput verhoogt. De turbocharger wordt aangedreven door de eigen uitlaatgassen van de auto. Met andere woorden, een turbocharger benut een bijproduct van de motor dat anders nutteloos zou zijn, en gebruikt het om het vermogen van de auto te verhogen.

**Turbocharger compressor:** Turbocharger compressoren zijn over het algemeen centrifugale compressoren die uit drie essentiële componenten bestaan: compressorwiel, diffuser en behuizing. Met de rotatiesnelheid van het wiel wordt lucht axiaal aangezogen, versneld tot hoge snelheid en vervolgens radiaal afgevoerd.

**Turbocharger turbine:** De turbocharger turbine, die bestaat uit een turbinewiel en turbinehuis, zet de uitlaatgassen van de motor om in mechanische energie om de compressor aan te drijven. Het gas, dat wordt beperkt door de doorsnede van de turbine, resulteert in een druk- en temperatuurval tussen de inlaat en uitlaat. Deze drukval wordt door de turbine omgezet in kinetische energie om het turbinewiel aan te drijven.

De turbojetmotor maakt gebruik van een grote diesel vrachtwagen turbocharger; dit is simpelweg omdat de turbocharger fungeert als een geïntegreerde compressor en turbine assemblage. Dit elimineert de noodzaak om de afzonderlijke compressor- en turbine-eenheden te construeren of apart te zoeken. Dit vermindert een groot deel van de werkzaamheden wat betreft de uitvoering van het project. De constructie van de turbocharger is al uitgelegd in de componentbeschrijving, het lijkt veel op een echte gasturbine met een centrifugale compressor gekoppeld aan de radiale turbine, ondersteund door een hydrodynamisch lagersysteem. De verbrandingskamer is niet aanwezig in de turbocharger. De werkcyclus van de turbocharger komt overeen met die van de eenvoudige gasturbine. Dus de

De functionele werking van de turbocharger is in ieder geval voor dit project hetzelfde als die van de eenvoudige gasturbine. De werking van de turbocharger wordt hieronder uitgelegd.

### 3.2 Werking van de Turbocharger

Werking van de turbocharger:

1. Via de luchtinlaat komt de omgeving lucht de compressor van de turbo binnen. 2. De lucht wordt vervolgens gecomprimeerd tot een verhoogde dichtheid (massa/eenheid volumestroom). Lucht komt de

compressor binnen bij een temperatuur gelijk aan de atmosfeer, maar omdat compressie de temperatuur doet stijgen, verlaat het de compressor bij temperaturen van 200 graden C en meer bij hoge boosttoepassingen.

3. Soms wordt er een luchttemperatuurkoeler (interkoeler) gebruikt na de compressorunit die de samengeperste lucht om de dichtheid verder te verhogen en zo de hoeveelheid zuurstof in hetzelfde volume lucht-lading te vergroten.

4. Na het passeren van de uitlaat van de compressor, komt de lucht in de verbrandingskamer.

waar de lucht wordt gemengd met de brandstof om een brandbaar lucht-brandstofmengsel te vormen dat vervolgens wordt verbrand.

5. Nadat het lucht-brandstofmengsel in de verbrandingskamer is verbrand, stroomt het vervolgens in het turbinehuis.

6. De gassen met hoge temperatuur stromen dan verder naar de radiale turbinebladen. De turbine draait door de impulswerking van de gassen met hoge temperatuur en hoge druk.

7. Er vindt een druk- en temperatuurval plaats (warmte-uitzetting) over de turbine, die de energie van het uitlaatgas benut om de benodigde kracht te leveren voor het aandrijven van de compressor.

8. Niet alle kracht die door de turbine van de turbocharger wordt geproduceerd wordt gebruikt om de compressor aan te drijven, een deel wordt naar de atmosfeer afgevoerd.

9. Om enig nut te halen uit deze afvoerende hete gassen die anders verspild zouden worden, maken we gebruik van een uitlaatmondstuk. Het uitlaatmondstuk is een convergent mondstuk dat adiabatisch

de drukenergie van de uitlaatgassen in kinetische energie. Deze kinetische energie wordt gebruikt om de nuttige stuwwerkt te verkrijgen die geschikt kan worden gebruikt voor voortstuwingsoeleinden.

### 3.3 Selectie van Turbocharger

Er zijn verschillende factoren, zoals turbovertraging, boostdrempel, warmte, terugdruk, laagtoeren koppel en hoogtoeren vermogen, die in overweging moeten worden genomen bij het selecteren van een turbo. Een grote turbo zal lijden onder turbovertraging en zal niet veel laagtoeren koppel produceren, maar het zal ook niet te veel warmte aan de inlaatlading toevoegen, zal niet veel terugdruk hebben en zal veel hoogtoeren vermogen produceren. Een kleine turbo daarentegen zal niet veel turbovertraging hebben en zal veel laagtoeren koppel produceren, maar zal ook veel terugdruk hebben en veel warmte aan de inlaatlading toevoegen. De selectie van de turbocharger op basis van de bedrijfskenmerken van de compressor en turbine wordt veel gebruikt voor de selectie van turbochargers voor personenauto's. Voor de toepassing van de turbojetmotor wordt de turbocharger geselecteerd op basis van de kaarten van de compressor en turbine.

Bedrijfskenmerken van de compressor:

Het bedrijfsgedrag van de compressor wordt over het algemeen gedefinieerd door kaarten die de relatie tussen drukverhouding en volume- of massastroom tonen. Het bruikbare gedeelte van de kaart met betrekking tot de centrifugale compressor wordt beperkt door de surge en choke lijnen en de maximaal toegestane compressorsnelheid.

Surge lijn

Fig: Compressor kaart van een turbocharger voor toepassingen in personenauto's

De kaartbreedte is aan de linkerkant beperkt door de surge lijn. Dit is in wezen "stilstand" van de luchtstroom bij de compressorinlaat. Bij een te kleine volume stroom snelheid en een te hoge drukverhouding kan de stroom niet langer aan de zuigzijde van de bladen blijven plakken, met als gevolg dat het afvoeringsproces wordt onderbroken. De luchtstroom door de compressor wordt omgekeerd totdat een stabiele drukverhouding met positieve volume stroom snelheid is bereikt, de druk bouwt zich weer op en de cyclus herhaalt zich. Deze stroominstabiliteit blijft aanhouden bij een vaste frequentie en het resulterende geluid staat bekend als "surging".

### Choke lijn

De maximale volume stroom snelheid van de centrifugale compressor is normaal gesproken beperkt door de doorsnede bij de compressorinlaat. Wanneer de stroom bij de wielinlaat de sonische snelheid bereikt, is verdere toename van de stroom snelheid niet mogelijk. De choke lijn is te herkennen aan de steil dalende snelheidslijnen aan de rechterkant van de compressor kaart.

### Bedrijfskenmerken Turbine

Het kenmerkend gedrag van de turbine wordt bepaald door de specifieke stroomdoorsnede, de keeldoorsnede, in het overgangsgebied van het inlaatkanaal naar de volute. Door deze keeldoorsnede te verkleinen, wordt er meer uitlaatgas stroomopwaarts van de turbine gedampt en de turbineprestaties nemen toe als gevolg van de hogere drukverhouding. Een kleinere stroomdoorsnede resulteert daarom in

hogere boostdrukken. De doorsnede van de stroming van de turbine kan eenvoudig worden aangepast door de behuizing van de turbine te veranderen.

Naast de doorsnede van de stroming in de behuizing van de turbine, beïnvloedt ook het uitgangsgebied bij de wielinlaat de massastroomcapaciteit van de turbine.

De bedrijfskenmerken van uitlaatgasturbocharger turbines worden beschreven door kaarten die de stroomparameters tonen, uitgezet tegen de turbine drukverhouding. De turbinekaart toont de massastroomcurven en de turbine-efficiëntie voor verschillende snelheden. Om de kaart te vereenvoudigen, kunnen de massastroomcurven, evenals de efficiëntie, worden weergegeven door een gemiddelde curve.

Voor een hoge algehele efficiëntie van de turbocharger is de coördinatie van de diameters van de compressor en het turbinewiel van vitaal belang. De positie van het werk punt op de compressorkaart bepaalt de snelheid van de turbocharger. De diameter van het turbinewiel moet zodanig zijn dat de turbine-efficiëntie in dit werkbereik wordt gemaximaliseerd.

#### Vereisten van Turbocharger:

1. Het moet een diesel vrachtwagen turbocharger zijn.
2. Het moet stevig en robuust zijn om hoge snelheden, spanningen en krachten te weerstaan.
3. De compressor drukverhouding moet rond de 2,5 zijn.
4. De bedrijfssnelheid van de turbocharger moet hoger zijn dan 70.000 tpm.
5. De turbine drukverhouding/Boostdruk moet hoog zijn, rond de 2.
6. De individuele efficiënties van de compressor en turbine moeten hoog zijn.
7. De turbocharger moet in staat zijn om hoge dynamische trillingen te weerstaan.
8. Turboovertraging moet minimaal zijn.
9. Terugdruk moet minimaal zijn.
10. Het turbo lager moet een hydrodynamisch lager zijn met een geforceerd smeersysteem.
11. Het smeersysteem moet eenvoudig en makkelijk te onderhouden zijn.
12. Het turbo smeermiddel moet makkelijk verkrijgbaar en goedkoop zijn.
13. De bedrijfstemperaturen van de turbine moeten hoog zijn, rond de 1000 graden Celsius.
14. Hoge betrouwbaarheid bij topsnelheden.

15. Het onderhoud van de turbocharger moet eenvoudig zijn; onderdelen van de turbocharger moeten gemakkelijk verkrijgbaar zijn.

## HOOFDSTUK IV

### COMPONENTEN VAN DE MODELSTRAALMOTOR

#### 4.1 Compressor

De gekozen compressor was een radiale compressor, afkomstig van een turbocharger die in een automotor werd gebruikt. Dit werd gezien als de gemakkelijkste manier om een compressor te verkrijgen zonder er zelf een te bouwen. Maar na verder werk en studie over het onderwerp werd duidelijk dat de gebruikte compressor onvoldoende was voor het gemaakte ontwerp. Zoals te zien is in figuur 30, is het beoogde werkbereik van de compressor bij zeer hoge snelheden, en zelfs dan is de drukverhouding niet bijzonder hoog; er zijn zelfs geen gegevens voor de snelheden die we zouden kunnen hopen te bereiken. We kwamen tot de conclusie dat deze turbo was gemaakt met hoge efficiëntie in plaats van hoge drukken in gedachten. De compressor had achterwaarts gebogen schoepen, wat een lagere luchtstroom geeft dan die van radiale schoepen, maar in plaats daarvan heeft het een hogere efficiëntie. De veronderstelling dat het te moeilijk zou zijn om een compressor te maken, kan verkeerd zijn geweest. Na in de werkplaats te zijn geweest en later de onvoldoende compressor op te merken, leek het idee om een compressor te maken niet meer zo ver weg. Het zou mogelijk zijn om een compressor met radiale schoepen te maken, die niet zo efficiënt is als achterwaarts gebogen schoepen, maar waarbij de luchtstroom en compressie hoger zijn, en het werkbereik van de compressor zou kunnen worden aangepast aan de rest van de motor.

## 4.2 Diffuser

De compressor op de turbocharger vervult dezelfde functie als de compressor op de turbojetmotor. Hij wordt gebruikt om een grote hoeveelheid lucht in een kleine ruimte te comprimeren en de druk te verhogen. Het compressorwiel draait met een zeer hoge snelheid; meestal tussen de 45.000 en 125.000 rpm. De grotere truck turbochargers draaien ongeveer 75.000 rpm. Het compressorwiel is meestal gemaakt van een aluminiumlegering. Het draait niet op een hoge temperatuur, dus aluminium werkt prima. De samengeperste lucht verlaat de compressor en komt in een diffuser. Dit is meestal een gietstuk dat in oppervlakte toeneemt, zodat de lucht wordt vertraagd en de druk toeneemt. Het compressoruiteinde bevat de impeller. Dit is meestal een investeringsgietstuk van aluminiumlegering. De bladen dicht bij het midden worden de inducerbladen genoemd en worden gebruikt om de lucht in de compressor te trekken, waar de radiale bladen deze versnellen. De lucht passeert vervolgens in de spiraalvormige behuizing die de diffuser wordt genoemd.

## 4.3 Verbrandingskamer

De gekozen verbrandingskamer was van annulaire type. In vergelijking met de andere kan- en kan-annulaire types heeft de annulaire type een meer vaste en eenvoudige constructie en biedt het de mogelijkheid voor de meest efficiënte verbranding. Het is structureel het gemakkelijkst te bouwen en is ideaal voor een eenvoudige constructie. Een nadeel van de annulaire verbrandingskamer is dat vervanging een demontage van de motor vereist, wat duur en tijdrovend is; voor ons is dit echter geen probleem.

## 4.4 Turbine

De turbine was van axiale type, wat het meest voorkomende type turbine is. Het was gemaakt van een stalen hub en was gepland om turbinebladen aan de hub te laten lassen. Vanwege een te kleine compressor werd het werk aan de motor stopgezet en bleef de turbine onafgemaakt.

## 4.5 Aandrijfas en Lagers

De as was gemaakt van een stalen staaf om een vaste structuur te creëren, met de lagers die de as aan de motor verbinden. De turbine drijft de compressor aan via een aandrijfas, meestal een zeer korte as met een kleine diameter die door middel van wrijvingslassen aan het turbinewiel is bevestigd en aan de compressor is vastgeschroefd. De as loopt door een aluminium lager.

De maximaal toegestane snelheid van de lagers was vastgesteld op 50.000 tpm. Een andere factor in hoe snel we de motor konden laten draaien, is de balans van alle draaiende delen, wat een gecompliceerd proces is dat veel precisie en geduld vereist. Dit veroorzaakte enkele problemen met de compressor, aangezien deze snelheden niet voldoende zouden zijn om de compressieverhoudingen te bereiken die nodig zijn voor een zelfondersteunende cyclus. De meeste moderne turbochargers gebruiken hydrodynamische lagers. Dit is een legering sleeve lager met ontwerptoleranties die een laag olie tussen de as en het lager mogelijk maken. Wanneer de turbocharger draait, staat de olievoorziening onder druk en rijdt de as op een laag olie en raakt het legering lager niet aan. De as is op een laag olie opgehangen. Het steunlager aan het turbine-einde rijdt op een laag olie en wordt gekoeld door olie. Het lager aan het turbine-einde draait extreem heet, meestal rond de 1.800 graden F. Grote hoeveelheden olie moeten worden gecirculeerd om voldoende koeling te bieden.

## 1. Ontwerpprocedure voor Modelstraalmotor

### 1.1. Voorlopige apparatuur en materialen

#### 1.1.1. Materiaalkeuze

De materialen die nodig zijn om een turbojetmotor te modelleren, zijn vrij beschikbaar in de lokale schroothandels en staalwinkels. De keuze van de materialen wordt gedaan op basis van de ingenieursnormen, het type doel en de omgeving waarin ze zijn gebruikt.

De materiaalspecificatie wordt gedaan op basis van de ingenieurs- en bouwparameters. De meeste delen en materialen worden gekocht uit de schroot en van ongebruikte componenten, zodat we een lager budget kunnen realiseren voor de fabricage van deze motor. De lijst van componenten met hun respectieve materialen is te vinden in tabel 1.1.

De meeste materialen zijn van hoge kwaliteit, omdat men bij het bouwen van een machine zoals een jetmotor zeer voorzichtig moet zijn bij het beoordelen van het materiaal voor het doel. Deze motoren kunnen een aanzienlijk aantal dynamische krachten produceren tijdens het draaien, dus men moet goed op de hoogte zijn van de eigenschappen van het materiaal, zoals met welk metaal en de temperatuur waarmee deze kunnen worden weerstaan, evenals de sterkte, duurzaamheid, vervormbaarheid en de stress die wordt gegenereerd, samen met hun gedrag ten opzichte van temperatuurveranderingen. Aangezien deze motoren werken bij hoge temperaturen die kunnen variëren van honderden tot duizenden graden, is het zo hoog dat een specifiek materiaal voor een specifieke taak nodig kan zijn.

Deze motoren zijn continue energieopwekkende motoren, waardoor de energie continu vrijkomt. Hierdoor draaien deze motoren op hoge snelheden die veel groter zijn dan de conventionele snelheid van geluid. De snelheid wordt gemeten in termen van "Machgetal." Om deze reden moeten de materialen die een grote hoeveelheid torsiestress en centrifugale kracht kunnen weerstaan, in overweging worden genomen.

Men moet goed op de hoogte zijn van de eigenschappen en de toepassingen van deze materialen, zodat in het geval dat het gewenste materiaal niet beschikbaar is, de modelleur een geschikte alternatieve materiaal kan kiezen.

De meest gebruikte materialen zijn ijzerhoudend (gewone staal, RVS, CI, enz.) en andere materialen zoals aluminiumlegeringen voor compressoren en Ni-Cr staal voor de turbine, omdat deze hoge thermische stress en hoge snelheden moeten weerstaan. De behuizingen van het jetmotor model zijn gemaakt van gewone staal en de as en de behuizing zijn gemaakt van hoogwaardig roestvrij staal. Andere componenten, zoals de verbrandingskamer, zijn gemaakt van RVS plaat en de componenten die hoge temperaturen produceren, zijn gemaakt van koper, zoals de ontstekingspijp en de mondstukgeleiders.

### **1.1.2. Gebruikte Gereedschappen en Apparatuur**

Er zijn verschillende gereedschappen waarmee men het model kan bouwen, maar de volgende zijn de meest gebruikte en komen ook vaak voor in de werkplaatsen en bij technische bedrijven.

De volgende is de lijst van gereedschappen en apparatuur die gebruikt worden voor de fabricage van de modelstraalmotor:

1. Draaibank
2. CNC-machine
3. Radiale boormachine
4. Booglasmachine
5. Platenwalsmachine
6. Oxy-fuel lassen en snijden
7. Diverse gereedschappen zoals handboor, haakse slijper

## 1. Draaibank

Een draaibank is een machine die helpt bij het vormen van verschillende materiaalstukken in de gewenste vormen. Een draaibank is een machine die het stuk om de as draait om verschillende bewerkingen uit te voeren, zoals snijden, vlakfrezen, knurling, draad snijden en meer. Metaaldraaien, thermisch spuiten, houtdraaien en metaalbewerking zijn de gebruikelijke bewerkingen die met een draaibank worden uitgevoerd. Men kan zelfs aardewerk vormen met dit werk wonder. Welk materiaal ook wordt gebruikt in de draaibank, of het nu metaal of hout is, wordt eerst gemodelleerd.

Het houten stuk wordt geplaatst tussen het kopstuk en het staartstuk van de draaibank. Klemmen worden ook gebruikt om het stuk rond de rotatie-as te bewerken met behulp van een gezichtsplaat, klemmen/honden of klem/schroef. De producten die met behulp van de draaibank worden geproduceerd, zijn keu-stokken, muziekinstrumenten, kaarsenhouders, tafelpoten, honkbalknuppels, wapenlopen, nokassen, kommen, krukassen en nog veel meer. Er zijn veel draaibanken die variëren in grootte en vorm, afhankelijk van het werk dat moet worden gedaan.

## 2. CNC-machine

CNC-machines zijn computergestuurde werktuigmachines. Met CNC controleert een computer de servo's die de machine bedienen. NC, en later CNC, zorgde voor enorme productiviteitsstijgingen voor werktuigmachines omdat de machines automatisch konden draaien zonder constante aandacht van hun operator.

De taperbevestigingen die beschikbaar zijn voor veel handmatige draaibanken zijn niet anders dan de hydraulische tracerfunctie; het enige verschil is dat de tracer in staat is om meer complexe sjablonen te maken dan eenvoudige tapers. Maar de opkomst van eerst NC en later CNC heeft de hoeveelheid automatisering die mogelijk was, radicaal vergroot. CNC-bewerking is tegenwoordig de dominante methode voor het bewerken van materialen, hoewel handmatige bewerking ook nog steeds vrij gebruikelijk is voor eenmalige producten, reparaties en prototyping.

De personen die CNC-machines op de werkvloer bedienen, worden "CNC-operators" genoemd, terwijl degenen die de programma's schrijven om de productie te automatiseren "CNC-programmeurs" zijn.

CNC-machines voeren wat "Deelprogramma's" worden genoemd uit, die zijn geschreven in een speciale taal genaamd "G-code." Een g-code deelprogramma kan direct gecodeerd zijn, of er kan CAM-software worden gebruikt om een CAD-tekening van het deel om te zetten in g-code.

### 3. Radiale boormachine

De machine bestaat uit een zware, ronde, verticale kolom die op een grote basis is gemonteerd. De kolom ondersteunt een radiale arm die kan worden verhoogd en verlaagd om werkstukken van verschillende hoogtes te accommoderen. De arm kan op elke positie boven de werktafel worden gedraaid. De boorkop, die het mechanisme voor het draaien en voeden van de boor bevat, is op een radiale arm gemonteerd en kan horizontaal op de geleidingswegen worden verplaatst en op elke gewenste positie worden vastgezet. Deze drie bewegingen in een radiale boormachine kunnen worden gecombineerd om de boor op elk gewenst punt op het werkstuk te plaatsen voor het boren van het gat. Wanneer er meerdere gaten in een groot werkstuk worden geboord, wordt de positie van de arm en boorkop aangepast, zodat de booras van de ene naar de andere positie kan worden verplaatst na het boren van het gat, zonder de instelling van het werk te veranderen. Deze veelzijdigheid van de machine stelt hem in staat om op grote werkstukken te werken. Het werk kan op de tafel worden gemonteerd of, wanneer de klus groot is, kan het op de vloer of in een put worden geplaatst.

#### 4. Booglasmachine

Booglassen is een van de verschillende smeltprocessen voor het verbinden van metalen. Door intense warmte toe te passen, wordt het metaal op de verbinding tussen twee delen gesmolten en gemengd - direct, of vaker, met een tussenliggende gesmolten vulmetaal. Bij het afkoelen en stollen ontstaat er een metallurgische binding. Aangezien de verbinding een mengsel van metalen is, heeft de uiteindelijke las mogelijk dezelfde sterke-eigenschappen als het metaal van de delen. Dit staat in scherp contrast met niet-smeltprocessen van verbinden (d.w.z. solderen, lassen, enz.) waarbij de mechanische en fysieke eigenschappen van de basismaterialen niet kunnen worden gedupliceerd op de verbinding.

Bij booglassen wordt de intense warmte die nodig is om metaal te smelten, geproduceerd door een elektrische boog. De boog wordt gevormd tussen het werkstuk en een elektrode (staaf of draad) die handmatig of mechanisch langs de verbinding wordt geleid. De elektrode kan ofwel een staaf zijn die simpelweg de stroom tussen de punt en het werkstuk draagt. Of het kan een speciaal voorbereide staaf of draad zijn die niet alleen de stroom geleidt, maar ook smelt en vulmetaal aan de verbinding toevoegt. Het merendeel van het lassen in de productie van staalproducten maakt gebruik van het tweede type elektrode.

Een boog wordt gecreëerd over de opening wanneer de geëlektrificeerde kring en de elektrodepunt de werkstuk aanraakt en wordt teruggetrokken, maar nog steeds in nauw contact.

De boog produceert een temperatuur van ongeveer 6500oF aan de punt. Deze warmte smelt zowel het basismateriaal als de elektrode, waardoor een pool van gesmolten metaal ontstaat die soms een "krater" wordt genoemd. De krater verhardt achter de elektrode terwijl deze langs de verbinding wordt verplaatst. Het resultaat is een versmelting verbinding.

## 5. Platenwalsmachine

Metaalwalsen is een van de belangrijkste productieprocessen in de moderne wereld. De meeste metalen producten die vandaag de dag worden geproduceerd, ondergaan op een bepaald moment in hun fabricage metaalwalsen. Metaalwalsen is vaak de eerste stap in het creëren van ruwe metalen vormen. De staaf of continue gieten wordt heet gewalst tot een bloem of een plaat, dit zijn de basisstructuren voor de creatie van een breed scala aan vervaardigde vormen. Bloemen hebben doorgaans een vierkante doorsnede van meer dan 6x6 inch. Platen zijn rechthoekig en zijn meestal breder dan 10 inch en meer dan 1,5 inch dik. Walsen gebeurt meestal, (vooral in het geval van de conversie van een staaf of continue gieten), heet.

Bij een walsmolen worden bloemen en platen verder gewalst tot tussenliggende delen zoals platen, bladen, strips, coils, billets, bars en staven. Veel van deze producten zullen het startmateriaal zijn voor daaropvolgende productieprocessen zoals smeden, plaatbewerking, draadtrekken, extrusie en bewerken. Bloemen worden vaak direct gewalst tot I-balken, H-balken, kanaalbalken en T-secties voor structurele toepassingen. Gewalste staven, in verschillende vormen en speciale doorsneden, worden gebruikt in de machinebouw, evenals voor de bouw. Rails, om spoorrails te produceren, worden direct uit bloemen gewalst. Platen en bladen worden uit platen gewalst en zijn uiterst belangrijk in de productie van een breed scala aan vervaardigde artikelen. Platen worden over het algemeen beschouwd als meer dan 1/4" (6 mm) dik. Platen worden gebruikt in zware toepassingen zoals ketels, bruggen, nucleaire vaartuigen, grote machines, tanks en schepen. Blad wordt gebruikt om autokappen, bussen, treincars, vliegtuigrompen, koelkasten, wasmachines, drogers, andere huishoudelijke apparaten, kantoorapparatuur, containers en drankblikjes te produceren, om er maar een paar te noemen. Het is belangrijk om het belang van metaalwalsen in de industrie van vandaag te begrijpen, evenals de integratie met andere productieprocessen.

## 6. Oxy-fuel lassen en snijden

Gaslassen is een fusielasproces waarbij de warmte voor het lassen wordt verkregen door de verbranding van zuurstof en brandstofgas. Het brandstofgas kan acetyleen, waterstof, propaan of butaan zijn. Hierdoor ontstaat een intense gasvlam die de randen van de te lassen delen smelt. Het gesmolten metaal kan stromen om samen te stollen en een continue verbinding te verkrijgen.

Gaslassen is bijzonder geschikt voor het verbinden van metalen bladen en platen met een dikte van 2 tot 50 mm. Voor een dikte van meer dan 15 mm wordt een aanvullend metaal, het vulmateriaal, gebruikt. Dit vulmetaal wordt in de vorm van lasdraad gebruikt. De samenstelling van de vuldraad is meestal hetzelfde als die van het basismetaal. Het vulmetaal wordt gebruikt om de holte op te vullen die tijdens de randvoorbereiding is gemaakt. Tijdens het lassen wordt ook een fluxmateriaal gebruikt om onzuiverheden en oxiden op de te verbinden metalen oppervlakken te verwijderen.

Verschillende combinaties van gassen worden gebruikt om een hete gasvlam te produceren, bijvoorbeeld zuurstof en acetyleen, zuurstof en waterstof, zuurstof en propaan, lucht en acetyleen, enz. De combinatie van zuurstof en acetyleen is het meest wijdverbreid. Deze combinatie brandt om een hoogste vlamtemperatuur van ongeveer 3200°C te produceren. Een dergelijke vlam wordt de oxy-acetyleenvlam genoemd.

## 7. Diverse gereedschappen zoals handboor, haakse slijper

### Handboor

In de werkplaats gebruik je waarschijnlijk een ‘handboor’ en een ‘ratelboor’ als onderdeel van praktisch werk. Deze worden gebruikt voor het boren van verschillende maten gaten en zijn bijzonder nuttig, vooral als machineboren niet beschikbaar zijn. De handboor houdt doorgaans boormaten van 1 mm tot 9 mm, terwijl de boor grotere boorbits kan vasthouden die ‘forester boren’ en ‘boorbets’ worden genoemd. Deze grotere bits kunnen worden gebruikt om ‘blinde gaten’ te boren (gaten die niet helemaal door het materiaal gaan).

### Haakse slijper

Een haakse slijper, ook bekend als een zijslijper of schijfslijper, is een handgereedschap dat wordt gebruikt voor slijpen (schurend snijden) en polijsten. Hoewel het oorspronkelijk is ontwikkeld als gereedschap voor rigide schurende schijven, heeft de beschikbaarheid van een verwisselbare energiebron het gebruik ervan met een breed scala aan snijders en accessoires aangemoedigd.

1.1.3. Lijst van materialen:

ITEM NO.	DELEN	MATERIAAL	AFMETINGEN/OPMERKINGEN
1	As	SS-304	Draaien
2	behuizing	SS-316	Draaien
3	lager	Hoog Koolstof Chroomstaal	Radiaal/Diepe Groef Kogellager
4	compressor	Al-Si 1 egering	Holset(hx40) Klaar made
5	diffuser	Al-6061	Freesbewerking
6	Compressorafdekking	gewone staal, Kwaliteit EN-8	Draaien
7	Turbinekap	Gewone staal, Kwaliteit E N-8	Draaien
8	mondstuk vanen geleider aangepast	SS-304	Freesbewerking
9	verbrandingskamer aangepast	SS-304, Plaats	Buigen, brazing
10	ontstekingspijp aangepast	Koper	Bladrollen, 2mm
11	pijp 140mm	gewone staal	Ø140mm ID, Ø 155 OD
12	turbinewiel	Ni-Cr staal	K418 Turbo Turbine Wiel, Ø 75,45 klaar made

Tafel – 1.1

- Verschillende andere kleine delen zoals schroeven, moeren en clips die niet individueel zijn vermeld

## 1.2. Ontwerpcalculaties

### 1.2.1. Berekeningen van de straalmotorcyclus

De berekening van een modelstraalmotor begint met het bepalen van de drukken en temperaturen in de verschillende fasen. De bijbehorende cyclus is de Braytoncyclus; de berekeningen vormen de basis voor het ontwerpen van de verschillende fasen van de model turbojetmotor. Hier zullen we de gewenste stuwwerktrekkracht en de beginvoorwaarden invoeren, die de omgevingsomstandigheden zijn, en de uitlaattemperatuur wordt genomen op basis van de bedrijfsomstandigheden van vergelijkbare systemen.

$$T_a = 288.15 \text{ K} \quad P_a = 1.$$

$$01325 \text{ bar} \quad T_3 = 873$$

$$\text{k} \quad C_a = 340.29$$

$$\text{m/s}$$

Deze parameters worden in deze fase aangenomen; deze efficiënties zullen in latere fasen van de projectberekeningen worden berekend.

Compressieverhouding: 1.023

Isentropische efficiëntie

1. Compressoëfficiëntie =  $n_c = 0.74$

2. Turbine-efficiëntie =  $n_t = 0.75$  3. Inlaat =  $n_i = 0.$

90 4. Mondstuk =  $n_j = 0.95$  5. Mechanische

efficiëntie =  $n_m = 0.99$  6. Verbrandings

efficiëntie =  $n_b = 0.98$  7.

verbrandingsdrukverlies =  $\Delta P_b = 0.06$

Aangezien we verschillende druk- en temperatuurcondities hebben, zullen we de temperatuurverschilvergelijking gebruiken om de temperaturen van de inlaat en uitlaat in verschillende fasen te bepalen.

Figuur 3: De Eenvoudige Turbojet Cyclus Initiële Voorwaarden:

De stagnatievoorwaarden na de inlaat kunnen als volgt worden verkregen:

$$\frac{C_a^2}{2c_p} = 57.61\text{K}$$

$$T_{01} = T_{0a} + \frac{C_a^2}{2c_p} = 345.76\text{K}$$

Drukverhouding:

$$\frac{P_{01}}{P_a} = \left[ 1 + n_i \left( \frac{C_a^2}{2c_p} \right) \right]^{\kappa/\kappa-1} = 1.7844$$

$$P_{01} = 1.80811\text{bar}$$

Bij de uitgang van de compressor,

$$P_{02} = \frac{P_{01}}{P_{01}} \times P_{01} = 1.8496\text{bar}$$

$$T_{02} - T_{01} = \frac{T_{01}}{n_c} \left[ \left( \frac{P_{02}}{P_{01}} \right)^{\kappa-1} - 1 \right] = 3.045\text{K}$$

$$T_{02} = 345.76 + 3.045 = 348.805\text{K}$$

Werk verricht door de compressor:

$$\frac{W_c}{m} = C_{pa} (T_{02} - T_{01}) = 3.060\text{W}$$

Werk verricht door de

$$\text{turbine: } \frac{W_t}{w_c} = \frac{\dot{m}}{n_m} = 3.$$

$$0911 \text{W}^m \quad n_m$$

De stagnatieomstandigheden in de verbrandingskamer:

$$T_{03} - T_{04} = \frac{c_{pa}}{c_{pg} n_m} (T_{02} - T_{01}) = 26.94 \text{K} \quad T_{04} = 846.$$

$$06 \text{K} \text{ (turbine-uitlaattemperatuur)} \quad P_{03} = P_{02} \left($$

$$1 - \frac{\Delta P_b}{P_{02}} \right) = 1.775616 \text{bar} \quad \text{De werkelijke}$$

$$\text{temperatuur wordt gegeven als } T'_{04} = T_{03} - \frac{1}{n_t}$$

$$(T_{04} - T_{03}) = 837.08 K \cdot P_{04} = P_{03} \left( \frac{T'_{04}}{T_{03}} \right)^{k-1} = 1.532 \text{bar}$$

$$(\text{hier, } K = 1.333)$$

De drukverhouding van het mondstuk is

$$\text{daarom, } \frac{P_{04}}{P_a} = 1.512657 \text{bar} \quad \text{De kritische}$$

$$\text{drukverhouding } \frac{P_c}{P_a} = \left( 1 - \frac{1}{n_j} \left( \frac{k-1}{k} \right) \right)$$

$$\frac{P_c}{P_a} = 1.9179 \text{bar} \quad \text{Aangezien, hier } \frac{P_{04}}{P_c} > \frac{P_{04}}{P_a} \text{ het}$$

$$\text{mondstuk niet is verstopt} \quad T_{05} = T_c = \left( \frac{2}{k+1} \right)$$

$$T_{04} = 725.2046 \text{K} \quad P_{05} = P_c = P_{04} \times \frac{1}{\left( \frac{P_{04}}{P_a} \right)^{\frac{1}{k}}} = 0.7991 \text{bar}$$

$$\rho_{05} = \frac{P_c}{RT_c} = 0.3839 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad C_5 = (kRT_c)^{0.5} = 526.72 \text{ m/s}$$

$$\text{Massastroom bij uitgang} \quad \dot{m} = \frac{A_{05}}{\rho_{05} C_5} = 0.004945$$

$$\text{m}^3/\text{kg}$$

De specifieke  
stuwkracht:

$$F_s = (C_{05} - C_{0a}) + \frac{A_5}{m} (P_c - P_a) = 186.43 \text{ Ns/kg}$$

Specifiek brandstofverbruik

Here,  $T_{02} = 348.805\text{K}$

$T_{03} - T_{02} = 524.195\text{K}$

Om de theoretische brandstof/luchtverhouding te bepalen, wordt de waarde verkregen uit de grafiek van de verhoging van de verbrandingstemperatuur versus brandstof/luchtverhouding.

Uit de gegeven temperatuur hebben we een brandstof-luchtverhouding van 0.0129 verkregen.

Dan is de werkelijke  
brandstof/luchtverhouding  $f$   
 $= \frac{\text{actual fuel air ratio}}{\text{combustion efficiency}} = 0/.013163.$

Het specifiek brandstofverbruik (SFC):

$$\text{SFC} = \frac{f}{F_s} = 0.2541 \text{ kg/hN}$$



### 1.3. CAD-modellering

#### 1.3.1. Inleiding tot SolidWorks

SolidWorks is een vast modellering computerondersteund ontwerp (CAD) en computerondersteunde engineering (CAE) computerprogramma dat draait op Microsoft Windows, Mac, Linux. SolidWorks wordt uitgegeven door Dassault Systems. SolidWorks is een vast modelleerprogramma en maakt gebruik van een parametrische functie-gebaseerde benadering die aanvankelijk is ontwikkeld door PTC (Creo/Pro-Engineer) om modellen en assemblages te creëren. De software is geschreven op de Parasolid-kernel.

Parameters verwijzen naar beperkingen waarvan de waarden de vorm of geometrie van het model of de assemblage bepalen. Parameters kunnen zowel numerieke parameters zijn, zoals lijnlengtes of cirkeldiameters, als geometrische parameters, zoals tangentieel, parallel, geconcentreerd, horizontaal of verticaal, enz. Numerieke parameters kunnen met elkaar worden geassocieerd via relaties, waardoor ze de ontwerpententie kunnen vastleggen.

Ontwerpententie is hoe de maker van het deel wil dat het reageert op veranderingen en updates. Bijvoorbeeld, je zou willen dat het gat aan de bovenkant van een drankblik op het bovenste oppervlak blijft, ongeacht de hoogte of grootte van het blik. SolidWorks stelt de gebruiker in staat om te specificeren dat het gat een kenmerk is op het bovenste oppervlak en zal vervolgens hun ontwerpententie respecteren, ongeacht welke hoogte ze later aan het blik toekennen.

Kenmerken verwijzen naar de bouwstenen van het deel. Het zijn de vormen en bewerkingen die het deel construeren. Vormgebaseerde kenmerken beginnen typisch met een 2D- of 3D-schets van vormen zoals bosses, gaten, sleuven, enz. Deze vorm wordt vervolgens geëxtrudeerd of gesneden om materiaal aan het deel toe te voegen of te verwijderen. Bewerkingsgebaseerde kenmerken zijn niet op schetsen gebaseerd en omvatten kenmerken zoals afrondingen, fasen, schalen, het toepassen van een helling op de vlakken van een deel, enz.

SolidWorks-bestanden gebruiken het Microsoft Structured Storage-bestandsformaat. Dit betekent dat er verschillende bestanden zijn ingebed binnen elk SLDDRW (tekeningbestanden), SLDPR (deelbestanden), SLDASM (assemblagebestanden) bestand, inclusief voorbeeldbitmapafbeeldingen en metadata-subbestanden. Verschillende tools van derden (zie COM Structured Storage) kunnen worden gebruikt om deze subbestanden te extraheren, hoewel de subbestanden in veel gevallen gebruikmaken van proprietaire binaire bestandsformaten. Enkele van de pakketten die door solid works worden aangeboden, worden hieronder gegeven:

#### SOLIDWORKS Standaard

- **3D Solid Modelling:** Versnel uw ontwerp, verhoog de productiviteit en verlaag de kosten met 3D solid modelling en levendige visualisatie en virtueel testen vóór de productie.
- **Grote Assemblage Ontwerp:** Vereenvoudig het ontwerp van grote assemblages met gebruiksvriendelijke tools om grote en complexe ontwerpen te creëren, beheren en visualiseren die meer dan 100.000 delen kunnen bevatten.
- **3D Animaties en Basis Rendering:** Maak snel en eenvoudig krachtige afbeeldingen en animaties om uw ontwerpententie en functionaliteit te communiceren.
- **Eerste Pass Ontwerpanalyse:** Verifieer de werking en prestaties terwijl u uw ontwerp maakt met volledig geïntegreerde wizard-gestuurde simulatie- en analyse-tools.
- **Interferentiecontrole:** Verifieer of uw delen en assemblages correct passen, assembleren en functioneren.
- **2D-tekeningen:** Maak productieklare 2D-tekeningen die communiceren hoe uw ontwerp moet worden vervaardigd en geassembleerd.
- **Ontwerp van plaatmetaal:** Creëer snel en kosteneffectief een breed scala aan ontwerpen voor plaatmetaalonderdelen met behulp van een breed scala aan flexibele tools om aan uw specifieke behoeften te voldoen.
- **Lasttechnieken:** Maak snel ontwerpen die extrusies bevatten en genereer eenvoudig snijlijsten en materiaallijsten om het ontwerp en de vervaardiging van gelaste structuren, frames en bases te stroomlijnen.
- **Mouldontwerp:** Vereenvoudig het ontwerp van mallen met volledig geïntegreerd productontwerp, malontwerp en validatie die automatisch alle deelbestanden bijwerkt om wijzigingen mogelijk te maken tot aan de uiteindelijke vervaardiging.

- **CAD-import en -export:** Versnel het ontwerp, bespaar tijd en ontwikkelingskosten, en verhoog de productiviteit door CAD-gegevens om te zetten in een formaat dat aan uw ontwerpeisen voldoet. U kunt ook modellen van andere CAD-pakketten in SOLIDWORKS verbinden met 3D Interconnect.

## SOLIDWORKS Professionele Pakketten

- **Bestandsbeheer:** SOLIDWORKS PDM Standaard helpt individuen en kleine werkgroepen bij het beheren van projectgegevens, het controleren van hun ontwerpversies en het beheersen van de toegang tot bestanden, waardoor het ontwerpproces wordt versneld en de productiviteit toeneemt.
- **Schatting- en offertes voor productie kosten:** SOLIDWORKS Costing bespaart u tijd en ontwikkelingskosten, voorkomt herontwerpen en verhoogt de productiviteit door uw ontwerpen continu te controleren op kosten doelstellingen met geïntegreerde kostenramingstools. Online kostenramingen via het MySolidWorks Productienetwerk. Ontvang directe kostenramingen van elke fabrikant in het MySolidWorks Productienetwerk.
- **ECAD/MCAD Gegevensdeling:** Deel gegevens tussen elektrische CAD (ECAD) en mechanische CAD (MCAD) ontwerpers met behulp van de Circuit Works-tool.
- **Normencontrole:** SOLIDWORKS Ontwerpchecker stelt je in staat om ontwerpnormen vast te stellen en tekeningen (of modellen) eenvoudig te controleren om uniforme ontwerpen en bijbehorende documentatie te creëren, wat de productontwikkeling versnelt, tijd bespaart en de productiviteit verhoogt.
- **Ontwerp samenwerking:** Gebruik krachtige e Drawings Professional software om samenwerking te vergroten, je ontwerpproces te versnellen en de productiviteit te verhogen door SOLIDWORKS 3D-modellen en 2D-tekeningen eenvoudig in een e-mailklaar formaat te bekijken en te delen.
- **Taakplanning:** Taakplanner, een softwarehulpmiddel dat bij SOLIDWORKS Professional is inbegrepen, zet je systeem aan het werk terwijl je weg bent. Het stelt je in staat om resource-intensieve processen (zoals batchimport, -export en -afdrukken) uit te voeren wanneer de computer normaal gesproken inactief is, zodat je kunt concentreren op creatievere projecten.
- **CAD-bibliotheek:** SOLIDWORKS Toolbox biedt bibliotheken van vooraf gebouwde 3D CAD-modellen en andere CAD-gegevens die helpen het ontwerpproces te versnellen, tijd en ontwikkelingskosten te besparen en de productiviteit te verhogen.
- **Tolerantieanalyse:** Controleer snel en eenvoudig afmetingen en toleranties met behulp van de SOLIDWORKS Professional Tool Analyst-software om de maakbaarheid van je ontwerp lang voordat je in productie gaat te beoordelen. Controleer de toleranties van delen en assenblades tijdens het ontwerp, versnel het ontwerpproces, bespaar tijd en ontwikkelingskosten en verhoog de productiviteit.
- **Geavanceerde Fotorealistische Rendering:** SOLIDWORKS Visualize Standaard stelt ontwerpers, ingenieurs en contentmakers in alle sectoren in staat om overtuigende visuele content van hun ontwerpen te creëren met ongeëvenaarde eenvoud en flexibiliteit. Door foto-kwaliteit content vroeg in het ontwerpproces te gebruiken, kunnen beter geïnformeerde ontwerpbeschikkingen worden genomen, evenals nuttige vroege feedback van verkoopteams en potentiële klanten ontvangen.
- **Reverse engineering:** SOLIDWORKS ScanTo3D stroomlijnt het ontwerpproces met behulp van SOLIDWORKS Professional om nieuwe ontwerpen te creëren—of bestaande ontwerpen te recreëren—op basis van ontwerpen die al bestaan. Reverse engineering kan de productontwikkeling versnellen en risico's verminderen, tijd besparen en de productiviteit verhogen.
- **Ontwerp voor maakbaarheid:** Controleer uw ontwerp en verifieer de maakbaarheid van uw product vroeg in het ontwikkelingsproces met behulp van SOLIDWORKS Professional, waardoor tijd en ontwikkelingskosten worden bespaard, de productiviteit wordt verbeterd en uw time-to-market wordt versneld.

## SOLIDWORKS Premium Pakketten

- **Tijdgebaseerde Beweginganalyse:** SOLIDWORKS Motion evalueert eenvoudig hoe uw product zal presteren en bewegen gedurende zijn operationele cyclus met beweginganalyse. Visualiseer uw product in beweging zoals het in de echte wereld zou zijn en meet de krachten en belastingen op uw ontwerp.

- **Lineaire Spanningsanalyse:** Lineaire spanningsanalyse stelt ontwerpers en ingenieurs in staat om snel en efficiënt de kwaliteit, prestaties en veiligheid te valideren - allemaal terwijl ze hun ontwerp creëren. Verminder de behoefte aan kostbare prototypes, elimineer herwerk en bespaar tijd en ontwikkelingskosten.
- **Geavanceerd Oppervlak Vlakmaken:** Vaak hebben producten zoals lederwaren, sportuitrusting, schoeisel en producten gemaakt van composietmaterialen, zoals koolstofvezel en glasvezel, complexe vormen, maar worden ze vervaardigd uit materialen die beginnen als vlakke platen, zoals koeienhuiden, nylon, stof en vlakke composietplaten. Met SOLIDWORKS Premium kun je nauwkeurig de grootte en vorm van oppervlakken in hun vlakke staat bepalen of schatten, zodat je het materiaal uit de vlakke plaat kunt snijden.
- **Pijpleiding- en Buizenontwerp:** Versnel het ontwikkelingsproces en bespaar tijd door pijpleidingen en buizen in 3D te ontwerpen tijdens het systeemontwerp met SOLIDWORKS Routing. Door pijpleidingen en buizen tijdens het ontwerpproces te integreren, kunnen ontwerpers helpen om een efficiënte assemblage, werking en onderhoudbaarheid te waarborgen, waardoor herwerk, vertragingen en extra kosten worden vermeden.
- **Ontwerp van Elektrische Kabelbomen en Leidingen:** Ontwerp en routeer snel elektrische bedrading, kabelbomen, bekabeling en leidingassemblages van producten in 3D met behulp van het SOLIDWORKS Premium-pakket. Het integreren van deze systemen tijdens het productontwerp in plaats van ze later toe te voegen, versnelt uw ontwikkelingsproces, bespaart tijd en herwerk kosten, en helpt om een efficiënte productassemblage en onderhoudbaarheid te waarborgen.
- **Routing van Rechthoekige en Andere Secties:** Gebruikers van SOLIDWORKS Premium kunnen rechthoekige en ronde secties routeren om aan hun ontwerpeisen te voldoen. Apparatuurbouwers, productontwerpers, machineontwerpers, facilitair ontwerpers en anderen hebben allemaal rechthoekige sectierouting nodig om hun ontwerpen te voltooien die ducting, kabelgaten, transportbanden, materiaalfashandelschachten en vele andere systemen omvatten.



### 1.3.2. Ontwerp van motoronderdelen met solid works:

As :

Stap-1:

Selecteer het schetsvlak → en selecteer vervolgens de schets → gebruik de lijnoplach om de omtrek van het deel met de vereiste afmetingen te tekenen.

Stap -2:

Oga naar de kenmerken tab → selecteer de revolved boss/basis functie → en specificeer vervolgens de n rotatie-as.

Stap -3: De uiteindelijke weergave van  
de 3D-model As



Asbehuizing :

Stap-1:

Selecteer het vooraanzicht vlak → en selecteer vervolgens de schets → om de uitlaat van de schets te tekenen met de lijnopracht.

de as van revolutie

Stap-

2:

Open  
functie tab

→ selecteer

gedraaid  
baas / basis  
opdracht

→  
specificeer

**Stap – 3:**

Selecteer het gewenste vlak om te schetsen → maak een cirkel in het midden van de oorsprong en specificeer de afmetingen →gebruik de snijden en extruderen functie en selecteer vervolgens het oppervlak dat moet worden gesneden

**Stap-4:**

Selecteer hetzelfde vlak voor de schets → selecteer nu een andere cirkel in het midden en specificeer de afmetingen →specificeer vervolgens de snijden en extruderen functie en selecteer het oppervlak dat verwijderd moet worden →de snijdiepte is gespecificeerd als 8 mm

**Stap -5:**

Hetzelfde vlak wordt opnieuw geselecteerd → teken nu een cirkel bovenop en patroon ze met behulp van een cirkelvormig schetspatroon →gebruik de snijden en extruderen functie voor de geselecteerde vlakken

#### **Stap -6:**

Het uiteindelijke 3D-model werd voorbereid door de gegeven kenmerken naar de respectieve alternatieve zijde te spiegelen.

#### **Ontwerp van de centrifugale compressor:**

#### **Stap – 1:**

Selecteer het voorvlak om te schetsen→ gebruik lijnen en curven om de omtrek van het deel te tekenen.

Stap-2:

Het model wordt omgezet van 2D naar 3D door gebruik te maken van een revolved boss/basis→ door de rotatie-as te selecteren op de vereiste rotatie.

Stap-3:

De bladen van de compressor kunnen worden geconstrueerd door gebruik te maken van referentievakken→ de respectieve schetsen worden gemaakt met behulp van 3D schetsgereedschap → de gemaakte schetsen worden vervolgens omgezet in vast met behulp van de loftfunctie, zodat de twee vlakken samensmelten om een retro gebogen vorm te krijgen.

Stap-4:

Het gewenste aantal bladen wordt verkregen uit het cirkelvormig patroon van de kenmerken tab→

Hier wordt het aantal instanties en de patroonas gespecificeerd

Stap-5:

De bladen worden gedraaid met behulp van een kenmerk genaamd flex → de gewenste trimvlakken worden geselecteerd → en vervolgens wordt de draaihoek gespecificeerd.

#### Stap-6:

Het overtollige bladmateriaal wordt verwijderd met behulp van de functie snijden en extruderen → het gat door het midden wordt ook gemaakt met de functie extruderen snijden → het uiteindelijke 3D-model wordt gegenereerd.

#### Ontwerp van Radiale Turbine:

#### Stap-1:

Het voorvlak is s      elect voor schetsen → de lijnen en de gebogen lijnen worden op het schetsvlak getekend.      ne

Stap -2:

De schets wordt omgezet naar een 3D-model met behulp van de revolved boss/basisfunctie → vervolgens selecteer je de rotatieas waarlangs het model wordt gedraaid.

Stap-3:

Selecteer de referentievakken op de locatie waarlangs de snede van het mes kan worden getekend → Door de loftfunctie te gebruiken, kunnen we het massieve mes van gespecificeerde afmetingen en dikte construeren → de afronding wordt uitgevoerd met de vereiste straal.

Stap-4:

Met behulp van de cirkelvormig patroon kunnen de vereiste bladen worden gegenereerd → de patroonaas is gespecificeerd

Stap-5:

De benodigde gaten worden gemaakt met de snijden en extruderen functie→ het uiteindelijke afgewerkte model is

Ontwerp van het  
Diffusersysteem:

Stap-1:

De initiële tekening van de basis van het diffusersysteem wordt gegenereerd → de schets wordt vervolgens omgezet naar 3-D met behulp van de extrudeerfunctie.

Stap-2:

De respectieve vlak wordt geselecteerd voor het schetsen van het ontwerp van de bladen → de geconstrueerde diffuser is een wigvormige diffuser.

Stap-3:

De volgende uitbreidingshoek van de bladen, de onderlinge verstrengeling, is ook gespecificeerd. → Het aantal bladen kan een vereiste hoeveelheid zijn en de as van plannerrotatie is gespecificeerd.

**Stap-4:**

De groeven en de gaten zijn gemaakt met snijden en extruderen en de hele wizard → holte voor de compressor montage is gedaan met snijden en extruderen → de uiteindelijke figuur is

Ontwerp van het systeem voor mondstukgeleiders:

**Stap-1:**

Het uitzicht waarin de schets is geproduceerd → met behulp van cirkelconstructie van een basis → deze basis wordt vervolgens omgezet naar 3-D door de selectie van de extrudeer boss/bass functie

Stap-2:

Door de referentievakken op de omtrek van het vast→ wordt het ontwerp gebaseerd op de luchtfoil met inlaat-en uitlaat hoeken van  $30^\circ$  en  $65^\circ$ .

Stap-3:

Het aantal bladen wordt gevormd door gebruik te maken van een cirkelvormig patroon→ de patroon is gespecificeerd→ dit respectieve patroon bevat 12 bladen.

Stap-4:

Door het selecteren van een vlak wordt de schets van een cirkel in het midden en een reeks gaten aan de omtrek → het snijden uitgevoerd met snijden en extruderen en de gewenste oppervlakken worden geselecteerd.

Stap-5:

De buitenbehuizing wordt gemaakt door een van de vlakken van het mondstuk te selecteren → schetsen wordt gedaan → de schets wordt geëxtrudeerd met behulp van extruderen boss/basis.



Ontwerp van de  
Ontstekingspijp:

Stap-1:

Het vlak is vastgezet voor het schetsen → de schets wordt gegenereerd door de curven en de lijn en een cirkel wordt verticaal getekend op het startpunt → Door gebruik te maken van de swept boss/basis worden het profiel en het pad geselecteerd.

Stap-2:

Een referentievlek wordt geproduceerd aan de punt van de curve → de concentrische cirkels worden op het vlak getekend → deze schetsen worden naar de vereiste lengte geëxtrudeerd.

Ontwerp van de Verbrandingskamer:

Stap-1:

Schetsen wordt gedaan op het gedefinieerde vlak→ open cirkels worden op verschillende plaatsen getekend→ de loft buigfunctie wordt uitgevoerd in de plaatmetaalbewerking

Stap-2:

Ontvouw het model met de ontvouwfunctie in het plaatmetaal tabblad→ selecteer de vaste rand en het oppervlak om te ontvouwen

Stap-3: Maak gaten op het oppervlak door de vlak te selecteren→ teken een reeks cirkels langs de lengte  
→ selecteer de snijden en extruderen functie voor de respectieve cirkels om gaten te maken

#### **Stap-4:**

De vlakken worden vervolgens gevouwen met de vouwfunctie in de plaatbewerking → daarna wordt de bovenkant geselecteerd voor het schetsen → gebruik een cirkel op de oorsprong en gebruik boss extrude voor de gewenste dikte.

Ontwerp van de buitenpijp:

#### **Stap-1:**

De schets wordt getekend op het voorvlak → daarna gebruik je boss extrude om een 3-D deel te genereren.

**Stap-2:**

De flenzen worden op het bovenste oppervlak getekend en vervolgens geëxtrudeerd tot de vereiste dikte.

**Stap-3:**

De gaten zijn geplaatst op de flenzen door de snijden en extruderen functie te gebruiken → wordt het deel vervolgens gespiegeld naar de alternatieve kant

e

Ontwerp van de behuizing van de compressor:

Stap-1:

De eerste schets is getekend op het voorvlak → en pas vervolgens de extrude Bose-functie toe op de vereiste dikte s

Stap-2:

Selecteer het bovenste vlak om te schetsen en genereer concentrische cirkels → gebruik de boss extrude-functie tot de vereiste dikte

Stap-3:

Gebruik de extrudeer snijfunctie voor de gegeven cirkels die op de vlak zijn getekend

Stap-4:

De taps toelopende afgeplatte kegel wordt binnen het deel gegenereerd met behulp van een omgezette snede

Ontwerp van de  
turbinebehuizing:

Stap-1:

De eerste schets wordt op het voorvlak getekend → gebruik revolve extrude om het vaste deel te maken

Stap-2:

Gebruik de snijden functie om het vereiste gat te krijgen → het uiteindelijke deel is  
klaar

## 1.4. Fabricage van motor

### 1.4.1. As

De as was het basiscomponent dat de turbine en de compressor in de behuizing verbindt. De as met een totale lengte van 250 mm moet gemaakt zijn van RVS-304 materiaal. We hebben schrootmateriaal gebruikt om het te bewerken, de volgende zijn de verschillende processen die zijn gebruikt om een as te fabriceren.

Gebruikte machines:

- 1) Draaibank 2)
- Haakse slijper

Volgende processen zijn betrokken

- 1)
- Vlakfrezen. 2)
- Draaien. 3)
- Draadsnijden.
- 4) Snijden.

Materiaal: Roestvrij staal 304L

Kosten: Rs.500 (Inclusief materiaal kosten)

Tijd om te voltooien: 43 dagen



#### 1.4.2. Asbehuizing

De behuizing is uitgerust met lagers en het smeersysteem waarin de as is geplaatst en laat draaien. De behuizing is verbonden met de diffuser en de geleidingsvleugel, die op hun beurt in de buitenbehuizing zijn geplaatst.

De fabricage van de behuizing gebeurt met SS-316, dat bestand is tegen hoge temperaturen en goede duurzaamheid biedt. Het deel is gemaakt van de schroot vaste as en een pijp.

Gebruikte machines:

- 1) Draaibank 2)
- Haakse slijper

Volgende processen zijn betrokken

- 1) Vlakfrezen.
- 2) Draaien.
- 3) Boren.
- 4) Snijden.
- 5) Lassen

Materiaal: Roestvrij staal 316

Kosten: Rs.600 (Inclusief materiaal kosten)

Tijd om te voltooien: 2 dagen

#### 1.4.3. compressor en turbine

De compressor en de turbine zijn afkomstig van een oude turbocharger. Uit onderzoek weten we dat het materiaal en de specificaties van de compressor gemaakt zijn van de aluminiumlegering 6061, en de turbine is gemaakt van de Ni- Cr staallegering.

Kosten: Rs.100 (Inclusief zowel turbine als compressor)

Dit zijn de beschikbare onderdelen voor de turbocharger:

Specificaties van de compressor:

- 1) aantal bladen - 8
- 2) maximale diameter - 83mm
- 3) minimale diameter - 47.66mm
- 4) materiaal - Aluminium 6061 legering

Specificatie van het turbinewiel:

1) aantal bladen – 12 2) maximale diameter – 70,45 mm 3) minimale diameter – 57 mm 4) Hoogte – 32 mm

#### 1.4.4. Diffuserblad

De diffuser zou geen rotatie in de motor uitvoeren, dus de materiaalkeuze was geen al te gecompliceerde taak en we moesten iets kiezen dat licht van gewicht is. Het ontwerp had geen gebogen oppervlakken, dus het was gemakkelijk te vervaardigen met behulp van een 3-assige CNC-machine en de fabricage.

Machines die betrokken zijn: 1) CNC  
3-assige freesmachine 2) CNC  
draaibank

Volgende processen zijn betrokken:

- 1) Draaien 2)
- Snijden 3)
- Boren 4)
- Bewerken

Materiaal: Aluminium 6061 Kosten:  
Rs. 6.000 (Materiaal kosten) Tijd om te voltooien: 7 dagen

#### 1.4.5. Ontstekingspijp

De ontstekingspijp is een zeer belangrijk onderdeel van het verbrandingsproces, omdat de gassen van de tank naar de pijp in de ontstekingspijp stromen. De keuze van het materiaal is zeer belangrijk, omdat het hoge temperaturen moet weerstaan, daarom kiezen we koper als het beste materiaal vanwege de hoge warmtebestendigheid.

De koperen pijpen zijn aangeschaft in diameters van 5 mm en 3 mm.

Machines die betrokken zijn

- 1) Oxy-fuel lassen en snijden 2)
- Haakse slijper 3) Ronde matrijs

De volgende processen zijn betrokken:

- 1) Lassen
- 2) Snijden
- 3) slijpen

Materiaal: Aluminium 6061

Kosten: Rs250 (Materiaal kosten)

Tijd om te voltooien: 1 dag

#### 1.4.6. Verbrandingskamer

De verbrandingskamer bestond uit een dunne structuur, waarbij plaatmetaalbewerking werd uitgevoerd voor de fabricage. Vanwege de hoge temperatuur tijdens de werking van de motor werd een materiaal met hoge temperatuurweerstand gekozen. De plaat werd uit schroot gehaald en gemaakt voor het volgende gebruik.

Betrokken machines:

- 1) Haakse slijper 2)
- Lasmachine 3)
- Plaatbuigmachine 4)
- Radiaalboormachine

Volgende processen zijn betrokken:

- 1) Snijden
- 2) Buigen
- 3) Boren
- 4) Lassen

Materiaal: SS-316 (1,5 mm dik)

Kosten: 1000 (materiaal kosten) Tijd om te voltooien: 4 dagen

#### 1.4.7. Buitenbehuizing

De buitenbehuizing is gemaakt van een stuk grote afvalpijp. De specificaties van de pijp zijn dat de interne diameter 140 mm is en de buitendiameter 155 mm. Het stuk is gelast met 2 ringen die de behuizingen van de compressor en turbine vasthouden.

Betrokken machines:

- 1) Haakse slijper
- 2) Las machine
- 3) Radiaalboormachine
- 4) Oxy-fuel lassen en snijden
- 5) Draaibank

Volgende processen zijn betrokken:

- 1) Snijden
- 2) Lassen
- 3) Boren
- 4) Draaien

Materiaal: MS EN-8 (140 mm diameter en 170 mm lang)

Kosten: 400 (Materiaal kosten zijn inbegrepen)

Tijd om te voltooien: 3 dagen

#### 1.4.8. Behuizingen van compressor en turbine

De behuizing van de compressor en de turbine zijn de componenten die de hele motor samenhouden en de stroom kunnen kanaliseren. De keuze van het materiaal moet bestand zijn tegen hoge trillingen en de krachten die erop inwerken.

Machines die betrokken zijn

- 1) Draaibank 2)
- Boormachine 3)
- Haakse slijper

De volgende processen zijn betrokken:

- 1) Draaien 2)
- Snijden 3)
- Vlakfrezen 4)
- Tapper draaien 5)
- Boren

Materiaal: MS EN-8 (175 mm diameter en 120 mm lang)

Kosten: 3000 (Materiaal kosten zijn inbegrepen)

Tijd om te voltooien: 5 dagen



## 1.5. Assemblage van de motor

### 1.5.1. As en de behuizing verbinden

De behuizing wordt eerst voorzien van smeermiddel en vervolgens wordt de as in de behuizing geplaatst. Twee lagers worden door de as geleid en zijn in de behuizing bevestigd. De buitendiameter van het lager wordt in de flenzen van de behuizing geplaatst, waarna de buitendiameter van de as in de binnendiameter van het lager wordt bevestigd.

Zorg ervoor dat er een minimale speling is tussen de as en de binnenring van het lager en tussen de buitenring van het lager en de behuizing.

De lagers die hier worden gebruikt zijn 6900 diepe groef kogellagers met een binnendiameter van 10 mm en een buitendiameter van 22 mm.

### 1.5.2. Turbine en de compressor verbinden

De turbine en de compressor zijn met een moer en wasmachines aan de as bevestigd. Het model wordt snel verplaatst om te controleren of er iets losjes is verbonden.

#### **1.5.3. Verbinden van de diffuser en de mondstukgeleiders**

De diffuser wordt vervolgens met bouten en moeren van 3,5 mm diameter aan de behuizing bevestigd en het mondstuk wordt op dezelfde manier aangesloten.

#### **1.5.4. Verbinden van de verbrandingskamer en de ontstekingspijp aan de behuizing**

De verbrandingskamer wordt vastgezet aan de behuizing net nadat de diffuser is geplaatst en de ontstekingspijp wordt door de gaten in de verbrandingskamer geplaatst.

#### **1.5.5. Invoegen in de buitenbehuizing**

Het gehele module wordt in de behuizing geplaatst zodat de mondstukgeleiders en de diffuser perfect binnenvinden zijn bevestigd.

#### **1.5.6. Bevestigen van de behuizing van de compressor en turbine**

De turbine en de behuizing van de compressor zijn bevestigd aan de voorkant van de buitenbehuizing, die zijn vastgezet met bouten en moeren. Het gehele model is stevig vastgezet zonder spel.

#### 1.5.7. Het model verbinden met het platform

Het model is bevestigd aan het houten platform, dat bestaat uit een smeersysteem en een brandstoffentank, enzovoort... het model is grondig vastgezet met de moer en bout, zodat het stevig is verbonden.

## 1.6. Toepassingen en Verdere studie

### TOEPASSINGEN

#### 1) Onbemand luchtvaartuig (UAV)

Een onbemand luchtvaartuig, algemeen bekend als een drone, is een vliegtuig zonder menselijke piloot aan boord. UAV's zijn een onderdeel van een onbemand luchtvaartuigsysteem, dat een UAV, een grondcontroller en een systeem van controllers tussen de twee omvat. De vluchten van UAV's kunnen met verschillende graden van autonomie opereren, hetzij onder afstandsbediening door een menselijke operator of autonoom door bordcomputers.

In vergelijking met bemande vliegtuigen werden UAV's oorspronkelijk gebruikt voor missies die te "saai, vuil of gevaarlijk" waren voor mensen. Hoewel ze voornamelijk in militaire toepassingen zijn ontstaan, breidt hun gebruik zich snel uit naar commerciële, wetenschappelijke, recreatieve, agrarische en andere toepassingen, zoals politie, vredeshandhaving en surveillance, productleveringen, luchtfotografie, smokkel en drone-racing. Civiele UAV's zijn nu veel talrijker dan militaire UAV's, met schattingen van meer dan een miljoen verkochte eenheden in 2015.

#### 2) Drag racing

Drag racing is een type autoracen waarbij auto's of motorfietsen concurreren, meestal twee tegelijk, om als eerste een bepaalde finishlijn te passeren. De race volgt een korte, rechte baan vanaf een staande start over een gemeten afstand, waarbij een kortere afstand steeds populairder wordt, aangezien deze de standaard is geworden voor top fuel dragsters en funny cars, waar sommige bracket races en andere sanctionerende instanties het als de standaard hebben aangenomen. Elektronische timing- en snelheidsdetectiesystemen worden sinds de jaren '60 gebruikt om race-resultaten vast te leggen.

#### 3) Jetpack

Een jetpack, raketgordel of raketpack is een apparaat dat op de rug wordt gedragen en dat jets van gas of vloeistof gebruikt om de drager door de lucht te stuwen. Het concept is al bijna een eeuw aanwezig in sciencefiction en werd wijdverspreid in de jaren '60. Echte jetpacks zijn ontwikkeld met behulp van verschillende mechanismen, maar hun toepassingen zijn veel beperkter dan die van hun fictieve tegenhangers vanwege de uitdagingen van de aardse atmosfeer, de zwaartekracht, de lage energiedichtheid van beschikbare brandstoffen en het feit dat het menselijk lichaam niet geschikt is om te vliegen, en ze zijn voornamelijk geschikt voor stunts. Een praktische toepassing van de jetpack is geweest in extra-vehicular activiteiten voor astronauten.

#### 4) Hydroplane

Een hydroplane is een snelle motorboot, waarbij de romp zo is gevormd dat bij hoge snelheid het gewicht van de boot wordt ondersteund door planningskrachten, in plaats van door eenvoudige drijfkracht.

Een belangrijk aspect van hydro is dat het gebruik maakt van het water waarop ze zich bevinden voor lift in plaats van drijfkracht, evenals voor voortstuwing en besturing. Bij hoge snelheid wordt het water door de onderkant van de romp van de boot naar beneden geduwd. Het water oefent daarom een gelijke en tegengestelde kracht naar boven uit, waardoor het grootste deel van de romp uit het water wordt getild. Dit proces, dat zich aan het oppervlak van het water afspeelt, staat bekend als plannen.

#### 5) Radiogestuurd vliegtuig

Een radiogestuurd vliegtuig, ook wel RC-vliegtuig genoemd, is een klein vliegend apparaat dat op afstand wordt bestuurd door een operator op de grond met behulp van een handbediende radiozender. De zender communiceert met een ontvanger binnen het toestel die signalen verzendt.

signalen naar servomechanismen die de besturingsoppervlakken bewegen op basis van de positie van de joysticks op de zender. Het besturingsoppervlak beïnvloedt op zijn beurt de oriëntatie van het vliegtuig.

Wetenschappelijke, overheids- en militaire organisaties gebruiken ook RC-vliegtuigen voor experimenteren, het verzamelen van weersmetingen, aerodynamische modellering en testen.

#### **VERDER ONDERZOEK**

Dit project kan worden uitgebreid door een nabrander in te voegen en het efficiënt te maken, zodat het mogelijk wordt om het in UAV's voor grotere afstanden te gebruiken.

En verder kan de verbrandingskamer ook worden aangepast om een betere efficiëntie te behalen. Indien mogelijk worden deze gebruikt in model drag races.

## 1.7. Conclusie:

Het doorlopen van dit project was een leerervaring voor zowel de supervisor als het team; alles werd gedaan volgens de procedure en er werd ook een goed begrip ontwikkeld in zowel de gebieden van ontwerpen als fabricage.

Het doel van dit project was niet alleen ontwerpen, maar ook het vervaardigen ervan. Met zo'n gedetailleerd ontwerp en een goed idee over de fabricagetechnieken waren we in staat om alle componenten lokaal te vervaardigen binnen een budget van Rs. 25.000/-, wat vier keer lager is dan het voorgestelde budget voor dit project. De assemblage is aan de gang terwijl dit rapport wordt ingediend en er zal ook een gedetailleerde test voor elk component worden uitgevoerd om ervoor te zorgen dat de motor goed functioneert.

Dit project heeft niet alleen de theoretische kennis van de studenten verbonden met een praktische implementatie, maar het heeft hen ook de kennis en ervaring gegeven die men moet hebben als men een product wil ontwikkelen. Tijdens het uitvoeren van dit project waren de studenten in staat om te leren en om te gaan met de uitdagingen die ze kunnen tegenkomen bij het uitvoeren van een project van deze omvang.

## 1.8. Referenties

- 1) <https://cs.stanford.edu/people/eroberts/courses/ww2/projects/jet-airplanes/materiaal.html> 2)
- https://nl.wikipedia.org/wiki/Geschiedenis\_van\_de\_jet\_motor 3) [http://airspot.ru/book/file/485/166837\\_EB161\\_rolls\\_royce\\_de\\_jet\\_motor\\_vijfde\\_editie\\_gazoturbinnyy\\_dvig.pdf](http://airspot.ru/book/file/485/166837_EB161_rolls_royce_de_jet_motor_vijfde_editie_gazoturbinnyy_dvig.pdf) 4) <https://jetenginehd.weebly.com/timeline.html> 5) file:///C:/Users/srira.LAPTOP-6FD0HITB/Downloads/Heron\_of\_Alexandria\_c\_10-85\_AD.pdf 6) <https://d6s74no67skb0.cloudfront.net/course-material/ME925-Fundamentals-of-Gas-Turbine-Engines.pdf> 7) <https://epdf.tips/turbomachinery-design-and-theory.html> 8) <http://www.pbsaerospace.com/small-turbine-engines> 9) <http://www.modelaviation.com/jetguide> 10) <https://www.rc-airplane-world.com/model-jet-engine.html> 11) <https://www.thoughtco.com/different-types-of-jet-engines-1992017> 12) <https://www.3d-knowledge.com/introduction-to-turbocharger.html> 13) <https://en.wikipedia.org/wiki/Turbocharger> 14) [https://www.researchgate.net/publication/301362430\\_TURBOCHARGING\\_OF\\_IC\\_ENGINE\\_A REVIEW](https://www.researchgate.net/publication/301362430_TURBOCHARGING_OF_IC_ENGINE_A REVIEW) 15) <https://epdf.tips/turbochargers.html> 16) [http://navybmr.com/study%20material/14008a/14008A\\_ch1.pdf](http://navybmr.com/study%20material/14008a/14008A_ch1.pdf) 17) Gas Turbine Theory, 5e editie door HIHSaravanamuttoo, GFC Rogers, H Cohen 18) [www.scribd.com](http://www.scribd.com) 19) [www.web.mit.edu](http://www.web.mit.edu) 20) [en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org) 20) turbo jetmotoren door v.ganasen