

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

CURTİS TÜRBİNİ

TEZSİZ YÜKSEK LİSANS DÖNEM PROJESİ

MUSA KUNDAKCI

DENİZLİ, OCAK - 2018

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



CURTİS TÜRBİNİ

TEZSİZ YÜKSEK LİSANS DÖNEM PROJESİ

MUSA KUNDAKCI

DENİZLİ, OCAK - 2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

Musa KUNDAKCI tarafından hazırlanan “**CURTİS TÜRBİNİ**” adlı tezsiz yüksek lisans dönem projesi danışmanlığında hazırlanmış olup 25.01.2018 tarihinde son kontrolü yapılarak Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı tezsiz yüksek lisans dönem projesi olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK

.....

Üye
Unvanı Adı SOYADI giriniz
Üniversitesi

.....

Üye
Unvanı Adı SOYADI Giriniz
Üniversitesi

.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

MUSA KUNDAKCI

ÖZET

CURTİS TÜRİNİ TEZSİZ YÜKSEK LİSANS DNEM PROJESİ

**MUSA KUNDAKCI
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. HARUN KEMAL ÖZTÜRK)**

DENİZLİ, OCAK - 2018

Bu tez çalışması ile cumhuriyet tarihi boyunca ülkemizde hiç üretimi yapılmamış olan buhar türbinleri konusu ele alınmıştır. Çeşitli türbin tipleri incelenerek üretimi nispeten kolay olan Curtis türbini teknik ve termodinamik açıdan incelenmiş ve Denizli özelinde var olan ısı ve elektriği aynı anda kullanan tekstil işletmelerinin bu gereksinimi karşılayacak prototip turbo alternatör grubunun imalatına temel oluşturacak bir çalışma yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Buhar, elektrik, türbin, Curtis, ısı

ABSTRACT

CURTIS TURBINE

MSC THESIS

MUSA KUNDAKCI

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR:PROF. DR. HARUN KEMAL ÖZTÜRK)

DENİZLİ, JANUARY 2018

With this thesis study, the steam turbines, which have never been produced in our country during the history of there public, have been studied. Various turbine types have been studied and the Curtis turbine which is relatively easy to produce has been examined from the technical and thermodynamic point of view. Thetextile industry, a work has been done which will be the basis for the manufacture of the alternator group.

KEYWORDS: Steam, electricity, turbine, Curtis, heat

İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|--|------------|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| İÇİNDEKİLER | iii |
| ŞEKİL LİSTESİ | iv |
| SEMBOL LİSTESİ | v |
| ÖNSÖZ | vii |
| 1. BUHAR TÜRBİNLERİ | 1 |
| 1.1 Giriş: | 1 |
| 2. SU BUHARININ ÖZELLİKLERİ | 12 |
| 3. RANKİN ÇEVİRİMİ | 14 |
| 4. DEĞİŞİK TÜRBİN TİPLERİ | 16 |
| 4.1 Tek basamaklı aksiyon türbinleri: Laval türbinleri. | 16 |
| 4.2 Hız Basamaklı Aksiyon Türbinleri Curtis Türbinleri..... | 17 |
| 4.3 Tekrar Üfurmeli Türbinler Elektra Türbinleri | 18 |
| 4.4 Teğetsel ve Kepçeli Türbinler | 19 |
| 4.5 Çok Basamaklı Türbinler | 20 |
| 4.5.1 Aksiyon Türbinleri..... | 20 |
| 4.5.1.1 Basınç Basamaklı Aksiyon Türbinleri | 20 |
| 4.5.1.2 Basınç ve Hız Basamaklı Aksiyon Türbinleri..... | 22 |
| 4.5.2 Reaksiyon Türbinleri | 24 |
| 4.5.3 Çapsal ve Radyal Türbinler. | 26 |
| 4.5.3.1 Çapsal Türbin. | 26 |
| 4.5.3.2 Normal Çapsal Türbinler..... | 28 |
| 4.5.3.3 Karşı Dönüslü Çapsal Türbinler | 30 |
| 5. BUHARIN MEME VE KANALLARDA AKIŞI | 31 |
| 5.1 Sürtünmesiz-Kayıpsız Akış | 31 |
| 5.2 Akış Hızı..... | 33 |
| 5.3 Buharın Meme İçindeki Geçirdiği Aşamalar | 35 |
| 5.4 Meme İçinde Buharın Gerçek Akışı..... | 40 |
| 5.5 Meme Hesabı..... | 42 |
| 5.5.1 Meme Boyutlarının Belirlenmesi..... | 44 |
| 5.5.1.1 Difüzörlü Memeler..... | 44 |
| 5.5.1.2 Basit Memeler | 49 |
| 6. TÜRBİN SEÇİMİ | 55 |
| 6.1 Türbin Seçimi ve Türbin Hesapları | 55 |
| 6.2 Gerekli Türbin Gücü | 55 |
| 7. CURTİS TÜRBİNİ HESAPLARI | 59 |
| 8. SONUÇ VE ÖNERİLER | 80 |
| KAYNAKLAR | 81 |
| ÖZGEÇMİŞ | 82 |

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Şekil 1.1 : İlk çağda buharla çalışan basit düzenek (Eyice 1975)..... | 1 |
| Şekil 1.2: Brancaya göre Türbin çalışma ilkesi (Eyice 1975)..... | 2 |
| Şekil 1.3: Laval türbini (Eyice 1975)..... | 3 |
| Şekil 1.4 : Modern bir karma Türbin kesiti $C_2+6A+6R$ (Eyice 1975)..... | 5 |
| Şekil 1.5: Türbin alternatör ve kondenserin genel yerleşimi (Eyice 1975)..... | 8 |
| Şekil 2.1: Suyun fazlarının oluşumu. | 12 |
| Şekil 4.1: Laval Türbini (Dietzel 1980)..... | 16 |
| Şekil 4.2 :Curtis türbini Basınç ve hız diyagramı. (Ersoy 2016)..... | 18 |
| Şekil 4.3: Mükerrer üförmeli türbinler (Eyice 1975)..... | 19 |
| Şekil 4.4 : Kepçeli Türbinler (Eyice 1975)..... | 20 |
| Şekil 4.5 : Çok basamaklı türbinler (Alibaba 2016)..... | 21 |
| Şekil 4.6 : Basınç ve Hız basamaklı Aksiyon türbini (Eyice 1975)..... | 23 |
| Şekil 4.7: Reaksiyon türbini karter açılmış durumda(Alibaba 2016)..... | 24 |
| Şekil 4.8: Reaksiyon türbini boy kesit (Jahens 1966)..... | 25 |
| Şekil 4.9:Merkezden girişli çapsal türbin (Eyice 1975)..... | 27 |
| Şekil 4.10:Merkezden girişli çapsal türbin (Eyice 1975)..... | 29 |
| Şekil 5.1: Memede akış (Eyice, 1975)..... | 31 |
| Şekil 5.2: Genişlemeli Memede Akış (Eyice, 1975)..... | 33 |
| Şekil 5.3: Buharın meme içindeki aşamaları..... | 36 |
| Şekil 5.7: Difüzörlü meme eğik kesilmiş (Eyice 1975)..... | 46 |
| Şekil 5.8: Difüzör bitiminden kesilmiş meme (Eyice 1975)..... | 47 |
| Şekil 5.9: Difüzörden sonra eksene paralel çıkış ağzı (Eyice 1975)..... | 48 |
| Şekil 5.10: Memede Girdap ve sapmalar (Eyice 1975)..... | 49 |
| Şekil 5.11: Memenin boyutunun küçük yapılması..... | 50 |
| Şekil 5.12: Memede kayıplar (Eyice, 1975)..... | 51 |
| Şekil 5.13: Basit meme (Eyice 1975)..... | 51 |
| Şekil 5.14: Basit memede hız bileşenleri..... | 52 |
| Şekil 5.15: Basit memede buhar fiskiyesi (Eyice 1975)..... | 52 |
| Şekil 6.1: Güç ve efektif verim eğrisi (Eyice 1975)..... | 56 |
| Şekil 6.2: Mekanik verim seçim eğrisi (Eyice 1975)..... | 57 |
| Şekil 7.1: Kanat açılırlarına göre kanat katsayısı (Eyice 1975)..... | 62 |

SEMBOL LİSTESİ

| | | |
|------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| x | : Islak buharda buhar yüzdesi | |
| y | : Islak buharda su yüzdesi | |
| T | : Akışkan sıcaklığı | (°K, ° C) |
| S | : Entropi | (Kcal/Kg ° K) |
| i | : Entalpi, ısı tutumu | (Kcal/ Kg) |
| Ps | : Buhar doyma basıncı | (ata) |
| Ts | : Buhar doyma sıcaklığı | (° C) |
| Ht | : Adyabatik ısı düşümü | (Kcal/Kg) |
| Hi | : İç iş | (Kcal/Kg) |
| Hu | : Çevre işi | (Kcal/Kg) |
| η_e | : Efektif verim | |
| η_i | : İç verim | |
| η_u | : Çevre verimi | |
| η_{th} | : Teorik verim | |
| m | : Kütle | (Kg) |
| n | : Devir sayısı | (1/min) |
| ω | : Açısal hız | (rad/s) |
| D | : Türbin tekerlek çapı | (m) |
| u | : Çevre hızı | (m/s) |
| C_o | : Memeden teorik çıkış hızı | (m/s) |
| φ | : Meme katsayısı | |
| C₁ | : Memeden gerçek çıkış hızı | (m/s) |
| r | : Tekerlek yarıçapı | (m) |
| r | : Reaksiyon derecesi | |
| r | : Kanat iç bükey yarıçapı | (cm) |
| g | : Yer çekimi ivmesi | (m/s ²) |
| w | : Bağlı hız | (m/s) |
| α₁ | : Meme çıkış-Kanat giriş açısı | (°) |
| β₁ | : Bağlı hız giriş açısı | (°) |
| A | : Isının mekanik eş değeri | (Kcal/ mKg) |
| φ₁ | : Kanat katsayısı | |
| F | : Kuvvet | (Kg/m/s ²) |
| v | : Özgül hacim | (m ³ /Kg) |
| γ | : Yoğunluk | (Kg/m ³) |
| L | : Mekanik iş | (m kg) |
| χ | : Hız oranı (u/c ₁) | |
| χ | : Adyabatik üs | |
| P | : Basınç | (ata= kg/cm ²) |
| G_s | : Saniyede geçen buhar niceliği | (Kg/ s) |
| F_{min} | : Minimum meme kesiti | (mm ²) |
| P_k | : Kritik basınç | (ata) |
| C_k | : Kritik kesitte hız | (m/s) |
| L_d | : Meme kaybı işi | (m/kg/kg) |
| ξ | : Direnç katsayısı | |
| F₁ | : Meme çıkış kesiti | (mm ²) |
| L | : Memede difüzör boyu | (mm) |

| | | |
|-----------------------|---|----------------|
| a | : Kanal yüksekliği | (mm) |
| b | : Kanal genişliği | (mm) |
| C_k | : Kritik kesitte hız | (m/s) |
| N_e | : Efektif güç | (Pse... KWe) |
| De | : Özgöl buhar sarfiyatı | (Kg/ KWeh) |
| N_{rv} | :Tekerlek sürtme ve rüzgarlama kayıp gücü | (Ps...KW) |
| h_d | : Meme kaybı | (Kcal/kg) |
| h_s | : Kanat kaybı | (Kcal/kg) |
| h | : Doğrultma kaybı | (Kcal/ Kg) |
| h_a | : Çıkış kaybı | (Kcal/ kg) |
| h_{rv} | : Tekerlek sürtme ve rüzgarlama kaybı | (Kcal/ kg) |
| t_s | : Kanat adımı | (mm) |
| Ss | : Kanat uç kalınlığı | (mm) |
| l_{e1} | : Kanat giriş boyu | (mm) |
| l_{a1} | : Kanat çıkış boyu | (mm) |
| τ_d | : Serbest kesit oranı | |
| z_d | : Kanat sayısı | (adet) |
| B | : Kanat genişliği | (mm) |
| z_s | : Kanat sayısı | (adet) |

ÖNSÖZ

Yaratıcı düşüncenin insanlığa kazandırdığı ısı kuvvet makinalarından buhar türbinlerinin günlük yaşamımızdaki yeri ve önemi kuşkusuz yadsınamayacak kadar büyüktür.Hızlı bir endüstrileşme sürecindeki ülkemizde kalkınmanın en önemli unsurlarından olan enerji üretimine gerekli önemin yeterince verilmemiş olması, çeşitli kullanım alanlarının yanında enerji üretiminde en büyük yeri tutan buhar türbinlerinin de öneminin göz ardı edilmesine neden olmuştur.

Böylesine önemli ve o derecede değerli olan konu üzerinde uzun süredir yaptığım araştırma ve çalışmaların yeterli olmadığına bilincindeyim. Araştırmalarım sırasında yardımlarını istemek üzere gittiğim kamu ve özel sektör kuruluşlarında ve hatta ülkemiz genelinde bu alanda yetişmiş teknik elemanların yok denilecek kadar az sayıda olduğunu üzümlere gözlemlerim

Tüm olumsuz koşullara rağmen bu araştırma ile bir şeyler yapılabilmiş olmasının mutluluğu yalnızca bu satırların yazarının değil,gelişme ve her alanda ekonomik bağımlıktan kurtulma uğraşı içinde olan ülkemiz insanları ile bu uğraşta payı olanlarıdır.Kuşkusuz burada en büyük pay 40 yıl önce beni yetiştiren rahmetli hocam Prof. Dr. Süavi EYİCE ile bu tezi hazırlamaya beni yönlendiren tez danışmanım Prof. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK beylere aittir.Bu vesile ile bu konuda beni araştırma yapmaya yönlendiren ve teşvik eden danışman hocam Prof. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK'e, Pamukkale Üniversitesinin değerli yöneticilerine teşekkürü bir borç bilir, rahmetli hocam Prof. Dr. Süavi EYİCE'nin aziz hatırası önünde saygıyla eğilirim.

Üzerinde seveceğim çalışıp hazırladığım bu tez ve proje yapımına geçilebilecek kadar ayrıntılı ve düzgün olmamakla birlikte bu alanda yapılacak bir çalışmanın başlangıcı için iyi bir adım olacağına inanıyorum.

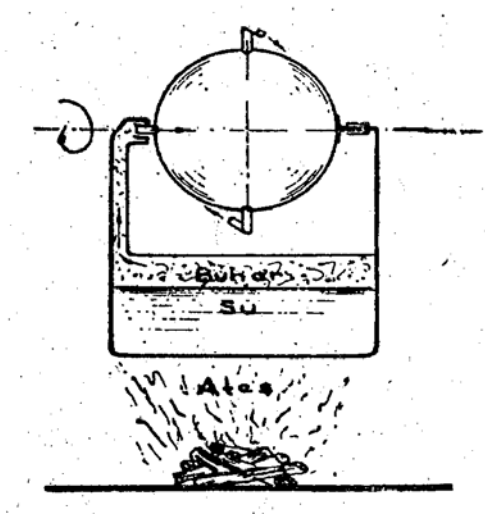
Önemini girişte kısaca belirttiğim buhar türbinleri konusunda araştırma ve çalışma yapmak isteyenlere yardımcı olabilmek beni sevindirir.Yardımcı olabilmek ve en kısa sürede ülkemizde başlangıç olarak 10 (MWe)'e kadar buhar türbinlerinin üretimine en kısa zamanda başlanması dileğiyle.

1. BUHAR TÜRİNLERİ.

1.1 Giriş:

Çağımızda mekanik iş elde etmede kullanılan ısı kuvvet makinelerinin en basitini buhar türbinleri oluşturmaktadır. İlke olarak üzerinde kanatçıklar bulunan şafta bağlı tekerlekleri iki yatak üzerinde yataklanmış bulunan türbine sevk edilen buharın ani yön değiştirmesi ile tekerlerin dönmesiyle mekanik iş elde edilmesi ilkesi ile çalışır.

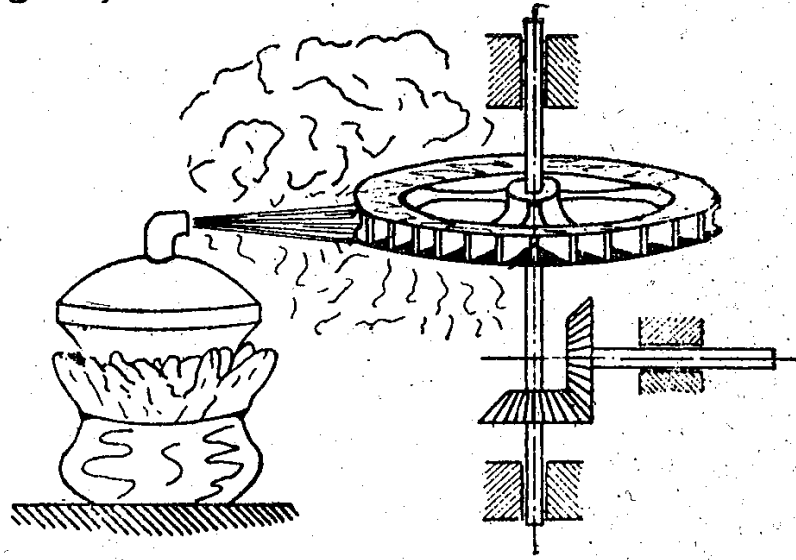
İlk çağlardan bu yana buharın genişmesi ile iş elde edilebileceği biliniyordu. Ünlü Arşimet namı içinde üretilen buharla güllerini fırlatan bir top icat etmişti. Bu çağlarda yine buharla işleyen EOLOPİL adlı bronzdan mamul oyuncaklardan dışarı çıkan buhar tiz bir ses çıkarırdı.



Şekil 1.1 : İlk çağda buharla çalışan basit düzenek (Eyice 1975)

Bunun dışında Mısırlı rahipler yatay ekseninde mesnetlenmiş bir küre içine sevk edilen buharı dirsekli bir ağızdan çıkararak dönel bir hareket elde ederlerdi. İtalyan bilim insanı *G.Branca* 1629 yılında üzerinde düzgün oyuklar bulunan bir tekerleğe buhar sevk ederek dönel hareket elde edilebileceğini

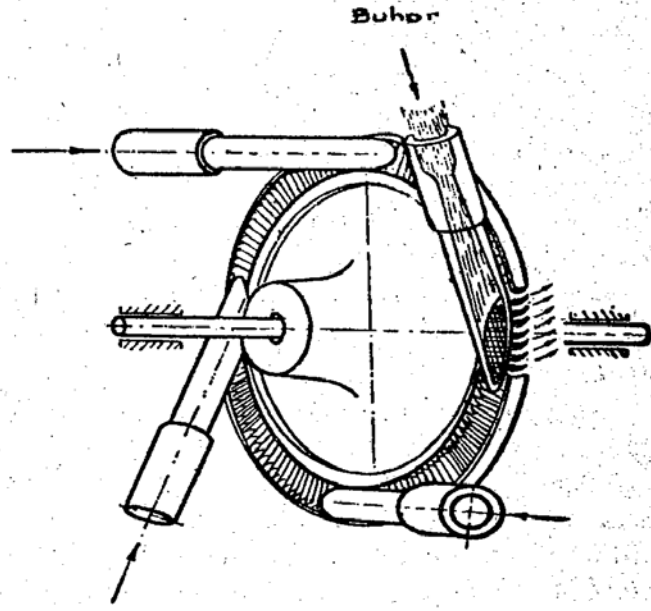
düşünmüş,böylece ilk kez modern türbinlerin ilkesini ortaya koymuştur. Günümüzde küçük güçlere de rahatlıkla kullanılan *Terry* tipi türbinler tamamen G.Branca'nın ilkesi ile çalışmaktadır.



Şekil 1.2: Brancaya göre Türbin çalışma ilkesi (Eyice 1975)

Brancanın çağında ve sonrasında konu üzerinde çalışanlar teknolojik gelişmelerde ki yetersizlikler nedeniyle başarılı olamamışlardır.1700'lü yılların ilk yarısında pistonlu buhar makineleri endüstriyel ve günlük yaşama girmişti.Buhar türbinleri 150 yıllık bir gecikme ile pistonlu buhar makinelerini izlemiştir.Bu gecikmede en büyük etken;ne oluşan gerilmeleri karşılayacak malzemelerin olmaması ve yanı sıra bunları hassas bir şekilde işleyecek atölye tekniğinin olmaması olmuştur.

Aslında bu iki önemli etken buhar türbini imalatında en önemli iki önemli özelliği oluşturur.Pistonlu buhar makinesi hatalı işlenmiş parçalarla bile çalışırken, buhar türbininde böyle bir olasılık asla geçerli değildir. Brancadan 150 yıl sonra James Watt silindir ovalliğinin 10 (mm)ye inmesinden duyduğu hoşnutluğu açıklamıştır.Bu durum Branca'dan 150 yıl sonra bile makine sanayisinin içinde bulunduğu durumu açıklar. Buhar türbinlerinin gelişmesinde İsveçli yetkin mühendis Alfa D.Laval, İngiliz Ch.Parsons çok önemli katkılar ortaya koymuşlardır.



Şekil 1.3: Laval türbini (Eyice 1975)

D.Laval Branca'nın fikirlerini uygulayarak yararlı iş üreten ilk buhar türbinini 1883 yılında üretmeyi başarmıştır. Karşılaştığı teknik güçlükleri birer birer aşan D.Laval sonuca ulaşmıştır. Lavalın ilk türbininin de türbin devri 16.000 (1/min) ve tekerlek çevre hızı ise mermi hızı olan 400 (m/s)yi bulduğunu söyleyebiliriz.

D.Laval'ın karşılaştığı ve çözdüğü sorunlar şunlardır.

a-Adi bir ağızlık-memede enerji dönüşümünün tam yapılamayacağını belirleyerek kendi adını taşıyan *difüzörlümeme*'yi icad etmiştir.

b-Kritik devirden uzaklaştıkça makinenin sarsıntısız çalıştığını gördüğünden türbin shaftını esnek yapmış ve çok yüksek olan türbin devrini de dişli devir düşürücü ile uygun bir devire indirmiştir. D.Lavalın bu buluşları bu gün bile kullanılmakta olup, tek basamaklı ilk *aksiyon*:eş basınç türbinini üretmiştir.

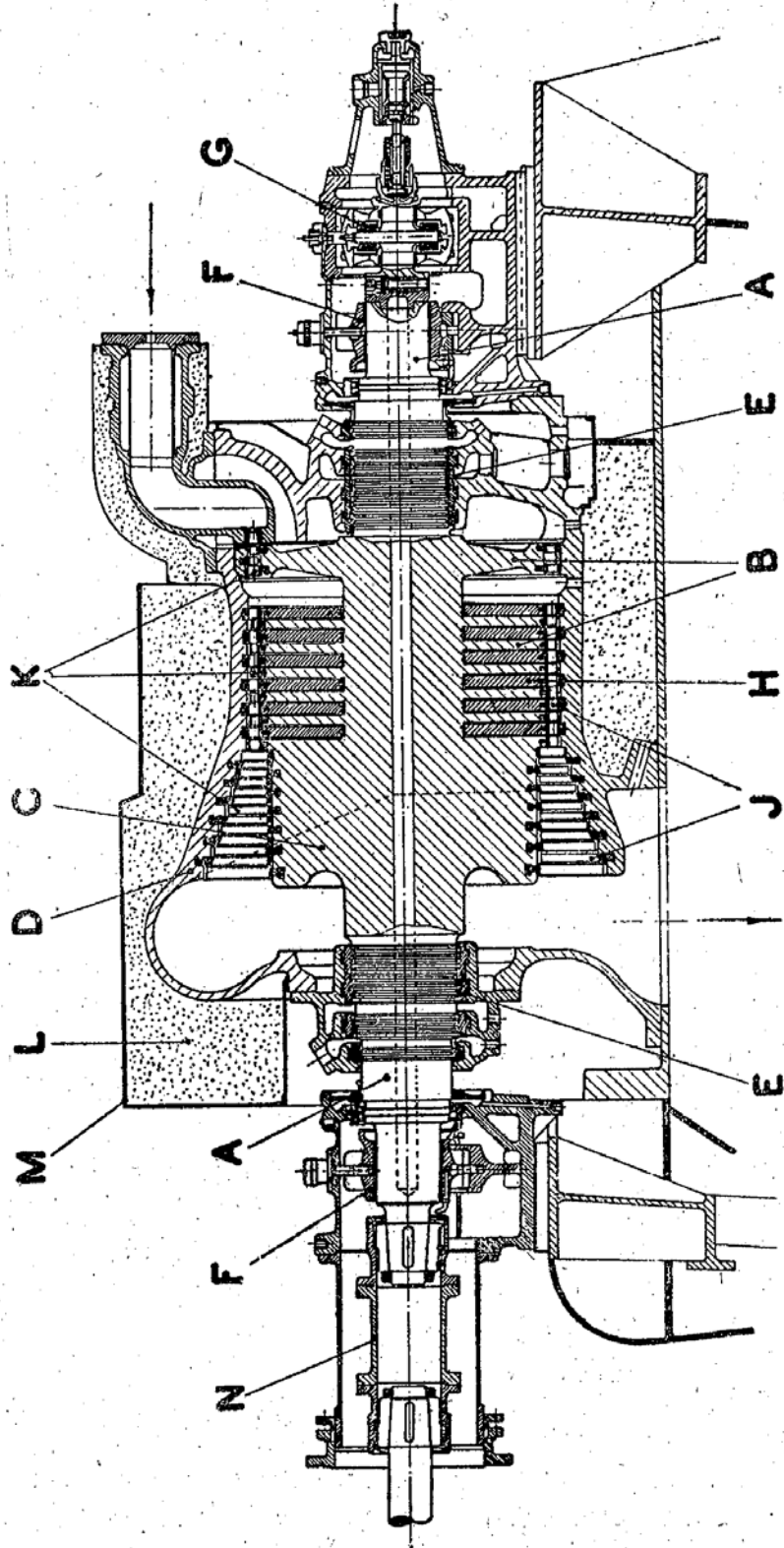
D.Lavalden bir yıl sonra İngiliz Ch.Parsons sorunu tamamen bir başka yönden irdeleyerek var olan basınç farkını ufak parçalara bölerek tekerlek çevre hızlarını düşürmüştür. Ürettiği ilk türbinde aynı gövde içinde arka arkaya sıralanmış birçok türbinciklerden oluşan ilk tepki-*Reaksiyon türbinini* üretmiştir. Bu türbinde

gövdenin tam ortasından giren buhar iki zıt yönde akarak 15'er basamakta genişleşmiş ve toplam 10 (PS) lik bir güç üretilmiştir. Elde edilen bu kadar küçük olmasına karşın bu türbin 17.000 (1/min) ile dönüyordu. Parsons daha sonraki çalışmalarında türbin devrini kabul edilebilir devire indirirken birçok teknik sorunla karşılaşmıştır. Teknik bakımdan yeterli ilk reaksiyon türbini ancak 15 yıl sonra gerçekleştirilebilmiştir.

20.YY'ın başında uluslararası Paris fuarı buhar türbinleri için tam bir zafer yılı olmuştur. Bu fuarda çalışır durumda sergilenen buhar türbinleri herkesin ilgi odağı olmuş ve teknolojisi yeterli tüm ülkelerde hızlı bir şekilde türbin imalatı gerçekleştirilmiştir. Çok kısa bir sürede buhar türbinlerinin gelişmesinde hızı kademelemeyi düşünüp hızı düşüren Amerikalı *Curtis*, aksiyon türbinlerinde basıncı kademelemeyi uygulayan Alman *Zoely* ve Fransız *Rateau*, karşı dönüşlü türbinleri icadeden *Ljungström*, kaşıklı türbinleri üreten Amerikalı *Terry* ve türbin üzerine kuramsal ve uygulamalı ilk kitabı yazan İsviçreli Prof. Dr. *A. Stodola*'nın çok büyük katkıları olmuştur.

Zoely ve *Rateau*'nun türbinleri arasında çok fazla fark olmadığından aksiyon türbinleri için her iki isimde kullanılmaktadır. Bir aşırı geçen zamandan bu yana türbin imalatında gelişmeler sonucunda çoğu şeyler standartlaşmıştır. Aynı ısı düşümü için daha çok basamak gerektiğinden tek başına Parsons (Reaksiyon) türbini imalatından hemen hemen vazgeçilmiş olup bu türbinlerin karmaşık birleşimleri uygulanmaktadır.

Curtis+Zoely, *Curtis+Zoely+ Parsons*, *Zoely+ Parsons*, *Curtis+Parsons* ve *Curtis Ljungström* gibi gruplamalar uygulanmaktadır. En baştaki *Curtis* basamağı aynı ayar basamağı olarak düzenlenmektedir. Bunun yanısıra *Laval*, *Terry* ve *Curtis* türbinleri tek başlarına yalnızca küçük güçler için kullanılmaktadır.

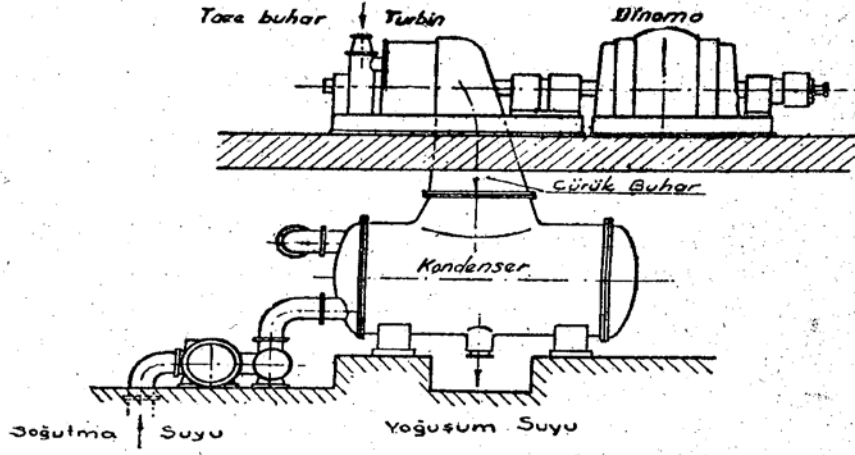


Şekil 1.4 : Modern bir karma Türbin kesiti C₂+6A+6R (Eyice 1975)

Oldukça basit bir ilkedan yola çıkılarak üretilen türbinler pistonlu buhar makinelerinin aksine doğrudan dönel hareket üreten makinelerdir. Bu ilkeyle çalışan türbinlerde öncelikle bir memede genişlen buhar, türbin tekerleğine bağlanmış kanatlara yönlendirilerek buharın kinetik enerjisi dönel harekete dönüştürülür. Memeden yüksek bir hızla çıkan buhar tekerlek üzerine tespit edilen kanatlara yönlendirilerek yön değiştirmeye zorlanır. Böylece buhar tekerleği dönmeye zorlayarak buharın kinetik enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülür. İlke olarak bu kadar basit olan buhar türbini oldukça ileri ve hassas bir atölye tekniği gerektirdiğinden üretimi, yanısıra oldukça büyük bir bilgi birikimi ve deneyim de gerektirir. En basit buhar türbini bir meme ile şafta takılmış ve çevresinde kanatlar bulunan bir tekerlektan oluşur. Ancak böyle bir türbinle çok küçük güçler üretilebilir. Şekil 1.4'te daha büyük güçler için üretilmiş bir türbinin boy kesit resmi verilmiş olup bir ayar basamağı olarak bir Curtis tekerleği devamında 6 adet aksiyon daha sonrada 6 adet reaksiyon basamağından oluşmaktadır. Türbin şaftı ve tekerlekler bloktan oyulmak suretiyle oluşturulmuştur. Buhar giriş tarafında iki hız basamaklı bir Curtis türbini ayar basamağı olarak düzenlenmiştir. Resim üzerinde A rotorun yatakladığı şaft uçlarını, B aksiyon basamağını oluşturan bloktan oyma tekerlekleri, C reaksiyon basamaklarını oluşturan tamburu, D rotorun etrafını kaplayan türbin kanatlarını, E şaftın karterden çıktığı yerlerden buhar kaçağını önleyen salmastraları, F Rotorun ağırlığını taşıyan *palamar yataklarını*, G buharın oluşturduğu aksenal itişini karşılayan *Sırast yataklarını*; H aksiyon basamaklarını ayıran ve üzerinde iç salmastraları taşıyan *Ara kanat aynalarını*, J; Ara kanat aynası ve karterde montajlı *sabit kanatları*, K; *Devingen- Seyyar kanatları* tanımlar. Devingen kanatlar ya aksiyon basamaklarında olduğu gibi tekerleğe yada reaksiyon basamaklarında tambura tespit edilirler. L; *Amyantlı dış yalıtımı* (Günümüzde anti kanserojen seramik yünü vb. kullanılmaktadır), M *Yalıtımın üzerindeki ince sac levhayı* tanımlar. Türbin üzerinde bulunan vana, boru vb. lerinin yalıtımı amyant vb. maddelerden oluşan yalıtkan yastıklarla kaplanır.

Türbin devri ya merkezkaç kuvvetle çalışan bir regülatörle ayarlanır, yada P.I.D sistem geri beslemeli elektronik kontrol sistemleri veya frekans kontrollü elektronik sistemlerle ayarlanır. Regülatörler küçük türbinlerde doğrudan, büyük türbinlerde servo motorlar aracılığı ile reglaj valflerine kumanda eder. Türbin devri

nominal devrin %10'unu geçtiğinde regülatör ana buhar valfini otomatik olarak kapatır.Çabuk kapama düzeneği olarak adlandırılan bu sistem büyük türbinlerde yağ ile çalışır.Bazı gemi türbinlerinde gemi pervanesinin kısmen su yüzüne çıkması durumunda devir ayarlamaya yarayan *Seyirdim tertibatı* bulunur.Türbin gücünü değiştirilmek istenildiğinde kısılma valfi veya meme grup valfleri açılıp kapatılarak bu amaç elde edilir.Bu özellik kara türbinlerinde otomatik olarak,gemi türbinlerinde ise elle yapılır.Yatakların soğutulması ve yağlanması şaft ile tahrik edilen bir yağ pompası ile yapılır.Genellikle dişli tipte olan bu dolaşım pompası, tanktan aldığı yağı önce bir filtre ve soğutucudan geçirdikten sonra basınçlı olarak yataklara gönderir.Bu pompa aynı anda reglaj ve çabuk kapama düzeneğinin gereksinim duyduğu basınçlı yağda sağlar.Türbin çalışmaya hazırlanırken türbinden bağımsız bir yağ pompası gerek duyulan bu işlevi karşılarsa da normal çalışmaya başlayan türbinde,yerini türbin şaftı ile çalışan pompaya bırakır.Taşıyıcı yataklar türbin dışında olduğundan buhar ve yağın karışması olanaksızdır.Bu nedenle yoğuşum suyu ayrıca bir arıtma işlemine gerek duyulmaksızın kazan besisi suyu olarak kullanılabilir.Türbin üzerinde bulunan ek donanımlar ise ana buhar vanası meme grup valfleri yoğuşan buharı türbinden uzaklaştıran dreyn düzeneği-Blotra tertibatı,salmastra buhar dağıtım düzeneği,buhar filtreleri ve değişik ölçü ve kontrol cihazları bulunur.Bu aygıtlar ise türbinin değişik yerlerindeki buhar basıncını ölçen manometreler,gerek buhar,gerekse yatak sıcaklıklarını ölçen termometre ve pirometreler,rotorun devir sayısını ölçen ve dönüş yönünü gösteren takometreler,yatak düşüklüğü ve rotor yürümesini tespit eden mikrometreler bulunur. Türbin üzerinde yağ basıncının nominal değerinin altına düştüğünü optik veya sesli bir sistemle uyararak ve montaj sırasında değişik ağır parçaları kaldırmaya yarayan parçalar bulunur. Buharın atmosfer basıncının altına genişletildiği türbinlerde buharı yoğuşturan kondenser hemen daima türbinin altına konulur.



Şekil 1.5: Türbin alternatör ve kondenserin genel yerleşimi (Eyice 1975)

Gemi türbinlerinde hacim uygun değilse kondenser bir başka yerde konumlandırılır. Türbin şaftının bir ucunda çalışma makinesini bağlamaya yarayan genelde esnek bir kavrama (N) bulunur. Kara türbinlerinde genellikle alternatör, gemi türbinlerinde ise pervane bulunur. Genellikle türbinin hareket verdiği iş makinesi doğrudan türbine bağlanır. Ancak gemilerde, bazı küçük kara tesislerinde yüksek türbin devri nedeniyle bu amaç sağlanmaz, bu nedenle bir devir düşürücü marifetiyle türbin iş makinesi bağlantısı sağlanır.

Türbin ilkesi gereği yüksek devirlidir. Bu nedenle makine ağırlığı, boyutları, kapladığı alan ve hacim bakımından diğer güç makineleri ile kıyaslanamayacak kadar küçük yer tutar. Bu yüksek devir kompresör, pompa elektrik jeneratörü vb. makinelerin gelişiminde en temel etkenlerden biri olmuştur. Bunun sonucunda aynı taşıyıcı konstrüksiyon, döşek üzerine bağlanmış *Turbo alternatör, turbo pompa, turbo kompresör* gibi makine grupları ortaya çıkmıştır. Diğer ısı kuvvet makinelerinde üretilmeyen büyük güçleri buhar türbini hiçbir zorlukla karşılaşmadan üretebilir. Pistonlu kuvvet makinelerinde ileri geri hareket eden ağır parçaların varlığı ve bunlardan doğan atalet kuvvetleri nedeniyle günümüzde bu makinelerde güç 50.000 (KWe)-60.000 (KWe) ile sınırlanmıştır. Buna karşılık 100 (MWe) bir güç buhar türbini için çekinilecek bir sınır değildir. Günümüzde buhar türbinlerinde tek bir ünite 1000 (MWE)'in üzerine çıkmıştır. Almanlar ve Amerikalılar ve daha sonra Japonlar bu üst sınırı zorlayan türbin üretiminde önde gelen ülkeler konumundadırlar. Pistonlu buhar makineleri ile buhar harcamı

konusunda karşılaştırıldığında 400(KWe)'tan sonra türbinler daha etkin bir konuma geçer.Saatlik özgül buhar sarfiyatı büyük güçlü türbinlerde yaklaşık 3 (Kg.buhar/PSeh)'dir. Diğer bir tanımla 4 (Kg buhar/KWeh)'e karşılık gelir.Farklı ısı kuvvet makineleri ile ekonomik verim açısından bir karşılaştırma yapıldığında en yüksek değerler :

| | |
|---|--------|
| Kondensasyonlu pistonlu buhar makineleri..... | %22 |
| Kızdırma kafalı motorlar..... | %28-30 |
| Kondenserli buhar türbinleri..... | %28 |
| Gaz türbinleri..... | %32 |
| Patlamalı motorlarda | %34 |
| Dizel motorlarında..... | %40 |

olduğu görülür. Ancak buharlı tesislerde en büyük kaybı egzoz ısısı oluşturduğundan bu ısı başka işlerde kullanıldığında ekonomik verim derhal iki katın üzerine %60-%65'in üzerinde değerlere çıkar.Bu tür tesislerde buhar türbinleri yukarıda anılan bütün makinelerden daha iyi bir konuma yükselir.Türbinde kondenser basıncına değin tam bir genişleme sağlandığında alçak basınç bölümü pistonlu buhar makinesine göre daima daha verimli bir konumdadır. Bunun sonucunda buhar türbinleri elektrik santrallerinde en temel ısı kuvvet makinesi olarak yer almıştır.Halen yer üzerinde üretilen elektrik enerjisinin %60'lara yakın bir oranı bu tip ısı kuvvet makineleri ile karşılanmaktadır.Hatta buhar sarfiyatının önemsenmediği durumlarda boyutlarının küçüklüğü ve işletmesinin basitliği nedeniyle küçük buhar türbinleri bile öncelik kazanmaktadır.Kara türbinlerinde reglaj ayarı tamamen otomatik olduğundan ortaya çıkabilecek arızaları var olan güvenlik önlemleri büyük çoğunlukla önlediğinden türbin diğer ısı kuvvet makinelerine göre çok daha az bir bakım gerektirir.Ancak sürekli ve dikkatli bir özen zorunludur. Durağan ve devingen kısımların birbirine sürtünmesi sonucunda kopan bir parça önlenemez arızalara hatta türbinin tamamen elden çıkmasına bile yol açabilir.Buhar türbinlerinin gemilerdeki uygulanmasını ilk kez İngiliz Ch.Parsons yapmıştır.Küçük bir nehir gemisi olan TURBİNA'da elde edilen sonuçlar çok parlak olduğundan türbinler gemi tesislerinde de tutunmuştur.İlk türbinli gemilerde türbin devri doğrudan makineye, gemi pervanesine yansıtılırdı.Ancak bu durum pervane verimini oldukça düşürdüğünden ve perva- nede kavitasyona neden olduğundan sonraki gemi tesislerinde devir sayısının düşürülmesi yönünde çözüm aranmıştır.Bu

özellik makine ve pervane arasında genellikle dişli tip bir redüktör yerleştirilerek sağlanır.Bazı tesislerde dişlinin yerini elektrikli devir düşürücü yada hidrolik kavrama alır.Büyük savaş ve yolcu gemilerinde güç makinesi olarak öncelikle buhar türbinleri kullanılmaktadır.

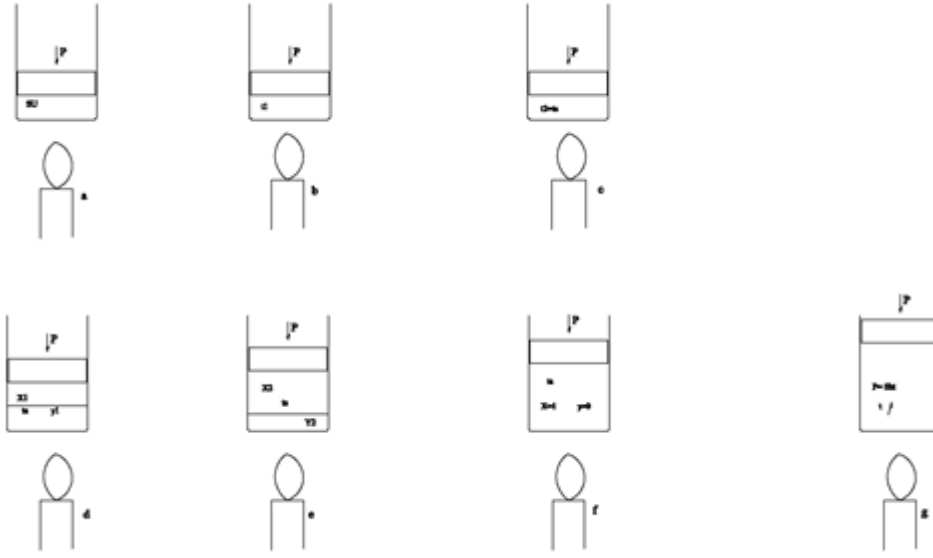
Darbeli olarak çalışan haddehane,yükleme boşaltma tesislerinde türbin doğrudan hareket makinesi olarak kullanılamaz.Çözüm elektrik aracılığıyla elde edilir. Lokomotif uygulamasında çalışma koşulları türbine uymadığından deneme aşamasından ileri geçilmemiştir.Çünkü lokomotifte çalışma sarsıntılı olup ağır yükte harekete geçmek ve manevra yapmak zorunluluğu vardır.Bu nedenle uygun değildir.Ayrıca buharlı tesisi verimli çalıştırmak için gereken kondenseri yerleştirmek neredeyse olanaksızdır.Gemilerde tornistan denilen geri hareket ya aynı karter içinde yada ayrı bir karterde ters dönen ana makinenin 1/3'ü gücünde bir diğer türbinle sağlanır.Genellikle bu türbin iki hız basamaklı bir *Curtis türbini* olmaktadır.

Normal türbinlerden farklı olarak yapılan ısı ve kuvvetin birlikte kullanıldığı karşı basınç ve ara buhar türbinleri vardır. Çürük buharın genişletilmesiyle iş üretmeye yarayan çürük buhar türbinleri,iki basınçlı buhar türbinleri ve en son olarakta çok yüksek basınç ve sıcaklıkta çalışan *öncü türbinler vardır*.Öncü türbinler yeni bir kazan yapıldığında yada varolan bir tesiste ek bir güç eldesi istendiğinde türbin giriş basınç ve çıkış sıcaklığının var olan tesisin çok üstünde olduğu, çıkış basınç ve sıcaklığının var olan türbinin giriş koşullarına karşılık geldiği koşullarda çalışan yeni türbindir.

Isı ve kuvvet gereksiniminin tamamen karşılık geldiği işletmelerde karşı basınç türbinleri kullanılır.Karşı basınçlı türbinlerde buhar atmosfer basıncının üzerinde türbini terkeder. Bu buhar *Çürük buhar* olarak adlandırılır.Türbinin çıkış basınç ve sıcaklığı,kuvvet gereksinimi işletme gereksinimine göre belirlenip dizayn edilir.Çürük buhar ısıtma,kurutma, pişirme gibi işlemlerde kullanılır.Karşı basınç türbinlerine yalnızca yüksek basınç kısmından oluşmuş bir makine gözüyle bakılabilir.Yalnız bu türbinlerde reglaj düzeneği karşı basınç ayar düzeneği ile bağlantılıdır.Türbinin verdiği buhar ısı gereksiniminden fazla ise bu durumda *ara*

buhar türbinleri önceliklidir. Kondensasyon sistemi ile çalışan bu türbinlerin bir veya birkaç yerinden buhar çekilerek işletmenin gereksinimleri karşılanır.Geri kalan buhar türbinde genişlemeye devam ederek kondensere akar.Ara buhar yoğunlukla kazan besi suyunun ön ısıtılmasında kullanılır.Bu durumda tesisin verimi oldukça artmış olur.Büyük kondensasyon türbinlerinin oldukça önemli bir bölümü ara buhar türbini olarak yapılır.Yeni nesil türbinlerin yoğunluğu bu türdedir.

2. SU BUHARININ ÖZELLİKLERİ

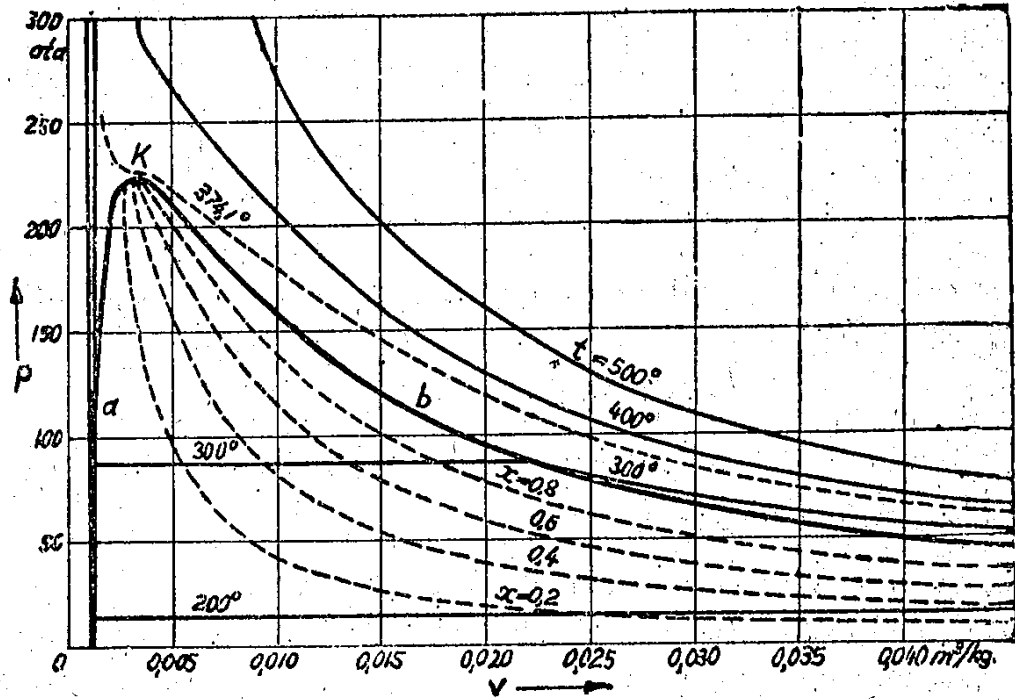


Şekil 2.1: Suyun fazlarının oluşumu.

Üstünde sabit sürtünmesiz bir ağırlık olan bir suyu kapalı bir kaba koyduğumuzu düşünelim. Başlangıçta basıncı P_1 , sıcaklığı T_1 iken ısı vermeye başladığımızda sıcaklık T_2 konumuna yükselir. Isıtmaya devam edilirse basınç sabit iken sıcaklık artmaya ve t_s kaynama sıcaklığına kadar yükselir. Burada basınç ve özgül hacim sabittir. Bu durumdaki suya *Doymuş su* adı verilir. Isıtmaya devam edildiğinde su buharlaşmaya başlar. Sabit basınçta hacim artarken kaynama sıcaklığı yanı sıra buhar sıcaklığı da sabit kalır. Şekil 6.b de $X=0, Y=1$ olup

Daima $X+Y=1$ eşitliği söz konusudur. Bünyesinde hem buhar hemde su bulduran buhara *Islak buhar* adı verilir. Şekil C'de ise ısı vermeye devam ettiğimizde su buharlaşmaya başlar ve bu durumda $P=S_{bt}$, $T=T_s$, $Y<1$ ve $X<1$ olup $X+Y=1$ dir. Isı vermeyi sürdürdüğümüzde sabit basınçta daha fazla su buharlaşarak hacim artarken basınç ve sıcaklık değişmez. Bu konumda X artarken Y azalır. Kapalı ve sabit basınçlı kabımıza enerji vermeye devam ettiğimizde kabımızdaki en son su

zerresi buharlaştığında basıncımız sabit sıcaklığımız T_s (Doyma sıcaklığı) $Y=0$ (Hiç su zerresi yok) ve $X=1$ 'dir. Teknikte bu durumdaki buharı *Doymuş kuru buhar* adı verilir. Bu durumdaki buharı ısıtmaya devam ettiğimizde basınç sabit kalırken buhar hacmi ve sıcaklığı artar ve buhar $X=1$ konumundan uzaklaşmaya başlar. Aynı basıncıdaki doymuş kuru buhar sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığı olan buharı teknikte ise *Kızgın buhar* adı verilir. Sıcaklığı artarken buharın *Entalpisiyani ısı tutumu* da artar. Buhar doyma noktasından ne kadar uzaklaşırsa o kadar ideal gaz konumuna yaklaşır ve ideal gaz özellikleri gösterir. Aynı zamanda ısı tutumu arttığından iş yapabilme yeteneği de artar. Dolayısıyla türbinlerde buhar birkaç kez kızdırılarak (Türbinden kazana gönderilerek) *CARNOT* çevrimine yaklaştırılır. Bu harım bu konumu T-S ve P-V diyagramında aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : P-v diyagramında su buharının özellikleri (Eyice 1975)

3. RANKİN ÇEVİRİMİ

Pistonlu buhar makineleri ve buhar türbinleri Rankin çevrimine göre çalışırlar. Rankin çevrimi T-S diyagramında suyun ve su buharının akış durumunu tanımlar. T-S diyagramı üzerinde T_k ve P_k gösterimleri suyun kritik basınç ve sıcaklığını gösterir. Bu noktadaki su doymuş sıvı konumunda iken enerji vermeye devam edilirse doğrudan **Kızgın buhar** konumuna geçilir. Burada şekil üzerinde :

1-2 Kazan besi suyunun kazan basıncına yükseltildiği pompa işini

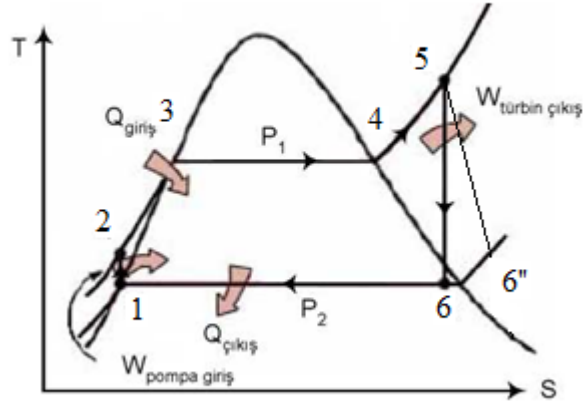
2-3 Kazanda verilen enerji ile suyun doyma aşamasına kadar ısıtılmasını

3-4 Kazanda suyun doymuş buhar haline kadar ısıtılmasını ($P=S_{bt}, T=S_{bt}$) 4-5 $X=1$ noktasından itibaren enerji verilmeye devam edildiğinde $P=S_{bt}$. basınçta kızdırma sıcaklığı arttıkça buhar ideal gaz konumuna yaklaşır. Kızdırma pistonlu buhar makinesi veya buhar türbininin giriş koşullarına kadar devam eder.

5 noktası türbinin veya buhar makinesinin giriş koşullarını belirler.

5-6 Türbine P_5 , T_5 ve \dot{I}_5 koşullarında giren buharın tersinir adyabatik (İzentropik genişmesini tanımlar. Adyabatik genişmede sistemle çevre arasında ısı alış verişi olmadığından kayıpsız iş elde edilmesi olasıdır.

6-1 Kondenser basıncı $P_1=P_6$ da buharın yoğunlaştırıldığı kondenser çevrimini verir. Türbin ve pistonlu buhar makinelerinde en büyük kayıp kondenserde verilir. Çünkü 1 (kg) suyu buharlaştırmak için verdiğimiz enerji soğutma-yoğuşurma suyu ile çevreye atılmaktadır. Bu nedenle türbin veya makineden çıkan buharın çıkış basınç ve sıcaklığı kullanılacağı proseste gerek duyulan koşullara göre seçildiğinde yoğunlaşma enerjisi geri kazanıldığından sistemin toplam verimi doğrudan yükselmektedir. Genelde %25-%35 arasında olan buhar çevriminin verim bu durumda %60'ların üzerine çıkmaktadır.



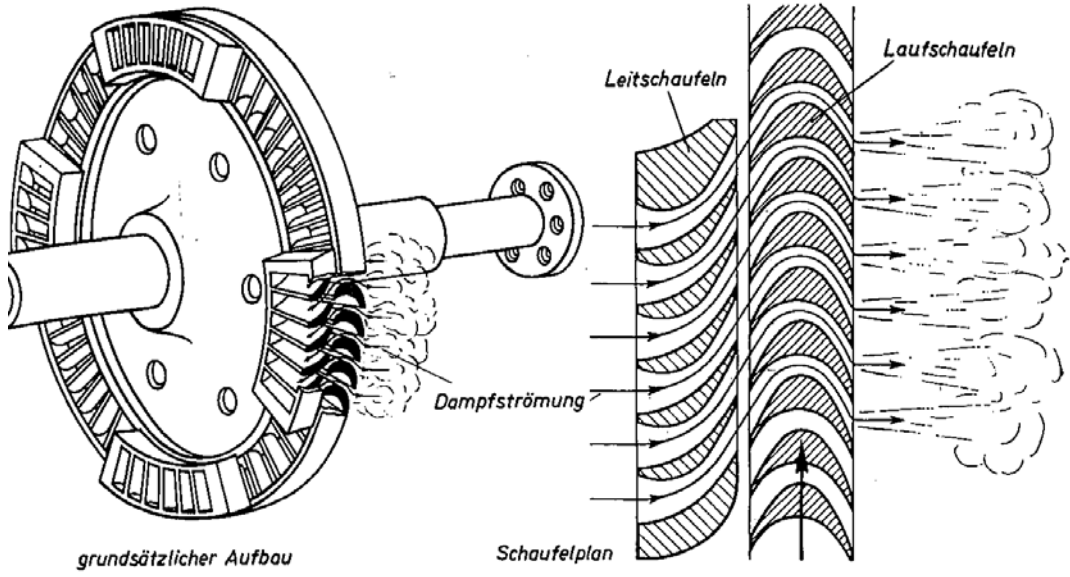
Şekil 3.1: Rankin çevrimi (Beşergil2010)

Yukarıdaki çevrimde elde edilen iş $A(1,2,3,4,5,6,1)$ ile tanımlanır. Anılan çevrimde 5-6 arasındaki genişleme 5-6' eğrisi boyunca gerçekleşir. $\dot{I}_6 - \dot{I}_6 = \Sigma_{kayıp}$ toplam kayıpları tanımlar. $H_t = \dot{I}_5 - \dot{I}_6$ Adyabatikası düşümünü tanımlar. $H_f = \dot{I}_5 - \dot{I}_6$ ise içişi verir.

4. DEĞİŞİK TÜRBİN TİPLERİ

4.1 Tek basamaklı aksiyon türbinleri: Laval türbinleri.

Bir meme grubu ve devingen kanatları taşıyan bir tekerlekten oluşur. Alttaki şekilde görüldüğü gibi basınç düşümü yani karşılığı ısı enerjisi değişimi tek bir basamakta yapılarak hız enerjisine dönüştürülür. Çevre hızının çok yüksek olmaması için ısı düşümünün elden geldiğince düşük olması sağlanmalıdır. Böylece ortaya çıkan gerilmelerin istenilen sınırların içinde kalması sağlanır.



Şekil 4.1: Laval Türbini (Dietzel 1980)

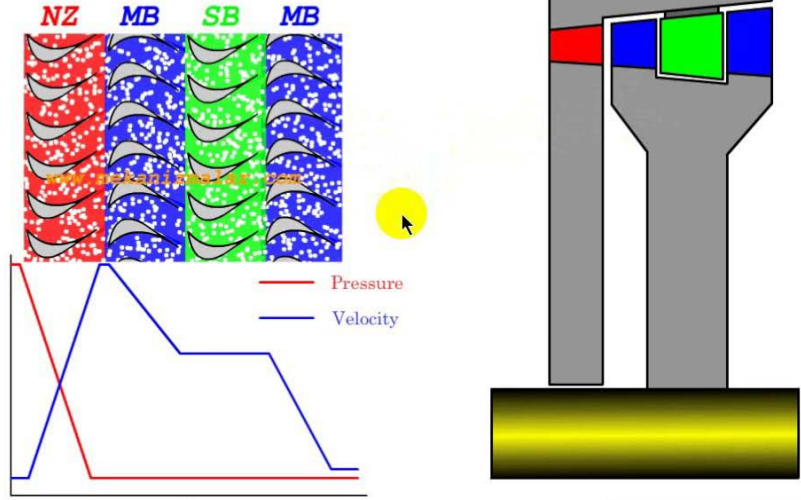
Yukardaki şekilde bir Laval türbininin basınç ve hız verilmiştir. Bu türbinlerde ısı enerjisinin tek kademedeki kullanılması ve tekerlek çapının belirli bir değeri aşması istenmediğinden türbin devri çok yüksek çıkar. Bu devir bir dişli devir düşürücü ile istenilen değere düşürülür. İlk kez D. Laval tarafından düşünüldüğü

uygulanmış olan yüksek devirli türbin yapıp istenilen devire indirilme yöntemi günümüzde de kullanılmaktadır.

4.2 Hız Basamaklı Aksiyon Türbinleri Curtis Türbinleri

Çap ve devir sayısının çok yüksek olmaması, buna karşılık verimin en uygun değeri taşınması istenildiğinde memeden fışkıran buharın hızını seygar ve durağan kanatlarda kademeleme zorunluluğu ortaya çıkar. Bu yöntemle çevre hızı ve çevre gereken değerden daha küçük olabilir.

Memeden α_1 açısıyla çıkan C_1 hızındaki buhar ilk seygar kanatta yön değiştirerek enerjisinin bir kısmını tekerleğe bırakır ve oldukça yüksek bir hızla dışarı çıkar. Bu hızdan yararlanmak için buhar fiskiyesinin önüne doğrultucu kanatlar konulur. Doğrultucu kanat içinde yön değiştiren buharın memeden çıkış yönüne gelmesi sağlanarak ikinci devingen (Seygar) kanada yönlendirilerek ikinci kanada girer ve burada yön değiştirerek hız enerjisinin geri kalan bölümünü tekerleğe vermiş olur. Bu yöntemle hızın düşürülmesine bir sabit ve iki devingen kanat çifti ile devam edilebilir. Uygulamada 3'ten fazla hız basamağı yapılmaz. Seygar kanatlar aynı tekerlek üzerine takılır. Bu tekerlekler ise taşıdıkları kanat sıra sayısına göre iki veya üç hız basamaklı *Curtis tekerleği* olarak adlandırılır. Doğrultucu kanatlar ise türbin karterine tespit edilir. Bu türbinlerde bütün basınç düşümü meme içinde yapıldığından tekerleğin önünde ve arkasında basınçlar sabit olup bu nedenle aksiyon türbini özelliği gösterir. Altındaki şekilde 3 hız basamaklı bir Curtis türbininde basınç ve hız diyagramı verilmiştir.

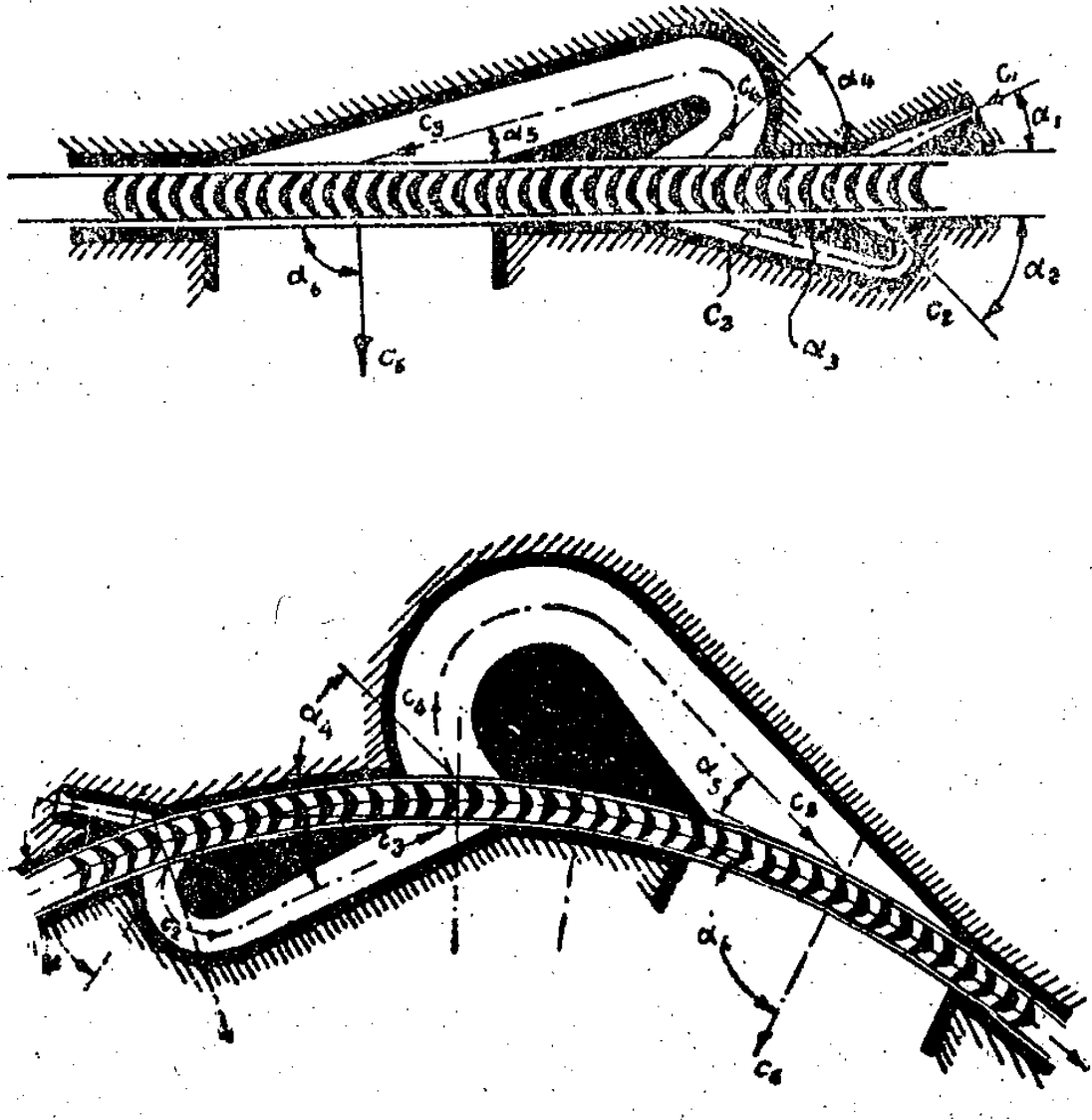


Şekil 4.2 :Curtis türbini Basınç ve hız diyagramı. (Ersoy 2016)

Hız basamaklı türbinler basit ve ucuz olmaları nedeniyle küçük güç ve boyutlardan doğan yararları nedeni ile küçük ve orta güçlerde kullanılır.

4.3 Tekrar Üfümeli Türbinler Elektra Türbinleri

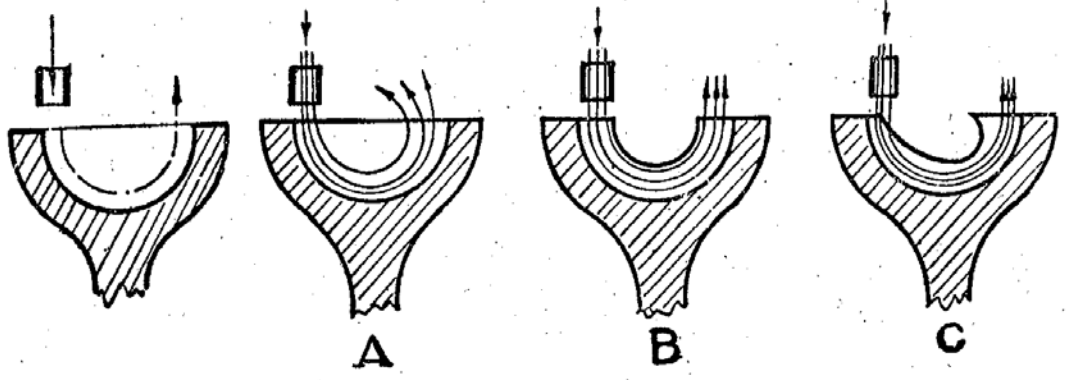
Seyyar kanatlı bir türbinde de hızı kademeleme olanağı vardır. Memede genişleyen buhar devingen kanatta yön değiştirdikten sonra tekrar aynı tekerlek üzerine sevk tertibatı marifetiyle yönlendirilir. Bu durum buharın hız enerjisi sıfırlanıncaya kadar yinelenir. Türbinlerin seyyar kanatlara giriş ve çıkış yönü sürekli değişir. Boyları oldukça uzun olan sevk kanalları içindeki sürtünmeler ve 180° likani yön değiştirmelerden ortaya çıkan kayıplar normal aksiyon basamaklarına göre daha fazladır. Ancak çok basit ve ucuz olduklarından ufak güçler de seçim kriterlerini karşılar. Bu türbinler buharın akış yönüne göre adlandırılır. Buhar alış yönü eksen yönünde olduğunda *Kienast türbini*, buharın akış yönü çap yönünde olduğunda ise *Elektra türbinleri* adını alır.



Şekil 4.3: Mükerrer üfurmeli türbinler (Eyice 1975)

4.4 Teğetsel ve Kepçeli Türbinler

Bu türbinlerde tekerlek üzerinde kanatlar yerine kepçeler var olup pelton su türbinlerinde olduğu gibi buhar teğetsel konumda kepçelere yönlendirilir. Bu türbinler *Terry türbinleri* olarak adlandırılır. Bu türbinler özellik olarak hız basamaklı türbinler grubuna dahildir.



Şekil 4.4 : Kepeçli Türbinler (Eyice 1975)

Bu türbinlerde meme kanatlardan daha küçük yapılır ve tekerlek yüzeyine yakın olarak konumlanır. Memeden çıkan ve yarım daire şeklinde yapılan kanatta 180° yön değiştirerek enerjisini türbin tekerleğine verir. Kartere monte edilen 180° yön değiştiren sevk kanalları birbiri ardına buhar hızı belirli bir devire düşüncüye kadar donatılır. Yalnızca Amerika'da kullanılan bu türbin tipi genellikle karşı basınçlı türbinlere uygulanır. *Terry* veya *Sturtevant türbini* olarak adlandırılır.

4.5 Çok Basamaklı Türbinler

4.5.1 Aksiyon Türbinleri

4.5.1.1 Basınç Basamaklı Aksiyon Türbinleri

Çevre hızını küçültmek amacıyla basınç düşümünün kademelendiği bir yöntem olup istenilen tekerlek çapı ve devir sayısının ayarlanabildiği bir türbin tipidir. Bu bakımdan çevre verimi azalmadan, çevre hızı tekerlek ve devir sayısı tarafından belirlenme olanağını verir. Çünkü her basınç basamağı memeden gerçek çıkış hızı C_1 ve bunun sonucunda U/C_1 oranının uygun bir değere karşılık gelmesi olanağı vardır.

Kademelere ayırma birinci basamakta P_1 den P_2 'ye ikinci basamakta P_2 den P_3 e ve n'inci basamakta P_{n-1} den P_n e düşürmekle yapılır. Bu şekilde oluşan

basamakların her biri tek basamaklı bir aksiyon türbini şeklinde çalışır. Bu türbinler üzerinde meme ve durağan kanatları taşıyan şaftın geçtiği göbek kısmında buhar kaçmasını engelleyen salmastra düzeneği olan ara kanat aynaları ile birbirinden ayrılır. Bu tip türbinlere mucitlerinin adlarına ithafen *Zoely* ve *Rateau* adı verilir. İlk basamaklarda üfürme oranı $\varepsilon < 1$ olduğundan ileri basamaklarda buhar hacminin artması nedeniyle bu oran gittikçe artar ve sonuçta tekerlek çevresinin tamamını kaplar. Basamaklarda kritik hız oranı aşıldığında difüzörlü meme eksi durumda basit meme kullanılır. Aşağıdaki şekilde çok basamaklı bir aksiyon türbininde basınç ve hızların değişimi görülmektedir.



Şekil 4.5 : Çok basamaklı türbinler (Alibaba 2016)

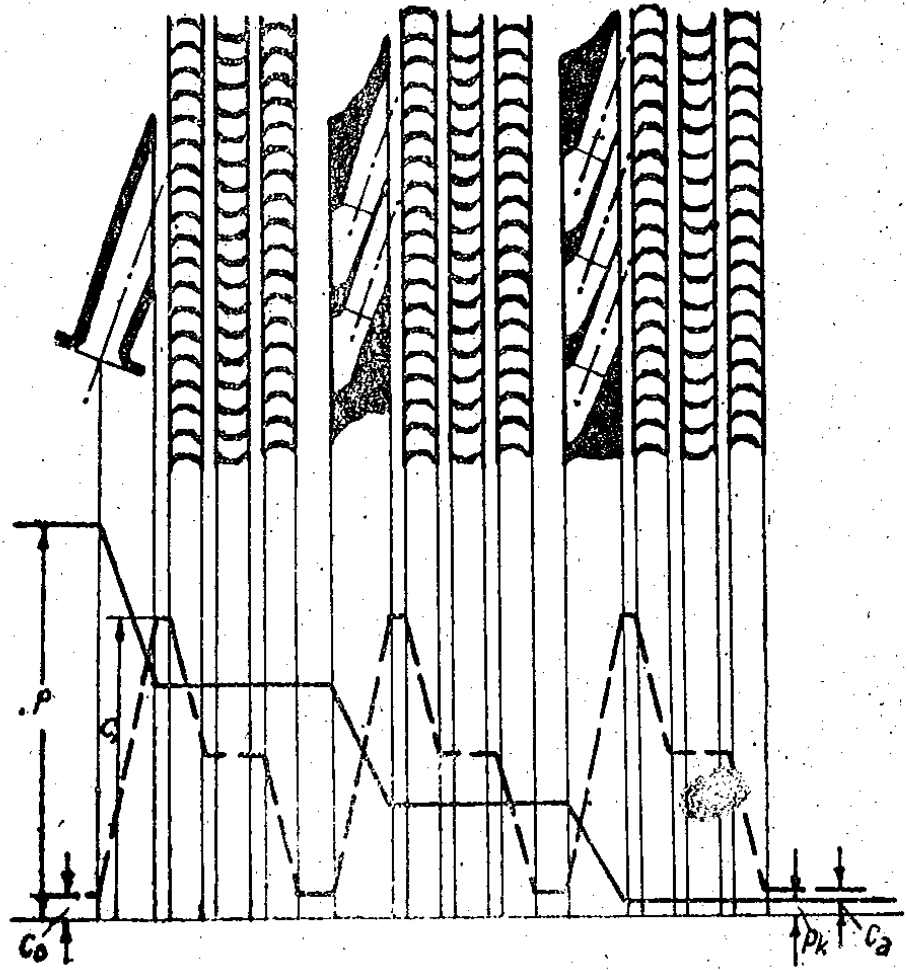
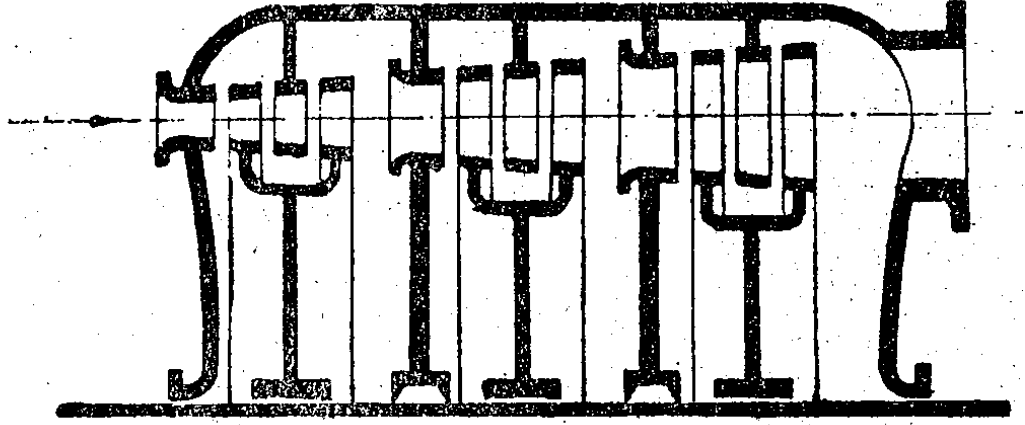
Basamaklarda artan basınç düşümleri diğer bir tanımla ısı düşümleri arttıkça buhar hızları da artacaktır. Buna bağlı olarak tekerlek çapları da büyür. Bunun yararı son basamaklarda kanat boylarının fazla uzamasını engellemektir. Ancak bazı türbinlerde bütün basamak çaplarının sabit tutulduğu görülebilir. Genellikle ilk

basamakta basınç ve adyabatik ısı düşümü seçilir ve bu basamak ayar basamağı olarak adlandırılır. Bunun yararı türbin ana karterine daha düşük basınç ve sıcaklıkta buhar verilmesi ayrıca türbin kayıplarının daha aza indirgenmesi sonucunu verir. Ayar tekerleği veya bir önceki basamaktan C_2 hızında çıkan buharın hız enerjisinden yararlanmak yerinde bir karar olur.

4.5.1.2 Basınç ve Hız Basamaklı Aksiyon Türbinleri

Mevcut basınç düşüşü kademelendikten sonra elde edilen hız , hız kademeli türbinlerde kullanılabilir. Bu yöntemle yapılan türbinlere *Basınç basamaklı Curtis türbinleri* adı verilir. Alttaki resimde iki basınç basamaklı Curtis türbininin şematik resmi görülmekte olup her Curtis türbini iki hız basamaklıdır Şekilde ayrıca basınç ve hız diyagramları ile kanat profilleri de görülmektedir.

Bu yapım yönteminde belirli bir ısı düşümünde normal aksiyon basamaklarına göre daha az basamakta işe çevirme olanağı vardır. Yani verimleri yüksek olmamalarına rağmen kıs men ucuz olmaları avantajları vardır. Bunun yanı sıra çok rastlanılan bir yöntem ise ilk basamağın Curtis tekerleği şeklinde, izleyen basamakların aksiyon basamakları olarak düzenlenmesidir. Birinci basamak ayar basamağı olarak Curtis şeklinde düzenlendiğinde ana kartere giren buhar basınç ve sıcaklığı düşer. Ayrıca aksiyon basamaklarında kullanılacak ısı niceliği düşeceğinden aksiyon basamağı sayısı azalır dolayısıyla türbin boyu ve fiyatı ucuzlar. Bu hal tarzı türbin imalatında en çok öncelikli seçim olarak dikkate alınır. Bu yöntem AEG, BEW, Bergmann. MAN, Krup ve FMA gibi çok ünlü türbin firmaları bu tarzda karar kılmışlardır. Alttaki resimde bu tip türbinlerin şematik boy kesiti, meme ve kanat profilleri görülmektedir.



Şekil 4.6 : Basınç ve Hız basamaklı Aksiyon türbini (Eyice 1975)

4.5.2 Reaksiyon Türbinleri

Bir reaksiyon türbinini tek basamaklı olarak yapmak olası değildir. Çünkü bu durumda çevre hızı çok yüksek çıkmaktadır. Ayrıca bu türbinlerde üfürme oranının $\varepsilon=1$ olma zorunluluğu vardır. Halbuki ufak güçlü türbinlerde $\varepsilon=1$ yapmak olanaksızdır. Bütün çevreyi buharla doldurma olanağı sağlanamaz. Çevre hızını kabul edilebilir bir değerde tutabilmek için çok sayıda basamağa gereksinim vardır. Bu türbinlerde basınç düşümünün kademelenmesi alttaki şekil ... P-V diyagramında ve diğer şekilde İ-S molier diyagramında açıkça görülmektedir. Bu türbinlere mucidinin adına ithafen *Parsons türbinleri* adı da verilir. Bu türbinlerde basınç düşümü kısmen sabit kanatlarda kısmen devingen kanatlarda sağlanır. Reaksiyon derecesi % 50 olduğunda durağan ve devingen kanat profilleri aynı olur.



Şekil 4.7: Reaksiyon türbini karter açılmış durumda (Alibaba 2016)

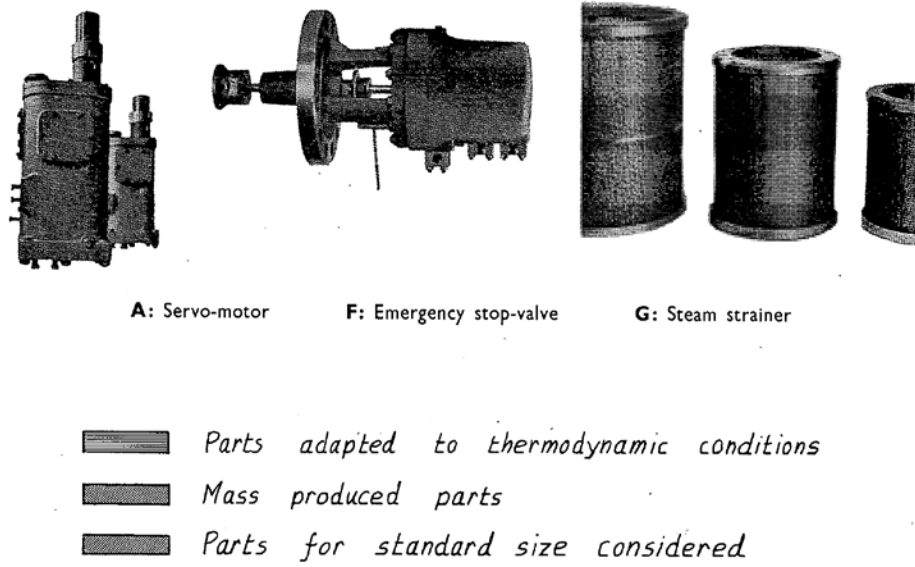


FIGURE 16: Standardisation of a condensing turbine

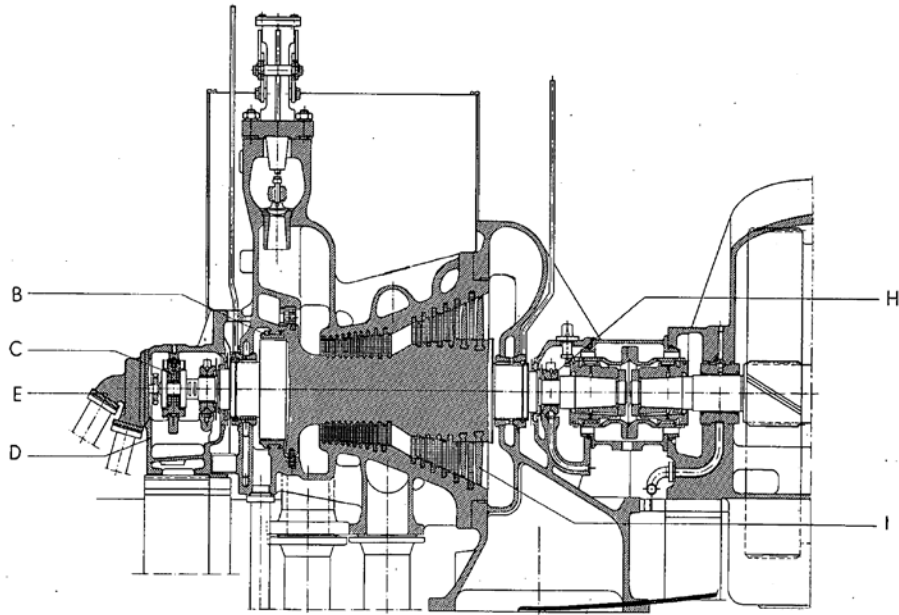


FIGURE 16(b): Turbine longitudinal cross-section

Şekil 4.8: Reaksiyon türbini boy kesit (Jahens 1966)

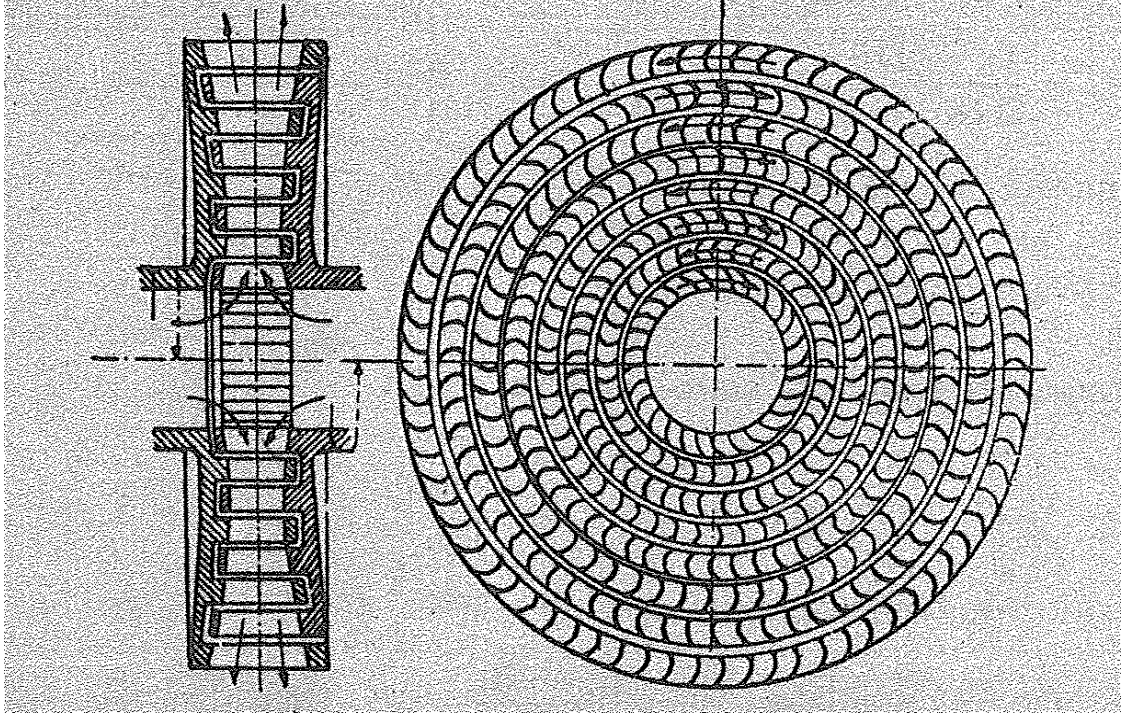
Yukarıdaki resimde bir reaksiyon türbininin boy kesiti, durağan ve devingen kanat profilleri, yanı sıra basınç ve hız diyagramları görülmektedir. Belirli bir ısı düşümü yalnızca reaksiyon basamaklarında kullanıldığında basamak sayısı oldukça fazla çıkar. Bu nedenle türbin boyu çok uzar. Bu durum orta ve ufak güçlü türbinlerde kendini gösterir. Türbin maliyeti arttığı gibi tekerlek çaplarını konstrüksiyon gereği daha küçük yapma olanağı bulunmadığından, buna karşılık buharın geçeceği serbest kesit küçüleceğinden kanat boyları ister istemez küçülür. Bu nedenle devingen kanatlarla stator (Karter) ve durağan kanatlarla motor arasında ortaya çıkan boşluğun kanat boyuna oranı büyük olur. Bu durum aralık kaçak kayıplarının artmasına ve türbin veriminin düşmesine neden olur. Baş tarafa eklenen aksiyon basamağında kısmi üfürme yapılabildiğinden türbin içindeki basınç ve sıcaklıklar daha düşük olur. Bu durum daha düşük evsafli tekerlek ve karter malzemesiyle türbin üretimine olanak verir. İlk reaksiyon basamağına ulaşıncaya kadar buhar hacmi artacağından kaçak kayıpları azalır. Sonunda türbin boyu salt reaksiyon tipine göre kısa olur. Sayılan bu üstünlükleri nedeniyle BEC, SSW, GHH, EBM, AEG VE RÖDER gibi bir çok ünlü türbin firması anılan karma sistemi seçmişlerdir. Üstteki şekilde karma bir türbinin boy kesitleri, meme ve kanat profilleri yanında basınç ve hız diyagramları bir arada verilmiştir. Bazı kara ve özellikle gemi türbinlerinde YB bölümü Curtis izleyen basamakları reaksiyon tarzında karma türbin olarak yapılır. Krup firması gemi türbinlerinde bu yöntemi benimsemiştir.

4.5.3 Çapsal ve Radyal Türbinler.

4.5.3.1 Çapsal Türbin.

Radyal türbinlerde aksiyon ve reaksiyon tipi türbin ilkeleri doğrultusunda buharın akışının aksenal shaft yönünde değil, çap yönünde sağlandığı türbin tipidir. Bu türbinlere de buharın merkez kaç kuvvetiyle dışa doğru savrulması da göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü buharın merkezden dışarı doğru akması durumunda merkez kaç kuvvet bağıl kuvvetin artmasına, dışardan merkeze doğru akması

durumunda azalmasına neden olur. Çapsal türbinde durağan ve devingen kanatlarda buharın akış durumu alttaki şekilde görülmektedir.



Şekil 4.9: Merkezden girişli çapsal türbin (Eyice 1975)

Kütlesi m olan küçük bir parçasına merkezden uzaklığı r' , tekerleğin açısal hızı ω ise merkez kaç kuvveti; F_m

$F_m = m\omega^2 r$ dir. Bu kuvvet d_r yolu boyunca etkiğinde ortaya çıkan iş;

$W = F_m \cdot d_r = m \cdot \omega^2 \cdot r \cdot d_r$ olur.

Seyyar-devingen kanadın iç çapı $D_1 = 2r_1$ dış çapı $D_2 = 2r_2$ ise bütün kanat boyunca ortaya çıkan

$$\delta W = \int_{r_1}^{r_2} m\omega^2 \cdot r \cdot dr = \frac{m}{2} (r_2^2 \cdot \omega^2 - r_1^2 \omega^2) \quad (mkg)$$

olur. Ancak açısal hız ω ise;

$$\omega = \frac{\pi.n}{30} [1/s]$$

$$n = \frac{\omega.30}{\pi} (d^1 / dak) \text{ ve çevre hızı } U \text{ ise}$$

$$U = \frac{\pi.D.n}{60} = \frac{2\pi.r.n}{60} = \frac{2\pi.r}{60} \cdot \frac{30\omega}{\pi} = r\omega$$

olduğundan merkezkaç kuvvetinin ortaya çıkardığı iş $= \frac{m}{2}(r_2^2.\omega^2 - r_1^2.\omega^2) \Rightarrow$

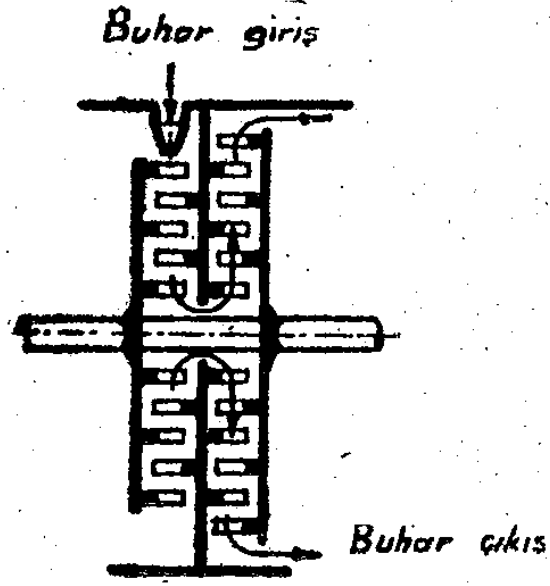
$\frac{m}{2}(U_2^2 - U_1^2)$ ya da $1(kg)$ buhar için bu iş $m = \frac{1}{g}$ olduğundan formül

$$\frac{1}{2g}(U_2^2 - U_1^2) = W_m (mkg / kg) \text{ olur.}$$

4.5.3.2 Normal Çapsal Türbinler

Normal aksiyon tipindeki çapsal türbinler tek aksiyon basamağından oluşur. Yukarıda anlatılan merkez kaç kuvvetin oluşturduğu iş bu türbinlerde ihmal edilebilir. Çünkü var olan tek kademedeki devingen kanatların giriş ve çıkış kanatları arasındaki fark ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Bu nedenle eksenel ve radyal aksiyon türbinleri arasında ki hesaplarda pek fark yoktur.

Çapsal tipteki reaksiyon türbinleri çok basamaklı olarak yapılırlar.



Şekil 4.10:Merkezden girişli çapsal türbin (Eyice 1975)

Bu türbinlerde merkez kaç kuvvetini ihmal etmek mümkün değildir. Reaksiyon türbinlerinde durağan kısımdaki adyabatik ısı düşünümünün

$$h'_i = \frac{A}{2g} \left(\frac{C_1^2}{\phi^2} - C^2 \right) \text{ (kcal / kg) } \text{şeklindedir.}$$

Devingen kısımda ise eksenel türbinlerde;

$$h_i'' = \frac{A}{2g} \left(\frac{W_2^2}{\phi^2} - W_1^2 \right) \text{ (kcal / kg)}$$

ısı kullanılır.

Fakat çapsal türbinlerde bu miktardan merkez kaç kuvveti çıkarmak gerekir. Dolayısıyla

$$h_i'' = \frac{A}{2g} \left(\frac{W_2^2}{\phi^2} - W_1^2 \right) - \frac{A}{2g} (U^2 - U_1^2)$$

Bu durumda toplam adyabatik ısı düşümü

$$h_i = h_i' + h_i'' = \frac{A}{2g} \left[\frac{C_1^2}{\varphi^2} - C^2 + \frac{W_2^2}{\varphi^2} - W_1^2 - U_2^2 + U_1^2 \right] \text{ (kcal / kg) olur.}$$

Ancak reaksiyon derecesi $r = 0,5$ olduğunda ise

$C = C_2$, $\varphi = \psi_2$, $C_1 = W_2$, $C_2 = W_1$ alınabileceğinden denklem

$$\begin{aligned} h_i &= \frac{A}{2g} \left[\frac{C_1^2}{\varphi_2} - C^2 + \frac{W_2^2}{\psi} - W_1^2 - u^2 + u_1^2 \right] \\ &= \frac{A}{2g} \left[\left(\frac{2C_1^2}{\varphi_2} - 2C_2^2 \right) - (u_2^2 - u_1^2) \right] \text{ (kcal / kg)} \end{aligned}$$

şeklini alır.

4.5.3.3 Karşı Dönüslü Çapsal Türbinler

Modern çapsal türbinlerin büyük çoğunluğu karşı dönüslü reaksiyon türbini olarak yapılırlar S.124, Ş.92. Bu tip normal türbinlerde sevk terfi batına (durağan kanatlarına) karşılık gelen sabit kanatlar bir tekerleğe bağlanmıştır. Buhar verildiğinde bu tekerlek devingen kanalları üzerinde taşıyan tekerleğin ters yönünde döner. Yani türbinde bütün kanatlar koşulsuz seyyar kanat (devingen kanat) özelliğini taşırlar. Bu durumda her kanat sırası iş ürettiğinden bağımsız bir basamak olarak değerlendirilmelidir.

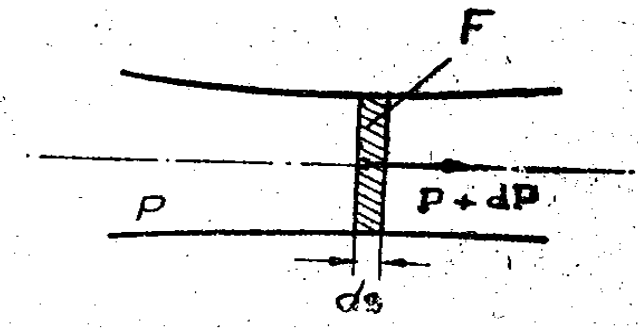
Bu türbinler mucidi İsveçli Ljungstrom'un adıyla anılır.

5. BUHARIN MEME VE KANALLARDA AKIŞI

5.1 Sürtünmesiz-Kayıpsız Akış

P basıncında kapalı bir kaptaki buhar dışarı akarsa, akış ağzına uygun bir form biçim vermekle buhar basıncı P dış basınç P_a 'ya düşürülebilir. Bu durumda buhar belirli bir hızla kaptan dışarı akar. Bu durumda buharın potansiyel enerjisi, kinetik hız-enerjisine dönüştürülmüş olur. Buradan ağızlıkta bir enerji değişiminin söz konusu olduğu çıkarımını yapabiliriz. Akış kayıpsız olduğundan akış adyabatik akış olarak değerlendirilir. P basıncından P_a basıncına genleşen buharın akış enerjisi-basınç değişimi iş yapabilir bir kuvvete dönüşmüş olur.

Buhar türbinlerinde akış enerjisi mekanik işe dönüştürüldüğünden, iş yeteneği ile akış hızı arasındaki bağıntının irdelenmesi zorunluluğu ortaya çıkar. Buharın enerji değişiminin ortaya çıktığı akış kesitinin $F(m^2)$ buhar basıncının $P(kg/m^2)$ ve buhar hızı $C(m/Sn)$ olduğu kabul edilerek yandaki şekilde ok işareti yönünde etki eden toplam kuvvet



Şekil 5.1: Memede akış (Eyice, 1975)

$$F.P - F.(P + dP) = F.dP \quad (kg) \text{ olur.}$$

Newton prensibine göre:

Kuvvet=kütle x ivme olup $F.dP$ kuvveti bir $m\left(\frac{kg s^2}{m}\right)$ kütlesi üzerine $\Delta t(h)$

zaman süresince $\Delta_s(m)$ yolu boyunca etkiyerek ona;

$b = \frac{d_c}{d_t} (m/s^2)$ ivmesi kazandırıyor demektir. Bu durumda

$F.dP = m \frac{d_c}{d_t} (kg)$ olur. Ancak kütle $m = \frac{F.d_s \gamma}{g} \left[kg \frac{s^2}{m} \right]$ olduğundan

$dP = \frac{d_s}{d_t} . d_c . \frac{\gamma}{g}$ yazılabilir.

Ayrıca, $\frac{d_s}{d_t} = c$, $\gamma = \frac{1}{v}$ olduğundan değerler yerine konularak

$dP = c . d_c . \frac{1}{V . g}$ ya da

$VdP = \frac{1}{g} c . dc$ elde edilir. Böylece

$\int_{P_0}^P V . dP = \frac{1}{g} \int_C^{C_0} c . dc$ denklemi bulunur.

Bu eşitlikteki $V.dP$ teriminin adyabatik genişlemedeki iş yapma yeteneği L olduğu ve $L = \frac{h_t}{A}$ olduğu bilindiğinden

$$\int_{P_0}^P V . d_p = L = \frac{h_t}{A} = \frac{1}{g} \left(\frac{C_0^2}{2} - \frac{C^2}{2} \right)$$

$$= \frac{1}{g} \left(\frac{C_0^2}{2} - \frac{C^2}{2} \right) = \frac{C_0^2}{2g} - \frac{C^2}{2g} \left[\frac{mkg}{kg} \right]$$

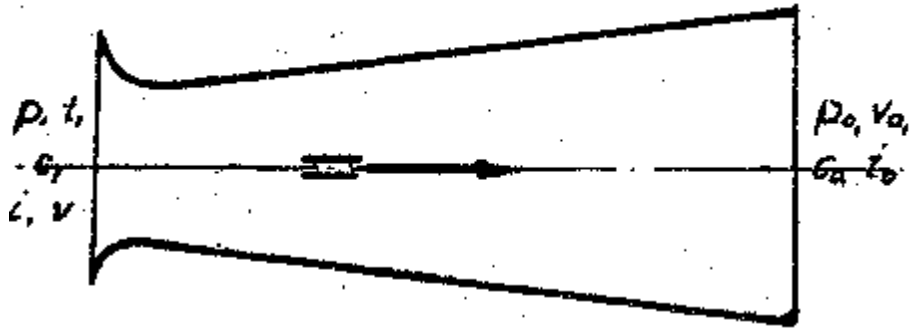
bulunur.

Başlangıçtaki memeye girişteki hız C , çıkıştaki hız C_0 olduğuna göre;

$$\frac{C_0^2}{2g} - \frac{C^2}{2g} \text{ ifadesi } 1 \text{ kg buharın akıp enerjisindeki artışı tanımlar.}$$

5.2 Akış Hızı

Bu hız buharın iş yeteneğinden hesaplanabilir. Ağızlık önündeki büyüklükler indissiz, çıkışındakilerde “o” indisi ile tanımlanırsa



Şekil 5.2: Genişlemeli Memede Akış (Eyice, 1975)

$$\frac{C_0^2}{2g} - \frac{C}{2g} = L$$

denkleminde akış hızı

$$C_0 = \sqrt{2g_l + c^2}$$

(m/s) bulunur. Burada, C_0 hızı C 'ye göre çok büyük olduğundan C ihmal edilirse;

$$C_0 = \sqrt{2g_l}$$

(m/s) şeklinde yazılabilir.

$$\text{Ancak } L = \frac{x}{x-1} \cdot p_v \left[1 - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{x-1}{x}} \right] \quad (mkg/kg)$$

olduğundan bu değer hız denkleminde konulduğunda

$$C_o = \sqrt{2g \frac{x}{x-1} \cdot p_v \left[1 - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{x-1}{x}} \right]} \quad (m/s) \text{ olur.}$$

Burada x buhar durumuna adya batık üs olup, x 'in farklı değerleri şöyledir.

$x = 1,3$ kızgın buhar

$x = 1,135$ doymuş kuru buhar ve

$x = 1,035 + 0,1x$ ıslak buhar

C_0 hızı İ. S. diyagramı üzerinde de kolayca elde edilebilir.

$$A.L = i - l_0 = ht \quad [kcal/kg] \text{ yani}$$

$$L = \frac{i - l_0}{A} = \frac{h_t}{A} \quad (mkg/kg) \text{ olduğundan}$$

$$C_0 = \sqrt{2g.L} = \sqrt{2.g \frac{h_t}{A}} \quad (m/s)$$

denklemden

$$g = 9,81(m/s^2) \quad A = \frac{1}{427} \text{ olup}$$

yerine konulursa

$$C_0 = \sqrt{2.9,81 \cdot \frac{h_t}{\frac{1}{427}}} = 91,53\sqrt{h_t} (m/s)$$

Şeklinde adyabatik ısı düşümüne göre kayıpsız çıkıp hızı bulunur. Aynı hız SI birim sisteminde $h_t : (kcal / kg)$ yerine $1 kcal / kg = \frac{h_t (kjoule / kg)}{4,187}$ konularak

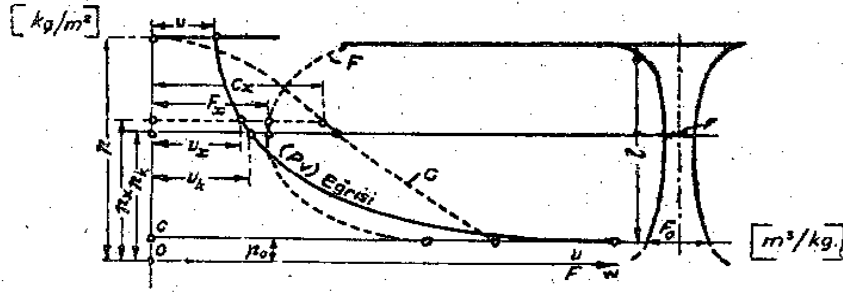
$$C_o = 44,73\sqrt{h_t (kjoule / kg)} \frac{[m / s]}{\sqrt{\quad}} \text{ bulunur.}$$

Bu denklem türbin hesaplarında en çok kullanılan denklemlerden biridir.

5.3 Buharın Meme İçindeki Geçirdiği Aşamalar

Ağızlıkta enerji değişiminin tam olarak oluşabilmesi için, yani h_t adyabatik ısı dönüşümüne karşılık gelen C_0 hızına ulaşabilmek için akış kesitinin uygun bir forma sahip olması, bunun için kesit alanının doğru olarak hesaplanması gerekir.

Kesit alanları basınç ile birbirine bağlı olduğundan, bunlar hakkında doğru bir inceleme yapılabilmesi için



Şekil 5.3: Buharın meme içindeki aşamaları

Şekildeki diyagramlar hazırlanmıştır.

Örneğin: Buharın 10 ata'dan 9.8,76.1 (ata) ya kadar adyabatik genişleme yaptığı varsayıldığında, hesap yöntemi veya Molier diyagramından bulunan adyabatik ısı düşümüne karşılık gelen hız C_0 ile genişleme sonundaki hacim V_0 değerleri bulunabilir.

Bunlar ordinatı p olan bir diyagram üzerine konular ve aynı büyüklüğe ait olan noktalardan birer eğri geçirilirse hız ve hacim eğrisi bir adyabattır.

Süreklilik denklemi gereğince sıradan bir p basınç için gereken kesit alanı

$$F = \frac{G_s \cdot V_x}{C_x} \left[m^2 \right] \text{ dir. Bu kesitin değişimini tanımlayabilmek için aynı diyagram}$$

üzerine F_x eğrisi çizilebilir.

$P_x = P$ olduğunda $F_x = \infty$ bulunur. Yani meme girişi öncesinde kesit alanı ∞ dur. $P_x = 0$ olduğunda $V_x = \infty$ olacağından $F_x = \infty$ olması gerekirdi. Ancak gerçekte genişleme basınç $P_0 > 0$ olduğundan memeden çıkıp kesiti belirli bir değeri içerir. F_x 'in ara değerleri hesaplanıp değişim eğrisi çizildiğinde bu eğrinin bir minimumdan geçtiği görülür. Bu minimuma memenin en dar kesiti yani F_{\min} denilir. En dar kesitte başlangıç basıncı P ye bağlı bir P_k basıncı karşılık gelir. Şayet bu en dar kesit memenin bitiş noktasında ise buharın memeden çıkış basıncı P_k olur. Ancak dış

basınç $P_0 < P_k$ olduğunda buhar memeyi terk eder etmez basıncı dış basınca düşer. Ve bu sırada girdaplar oluşur. En dar kesitte oluşan bu basınç kritik basınç olarak adlandırılır. Meme, kesit için çıkarılmış olan denklem kritik kesit ender kesit içinde geçerli olduğundan;

$$F_{\min} = \frac{G_s}{\sqrt{2g \cdot \frac{x}{x-1} \cdot \frac{P}{v} \cdot \left[\left(\frac{P_k}{P} \right)^{2/x} - \left(\frac{P_k}{P} \right)^{\frac{x+1}{x}} \right]}} \quad (m^2)$$

yazılır.

Başlangıç durumunun değişmediği yani P ve V değerleri sabit kaldığına göre meme kesitinin en ufak olabilmesi için

$$\left[\left(\frac{P_k}{P} \right)^{\frac{2}{x}} - \left(\frac{P_k}{P} \right)^{\frac{x+1}{x}} \right]$$

ibaresinin en büyük olması gerekir. Bu değere türevin 0'a eşit olduğunda ulaşılır. Yani;

$$d \left[\left(\frac{P_k}{P} \right)^{\frac{2}{x}} - \left(\frac{P_k}{P} \right)^{\frac{x+1}{x}} \right] = 0$$

olmalıdır.

Buradan

$$\frac{2}{x} \left(\frac{P_k}{P} \right)^{\frac{x}{2}-1} - \left(\frac{P_k}{P} \right)^{\frac{x+1}{x}-1} = 0$$

$$\left(\frac{P_k}{P} \right)^{\frac{x-1}{x}} = \frac{2}{x+1}$$

olur. Sonuçta

$$\frac{P_k}{P} = \left(\frac{2}{x+1} \right)^{\frac{x}{x+1}}$$

sonucu elde edilir.

Burada $\frac{P_k}{P}$ oranına kritik basınç oranı adı verilir. Bu son denklemden açıkça görüldüğü gibi kritik basınç meme girişindeki basınca bağlıdır. Arkasında bulunan basınçla hiçbir ilgisi yoktur. Bu denklemde buhar konumuna göre x değerleri yerine konulduğunda başlangıç durumu doymuş kuru buhar için 1,135.

$$P_k = 0,5774.P \text{ veya } P = 1,73 P_k \left(kg / cm^2 \right) \text{ sonucu elde edilir.}$$

Başlangıç duruma kızgın buhar $x = 1,3$ için

$$P_k = 0,5457P \text{ veya } P = 1,83 P_k \left(kg / cm^2 \right)$$

Memede basınç düşümü P 'den P_k 'ye kadar yapıldığında kritik kesitteki hız C_k ortaya çıkar ki bu hız ses hızına eşittir.

Hız denkleminde

$$C_0 = \sqrt{2g \frac{x}{x+1} \cdot P_v \left[1 - \left(\frac{P_0}{P} \right)^{\frac{x-1}{x}} \right]} \quad (m / s)$$

P_0 yerine P_k yazılacak

$$P_k = P \left(\frac{2}{x+1} \right)^{\frac{x-1}{x}} \left(kg / cm^2 \right) \text{ konulursa}$$

$$C_k = \sqrt{2g \cdot \frac{x}{x+1} \cdot P_v} \quad (m/s) \text{ denklemi olur.}$$

$$C_k = \sqrt{2g \cdot \frac{x}{x+1} \cdot P_v} = \sqrt{g_x \cdot P_k \cdot v_k} \quad (m/s)$$

şeklinde ifade edilir. Kritik kesitteki özgül hacim v_k 'nın değeri

$$v_k = V \cdot \left(\frac{P}{P_k} \right)^{\frac{1}{x}} = V \left(\frac{x+1}{2} \right)^{\frac{1}{x-1}} \quad (m^3 / kg) \text{ olur.}$$

Başlangıç durumu doymuş kuru buhar için $x = 1,135$ olduğunda

$$C_k = 323 \sqrt{p \cdot v} \quad (m/s) \text{ bulunur.}$$

Kızgın buhar için $x = 1,3$ konulursa

$$C_k = 333 \sqrt{P \cdot v} \quad (m/s) \text{ bulunur.}$$

Meme içinde saniyede akan buhar her kesitte sabit olacağından en dar kesit

için $F_0 = F_{\min} P_o = P_k = P \left(\frac{2}{x+1} \right)^{\frac{x}{x-1}} \quad (kg/cm)$ konulur. Genel denklem

$$G_s = F_{\min} \cdot \sqrt{2g \frac{x}{x+1} \cdot \frac{D}{v} \left[\left(\frac{2}{x+1} \right)^{\frac{2}{x-1}} \right]} \quad (kg/s) \text{ olur. Şekline dönüşür.}$$

Başlangıç konumu D.K.B. için $x = 1,135$ konularak

$$G_s = 199 \cdot F_{\min} \sqrt{\frac{P}{v}} \quad (kg/s)$$

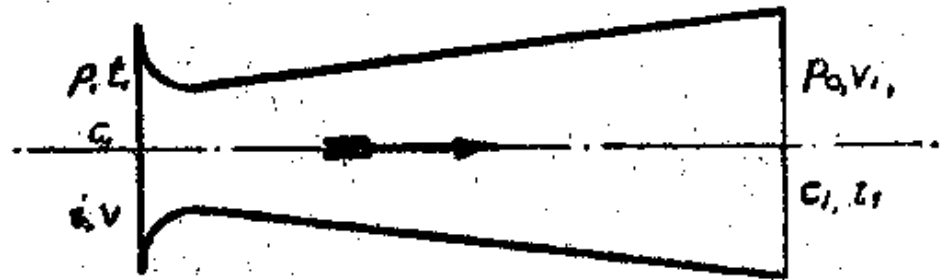
Başlangıç konumu kızgın buharı $x = 1,3$ için

$$G_s = 209 \cdot F_{\min} \sqrt{\frac{P}{v}} \quad (\text{kg} / \text{s})$$

memeden geçen buhar niceliği en dar kesiti F_{\min} ve meme öncesi buhar durumuna bağlıdır. Yani memenin çıkış kesiti F_0 ile meme arkasındaki basınç P_0 'ın hiçbir rolü yoktur.

5.4 Meme İçinde Buharın Gerçek Akışı

Buhar meme içinde akarken buhar molekülleri meme iç yüzeylerine sürtünerek ve birbirine çarparak bir miktar ısınır. Bunun sonucunda hız enerjisinin bir miktarı tekrar hız enerjisine dönüşmüş olur. Bu olay sonucunda gerçek akışta memeden dışa akan buharın özgül hacmi v , sıcaklığı t , ısı tutumu l ve entropu S , ideal akışa göre daha büyük. Buna karşılık hızı daha düşük olacaktır. Bu durumda sistemde ısı alışverişi olduğundan genleşme adyabt yerine politrop olur.



Şekil 5.4: Difüzörlü memede basınç değişimi (Eyice 1975)

İndissiz olarak gösterilen durum büyüklükleri memenin önündekiler, 0 indisi ile de meme çıkışındaki kayıpsız akıştaki durumları ve 1 indisi ile gösterilenlerde gerçek akışta meme çıkışındaki durumu tanımlamaktadır.

Meme önündeki entalpi i_1 , meme çıkışındaki entalpi i_0 dan büyük olduğu için (i_1, i_0) , $i - i_1 < i - i_0$ ($kcal / kg$). Yani $h_1 < h_0$ ($kcal / kg$) olur. Bunun sonucunda $C_1 = 91,5\sqrt{h_1} < 91,5\sqrt{h_0}$ dir.

$$C_1 < C_0, C_0 = 91,5\sqrt{h_0}$$

Demek ki gerçek akışta, adyabatik ısı düşümü ht ve politropik ısı düşümü h_1 ısı düşümü arasındaki fark kadar bir entalpi hız enerjisine çevrilmemiştir.

Kinetik enerjiden kaybolan bu miktara meme kaybı h_d adı verilir. Adyabatik ya da ideal genişlemede

$$\frac{C_0^2}{2g} = \frac{C^2}{2g} + \frac{i - i_0}{A} \quad (mkg / kg)$$

Politropik yani gerçek genişlemede

$$\frac{C_1^2}{2g} = \frac{C^2}{2g} + \frac{i - i_1}{A} \quad (mkg / kg) \text{ buradan meme kaybı: } L_d$$

$$L_d = \frac{C_0^2}{2g} - \frac{C_1^2}{2g} = \frac{i_1 - i_0}{A} \quad (mkg / kg)$$

Ya da;

$$h_d = h_0 - h_1 = i - i_0 - (i - i_1) = i_1 - i_0 \quad (kcal / kg) \text{ bulunur.}$$

Yani meme kaybı meme arkasındaki ısı tutumları farkına eşitti.

$C_1 = \varphi \cdot C_0$ (m/s) alınarak memeden enerji kaybı

$$L_d = (C_0^2 - C_1^2) / 2g = \frac{C_0^2 - \varphi^2 \cdot C_0^2}{2g} = \frac{C_0^2}{2g} (1 - \varphi^2)$$

Bazı literatürlerde meme katsayısı yerine direnç katsayısı ya da mukavemet katsayısı ζ işareti kullanılır. Burada

$$\zeta = \frac{L_d}{L} = \frac{h_d}{h_t} - (\%) \text{ devamla}$$

$$L_d = \zeta \cdot L = \zeta \cdot \frac{C_0^2}{2g} \text{ veya}$$

$$h_d = \zeta \cdot h_t = \zeta (i - i_0) \text{ (kcal / kg) bulunur.}$$

Diğer yandan memedeki iş kaybı

$$L_d = \frac{C_0^2}{2g} (1 - \varphi^2) \text{ (mkg / kg) olduğundan}$$

$$\frac{C_0^2}{2g} (1 - \varphi^2) = \frac{C_0^2}{2g} \cdot \zeta$$

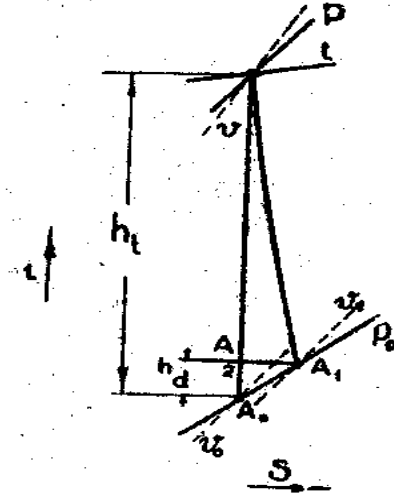
$\zeta = (1 - \varphi^2)$ dir. Bu meme ve hız katsayısı oldukça önemli bir yer tutar.

Memenin imalat tarzına göre $\varphi = 0,93 \div 0,97$ arasında değer alır.

Buradaki alt değer kötü işlenmiş ya da döküm meme katsayısını, üst değerler ise iyi işlenmiş frezeli memelerde geçerli olan φ katsayısına karşılık gelir.

Yukarıdaki φ değerine karşılık gelen ζ değeri ise $0,135 \div 0,059$ arasındadır.

Molier İ-S diyagramında A_1 noktasının (memeden çıkış noktasının) bulunmasında P_0 izobarı üzerinde A_0 noktasından yukarı doğru h_d kaybını taşımak suretiyle olur. A_2 noktasında $i = Sbt$ yatayını çizmek ve bu doğrunun P_0 izobarını kestiği noktayı bularak belirlenir.



Şekil 5.6: Memede ısı kayıpları (Eyice 1975)

5.5.1 Meme Boyutlarının Belirlenmesi

Memeden geçen buhar niceliği ve adyabatik ısı düşüşü belirli olduğuna göre gereken meme kesitinin hesabında genleşme sonucunda oluşan basıncın kritik basınca oranına bakılır. $P_k/P_0 < 1,2$ ise düz meme $P_k/P_0 > 1,2$ için ise difüzlü meme seçilir.

5.5.1.1 Difüzlü Memeler

Bu tür memelerde karşı basıncın kritik basınçtan daha düşük olmasına rağmen buharın iş yeteneğine karşılık gelen ve kritik hızdan daha yüksek hızlar elde

edilebilir. Bu özelliğin sağlanması için meme en dar kesite kadar daraldıktan sonra buharın genişmesini sağlayabilecek tarzda devamlı olarak kesiti artar. Bu şekilde en dar kesitin arkasına bir difüzör konulmuş olur. En dar kesit bundan önce ifade edilen en dar kesit. F_{\min}

$$F_{\min} = \frac{G_s}{\sqrt{2g \cdot \frac{x}{x+1} \cdot \frac{D}{v} \cdot \left(\frac{2}{x+1}\right)^{\frac{2}{x-1}}}} (m^2)$$

Ya da

C_k ile v_k değerleri bilinirse süreklilik denkleminde

$$F_{\min} = \frac{G_s \cdot v_k}{C_k} (m^2)$$

hesaplanır.

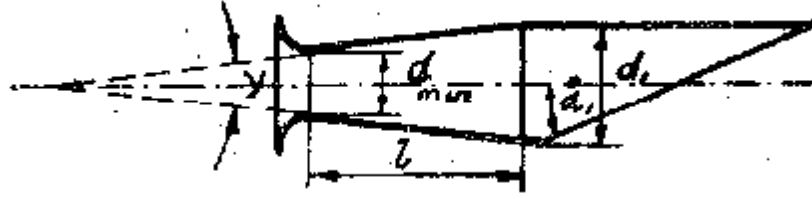
Memeden çıkış kesiti, buharın gerçek çıkış hızı C_1 ve genişleme sonundaki hacim v_1 olduğuna göre çıkış kesiti: F_1

$$F_1 = \frac{G_s \cdot v_1}{C_1} (m^2)$$

olarak hesaplanır.

F_{\min} ve F_1 arasında kalan ara kesitleri de süreklilik denklemini yardımıyla bulmak mümkündür. Gereken durum büyüklükleri P, v, t nin tespitinde İ-S molier diyagramında sabit basınç eğrilerinin hakiki genişleme eğrisini kestikleri noktalardan özgül hacim değerleri adyabati kestikleri noktalardan ise ısı düşüşleri bulunabilir. Bunlara karşılık gelen hızlar ise hesapla bulunabilir. Bundan sonra F_{\min} ve F_1 kesitleri belirlendikten sonra ara kesitlerinin de ayrıca hesaplanmasına genellikle gerek duyulmaz. Bu iki kesitin boyutları birbirine birer doğru ile birleştirilir.

Difüzörlü bir memenin kendinden beklenen işlevi yerine getirebilmesi için boylamasına kesitinin genişleyen buharın hacim artışına karşılayabilecek tarzda yapılması zorunluluğu ortaya çıkar. Başlangıçta hız sıfır olduğundan kesitin sonsuz büyüklükte olması gerekirse de uygulama da memenin giriş tarafından en dar kesit boyutuna kadar uygun bir şekilde yuvarlatmak yeterli olur.



Şekil 5.7: Difüzörlü meme eğik kesilmiş (Eyice 1975)

En dar kesitten sonra genişlik, meme kenarları genellikle birer doğru olacak şekilde çıkış kesiti boyutuna kadar büyür. Buharın geçerken meme civarlarına sürtünmesi nedeniyle ortaya çıkan kayıpları azaltmak için difüzör boyunun elden geldiğince kısa tutulması gerekir. Ancak buhar fakiesinin meme yanal yüzeylerinden ayrılması iç meme difüzör açısı yaklaşık $\gamma = 10^\circ$ olması ve hiçbir zaman 15° 'yi geçmemesi gerekir.

İlk olarak de Laval'ın yaptığı difüzörlü memelerde bütün kesitler yuvarlak difüzör kısmı da doğal olarak huni şeklinde idi. Genellikle tek basamaklı türbinlerde kullanılan bu memelere buluşunun adına yönelik DE LAVAL memeleri de denilir.

Daha büyük türbinlerde ise, memeler en dar kesiti yuvarlak olmasına karşın difüzör kısmı dörtgen şeklinde veya imalat kolaylığı nedeniyle en dar kesite de dahil olarak baştan sonra dörtgen kesitli olarak yapılırlar.

Dörtgen kesitli memelerde yükseklik a her kesitte sabit bırakılmakta, buna karşılık yalnızca genişlik b değişmektedir. Bu durumda dörtgen kesitli memelerde

$$F_{\min} = a.b_{\min} \text{ ve } F_1 = a.b_1 \text{ (mm}^2\text{)}$$

olarak yapılır. Yuvarlak kesitlerde ise

$$F_{\min} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{\min}^2 \quad \text{ve} \quad F_1 = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \quad (mm^2) \quad \text{olur.}$$

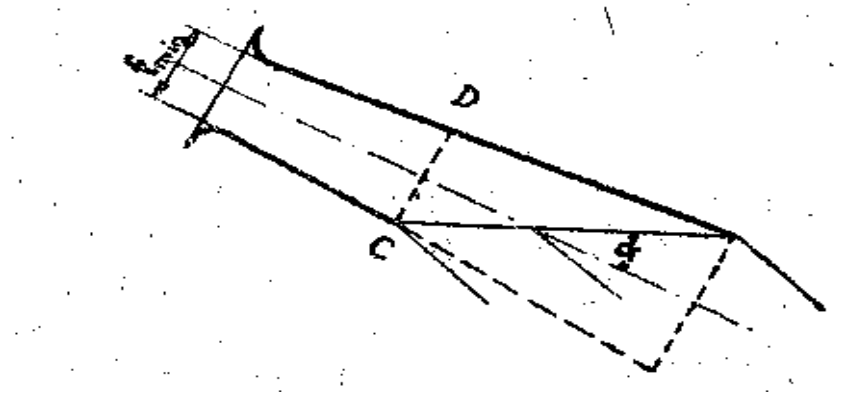
Difüzör boyutu 4 köşe kesitli memelerde

$$L = (b_1 - b_{\min}) / 2 \cdot \text{tg} \frac{\gamma}{2} \quad (mm) \quad \text{alınır.}$$

Yuvarlak kesitli memelerde ise: L

$$L = (d_1 - d_{\min}) \cdot 2 \cdot \text{tg} \frac{\gamma}{2} \quad (mm) \quad \text{olur.}$$

Difüzör sona erdikten sonra memeye genellikle sabit kesitli ve çıkış tarafı eğik olarak kesilmiş bir bölüm eklenir. Bu ek parçanın görevi memeden çıkan buhara bir süre daha yön vermeye devam etmektedir. De Laval memelerinde bu kısımdan çıkış kesiti bir elips, diğer memelerde ise yayvan bir dikdörtgendir.

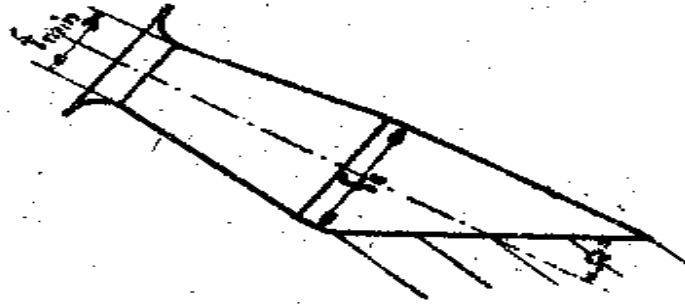


Şekil 5.8: Difüzör bitiminden kesilmiş meme (Eyice 1975)

De Laval memesinde F_1 kesiti karşı basınç P_0 'a karşılık geldiğinde buhar fiskiyenin eğik kısmın tesiri altında kalmaksızın devam eder. Aksi durumda fiskiyede, ilk olarak LEWICKI tarafından gözlenmiş olan bir sapma ortaya çıkar. Genişlemeli bir memenin difüzör kısmı eğik bir tarzda kesildiğinde çıkış kesiti f_1

memenin dışında bulunur. Yani buharın basınç düşümünün bir kısmı meme içinde, geri kalan kısmı ise meme dışında yapılmış olur. Bu durumda buhar fiskiyesi yön değiştirmiş olur. Bu tip memelerin kullanılması genişleme oranının küçük olduğu memelerde iyi bir sonuç verir.

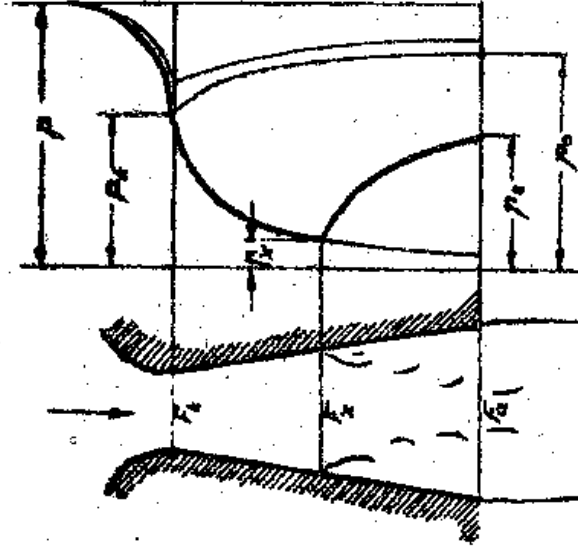
Basınç düşümünün tamamı meme içinde yapılacak olursa CD kesitinde karşı basınca erişilmiş olur. Halbuki eğik kısımda buhar genişlemeye devam edeceğinden burada gereğinden uzun yapılmış memelerin hataları ortaya çıkar.



Şekil 5.9: Difüzörden sonra eksene paralel çıkış ağzı (Eyice 1975)

$F_1 : f_{\min}$ oranına genişleme oranı denir. Doğal olarak bu oran memedeki basınç düşümüyle de bağıntılıdır. Ayrıca meme boyunun gereğinden fazla kısa ya da uzun yapılması da sakıncalıdır. Memenin fazla uzun olduğu durumlarda buhar çıkış kesitine varmadan karşı basınç P_0 'a vermiş olur. Bundan sonra difüzör etkisiyle genişlemeye devam eden buhar fiskiyesi cidarlardan da ayrılarak karşı basınçtan daha düşük bir basınçta memeyi terk etmeye çalışır. Ancak bu sırada daha yüksek olan karşı basıncın etkisiyle ani olarak sıkıştırılır. Bu suretle gerek meme içinde gerekse meme dışında girdaplar yani kayıplar ortaya çıkar. Buna karşılık memenin gereğinden daha kısa yapılması durumunda buhar fiskiyesi bir üst basınçla çıkış kesitinden ayrılır ve meme dışında karşı basınca kadar genişler. Bu üst basınç farkı az olduğunda bir miktar genişlemede eğik kısımda oluşur. Demek ki biraz küçük

yapılmış meme büyük bir sakınca ortaya çıkarmaz. Bu konuda Laval memeleri üzerinde yapılmış olan deney sonuçları şekil 5.12'deki diyagramda verilmiştir.



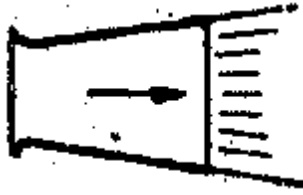
Şekil 5.10: Memede Girdap ve sapmalar (Eyice 1975)

Burada genişleme ve yüzey sürtünme kayıpları toplamının teorik uzunluktan daha kısa yapılmış olan memelerde pek az değişikliği hatta bir miktarda azaldığı, daha uzun memelerde ise çabucak arttığı gözlemlenmiştir. Örneğin meme boyu teorik boydan %20 kısa yapıldığında toplam kayıp en az değere iner. Genleşme sonucu basıncı P_0 dış basınçtan çok daha yüksek veya alçak olduğunda memeden ayrılan buhar fiskiyelerinde kesinlikle titreşimler oluşur.

5.5.1.2 Basit Memeler

Basit meme, sabit kanat veya Zoelly ağızlığı adlarını alan difüzörsüz memelerde çıkış kesiti daima süreklilik denklemine $F.C = G_s.v$ göre hesaplanır. Buradan $F_1 = (G_s.v_1) / C_1$ alır. Buhara bir memede kesit F_1 sabit kalacağından karşı

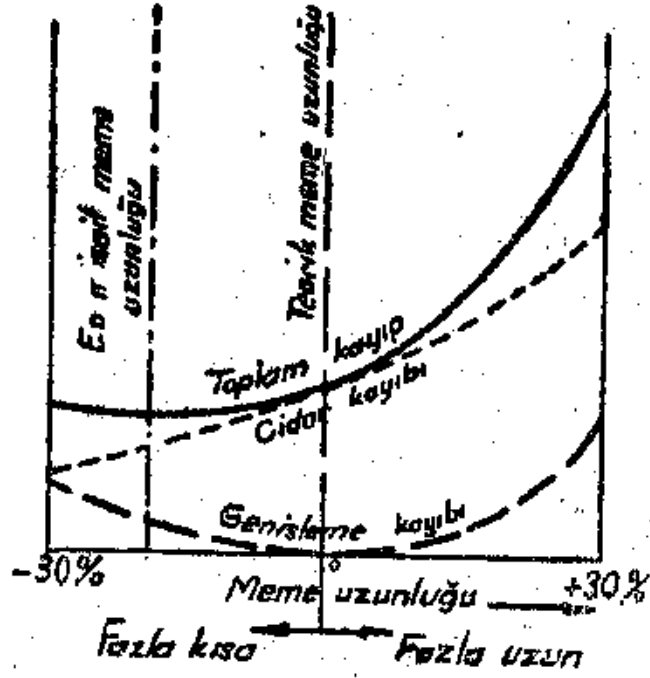
basınç P_0 'ın azalması veya artması durumunda buhar fişkırtma hızı C_1 ile özgül hacim v_1 bunlarla ilgili olduğundan buhar niceliği G_s değişir.



Şekil 5.11: Memenin boyutunun küçük yapılması

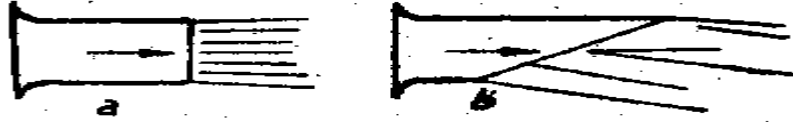
Bu tür memelerde kanallar ya döküm ya presle çıkarılmış ya da frezelenmiş parçaların birleştirilmesiyle oluşturulduğundan kesitler daima dörtgen şeklindedir. Christlein'in denemeleri cidarlara karşılıklı birbirine paralel olan memelerde kritik hızlardan daha yüksek hızlarında elde edilebileceği gösterilmiştir.

Bunun nedeni buhar fiskiyesinde bir yön değiştirmenin ortaya çıkması ve bu suretle de φ katsayısı değerinin yükselmesidir. Genel olarak sabit kanat çıkış kesiti AC 'deki basıncın karşı basınçtan daha büyük olduğu bütün hallerde buhar fiskiyelerinde bir sapma ortaya çıkar.



Şekil 5.12: Memede kayıplar (Eyice, 1975)

Baer tecrübelerinin açıkladığına göre eğik kesilmiş memelerde buhar basıncın bir taraftan diğer tarafa daha kısa mesafe boyunca düşmesi fiskiyenin yön değiştirmesine neden olur.



Şekil 5.13: Basit meme (Eyice 1975)

Çünkü bu durumda fiskiye içinde genellikle eğik basınç farklarının sonucu olarak ta fiskiyeyi kısa mesafe yönüne doğru çekecek hız bileşenleri ortaya çıkar (Şekil 5.14).

Yön değiştirmeden sonra buhar fiskiyesinin kapladığı için: f_1 , hız C_1 ve özgül hacimde v_1 olsun. Kanal yüksekliği u olarak sabit kaldığına göre;

$$f_{\min} = a.b_{\min} (mm^2) f_1 = a.b_1 (mm^2)$$

olacaktır. Süreklilik denkleminde

$$G_s = \frac{f_{\min} C_k}{v_k} = \frac{F_1 \cdot C_1}{v_1} (kg / s) \text{ yada}$$

$$G_s = \frac{a.b_{\min} \cdot C_k}{v_k} = \frac{a.b_1 \cdot c_1}{v_1} (kg / s) \text{ dır.}$$

$$\text{Buradan } (b_{\min} \cdot C_k) / v_k = (b_1 \cdot C_1) / v_1 (\%)$$

$$\text{veya } \frac{b_1}{b_{\min}} = \frac{C_k}{C_1} \cdot \frac{v_1}{v_k} (\%) \text{ bulunur.}$$

$$\text{Ancak } AB = \frac{b_1}{\sin \alpha_1} = \frac{b_{\min}}{\sin \alpha_0} \text{ olduğundan } \frac{b_1}{b_{\min}} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_0} \text{ veya}$$

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_0} = \frac{C_k}{C_1} \cdot \frac{v_1}{v_k} \text{ sonunda } \sin \alpha_1 = \sin \alpha_0 \cdot \frac{C_k}{C_1} \cdot \frac{v_1}{v_k} \text{ olur.}$$

Bu şekilde buharın yön değiştirmesi

$$\omega = \alpha_1 - \alpha_0 [^\circ] \text{ dır.}$$

Memeden çıkış kesidin de kritik durum oluşmadığında yukarıda ulaşmış olan sonuçlarda C_k ve v_k yerine gereken değerlerin konması gerekir. Buhar fiskiyesinin yön değiştirmesi sayesinde adeta bir kesit artışı kendiliğinden ortaya çıktığından

$\frac{P_k}{P_0} > 1.2$ oranına kadar basit meme yapılır. Ancak bundan daha yüksek değerlerde difüzör kullanılır.

6. TÜRİN SEÇİMİ

6.1 Türin Seçimi ve Türin Hesapları

Bir tekstil boya apre tesisinin kurulu elektrik gücü 600 KWe efektif ve üst üste kullanım katsayısı %65 olup boyahanenin buhar gereksinimi ise $T = 130^{\circ}\text{C}$ doymuş buhar konumunda $5.8 : 6 (\text{ton} / \text{h})$ tır. Türin karşı basıncı 2.8. ata seçilerek türin tipi ve dizaynı oluşturulacaktır. Türin devri 6000 (1/ min) seçilmiş ve $i = \frac{1}{2}$ oranında bir dişli sistemi ile alternatör devri 3000(1/ min) e düşürülecektir.

6.2 Gerekl Türin Gücü

$$N_e = 600 \times 0,65 = 396 \text{KWe} ; 400 \text{KWe}$$

$$N_e = 400 (\text{KWe}) \text{ seçildi.}$$

Buharın türbine giriş konumu Anavalf önünde

$$P = 13 (\text{ata})$$

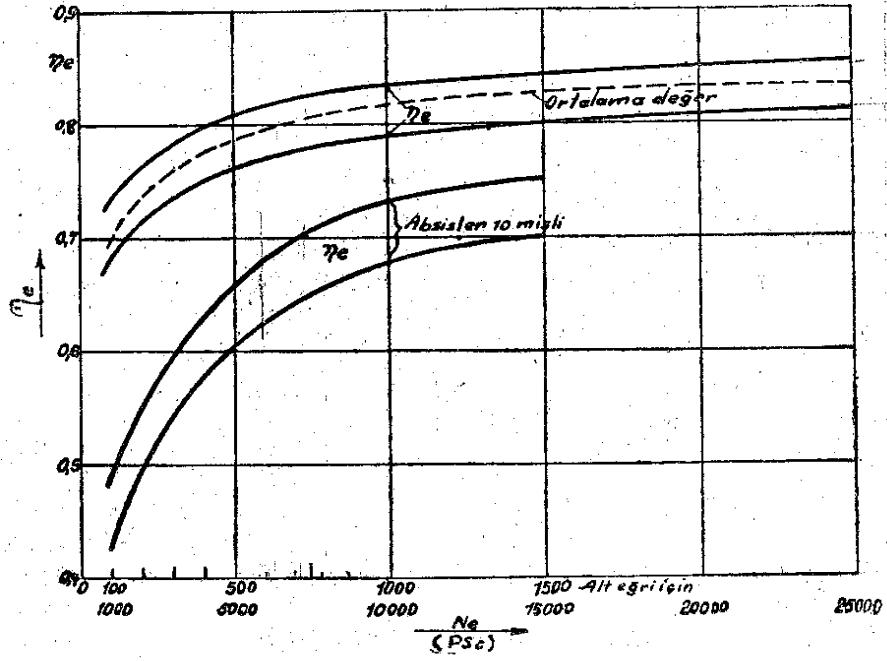
$$T_1 = 350 (^{\circ}\text{C})$$

$$i_1 = i_A = 751,13 (\text{kcal} / \text{kg})$$

$$S_1 = S_2 = 1,704 (\text{Kcal} / \text{kg} ^{\circ}\text{C})$$

$$v_1 = 0,195 (\text{m}^3 / \text{kg})$$

Türbinin çıkış koşullarının belirlenmesi



Şekil 6.1: Güç ve efektif verim eğrisi (Eyice 1975)

$N_e = 400$ (KWe) için şekil 6.1'den

$\eta_e = 0,65$ olup, özgül buhar sarfiyatı

Buharın türbinden çıkıp konumu:

$$P_2 = 2,8 \text{ (ata)} \quad S_2 = S_1 = 1,679 \text{ (Kcal / kg}^\circ\text{C)}$$

$$v_2 = 0,685 \text{ (m}^3 \text{ / kg)}$$

Adyabatik genişleme sonunda buharın ısı tutumu

$$i_a = 660,41 \text{ (kcal / kg)}$$

$$H_t = i_A - i_a - 751,13 - 660,4$$

$$H_t = 90,7 \text{ (kcal / kg)}$$

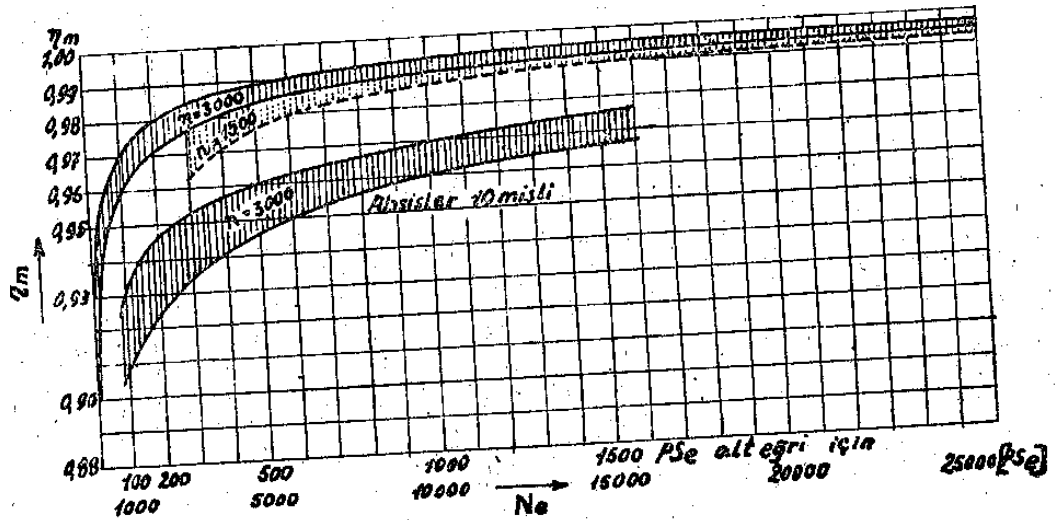
$$D_e = \frac{860}{H_t \cdot \eta_e} = \frac{860}{90,7 \cdot 0,650}$$

$$D_e = 14,6 \text{ (kg / KWeh)}$$

Saniyede geçen buhar niceliği

$$G_s = \frac{D_e \cdot N_e}{3600} = \frac{14,6 \cdot 400}{3600}$$

$$G_s = 1,622 \text{ (kg / s)}$$



Şekil 6.2: Mekanik verim seçim eğrisi (Eyice 1975)

$$\eta_m = 0,95 \text{ alınarak}$$

$$\eta_i = \frac{\eta_e}{\eta_m} = \frac{0,65}{0,95}$$

$$\eta_i = 0,684, \quad h_i = h_t \cdot \eta_i \text{ den}$$

$$h_i = 62,05 \text{ (kcal / kg) ön görülür.}$$

Türbinden çıkışta buharın ısı tutumu

$$i_2 = 751,13 - 60,31$$

$$i_2 = 690,82$$

$T_2 = 213^\circ\text{C}$ Molier diagramından belirlenir.

7. CURTİS TÜRİNİ HESAPLARI

$n = 6000$ (1/ min) türbin devri

$P = 13$ (ata)

$i = 751,13$ (kcal / kg)

Curtis tekerleği arkasında

$P = 2,8$ ata

$i_0 = 660,4$ (kcal / kg) (Adyabatik genişleme sonunda)

$H_t = i - i_0 = 751,13 - 660,4$

$H_t = 90,73$ (kcal / kg)

Memeden buhar çıkışı

$C_1 = \varphi \cdot 91,5 \sqrt{H_t}$ φ = Meme katsayısı

$\varphi = 0,95$ frezeli meme

$C_1 = 828$ (m / s)

Meme giriş açısı $\alpha_1 = 18^\circ$ alınarak ve

Seçilen türbinin efektif, mekanik ve iç verimleri aşağıdaki tablodan seçilerek

| | | | | | | | |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| $N_e [PS_e]$ | 20 | 50 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 |
| $\eta_e [\%]$ | 20 ÷ 25 | 28 ÷ 38 | 42 ÷ 48 | 50 ÷ 54 | 54 ÷ 59 | 58 ÷ 63 | 61 ÷ 65,5 |

| | | | | | | | |
|---------------|-------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $N_e [PS_e]$ | 600 | 800 | 1000 | 1250 | 1500 | 2000 | 2500 |
| $\eta_e [\%]$ | 62,5 ÷ 67,5 | 66 ÷ 71,5 | 68 ÷ 73 | 69 ÷ 74 | 70 ÷ 75 | 72 ÷ 77 | 73 ÷ 78 |

$$\eta_e = 0,632$$

$$\eta_m = 0,95$$

$$x = \frac{u}{C_1} \text{ tekerlek çevre hızının meme hızına oranı}$$

$x = 0,22; 0,23; 0,24; 0,25$ alınarak iç verim araştırması yapılacaktır.

Burada $x = 0,22$ için hesap yapılacak diğerleri haricen yapıp tabloya aktarılacaktır.

$$\frac{u}{c_1} = 0,22 \text{ için, } u = 0,22 \cdot c_1, \quad c_1 = 828 \text{ (m/s) olup}$$

$$u = 182,16 \text{ (m/s) bulunur.}$$

$$D = \text{tekerlek çapı (m)}$$

$$n = \text{türbin devri (1/min)}$$

$$D = \frac{60 \cdot u}{\eta \cdot n}$$

$$D = 0,58(m) = 580(mm)$$

$$\alpha_1 = 18^\circ, \psi_1 = 0,86 \text{ (Şekil 7.1'den)}$$

$$C_u = C_1 \cdot \cos \alpha_1 = 828 \cdot \cos 18$$

$$C_{1u} = 787,5 (m/s)$$

$$w_{1u} = C_{1u} - u = 787,5 - 182,16$$

$$w_{1u} = 605,3 (m/s)$$

$$w_{1m} = C_{1m} = C_1 \sin \alpha_1 \text{ 'den}$$

$$C_{1m} = 255,9 (m/s)$$

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{w_{1m}}{w_{1u}} = \frac{255,9}{605,3} = 0,422 \quad \beta_1 = \operatorname{arctg} \beta_1 \text{ den}$$

$$\beta_1 = 22,88$$

$$\alpha_1 < \beta_2 < \beta_1 \text{ olup}$$

$$\beta_2 = 20^\circ \text{ seçildi}$$

$$w_1 = \frac{w_{1m}}{\sin \beta_1} = \frac{255,9}{\sin 22,88}$$

$$w_1 = 658,2 (m/s) \text{ hesaplanır. } \psi_1 = 0,86 \text{ alınarak } w_2 = 566 (m/s)$$

$$w_{2u} = w_2 \cdot \cos \beta_2 = 566 \cdot \cos 20^\circ$$

$$w_{2u} = 531 (m/s), \quad w_{2m} = C_{2m} = w_2 \cdot \sin \beta_2$$

$$w_{2m} = 193,5 (m/s)$$

$$C_{2u} = w_{2u} - u = 531 - 182,16$$

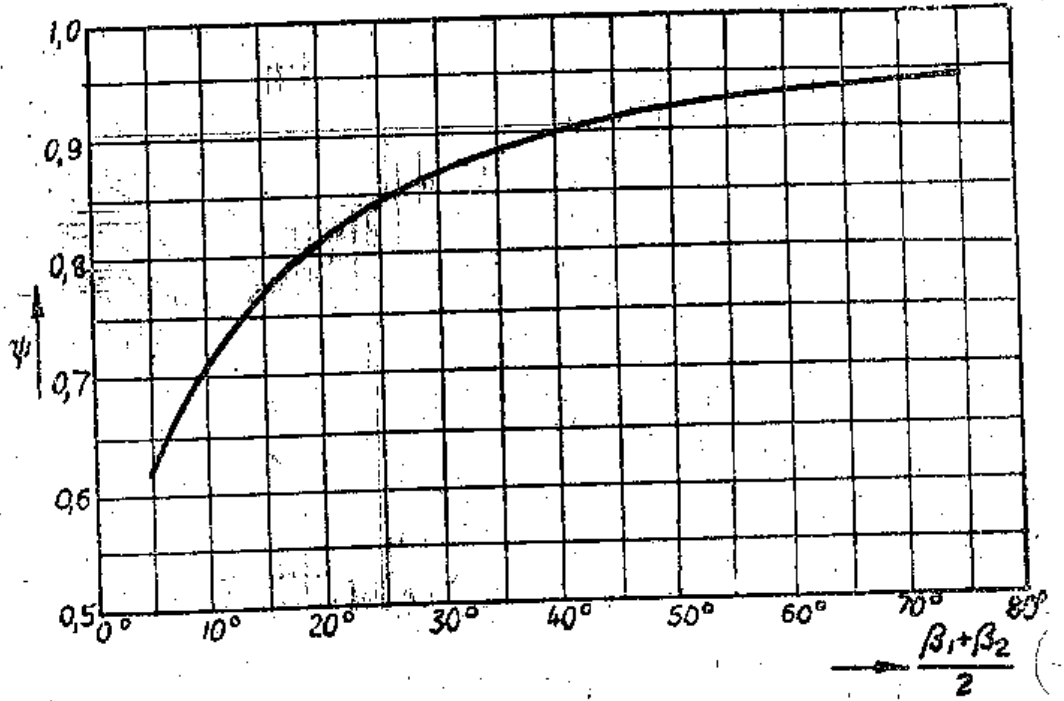
$$C_{2u} = 348,9 (m/s)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{C_{2m}}{C_{2u}} = \frac{193,16}{348,9} = 0,553$$

$\alpha_2 = 29^\circ$ hesaplanır.

$$C_2 = \frac{C_{2u}}{\operatorname{Cos} \alpha_2} = \frac{348,9}{\operatorname{Cos} 29}$$

$C_2 = 398,9 (m/s)$ Şekil 7.1'den $\psi_2 = 0,9$ seçilerek



Şekil 7.1: Kanat açılırlarına göre kanat katsayısı (Eyice 1975)

$$C'_1 = C_2 \cdot \psi_2$$

$$C'_1 = 359 (m/s) \quad \alpha'_1 < \alpha_2$$

$$\alpha'_1 = 24^\circ \text{ olarak}$$

$$C'_{1u} = 325(m/s), w'_{1u} = C'_{1u} - u$$

$$w'_{1u} = 145,8$$

$$w'_{1m} = C'_{1m} = 146$$

$$\operatorname{tg} \beta'_1 = \frac{C'_{1m}}{w'_{1u}} = \frac{146}{145,8} = 1,00$$

$$\beta'_1 = 45$$

$$w'_1 = \frac{w'_{1m}}{\cos \alpha'_1} \cdot 1, \rightarrow w'_1 = 206,5(m/s)$$

$$\beta'_2 < \beta'_1 \quad \beta'_2 = 38^\circ \text{ seçildi } \psi_3 = 0,96 \text{ (Tablo 7.1'den)}$$

$$w'_2 = w'_1 \cdot \psi_3 = 206,5 \cdot 0,96$$

$$w'_2 = 198,2(n/s) \quad w'^2_u = w'_2 \cdot \cos \beta'_2$$

$$w'^1_{2u} = 156,2(m/s)$$

$$C'_{2m} = w'^1_{2m} = w'^1_{2u} \cdot \sin \beta'_2$$

$$C'_{2m} = 122,02(m/s)$$

$$C'_{2u} = w'^1_{2u} - u = 122 - 182,16 \quad (m/s)$$

$$C'_{2u} = -60,16 \quad (m/s)$$

$$\alpha'_2 = 90 + \operatorname{arctg} \frac{60,16}{122,02} = 90 + 27,3$$

$$\alpha'_2 = 117,3^\circ \text{ hesaplanır.}$$

$$h = \frac{Au}{g} [(w_{1u} + w_{2u}) + (w'_{1u} + w'_{2u})]$$

$$w_{1u} = 605,3 (m/s) \quad w_{2u} = 531 (m/s)$$

$$w'_{1u} = 145,8 (m/s) \quad w'_{2u} = 156,2 (m/s)$$

$$H_u = \frac{182,16}{427.g} [(605,3 + 531) + (145,8 + 156,2)]$$

$$H_u = 62,54 \text{ kcal / kg}$$

$$\eta_u = \frac{H_u}{H_t} = 0,689 = \%68,9$$

Tekerlek sürtme ve rüzgarlama kaybı şodolaya göre

$$N_{rv} = \lambda [1,46D^2 + 0,83(1-\varepsilon)l^{1,5}] \frac{u^3}{10^6} \cdot \gamma$$

$$\varepsilon = 0,25 \text{ tahmin}$$

$$x = 1 \text{ kızgın buhar için}$$

$$D = 0,58 m, \quad u = 182,16 (m/s) \quad v = 0,68 m^3 / kg$$

$$L = 1,5 \text{ cm kanat boyu} \quad \gamma = 1,45 kg / m^3$$

$$N_{rv} = 1 \cdot [1,46 - 0,58^2 + 0,83(1 - 0,25) \cdot 1,5] \frac{182,16^3}{10^6} \cdot \gamma$$

$$= [0,49 + 1,14] \cdot 6,04 \cdot 1,47$$

$$N_{rv} = 14,53 P.S \rightarrow h_{rv} = \frac{N_{rv} v}{5,7 G_s} = \frac{1}{5,7 - 1,60} = 1,60 \text{ (kcal / kg}^2\text{)}$$

$$h_i = h_u - h_{rv} = 62,54 - 1,6$$

$$h_i = 60,95 \text{ (kcal / kg)} \quad \eta_i = h_i / h_i$$

$$\eta_i = \frac{60,95}{90,7} = 0,672 = 67,2\%$$

$n_i = \%67$ bulunur.

Hesaplar farklı $x = \frac{u}{C_1}$ oranları için tekrarlanmış ve sonuçlar grafikte işlenmiştir.

Grafikte görüldüğü gibi maximum iç verim $x = \frac{u}{c_1} = 0,25$ te elde edilmekte, ama sağa doğru gittikçe verim hızla düşmektedir.

Bu durumda daha küçük bir hız oranında türbini hesaplamak hem türbin tekerleğini küçültür hem de türbin aşırı yüklendiğinde verim kaybı olmaksızın işletmenin pik yükte enerji gereksinimi fazla bir kayıp olmaksızın karşılanmaktadır. Bu grafik sonucunda hesapları $x = 0,235$ hız oranına göre yapılmıştır.

$$x = 0,235 \quad 0,235 = \frac{u}{828} \quad u = 828 \text{ (m / s)}$$

$$u = 194,58 \quad D = \frac{604}{\eta_n}$$

$$D = 0,6197 \quad m = 619,7 \text{ mm}$$

$$D = 620 \text{ mm}$$

$$\alpha_1 = 18^\circ \quad \psi = 0,86 \text{ Şekil 7.1'den}$$

$$C_{iu} = C_1 \cdot \cos \alpha = 828 \cdot \cos 18$$

$$C_{1u} = 787,47 \text{ m / s}$$

$$w_{1u} = C_{1u} - u$$

$$w_{1u} = 592,9 \text{ m / s}$$

$$C_{1m} = w_{1m} = C_1 \cdot \sin \alpha$$

$$C_{1m} w_{1m} = 255,86 \text{ m / s}$$

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{w_{1m}}{w_{1u}} = 0,4315 \quad \beta_1 = \operatorname{arctg} \beta_1$$

$$\beta_1 = 23,34^\circ$$

$$w_1 = \frac{w_{1u}}{\cos \beta_1} = \frac{592,9}{\cos 23,34}$$

$$w_1 = 645,74 \text{ (m / s)} \text{ (Tablo 7.1'den } \psi_1 = 0,86 \text{ bulunarak)}$$

$$w_2 = w_1 \cdot \psi_1 = 645,74 \cdot 0,86$$

$$w_2 = 555,3 \text{ (m / s)}$$

$$\beta_2 < \beta_1 \rightarrow \beta_2 = 20^\circ$$

$$w_{2u} = w_2 \cdot \cos 20$$

$$w_{2u} = 521,8 \text{ (m / s)}$$

$$C_{2u} = w_{2u} - u = 521,8 - 194,58$$

$$C_{2u} = 327,2 \text{ (m / s)}$$

$$C_{2m} = w_{2m} = 555,3 \cdot \sin 20$$

$$C_{2m} = 189,8 (m / s)$$

$$tg \alpha_2 = \frac{C_{2m}}{C_{2u}} = 0,58 \quad \alpha_2 = arctg \alpha_2$$

$$\alpha_2 = 30,11^\circ \quad \alpha'_1 < \alpha_2 \quad \psi_2 = 0,90 \text{ (Şekil 7.1'den)}$$

$$\alpha'_1 = 24^\circ$$

$$C_2 = \frac{C_{2u}}{\cos \alpha_2} = \frac{327,2}{\cos 30,11}$$

$$C_2 = 378,2 (m / s),$$

$$C'_1 = C_2 \cdot \psi_2 \Rightarrow C'_1 = 378,2 \cdot 0,9$$

$$C'_1 = 340,4 (m / s)$$

$$C'_{1u} = C'_1 \cdot \cos \alpha'_1$$

$$C'_{1u} = 311 (m / s)$$

$$w'_{1u} = C'_{1u} - u$$

$$w'_{1u} = 116,4 (m / s)$$

$$w'_{1m} = C'_{1m} = C'_1 \cdot \sin \alpha'_1$$

$$w'_{1m} = 138,5 (m / s)$$

$$tg \beta'_1 = \frac{w'_{1u}}{w'_{1m}} = \frac{116,4}{138,5} = 0,84$$

$$\beta'_1 = 40^\circ \quad \beta'_1 < \beta_1 \quad \psi_3 = 0,96 \text{ (Şekil 7.1'den)}$$

$$w'_1 = \frac{w'_{1u}}{\cos \beta'_1} = \frac{116,4}{\cos 40}$$

$$w'_1 = 152 \text{ (m/s)}, \quad w'_2 = w'_1 \cdot \psi_3$$

$$w'_2 = 146 \text{ (m/s)}$$

$$\beta'_2 < \beta'_1 \quad \beta'_2 = 32^\circ$$

$$w'_{2u} = w'_2 \cdot \cos \beta_2 = 146 \cdot \cos \beta_2$$

$$w'_{2u} = 124 \text{ (m/s)}$$

$$C'_{2u} = w'_{1u} - u = 119,6 - 194,58$$

$$C'_{2u} = 75,8 \text{ (m/s)}$$

$$C'_{2m} = w'_{2m} = w_2 \cdot \sin \beta_2$$

$$C'_{2m} = 77,4 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha'_2 = 90 + \arctg \frac{C'_{2u}}{C'_{2m}}$$

$$\alpha'_2 = 134^\circ, \quad C'_2 = 107,6 \text{ (m/s)}$$

$$h_u = \frac{A_u}{g} \left[(w_{1u} + w_{2u}) + (w'_{1u} + w'_{2u}) \right]$$

$$h_u = \frac{194,58}{427,9,81} [592,9 + 521,8 + 116,4 + 124]$$

$$h_u = 62,95 \text{ (kcal / kg)}$$

$$\eta_u = \frac{h_u}{h_t} = \frac{62,99}{90,73} = 0,691 = 69,4\%$$

$$N_{rv} = \lambda \left[1,46D^2 + 0,83(1-\varepsilon)D \cdot l^{1,5} \right] u^3 \cdot \gamma \cdot 10^{-6} \quad (ps)$$

$$\lambda = 1 \text{ (Kızgın buhar, } D = 0,62m, \varepsilon = 0,65, l = 2,2cm, u = 194,58\gamma)$$

$$N_{rv} = 1 \left[1,46 \cdot 0,62^2 + 0,83(1-0,25)1,5^{1,5} \right] 194,6^3 \cdot 1,47 \cdot 10^{-6}$$

$$= [0,561 + 0,948] 10,83 = 18,45 \quad (ps)$$

$$h_{rv} = \frac{N_{rv}}{5,7G_s} = \frac{18,45}{5,7 \cdot 1,55} = 2,01 \quad kcal / kg$$

$$h_i = h_u - h_{ru} = 61$$

$$\eta_i = \frac{h_i}{h_t} = \frac{61,00}{90,70} = 0,675 = \%67,5$$

Karar verilen türbinin temel verileri

$$P_1 = 13 \text{ (ata)} \quad T_1 = 350 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$P_0 = 2,8 \text{ Ata} \quad H_t = 90,7 \text{ (kcal / kg)}$$

$$I_1 = 751,13 \text{ (kcal / kg)}$$

$$S_1 = 1,704 \text{ (kcal / kg}^\circ\text{K)}$$

$$v_1 = 0,195 \text{ (m}^3 \text{ / kg)}$$

Adyabatik genişleme sonunda ısı tutumu

$$I_0 = 660,4 \text{ (kcal / kg)}$$

$$H_t = 751,13 - 660,4$$

$$H_t = 90,73 \text{ (kcal / kg)}$$

Memeden buharın çıkış hızı

$$C_1 = 828(m/s) \quad C'_2 = 107,6(m/s)$$

$$\alpha_1 = 18^\circ, \quad \beta_1 = 23,34^\circ \quad \beta_2 = 20^\circ$$

$$\alpha_2 = 30,11^\circ, \quad \alpha'_1 = 24^\circ, \quad \beta'_1 = 40^\circ$$

$$\beta'_2 = 32^\circ \quad \alpha'_2 = 132^\circ$$

İş Güç Kayıplar

1. Meme kaybı $h_d = h_t(1 - \varphi^2)$ $\varphi = 0,95$

$$h_d = 8,84(kcal/kg)$$

2. Kanat kaybı $h_s = \frac{A}{2g}(w_1^2 - w_2^2)$

$$h_s = \frac{A}{g}(645,74^2 - 555,3^2)$$

$$h_s = 13(kcal/kg)$$

3. Doğrultma kaybı $h = \frac{A}{2g}(C_2'^2 - C_1'^2)$

$$h = \frac{1}{427,29,81}(378,2^2 - 340,4^2)$$

$$h = 3,42 kcal/kg$$

4. Çıkış kaybı $h_a = \frac{A}{2g}.C_2'^2$

$$h_a = 1,38(kcal/kg)$$

5. Tekerlek sürtme ve rüzgarlama kaybı önceden hesaplandı.

$$h_{rv} = 2,01 \text{ (kcal / kg)}$$

$$\text{Toplam kayıplar } h_k = \sum_{i=1}^5 \zeta$$

$$\zeta h_k = 28,65$$

$$h_{ii} = h - \zeta h = 62,05 \text{ (kcal / kg)}$$

$$\eta_i = \frac{h_{ii}}{h_i} = \frac{62,05}{90,70}$$

$$\eta_i = 0,684 \quad \eta_i = 68,4\%$$

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = 0,687 \cdot 0,95$$

$$\eta_e = 65,00\%$$

Sonuçlar başlangıçta öngörülen değerlere yakındır.

ISI BİLANÇOSU

$$\text{Meme kaybı} \quad h_d = 8,84 \text{ (kcal / kg)}$$

$$\text{Kanat kaybı} \quad h_s = 13,00 \text{ (kcal / kg)}$$

$$\text{Doğrultma kaybı} \quad h = 3,42 \text{ (kcal / kg)}$$

$$\text{Egzost kaybı} \quad \underline{h_a = 1,38 \text{ (kcal / kg)}}$$

$$\text{Toplam kanat kayıpları} \quad 26,64$$

$$\text{Tekerlek sürtme rüzgarlamak} \quad \underline{2,01}$$

$$28,65 \text{ kcal/kg}$$

İç iş

$$h_i = 62,08$$

$$90,73 \text{ (kcal/kg)}$$

Buharın Curtis'ten çıkışta ısı tutumu

$$\lambda = 751,13 - h_i = 751,13 - 62,37$$

$$\lambda = 688,76 \text{ (kcal / kg)}$$

MEME VE KANAT HESAPLARI

$$P = P_1 = 13 \text{ (ata)}$$

$$v = v_1 = 0,192 \text{ (m}^3 \text{ / kg)}$$

$$P_0 = 2,8 \text{ ata}$$

$$G_s = 1,622 \text{ kg / s}$$

$$P_k = 0,546 \cdot P = 7,1 \text{ ata}$$

$$P_k / P_s = 1,83 > 1,2 \text{ genişlemeli meme yapılacak}$$

Memeden çıkışta ısı tutumu

$$i_d = i_0 + h_d = 660,4 + 8,84$$

$$i_d = 669,25 \text{ (kcal / kg)}$$

$$v_d = 0,705 \text{ (m}^3 \text{ / kg)}$$

$$F_{\min} = \frac{G_s \cdot 10^6}{209 \sqrt{\frac{13}{0,192}}}$$

$$F_{\min} = 945 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$F_1 = \frac{G_s \cdot v_1}{C_1} = \frac{1,622 \cdot 0,68}{828} = .10^6$$

$$F_1 = 1332 \text{ (mm}^2\text{)} \Rightarrow F_1 = 1300 \text{ (mm}^2\text{)}$$

alınır. Meme yüksekliği a_1 , genişliği b

$$a = 10 \text{ mm} \quad b_1 = 13 \text{ mm}$$

$$f_1 = a \cdot b_1 = 130 \text{ (mm}^2\text{)}, \text{ meme sayısı } z$$

$$z = \frac{F}{f_1} = \frac{1300}{130} = 10 \text{ adet meme hesaplanır.}$$

$$f_{\min} = \frac{f_{\min}}{z_d} = \frac{945}{10} = 94,5 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$b_{\min} = 9,45 \text{ (mm)}$$

$$\text{Difüzör boyu } L = \frac{b - b_{\min}}{2 \text{tg} 5}, \text{ meme konik açısı } 12^\circ$$

$$l = \frac{13 - 9,45}{2 \text{tg} 5} = 20,3 : 20 \text{ (mm)}$$

$$\text{taksimat hatvesi } t_d \cdot \frac{b_1 + 2}{\text{Sin } \alpha_1}$$

$$t_d = \frac{13 + 2}{\text{Sin } 18}, \quad s_d = 2 \text{ mm} \text{ meme cidar kalınlığı}$$

$$t_d = 48,54 \text{ (mm)}$$

$$l_{\text{genel}} = \varepsilon \cdot \pi \cdot D = t_d \cdot z_d$$

$$l_g = 0,62 \cdot \pi \cdot 620 = 485 \text{ (mm)}$$

$$\varepsilon = \frac{l_g}{u} = \frac{485}{\pi \cdot 620} = 0,249 \text{ öngördüğümüz } 0,25 \text{ 'i karşılar.}$$

$$\text{Serbest kesit oranı } \tau_d = \frac{t_d - \frac{S_d}{\sin \alpha_1}}{t_d}$$

$$\tau_d = 48,54 - \frac{2}{48,54} \sin 17$$

$$\tau_d = 0,866$$

KANAT HESAPLARI

Devingen ve doğrultucu kanatlar genişliği 20 mm ve kanat uç kalınlığı 0,6 mm olan profilli kanatlar yapılacaktır.

1. Sıra Devingen Kanatlar

Hız üçgenlerinden

$$\beta_1 = 23^\circ \quad \beta_2 = 20^\circ$$

$$r = \frac{0,9B}{\cos \beta_1 + \cos \beta_2} = \frac{0,9 \cdot 20}{1,88} = 9,67$$

$$r = 10(\text{mm})$$

$$t_s = \frac{r}{2 \sin \beta_2} = 14,14(\text{mm}); 14,2(\text{mm}) \text{ kanat adımı}$$

$$Z_s = \frac{\pi \cdot D}{t_s} = 137 \text{ (kanat)}$$

$$\tau_{s1} = \frac{t_s - \frac{S_s}{\sin \beta_2}}{t_s}$$

Kanat giriş boyu: l_{e1}

$$l_{e1} = a + 1 \div 2 \quad (mm)$$

$$l_{e1} = 10 + 1 = 11 \quad (mm)$$

Kanat çıkış boyu: l_{a1}

$$l_{a1} = a \cdot \frac{\tau_d}{\tau_s} \cdot \frac{w_{1m}}{w_{2m}} \cdot \frac{v_2}{v_1}$$

$v_2 = l_0 + h_d + h_{s1}$ 'e karşılık gelen özgül hacim

$$i_2 = 660,4 + 8,84 + 13 = 682,24 \quad kcal / kg$$

$$v_2 = 0,765 \quad m^3 / kg$$

$$\left. \begin{array}{l} w_{1m} = 255,86 \\ w_{2m} = 189,8 \end{array} \right\} \text{değerler yerine konularak}$$

$$l_{a1} = a \cdot \frac{\tau_d}{\tau_s} \cdot \frac{w_{1m}}{w_{2m}} \cdot \frac{v_2}{v_1}$$

$$l_{a1} = 10 \cdot \frac{0,866}{0,876} \cdot \frac{255,86}{189,8} \cdot \frac{0,765}{0,7}$$

$$l_{a1} = 12,85 := 13 \quad mm$$

Doğrultucu Kanatlar

Hız üçgenlerinden

$$\alpha_2 = 30,11 \quad \alpha'_1 = 24^\circ$$

$$w_{2m} = 189,8 (m / s)$$

$$w'_{1m} = 138,5 (m / s)$$

$$B = 20 (mm)$$

$$r = \frac{0,9B}{\cos \alpha_2 + \cos \alpha_1} = \frac{0,9 \cdot 20}{0,865 + 0,9135}$$

$$r = 10,12 (mm) \quad r = 10 (mm) \text{ alındı}$$

$$t_s = \frac{r}{2 \sin \alpha'_1} = \frac{10,11}{2 \sin 24}$$

$$t_s = 12,43 (mm)$$

$$\tau_s = \frac{12,43 - \frac{0,6}{2 \sin 24}}{12,43}$$

$$\tau_s = 0,94$$

v_3 ; v_2 , z_d = Doğrultucu kanat sayısı

$$z_d = \frac{\pi \cdot D}{t_s}$$

$$z_d = \frac{\pi \cdot 620}{12,43} = 156,62$$

$$z_d = 156 \text{ (kanat)}$$

Kanat giriş boyu: $l_e = l_{a1} + 1 \div 2 (mm)$

$$l_e = 13 + 1 = 14 (mm)$$

Çıkış boyu l_a

$$l_a = l_{a1} \frac{\tau_{s1}}{\tau_s} \cdot \frac{w_{2m}}{w'_{1m}} \cdot \frac{v_2}{v_1}$$

$$l_a = 13 \cdot \frac{0,876}{0,94} \cdot \frac{189,8}{138,5} \cdot 1$$

$$l_a = 16 \text{ (mm)}$$

2. Sıra devingen kanatlar

$$\beta'_1 = 40^\circ$$

$$\beta'_2 = 32^\circ$$

$$B = 20 \text{ (mm)}$$

$$r = 0,9B / (\cos \beta_1 + \cos \beta_2)$$

$$r = 11,15 \text{ (mm)}$$

$$t'_{s_1} = \frac{r}{2 \sin \beta'_2}$$

$$t'_{s_1} = 10,52 \text{ (mm)}$$

$$z_s = \frac{\pi \cdot D}{t'_{s_1}}$$

$$z_s = 185 \text{ (kanat)}$$

Kanat taksimat hatvesi

$$t'_s = \frac{\pi \cdot D}{z_s} = \frac{\pi \cdot 620}{185} = 10,52 \text{ (mm)}$$

Serbest kesit oranı

$$\tau_s = \frac{t'_s - \frac{S_s}{\sin \beta'_2}}{t_s} = \frac{10,52 - \frac{0,6}{\sin 32}}{10,52}$$

$$\tau_s = 0,892$$

Kanat giriş boyu: $l_1 = l_a + 1,5$

$$l_1 = 16 + 1,5 = 17,5 \text{ mm}, \quad v_4 ; v_3$$

$$l'_2 = l_a \cdot \frac{T_{s1}}{T_s} \cdot \frac{v_{1m}}{v_{2m}} \cdot \frac{v_4}{v_3}$$

$$l'_2 = 16 \cdot \frac{0,94}{0,892} \cdot \frac{255,86}{189,8} \cdot \frac{v_4}{v_3}$$

$$l_2 = 22,73 \text{ (mm)} = 23 \text{ (mm)}$$

Pik yük için yükleme

Nominal güç için 10 meme hesaplanmıştı. 3 memede ekstra için eklendiğinde

$$z_d = 10 + 3 = 13 \text{ meme olur.}$$

Böylece $\frac{13}{10} = 1,3$ olduğundan bu güce karşılık gelen güç

$$N_{eu} = 1,3 \times 400 = 520 \text{ (KWe) olur.}$$

| | | | | | | |
|---------------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------------|
| D | 0,58 | 0,606 | 0,633 | 0,66 | 0,686 | m |
| u | 182,2 | 190,44 | 198,72 | 207 | 215,3 | m / s |
| $x = \frac{u}{c_1}$ | 0,22 | 0,23 | 0,24 | 0,25 | 0,26 | - |
| h_u | 62,54 | 62,80 | 63,90 | 63,17 | 62,13 | $kcal / kg$ |
| $\eta_u \%$ | 68,9 | 69,2 | 69,60 | 69,85 | 68,5 | - |
| N_{rv} | 10,7 | 11,2 | 11,23 | 11,25 | 13,86 | KW |
| h_{rv} | 1,68 | 1,76 | 1,765 | 1,77 | 2,18 | $kcal / kg$ |
| h_i | 60,94 | 61,05 | 61,22 | 61,4 | 59,95 | $kcal / kg$ |
| η_i | 0,671 | 673 | 67,5 | 67,7 | 66,1 | - |

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ele alınan türbin tipi 400 (KWe) gücünde bir Curtis türbini olup, Dokuma, boyahane, baskı,konfeksiyon vb. işlemleri bünyesinde birleştiren orta boy bir tekstil işletmesinin tüm enerji gereksinimlerinin bir merkezden karşılanması amaçlanmıştır. Bütün termodinamik hesapları yapılan türbinin mekanik aksamaları da ayrıca hesaplanıp dizayn edilerek uygulamaya geçilmesi hedeflenmiştir.

Denizli ve ülke imalat sanayisini çok yakından tanıyan ve yıllardır fiilen üretimin içinde olan bir kişi olarak bu satırların yazarı özelde Denizli olanakları,sahip olduğu bilgi birikimi, atölye tekniği ve mühendislik uygulamalarındaki tecrübesi ile böyle bir türbinin tüm elemanları ile gerçekleştirilebileceğine inanmaktadır.

Bilgi birikimi, bilimsel ve uygulamalı mühendislik alanında emek sarf eden mühendislerden biraz araştırma ile bu konuya yönelmeleri ve üretimde bu alana katkı sağlamaları beklenmektedir. Türbin imalat işinde yalnızca makine mühendisleri değil 4.0 endüstri çağında yazılım, otomasyon mühendislerinin de konuya katılmaları gerekmektedir. Çünkü başarıya giden yol bireysel çabalarla değil ekip ve grup çalışması ile aşılr.

KAYNAKLAR

Alibaba,product-detail/steam-turbine-spare-part[online],(31/01/2018)

<https://turkish.alibaba.com/product-detail/steam-turbine-spare-part-1481717451.html>, (2016)

Dietzel, F. *Dampf Türbinen, München*: Carl Hanserverlag, (1980).

Eyice, S. *Buhar türbinleri, C 1, İstanbul*: İstanbul DMMA yayınları (1975).

Tanman, F. *Buhar türbinleri, İstanbul*: İstanbul teknik okulu yayını (1946).

Stodola, A *Steamturbines*, Newyork Archibald constable and Company (1906)

Jahens, W.B. *Steamturbines-theierconstruction*, South African: SugarTechnologists' Association (1966)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Musa KUNDAKCI
Doğum Yeri ve Tarihi : Çal 24/02/1954
Lisans Üniversite : Ankara DMMA
Elektronik posta :smkundakciahoo.com
İletişim Adresi :Denmak mühendislik makine Ltd.Şti. Organize sanayi
2.Bölgeİbrahim Kırgız cad. No:7 Gürlek /Honaz Denizli

1979/1983 yılları arasında Denizli DMMA akademisi Makine mühendisliği Enerji ABD' Termodinamik araştırma görevlisi olarak çalıştı. DMMA'da çalışırken Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi enstitüsünde Enerji alanında tümleşik doktora derslerini aldı.1983 yılında o yılların koşullarında üniversiteden ayrılan Musa kundakçı 24/02/1984 te MAKİM KAZAN VE GENEL MAKİNE San. Ve Tic.A.Ş. ini kurarak Denizli'de tekstil terbiye makineleri yanı sıra Buhar ve kalorifer kazanları imalatına başladı. 1985 yılı ortalarında bu şirketten ayrıлып DENMAK mühendislik makine San.ve Tic. Ltd. Şti.ini kurarak üretime devam etti. İkinci kuşağın yetişmesi ile 2006 yılından itibaren Kazakistan, Rusya, Türkmenistan, Ürdün vb. ülkelerde işler yaptı. Halen Eski Yugoslav Cumhuriyetleri ve Arnavutluk ülkelerinde yeni iş görüşmeleri devam etmektedir. Denmak firmasında aktif olarak çalışmaya devam etmektedir.Dünyada ilk kez ahşap ısıtma işlemi ve zeytin karasuyunun bertarafı ile ilgili buluşları olan Musa Kundakçı bu buluşların patent hazırlığını da sürdürmektedir.