



ENERJİ TASARRUFU

Assoc. Prof. Dr. Seyfullah keyf



Enerji Tasarruf Teknolojileri

Kojenerasyon veya kombine soğutma ve ısıtma

11 Şubat 2004 tarihli Avrupa Parlamentosu ve Konseyi'nin, iç enerji piyasasında faydalı ısı talebine dayalı kojenerasyonun teşvik edilmesine ve 92/42/EEC Direktifinin değiştirilmesine ilişkin 2004/8/EC Direktifine göre, kojenerasyonun eş zamanlı termal enerji ve elektrik ve/veya mekanik enerjinin tek bir sürecinde üretim.

Literatürde genellikle aşağıdaki tanımlar kullanılır:

Kojenerasyon, aynı birincil enerji kaynağından elektrik (veya mekanik) ve faydalı termal enerjinin birleşik üretimidir;

Kojenerasyon, tek bir yakıt kaynağından ardışık olarak termal ve elektrik enerjisi üretimidir;

Kojenerasyon, yakıt enerjisini optimum verimlilikte, maliyet etkin ve çevreye duyarlı bir şekilde kullanarak, aynı anda farklı şekillerde enerjinin yerinde üretilmesi ve kullanılmasıdır.

Kojenerasyon konsepti

- Kojenerasyon tarafından üretilen mekanik enerji, yardımcı ekipmanı çalıştırmak için de kullanılabilir. Termal enerji, ısıtma veya soğutma için kullanılabilir. Soğutma, termal olarak çalıştırılan soğutma grupları (genellikle adsorpsiyon veya absorpsiyonlu soğutma grupları) ile elde edilebilir.
- Konvansiyonel bir termik santralde, egzoz gazları ve soğutma maddesi ile büyük miktarda ısı (%50-70) boşa harcanır. Atık ısıнын büyük bir kısmı, elektrik üretimi ve ısı üretim süreçlerinin birleştirilmesiyle geri kazanılabilir ve kullanılabilir, bu şekilde toplam verim %80-90'a çıkar. Elektrik üretimi ve ısı üretimi süreçlerinin bu kombinasyonu, birleşik ısı ve güç (CHP) üretimi veya kojenerasyon konseptini temsil eder.

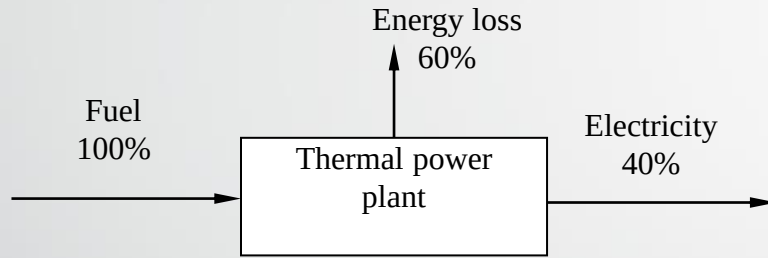
Elektrik ve ısı üretiminde kojenerasyonun avantajları

Kojenerasyon sistemlerinin başlıca avantajları şunlardır:

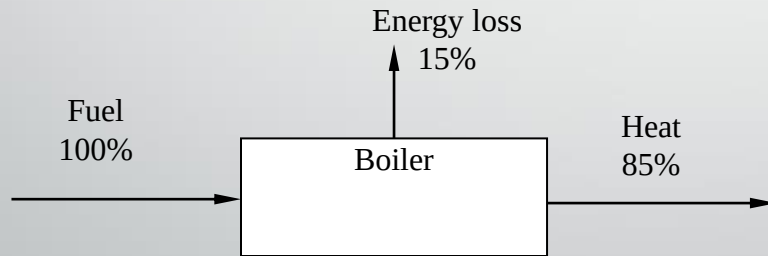
- fosil enerji kaynaklarının korunmasına yol açan ulusal düzeyde enerji verimliliğini artırmak;
- yerel elektrik üretimine olanak sağlamak ve ısı kayıplarını azaltmak;
- farklı yakıtların kullanımına olanak sağlamak;
- uzak alanlarda kullanılabilir;
- yakıt dönüşümünün daha yüksek verimliliği nedeniyle çevresel etkiyi azaltmak

Bireysel elektrik üretimi ile ısı v/s kojenerasyonu arasındaki karşılaştırma^{b)}

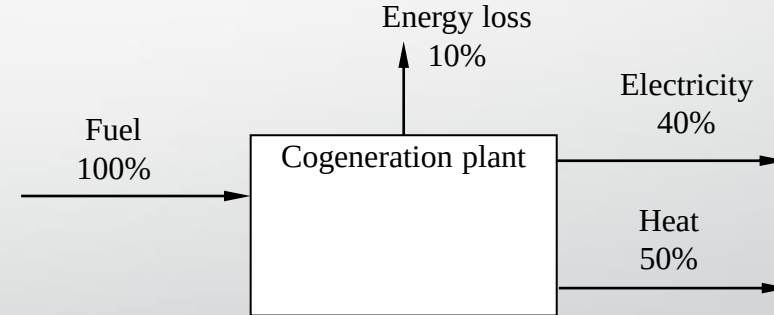
generation of electricity



generation of heat



cogeneration

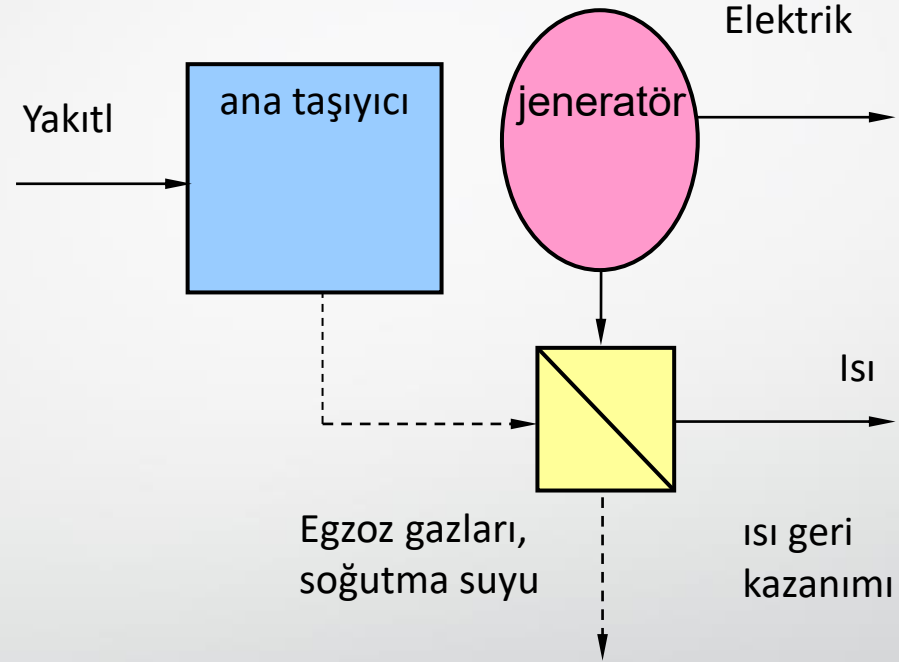


Kojenerasyon sistemlerinin ana dezavantajları

- yüksek yatırım ve işletme maliyetlerine sahip;
- üretilen elektriğin tamamen kullanılması durumunda üretilen ısıнын kullanılmasını gerektirmesi;
- elektrik ve ısı arz güvenliğini sağlamak için yedekleme sistemine ihtiyaç duymakta, yatırım maliyetini artırmaktadır.

Bir kojenerasyon sisteminin ana bileşenleri

- bir ana taşıyıcı;
- bir elektrik jeneratörü;
- bir ısı geri kazanım eşanjörü;
- işletim kontrol sistemleri



Elektrik ve ısı üretiminde kojenerasyon teknolojisi(1)

Ana hareket ettirici, bir termik motordur (Rankine, Brayton, Diesel, Otto, Stirling) veya yakıtın kimyasal enerjisini elektrik jeneratörüne iletilen mekanik enerjiye dönüştüren bir termik motor kombinasyonudur. Yakıtın kimyasal enerjisini doğrudan elektriğe çeviren özel bir sistem, yakıt hücresini ana taşıyıcı olarak kullanan sistemdir. Isı geri kazanımı, egzoz gazlarından veya motor soğutma maddesinden gelen ısıyı ısıtma maddesine veya suya (kullanım sıcak suyu) aktaran bir ısı eşanjörü veya bir ısı eşanjörü ağı olabilir.

The most important indices used to compare different cogeneration systems are the following:

mechanical efficiency of prime mover (heat engine):

$$\eta_m = \frac{\dot{W}_m}{\dot{H}_f} = \frac{\dot{W}_m}{\dot{m}_f \cdot LHV}$$

where $\dot{W}_m$ ana hareket ettiricinin mekanik gücüdür;

$\dot{H}_f$ yakıt yanması tarafından üretilen ısı akışıdır;

$\dot{m}_f$ yakıt kütle akış hızı, kg/s or Nm³/s;

LHV, yakıtın daha düşük ısı değeridir (net kalorifik değer), kJ/kg or kJ/Nm³.
elektrik verimliliği :

$$\eta_e = \frac{\dot{W}_e}{\dot{H}_f}$$

.....: $\dot{W}_e$ is sistem tarafından üretilen elektrik gücü (elektrik gücü çıkışı);

ısı verim :

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}}{\dot{H}_f}$$

..... $\dot{Q}$ sistem tarafından üretilen ısı akış hızıdır.

Elektrik ve ısı üretiminde kojenerasyon teknolojisi(3)

genel verimlilik veya toplam enerji verimliliği:

$$\eta = \frac{\dot{W}_e + \dot{Q}}{\dot{H}_f}$$

Bu denklem, ısı kalitesi elektriğe göre daha düşük olduğu için elektrikle ısı eklenmesi uygun olmadığı için tartışma konusudur. Isının elektriğe dönüşümünün kayıpları nedeniyle 1 kW termikten 1 kW elektrik elde etmek çok zordur. Genel verimlilik yerine sistem girdi ve çıktısının enerji kalitesinin bir ölçüsü olarak ekserjiyi kullanan başka bir indeks kullanabiliriz..

exserji verimi

$$\eta_{\text{ex}} = \frac{\dot{W}_e + \dot{E}_Q}{\dot{E}_f}$$

..... $\dot{E}_Q$ üretilen ısınnın ekserji akış hızı;;

$\dot{E}_f$ yakıtla ilişkili ekserji akış hızıdır :

$$\dot{E}_f = \dot{m}_f \cdot e_f$$

e_f yakıtın özgül ekserjisidir , kJ/kg or kJ/Nm³.

Elektrik ve ısı üretiminde kojenerasyon teknolojisi(5)

güç/ısı oranı :

$$P/H = \frac{\dot{W}_e}{\dot{Q}}$$

yakıt enerji tasarrufu oranı :

$$FES = \frac{\dot{H}_f - \dot{H}_{f,cogen}}{\dot{H}_f}$$

where

$\dot{H}_f$ ısıının bireysel üretim sisteminde yakıt güç girişidir ($\dot{Q}$)
yada elektrik ($\dot{W}$);

$\dot{H}_{f,cogen}$ aynı miktarda ısı üreten sistemdeki yakıt gücü girişidir ($\dot{W}$) ve elektrik ($\dot{Q}$).

Kojenerasyon sistemleri türleri

Kojenerasyon sistemlerinin boyutu, tek bir binanın ihtiyaçlarına hizmet edebilecek küçük “mikro” sistemlerden bir kasabaya hizmet edebilecek büyük sistemlere kadar değişebilir.

- Kojenerasyon sistemleri, enerji kullanım sırasına ve üst çevrim sistemleri ve dip çevrim sistemlerine uyarlanan işletim şemalarına göre bölünebilir. Bir tepe çevrimi sisteminde, yakıt kullanan bir ısı motoru tarafından elektrik veya mekanik güç üretilir ve ısı, ısıtma talebini karşılamak için geri kazanılır. Bu sistemler yüksek proses sıcaklığı gerektirmeyen uygulamalarda kullanılmaktadır. Dip çevrimli sistemlerde, endüstriyel prosesin yüksek sıcaklıktaki ısı talebini karşılamak için ısı doğrudan yakıtın yanmasından üretilir. Atık ısı geri kazanılır ve elektrik veya mekanik güç üretmek için enerji kaynağı olarak kullanılır.

Diğer bir şekilde, kojenerasyon sistemleri, kullanılan ana hareket ettirici veya termodinamik çevrim tipine göre sınıflandırılabilir..

Rankine çevrimli kojenerasyon sistemleri

Bir buhar türbini kojenerasyon sistemi, bir ısı kaynağı, bir ısı emici ve bir elektrik jeneratörünü çalıştıran bir buhar türbini içerir. Sistem, geliştirilmiş Rankine döngüsünde (buharın yeniden ısıtılması ve besleme suyunun rejeneratif ön ısıtması) çalışır. Isı kaynağı bir kazan, nükleer reaktör veya atık yakma fırını olabilir. Kazan, yüksek sıcaklıkta ve yüksek basınçta aşırı ısıtılmış buhar üretmek için herhangi bir yakıt türünü veya yakıt ve güneş radyasyonu kombinasyonlarını kullanabilir.

Buhar türbini kojenerasyon sisteminin gücü 0,5 ile 100 MW arasında değişmektedir. Üretilen buhar, ticari veya endüstriyel sektörde 450°C ve 100 bar'a kadar ve kamu hizmet sektöründe yaklaşık 540°C ve 100 bar'ın üzerinde olabilir..

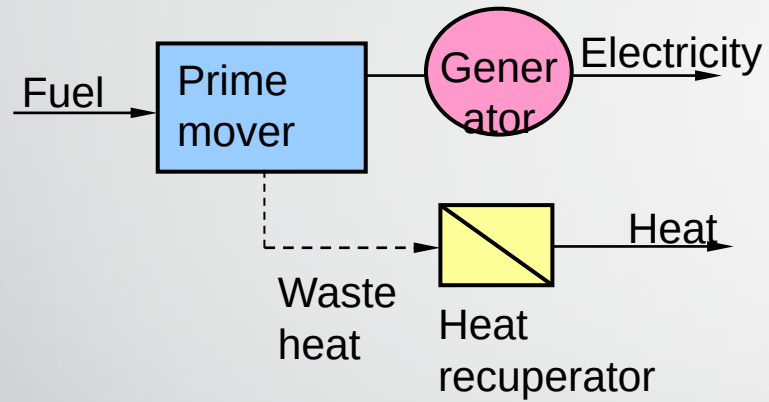
Rankine çevrimi / buhar türbinleri

En yaygın olarak kullanılan buhar türbini türleri şunlardır: :

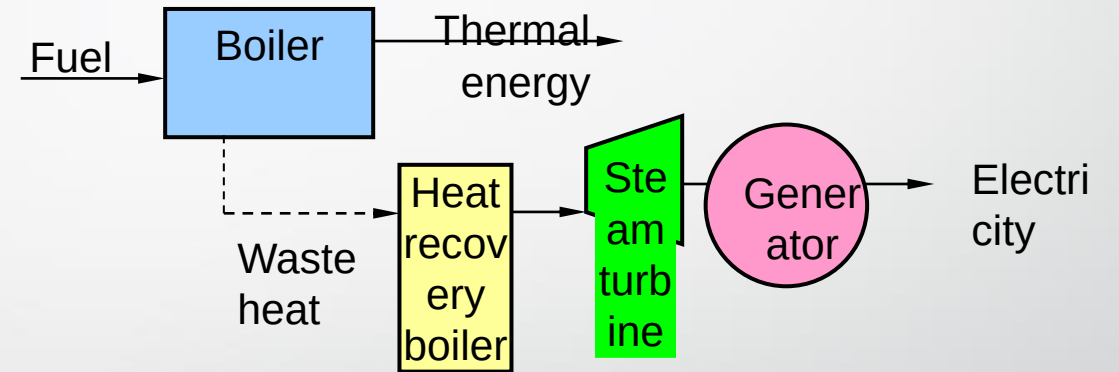
- geri basınçlı buhar türbinleri;
- yoğuşmalı buhar türbinleri;
- dip çevrimli buhar türbini sistemleri;
- Rankine çevrim sistemlerini organik sıvılarla tabana oturtmak..

Kojenerasyon sistemleri türleri

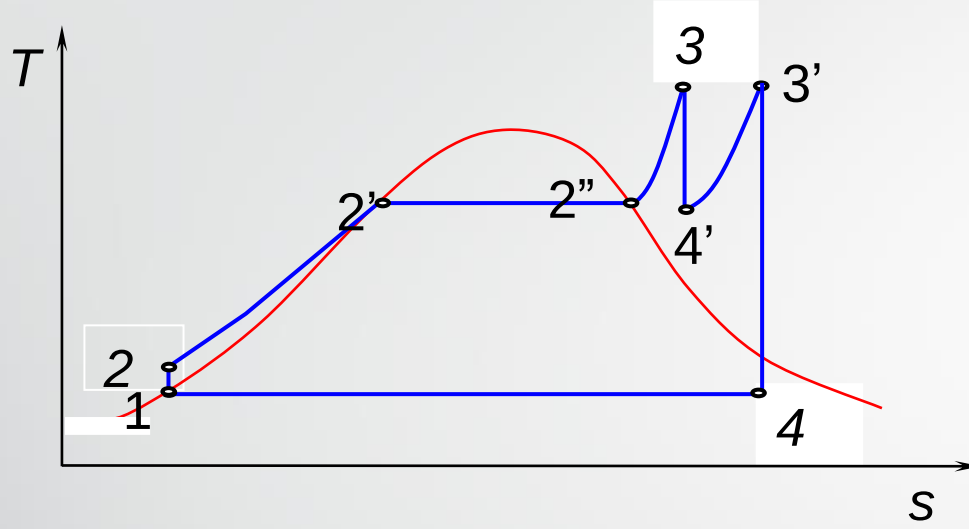
Tepesi çevrim sistemi



Dip çevrim sistemi



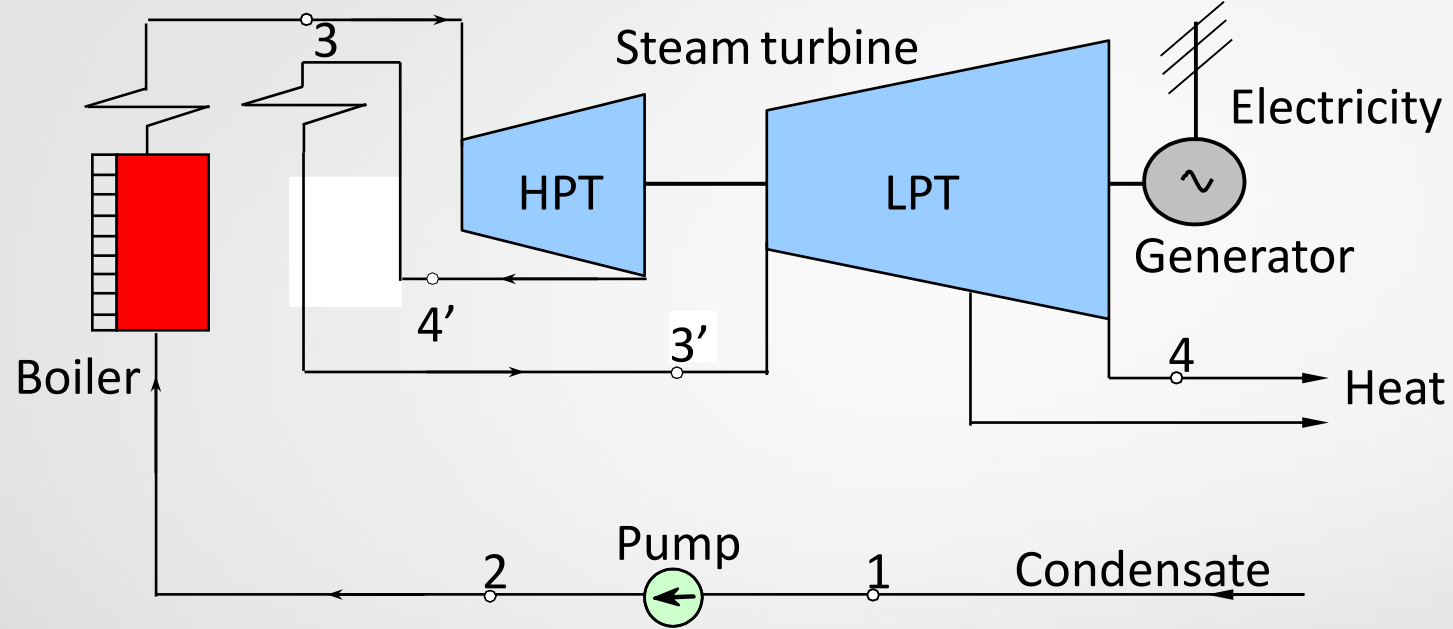
Buhar yeniden ısıtmalı Rankine çevrimi



1-2 izentropik su kazana pompalanır;
2-2' suyun izobarik ısıtılması;
2'-2'' buharlaşma;
2''-3 izobarik buhar aşırı ısınması;
3-4' yüksek basınçlı türbinde buharın izentropik genişmesi;
4'-3' izobarik buhar yeniden ısıtma; Alçak basınç türbininde 3'-4 buhar izentropik genişmesi;
4-1 yoğunlaşma

Buhar türbini tipleri arasındaki seçim, esas olarak güç ve ısı miktarlarına, ısıнын kalitesine ve ekonomik faktörlere bağlıdır.

GERİ BASINÇLI BUHAR TÜRBINLİ VE BUHAR YENİDEN ısıTMA LI KOJENERASYON SİSTEMİ



Geri basınçlı buhar türbini, proseslerin gerektirdiği ısıнын sıcaklık seviyesine bağlı olarak bir basınç ve sıcaklıkta buharın çıktığı veya çıkarıldığı bir buhar türbini anlamına gelir. Geri basınçlı buhar türbinli kojenerasyon sistemi. Türbinden çıkan buhar, ısıyı sıvı hale (yoğuşma) ulaşan teknolojik/endüstriyel sürece aktarır. Kondens daha sonra kazana geri döndürülür.

Geri basınçlı buhar türbinli ve buhar yeniden ısıtmalı

- inşaat basittir;
- düşük basınçlı türbin aşamalarının yüksek maliyetinden kaçınılır;
- soğutma tesisi olmaması nedeniyle düşük sermaye maliyeti;
- Kazanda üretilen ısıнын neredeyse tamamı kullanıldığından yüksek genel verimlilik (soğutucuya aktarılan ısı yoktur).

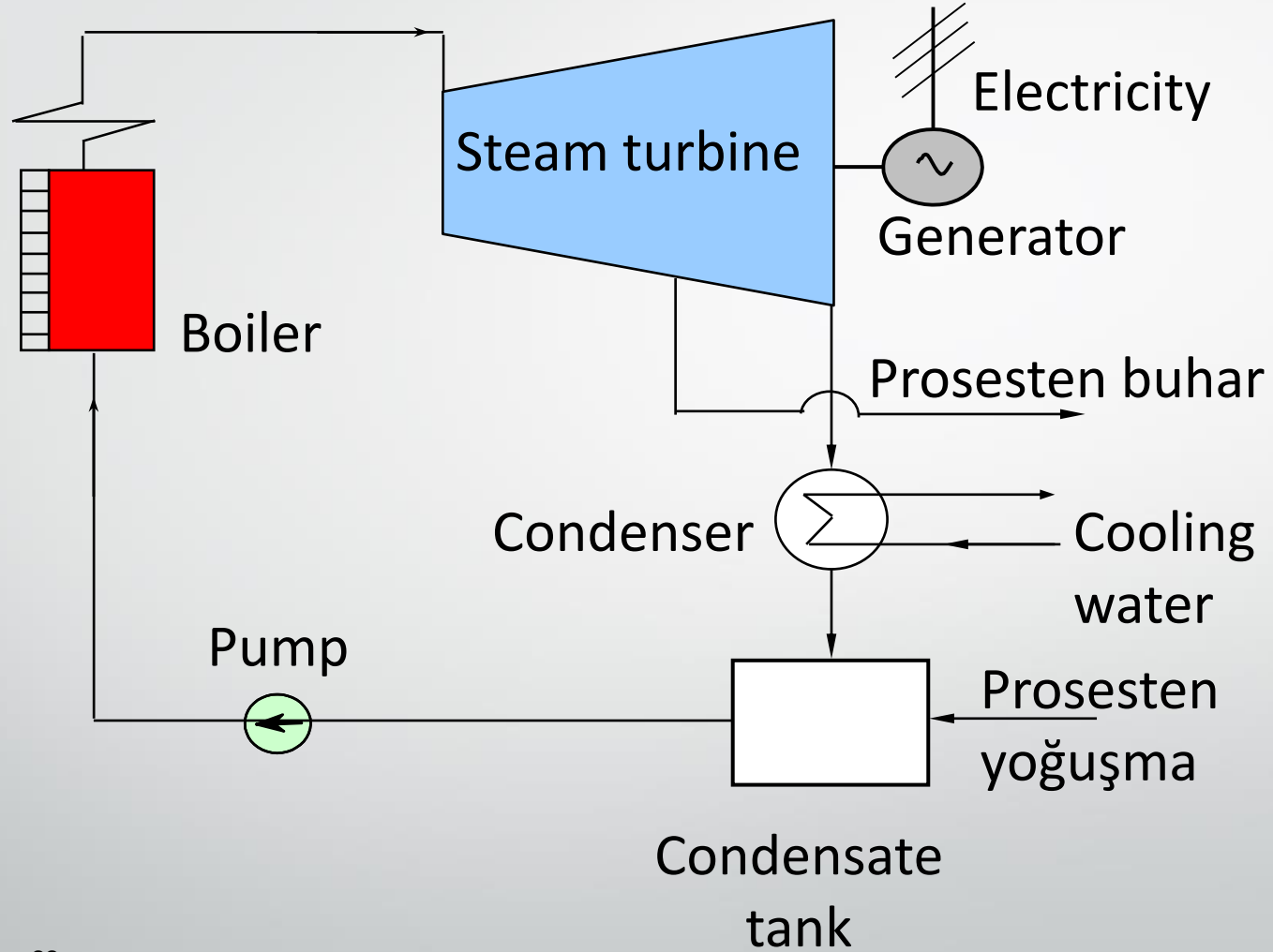
Sistemlerin dezavantajları, türbinden geçen buhar kütle akış hızının termal talebe bağlı olmasıdır. Bu, türbin tarafından üretilen elektriğin termal talep tarafından kontrol edildiği anlamına gelir..

Yoğuşmalı buhar türbini sistemleri

Bu sistemlerde buhar, ısıtma işlemine uygun basınç ve sıcaklıkta bir veya birden fazla ara aşamadan çekilir. Buharın ana kısmı türbinden kondenser basıncında çıkar. Daha düşük bir kondenser basıncı (örtük sıcaklık), daha yüksek bir döngü termal verimliliği anlamına gelir. Kondenser sıcaklığı, bir soğutma maddesinin (su, hava) sıcaklığı ile sınırlıdır.

Yoğuşmalı buhar türbinli kojenerasyon sistemleri, karşı basınçlı sistemlere göre daha yüksek sermaye maliyetine ve daha düşük toplam verimliliğe sahiptir. Elektrik yükü, türbin içinden buhar akış hızı kontrol edilerek termal yüke göre bağımsız olarak ayarlanabilir..

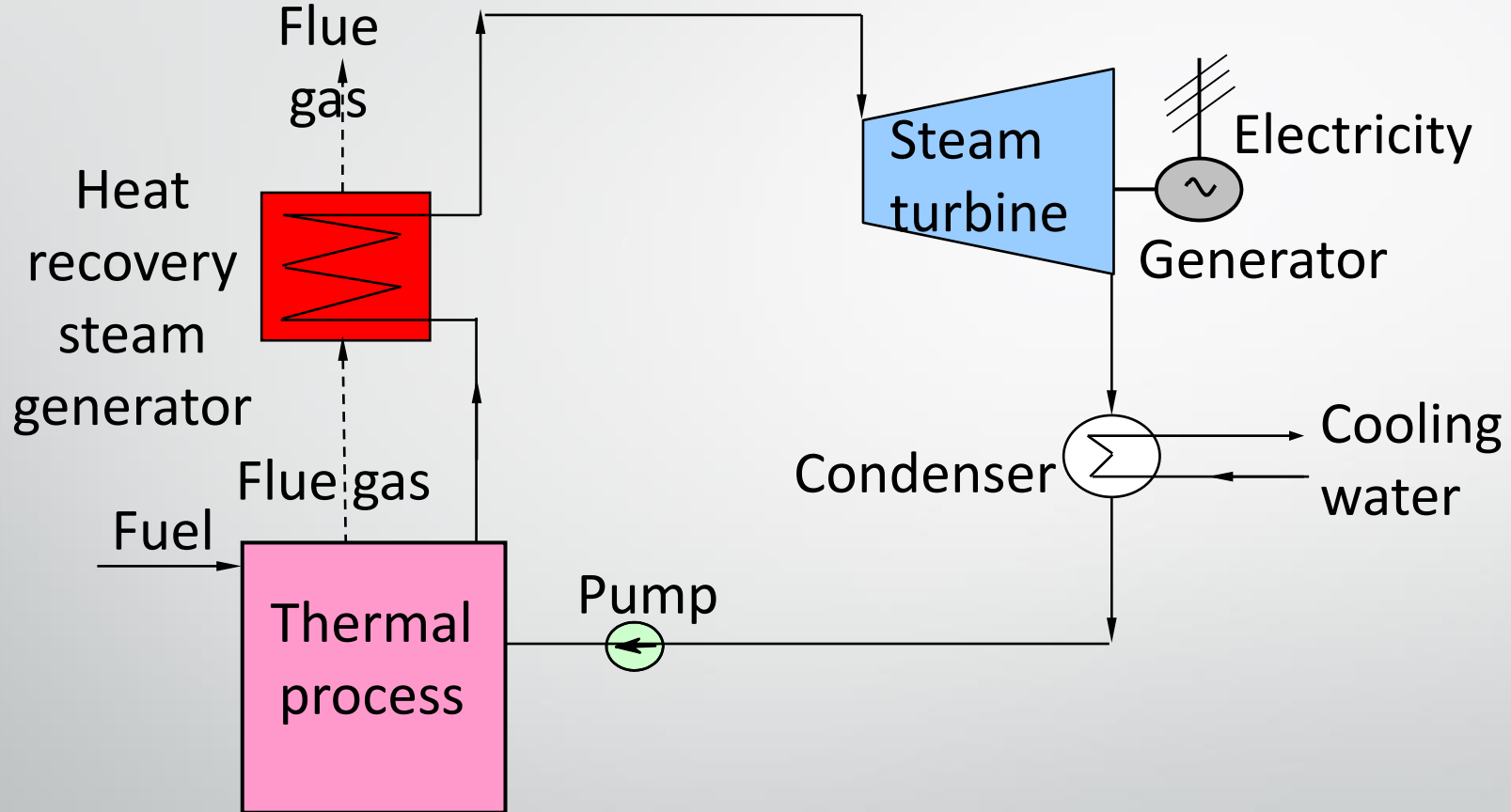
Yoğuşmalı buhar türbinli kojenerasyon sistemi



Dip çevrimli buhar türbini sistemleri

Birçok endüstriyel termal işlemde çıkan gazlar yüksek sıcaklığa ($500-600^{\circ}\text{C}$) sahiptir. Gazlarda bulunan duyulur ısı, Rankine tabanlı bir kojenerasyon sisteminde buhar üretmek için geri kazanılabilir. Buhar türbini, bir yoğuşmalı türbin veya bir geri basınç türbini olabilir.

YOĞUŞMALI BUHAR TÜRBİNLİ DİP ÇEVİRLİMLİ KOJENERASYON SİSTEMİ



Organik sıvılarla dipten Rankine çevrim sistemleri

Düşük sıcaklık seviyeli ısı kaynaklarının ($80-300^{\circ}\text{C}$) etkin kullanımı için organik çalışma sıvısı ile Rankine çevriminde çalışan tesisler geliştirilmiştir. Organik Rankine çevrimi, geleneksel buhar türbin çevrimine benzer, ancak çalışma sıvısı olarak, düşük sıcaklıkta mevcut olan ısıнын geri kazanılması için uygun olan, yüksek moleküler ağırlıklı bir madde ve düşük kaynama noktası kullanır.

Bir Organik Rankine Döngüsü (ORC) aşağıdaki avantajlara sahiptir:

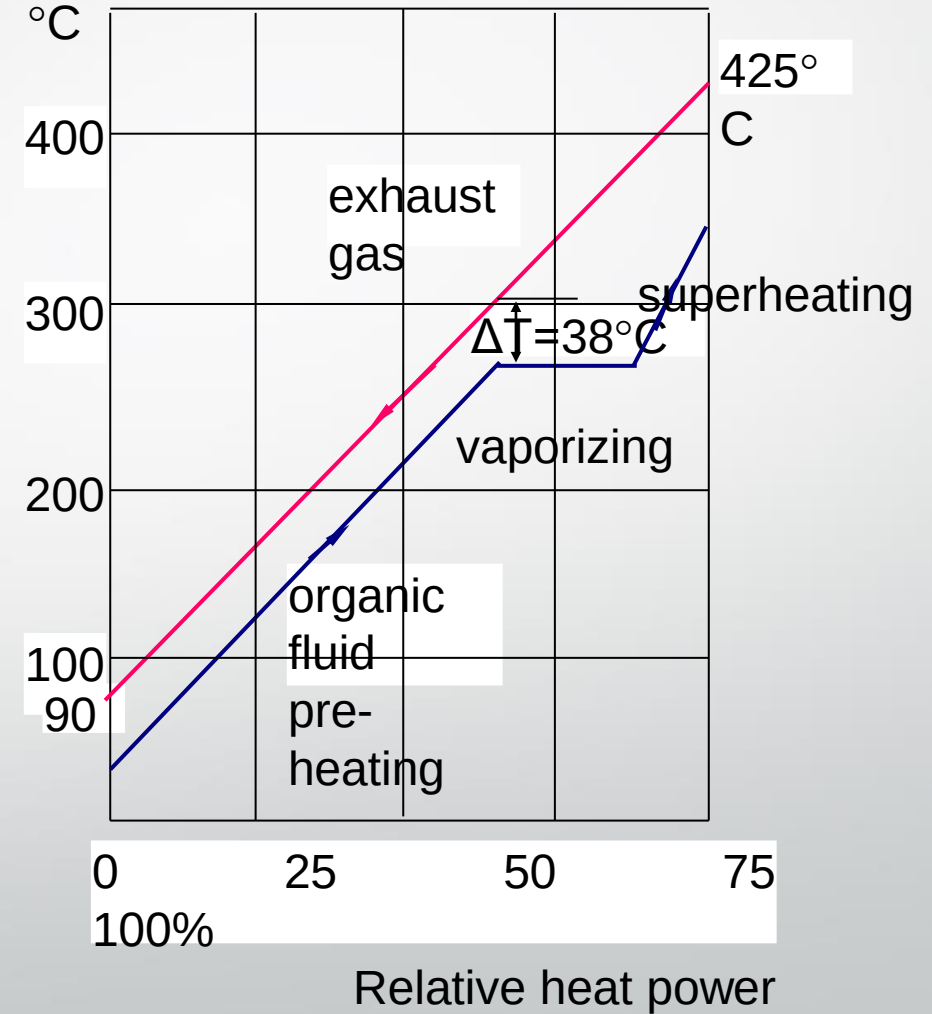
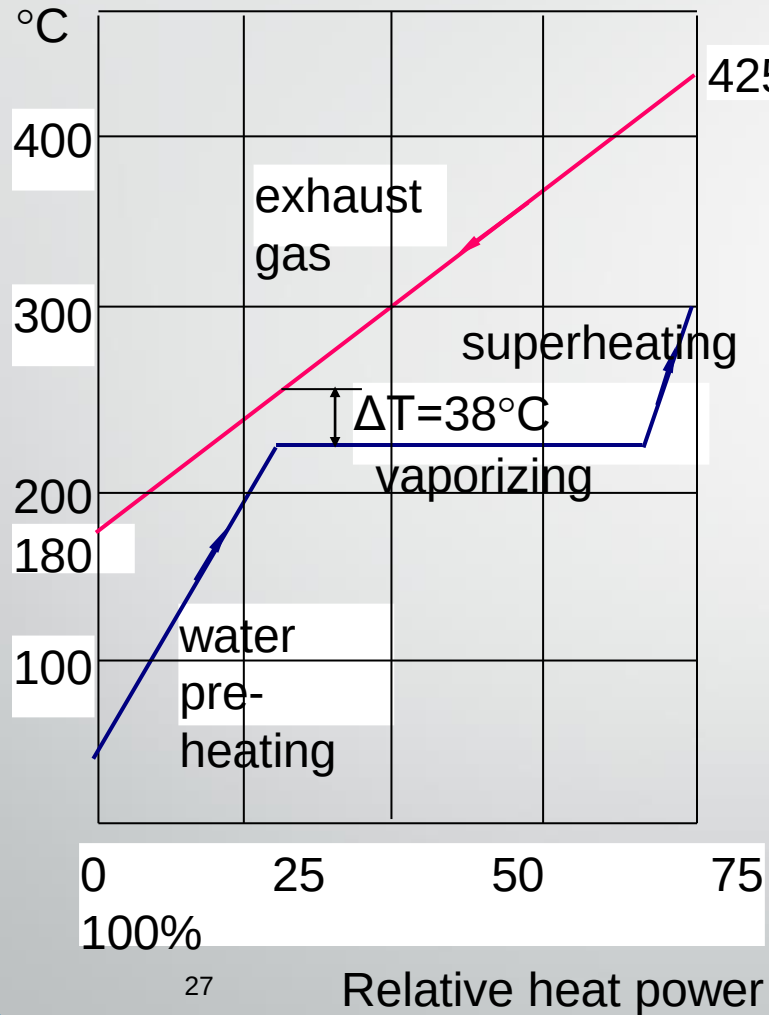
*organik sıvılar kullanılarak daha düşük bir sıcaklığa soğutulan ısı kaynağı, böylece ısıdan daha fazla elektrik gücü üretilebilir;

- buharlaştırma işlemi daha düşük basınç ve sıcaklıkta gerçekleşir;
- genleşme işlemi buhar bölgesinde sona erer ve bu nedenle bıçak erozyonu riski önlenir;

- organik sıvılara sahip türbinler, kısmi yüklerde daha yüksek verim sağlayabilir;
- sistemler büyük esnekliğe, yüksek güvenliğe ve düşük bakım ihtiyacına sahiptir;

- buharlaşma ve yoğuşma arasındaki daha küçük sıcaklık farkı, basınç düşüşü/oranının çok daha küçük olduğu ve bu nedenle basit tek kademeli türbinlerin kullanılabileceği anlamına gelir. Türbin maliyeti bu nedenle daha düşüktür.

Isı ilavesinde su ve organik bir sıvının sıcaklık profili



Organik Rankine Döngüsü (ORC) maddeleri

ORC'de kullanılabilecek maddeler şunlardır: hidrokarbonlar (HC); hidroflorokarbonlar (HFC); hidrokloroflorokarbonlar (HCFC); kloroflorokarbonlar (CFC); perflorokarbonlar (PFC); siloksanlar; alkoller; aldehitler; eterler; hidrofloroeterler (HFE); aminler; sıvı karışımları (azeotropik ve azeotropik olmayan).

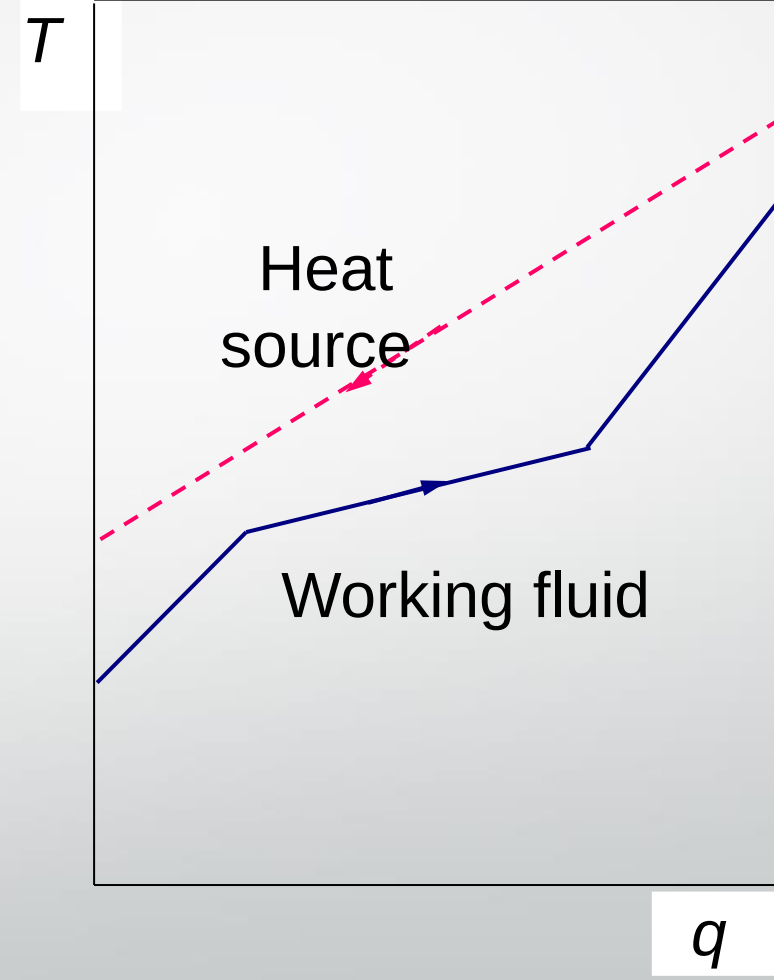
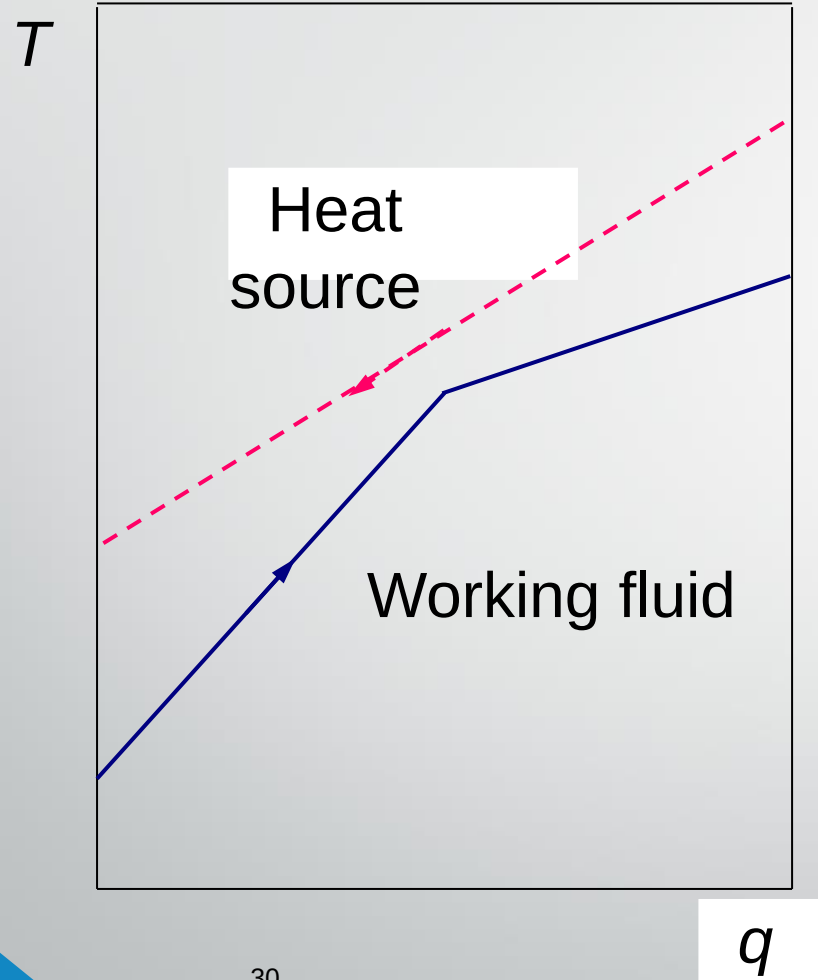
Isı kaynağından geri dönüşümsüz ısı transferi ve batma yoluyla ısı kayıpları, bir termodinamik dönüşüm döngüsünün genel verimliliğini etkiler. Bu kayıplar esas olarak çalışma sıvısının, ısı kaynağının ve lavabonun eşleşen ısı kapasitesine bağlıdır. Çalışma akışkanı ve kaynak ısı kapasitelerinin uyumunu sağlamak için, izotermal olmayan ısı katkılı çok bileşenli, azeotropik olmayan çalışma akışkanları kullanılmaktadır.

Bir Organik Rankine Döngüsü (ORC) tesisi enerji üretimi şunlara bağlıdır :

- iyi termodinamik özellikler;
- yüksek termodinamik performans (yüksek enerji/egzersiz verimliliği);
- tesis işletimi sırasında iyi termal ve kimyasal kararlılık;
- düşük çevresel etki (ozon tabakasını inceltme potansiyeli, küresel ısınma potansiyeli, atmosferik yaşam süresi);
- iyi güvenlik özellikleri (toksik olmayan, aşındırıcı olmayan; düşük alev alma ve kendiliğinden tutuşma özellikleri).
- iyi ısı transfer özellikleri (düşük viskozite, yüksek termal iletkenlik);
- düşük maliyet ve iyi bulunabilirlik.

Organik Rankine çevrimli kojenerasyon sistemlerinin ürettiği elektrik gücü 2 kW ile 2,5 MW aralığındadır. Elektrik verimliliği yaklaşık %10-30'dur.

Isı ilavesinde çok bileşenli, azeotropik olmayan bir çalışma sıvısının sıcaklık profili



Gaz türbini kojenerasyon sistemleri (1)(1)

Gaz türbini, basit bir Brayton (tersinmezlikler göz ardı edildiğinde Joule çevrimi olarak adlandırılır) termodinamik çevrimde veya birleşik Brayton-Rankine çevriminde çalışabilir. Gaz türbini sistemleri, başlangıçta endüstriyel ve yardımcı uygulamalar için ve uçak motorları olarak geliştirilmiştir. Daha sonra, sabit uygulamalar için modifiye edilmiş aeroderivatif türbinler olarak adlandırılmıştır. Gaz türbini kojenerasyon sistemlerinin başlıca avantajları şunlardır: düşük sermaye maliyeti; düşük maliyetli bakım; düşük kurulum maliyeti; hızlı başlangıçlar; değişen yüke hızlı tepki; yakıt değiştirme yetenekleri, daha büyük tesislerin yüksek verimliliği; geri kazanılabilen yüksek sıcaklık seviyesi ($450-600^{\circ}\text{C}$); iyi çevresel performans. Ana dezavantaj, düşük ısıdan güce dönüşüm verimliliğidir. Elektrik gücü çıkışı birkaç kilovattan (mikro türbin sistemleri) 250 MW'a kadar değişmektedir.

Gaz türbini kojenerasyon sistemleri(2)

Çoğu gaz türbini kojenerasyon sistemi, açık Brayton çevriminde çalışır. Atmosferik hava kompresörde 30:1'e kadar bir basınç oranında sıkıştırılır ve daha sonra yakıt yanmasının gerçekleştiği yanma odasına verilir. Üretilen baca gazı yanma odasından yüksek sıcaklık ve basınçta ve yüksek oksijen konsantrasyonu ile (%15-16) çıkar.

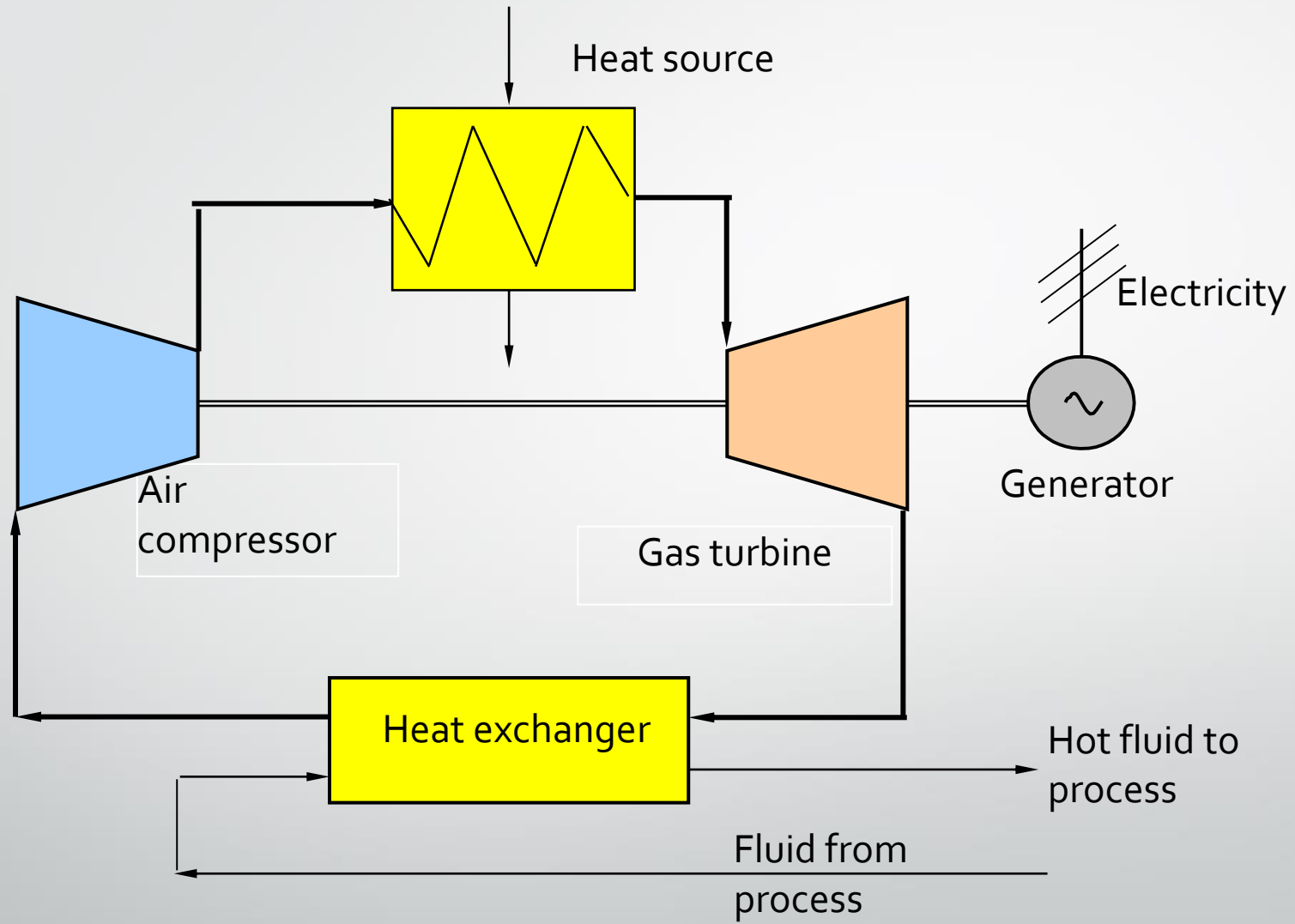
The diagram illustrates a combined cycle gas turbine (CCGT) power plant. The process is numbered 1 through 5. 1: Air intake. 2: Air compression. 3: Fuel injection and combustion. 4: Exhaust gases from the gas turbine. 5: Exhaust gases from the HRSG. The HRSG also receives condensate from the process and produces steam for the process. The gas turbine is connected to a generator that produces electricity.

— · — · — · — · soğutma havası
····· yanma havası
———— yanma gazları

Açık çevrim gaz türbinli kojenerasyon sistemi

Türbin girişinde baca gazı sıcaklığı ne kadar yüksekse, çevrim verimi de o kadar yüksek olur. Türbin çalışabileceği üst sıcaklık limiti, türbin malzemelerinin direnci ve kanatların soğutma verimliliği ile belirlenir. Mevcut yüksek çevrim sıcaklığı 1400°C 'dir. Türbinden atılan gazların ısı içeriği, ısı geri kazanım kazanı içinde bir brülör kullanılarak artırılabilir. İlave yakıt yanması için gerekli hava, kazandan geçen egzoz gazlarından alınır. Gaz türbini kojenerasyon sistemleri çeşitli yakıtları kullanabilir: doğal gaz, gaz yağı, Dizel yağ, biyogaz, çöp gazı ve sentez gazı. Sistemlerin yaşam döngüsü yakıt kalitesine bağlıdır ve 15 ile 20 yıl arasında değişmektedir.

Kapalı çevrim gaz türbinli kojenerasyon sistemi



Gaz türbini sistemlerinin elektrik verimliliği

Kapalı Brayton çevriminde çalışan gaz türbini kojenerasyon sistemlerinin sayısı azalır. Kaynak ısı (nükleer enerji, güneş enerjisi, katı atık yakıcıdan gelen ısı) kapalı bir devrede dolaşan çalışma sıvısını (helyum, hava) ısıtmak için kullanılır. Türbinde genleşmeden sonra çalışma sıvısında bulunan ısı, bir proses sıvısına salınır. Gaz türbini sistemlerinin elektrik verimi, küçük ve orta ölçekli sistemler için % (25-35) aralığında, daha büyük sistemler için ise % (40-42) aralığındadır. Bu düşük elektrik verimliliği, türbin tarafından üretilen gücün yaklaşık %50'si olan hava kompresörünün güç tüketiminden kaynaklanmaktadır. Hava kompresörünün güç tüketimini azaltmak için aşağıdaki teknikler kullanılır: kompresör giriş havasının ön soğutması; yanma odası girişinden önce sıkıştırma ve rejeneratif hava ön ısıtmasının ara aşamasında havanın soğutulması. Gaz türbini kojenerasyon sistemlerinin genel verimliliği yaklaşık (60-80) %'dir ve güç/ısı oranı 0,5-0,8 aralığındadır.

Pistonlu motor kojenerasyon sistemleri

Kurumsal, ticari ve konut sektörlerindeki kojenerasyon uygulamaları için pistonlu motor tabanlı kojenerasyon sistemleri tercih edilmektedir.

Motorlar bir elektrik jeneratörünü çalıştırır ve giriş yakıt enerjisinin %60-70'ini temsil eden egzoz gazları ve soğutma sistemlerinde bulunan ısı, sıcak su veya buhar üretmek için geri kazanılır.

Atık ısının çoğu egzoz gazlarında ve ceket soğutma sıvısında bulunurken, yağlama yağı soğutucusundan ve turboşarjın ara soğutucusundan daha küçük miktarlar geri kazanılabilir.

Egzoz gazları ayrıca kurutma veya diğer doğrudan ısı işlemler için de kullanılabilir.

Pistonlu motor kojenerasyon sistemlerinin başlıca avantajları

- düşük sermaye maliyeti;
- hızlı başlangıçlar;
- iyi çalışma güvenilirliği;
- kısmi yük çalışmasında yüksek verimlilik. Başlıca dezavantajları şunlardır:
- yüksek titreşimler ve yüksek akustik gürültü;
- yüksek bakım maliyetleri;
- yüksek kirletici emisyonları (özellikle NO_x);
- atık ısı, ısının tam olarak kullanılmasını zorlaştıran farklı sıcaklık seviyelerinde mevcuttur..

Otto evrimi ve Dizel evrimi

Pistonlu motor kojenerasyon sistemleri, Otto evrimi ve Dizel çevrimindeki motor çevrimine göre sınıflandırılabilir. Dizel motorlar yüksek hızlı, orta hızlı ve düşük hızlı motorlar olarak sınıflandırılır. Otto motorları benzinin yanında propan, biyogaz ve p gazı gibi gaz halindeki birçok yakıtı kullanabilir. Gaz yakıt kullandıklarında "gaz motorları" olarak adlandırılırlar. Dizel motorlar Dizel yağ, benzin, biyo-yağlar, doğal gaz, biyogaz, p gazı, sentez gazı, alkoller ve artık akaryakıt üzerinde çalışabilir.

Motorun boyutuna göre sınıflandırma

- Motorun boyutuna göre başka bir sınıflandırma şu şekilde yapılabilir:
 - gaz motorlu (15-1000kW) veya Dizel motorlu (75-1000kW) küçük üniteler;
 - gaz motorlu veya Dizel motorlu orta güç sistemleri (1-6MW);Dizel motorlu yüksek güçlü sistemler (> 6MW).

Soğutma sistemi ve egzoz gazlarının sıcaklığı

Soğutma sisteminden geçen su, **ısı geri kazanım kazanına** girmeden önce $(75-80)^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtılır. Isı talebi olmadığında soğutma suyu yardımcı soğutucuya yönlendirilir. Orta güçlü sistemler $(180-200)^{\circ}\text{C}$ 'de doymuş buhar üretirken, yüksek güçlü sistemler yardımcı bir kazan kullanarak $(15-20)$ bar basınçta ve $(250-350)^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta kızgın buhar üretir.

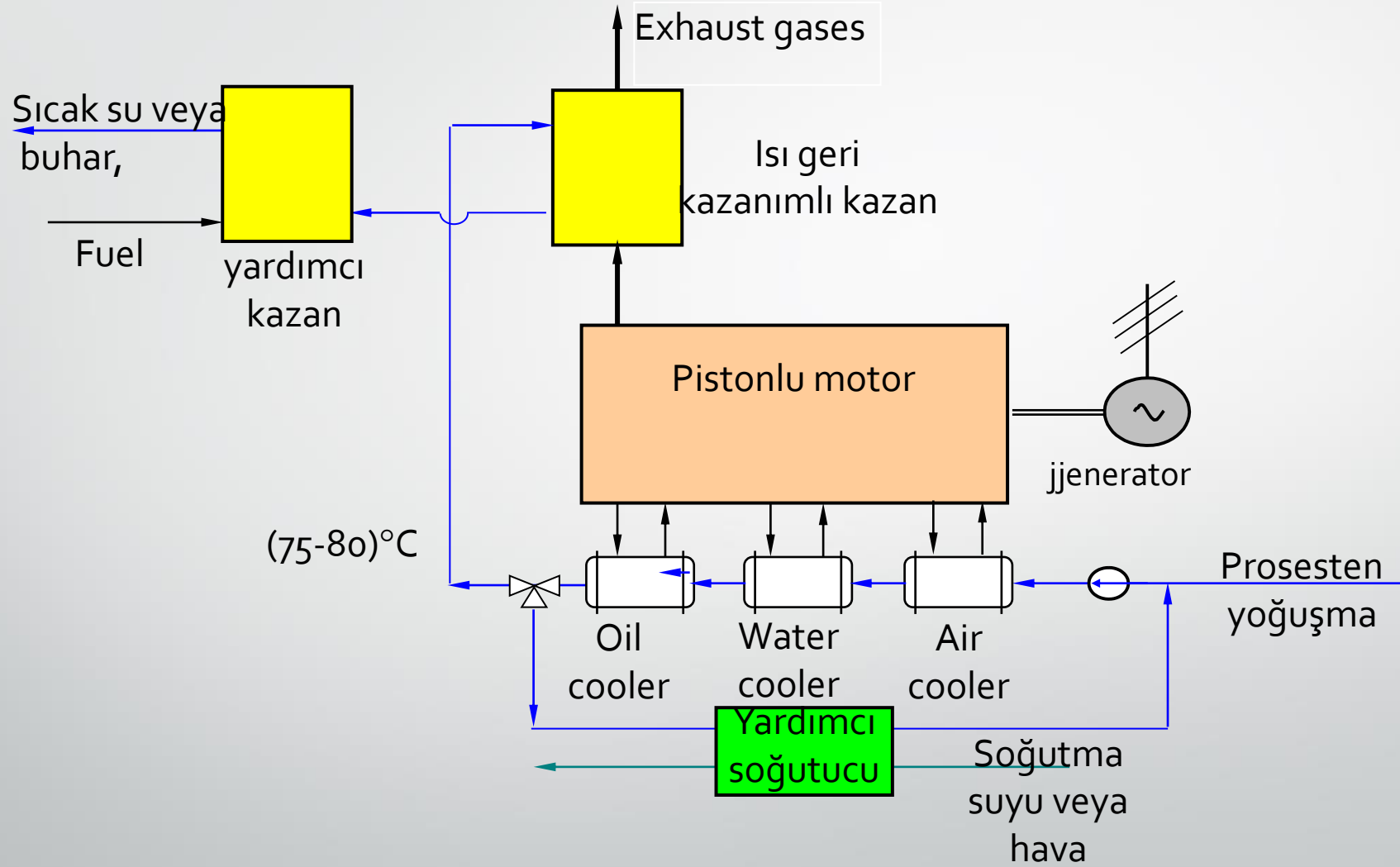
Kazan çıkışındaki egzoz gazlarının minimum sıcaklığı yakıt tipine bağlıdır. Kükürt içeren yakıtlar için minimum sıcaklık $(90-100)^{\circ}\text{C}$ ve kükürt içermeyen yakıtlar için $(160-170)^{\circ}\text{C}$ 'dir.

Kapalı çevrim soğutma

Kapalı çevrim soğutma, pistonlu motorlardan ısı geri kazanımının en yaygın yöntemidir. Bu sistemlerde motor, bir soğutma maddesinin soğutucular aracılığıyla cebri sirkülasyonu ile ve ısı talebi olmadığında bir yardımcı soğutucu (soğutma kulesi veya radyatör) aracılığıyla soğutulur.

Pistonlu motorların bir başka soğutma yöntemi de ebullient soğutmadır. Bu yöntem, motorda kaynayan bir soğutucunun doğal dolaşımından oluşur. Kaynama noktasındaki soğutma suyu, motorun ısıtıldığı alt kısma yerleştirilir ve kabarcıklar oluşturarak kaynamaya başlar. Kabarcık oluşumu, daha düşük soğutma sıvısı yoğunluğuna yol açarak motorun üst kısmında doğal sirkülasyona neden olur. Motordan soğutma sıvısına ısı transferi sabit sıcaklıkta gerçekleştiği için motor termal stresi daha düşüktür. Motordan çıktıktan sonra sıvı ve buhar karışımı, buhar ayırma için bir buhar ayırıcıya verilir. Doymuş buhar ısıl işlemde kullanılır..

Pistonlu motorlu kojenerasyon sistem



Pistonlu kojenerasyon sistemlerinin genel verimliliği

Pistonlu kojenerasyon sistemlerinin genel verimliliği yaklaşık (70-85) %'dir ve güç/ısı oranı 0.8-2.4 aralığındadır.

Elektrik verimliliği, küçük ve orta boy motorlar için (35-45) %, büyük motorlar için yaklaşık %50 aralığındadır.

Sistem performansları ortam koşullarına veya yüke çok bağlı değildir.

Stirlingmotor kojenerasyon sistemleri

Stirling motorları çok iyi geliştirilmemiştir, ancak avantajları nedeniyle yüksek ilgi görmektedir: yüksek verimlilik, kısmi yükte iyi performans, düşük sıcaklıkta çalışma, düşük kirletici emisyon seviyesi ve sürekli yanma süreci nedeniyle düşük titreşim ve gürültü seviyesi.

Stirling motorları çok çeşitli yakıtları ve farklı enerji kaynaklarını (yanma gazları, güneş enerjisi ve nükleer enerji) kullanabilir. Yakıtlar, çalışma sırasında motoru durdurmada değiştirilebilir.

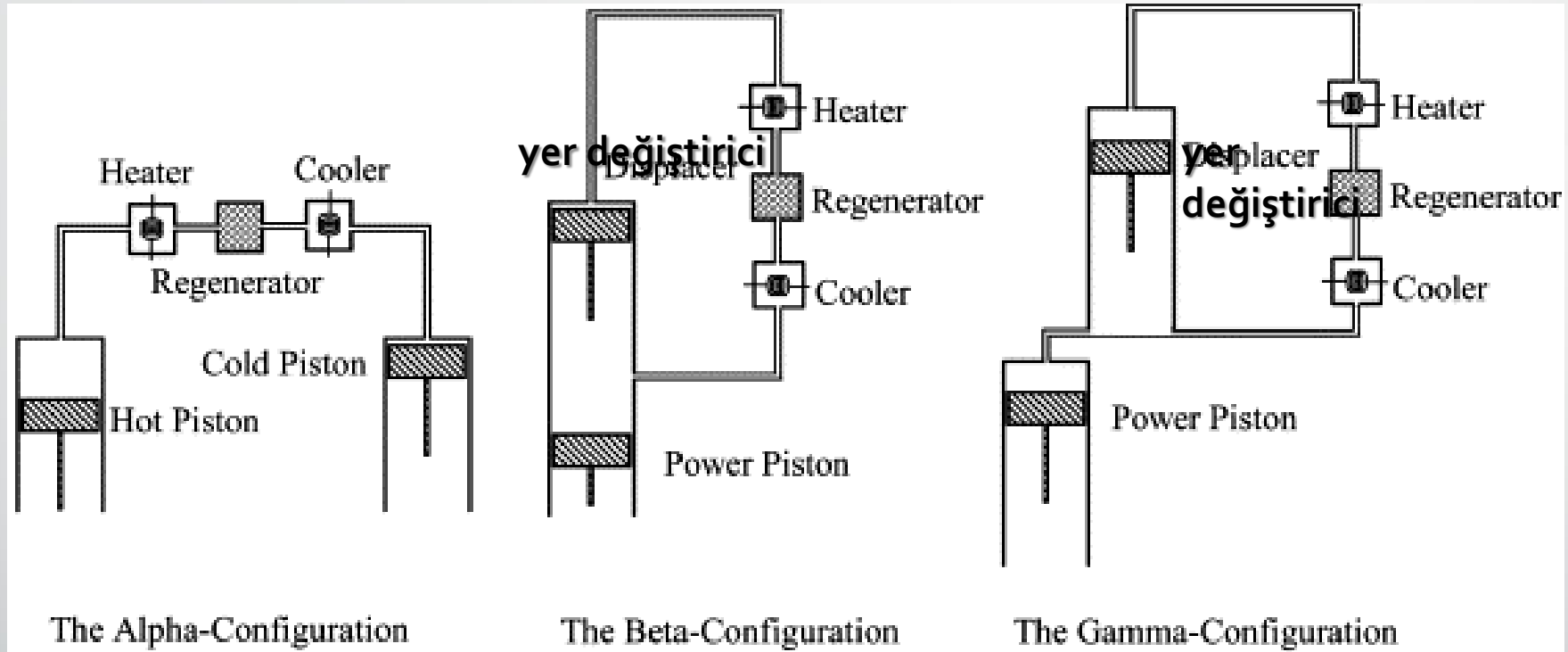
Stirling motorlarının ana dezavantajları.

yüksek sermaye maliyeti;
uzun başlangıçlar;
belirli parçaların kısa kullanım ömrü (mil contası, piston segmanları, yatak sızıntısı).

Pistonlu motorlardan farklı olarak, Stirling motorlarında yakıt yanması motorun dışında gerçekleşir ve ısı, bir ısıtıcı aracılığıyla bir çalışma sıvısına (genellikle helyum veya hava) aktarılır.

Stirling motorlarının üç konfigürasyonu vardır: Alfa, Beta ve Gama (sonraki slayttaki şekil). Alpha konfigürasyonu, bir ısıtıcı, rejeneratör ve soğutucu ile seri olarak bağlanan ayrı silindirlerde iki pistondan oluşur. Beta konfigürasyonu, bir ısıtıcı, rejeneratör ve soğutucuya bağlı aynı silindir içindeki yer değiştirici-piston düzenini kullanır ve Gamma konfigürasyonu, bir ısıtıcı, rejeneratör ve soğutucuya bağlı ayrı silindirlere yerleştirilmiş yer değiştiren piston düzenini kullanır.

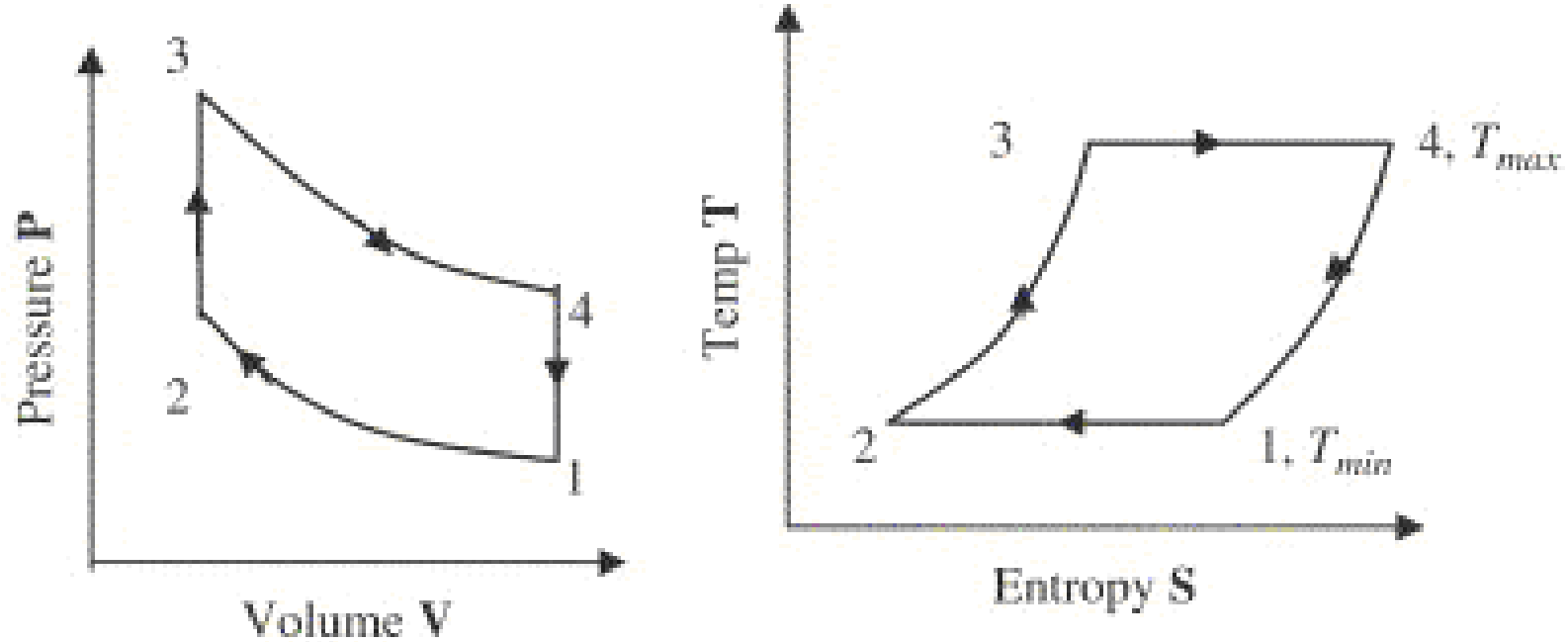
Stirling motor konfigürasyonları



İdeal Stirling çevrimi aşağıdaki süreçlerden oluşur:

- izotermal sıkıştırma (1-2), bu sırada ısı motordan soğuk lavabo sıcaklığında atıldığı;
- sabit hacimli ısı ilavesi (2-3) içinde her iki piston aynı anda hareket eder (sıkıştırma pistonu rejeneratöre doğru ve genleşme pistonu rejeneratörden uzaklaşır), böylece pistonlar arasındaki hacim sabit kalır ve çalışma sıvısı sıkıştırma hacminden genleşme hacmine aktarılır. gözenekli ortam yenileyici;
- sıcak kaynak sıcaklığında (ısıtıcı) motora ısı eklendiği izotermal genleşme (3-4);
- sabit hacimde ısı atımı (4-1), her iki pistonun aynı anda hareket ederek çalışma sıvısını genleşme alanından sıkıştırma alanına sabit hacimde rejeneratör aracılığıyla aktarması

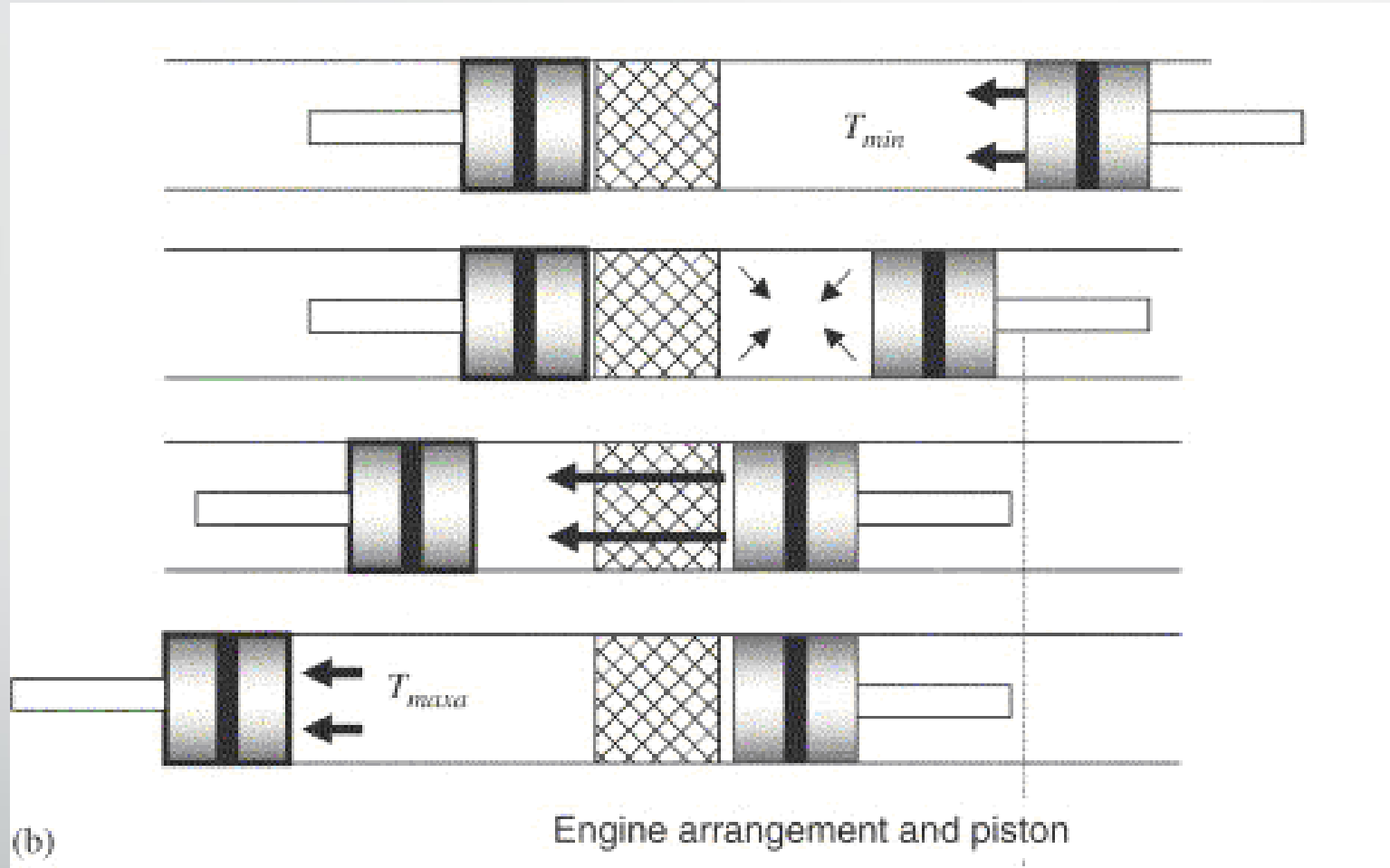
Stirling döngüsü



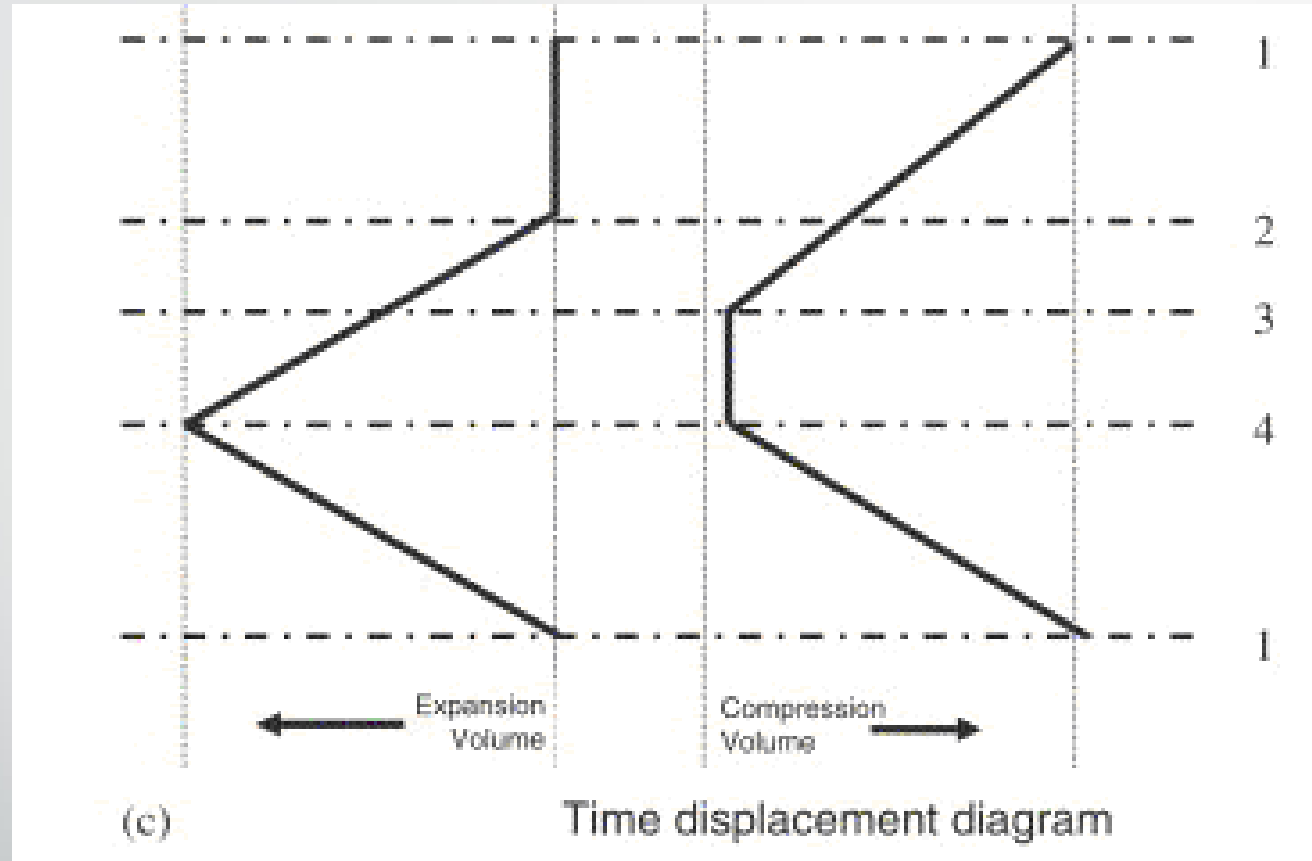
(a)

PV and TS diagram for Stirling engine

Stirling döngüsü



Stirling döngüsü



İdeal Stirling çevrimi aşağıdaki süreçlerden oluşur:

Isıtıcıya bağlanan silindir hacmi genleşme hacmi, soğutucuya bağlanan ise sıkıştırma hacmidir. Isıtıcı ve soğutucu arasındaki rejeneratör, alternatif olarak ısıyı emer ve serbest bırakır. Silindir hacimleri ($T_{\max}$ - $T_{\min}$) arasındaki sıcaklık farkı korunur.

Stirling motorlu bir kojenerasyon sisteminin kavramsal diyagramı

Stirling motoru bir elektrik jeneratörünü çalıştırır ve ısı kaynağından çıkan atık ısı suyu ısıtmak için kullanılır. Kojenerasyon sisteminin yüksek elektriksel verimini elde etmek için, ısıtma kaynağının sıcaklığı mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Bu, ısıtıcıdan çıkan ısı içeren yanma gazlarını kullanarak yanma havasının ön ısıtmasıyla elde edilir. Yanma havası sıcaklığı genellikle $(500-600)^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar yükselir.

Sistem termal verimliliği

Sistemin ısı verimini artırmak için, motor soğutma suyu (soğutucu) bir ekonomizerde (ısı eşanjörü) atık ısıyı geri kazanmak için kullanılır. Stirling motorları genellikle yatay olarak yanma odasının aşağısına kurulur. Hava ön ısıtıcısı ve ekonomizer, daha kompakt bir yapı elde etmek için yanma odasının üzerine yerleştirilmiştir.

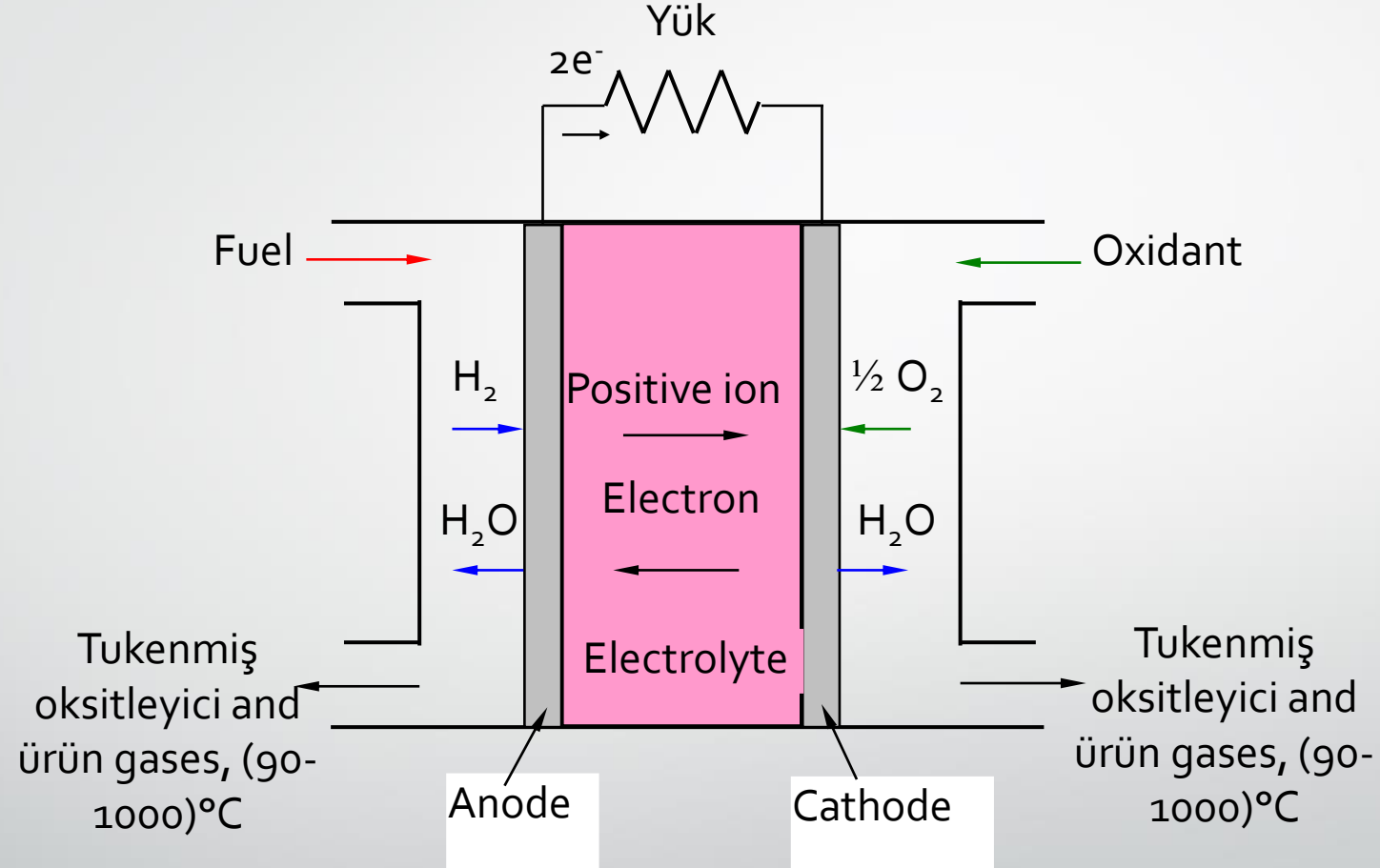
Stirling motorları başlangıçta 3kW ila 100kW aralığında güce sahip araba motorları olarak geliştirilmiştir. Artık motorlar, özellikle mikro kojenerasyon sistemleri için 1,5 MW'a kadar güce sahip kojenerasyon sistemleri için üretiliyor. Elektrik verimliliği %50'ye kadardır, genel verimlilik %65-85 aralığındadır ve güç/ısı oranı 1.2-1.7'dir.

Yakıt hücresi kojenerasyon sistemleri

Yakıt hücreleri 0,1kW ila 50MW aralığında güç üretebilir. Bir yakıt hücresi, bir yakıtın ve bir oksitleyicinin kimyasal enerjisini, esasen değişmez bir elektrot-elektrolit sistemi içeren bir işlemle sürekli olarak elektrik enerjisine dönüştürebilen bir elektrokimyasal hücredir.

Basitleştirilmiş bir yakıt hücresinin yapısı, bir katalizör ile kaplanmış iki gaz geçirgen elektrot ile temas halinde olan bir elektrolit tabakasından oluşur, bir sonraki slaytta gösterilmektedir. Elektrotlar, bir elektrik devresini tamamlayan bir cihaza bağlanır. Hidrojen yakıtı sürekli olarak bir elektrotta beslenir ve oksitleyici (havadan gelen oksijen) sürekli olarak karşı elektrotta beslenir. Hidrojen yakıtı, elektronlarını elektrotta kaybederek hidrojen protonlarına oksitlenir ve bu şekilde anot olur. Elektrolit membran sadece pozitif iyonların anottan katoda akmasına izin verir. Bu nedenle elektronlar harici elektrik devresi vasıtasıyla katoda hareket eder ve elektrik akımı akmaya başlar. Elektronlar, su oluşturan ve ısı üreten katotta oksidan ve hidrojen protonları ile reaksiyona girer.

Yakıt hücresi çalışma şeması



Elektrotlarda yer alan kimyasal reaksiyonlar

- anode reaction: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$
- cathode reaction: $\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$
- overall reaction: $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$

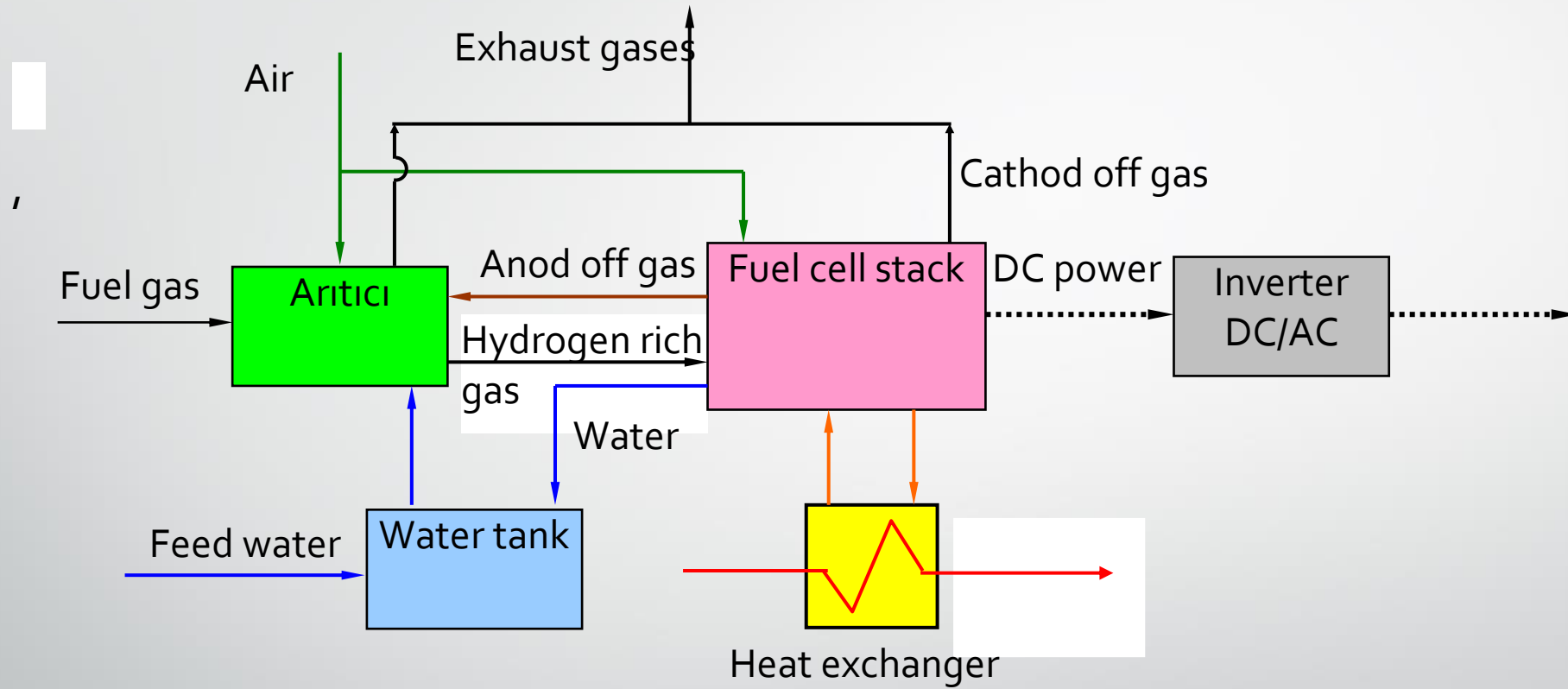
Bir yakıt hücresinin verimliliği

Bir yakıt hücresinin verimi, üretilen elektrik enerjisi ile yakıtın kimyasal enerjisinin oranı olarak yaklaşık %35-55'tir. Çalışma sıcaklığı, ortam sıcaklığı ile 1000°C aralığındadır. Üretilen ısıyı kullanarak, bir yakıt hücresinin toplam verimliliği, tüm dönüşüm sistemleri arasında en yüksek verime (75-90) kadar ulaşır.

Yakıt hücrelerinin başlıca avantajları şunlardır: yüksek verim; boyut esnekliği (herhangi bir uygulama için uygun voltajı sağlamak üzere tek hücreler istiflenebilir); hareketli parçaların olmaması nedeniyle yüksek güvenilirlik; Düşük kirletici misyonlar.

Yakıt hücrelerinin başlıca dezavantajları şunlardır: yüksek maliyet; üretilen güce göre büyük boyut ve ağırlık; büyük başlatma süresi; yakıt mevcudiyeti; bazı yakıt hücreleri pahalı katalizörler gerektirir; bazı yakıt hücreleri zehirlenmeye karşı hassastır; bazı yakıt hücreleri korozyona ve bozulmaya maruz kalır.

Yakıt hücresi kojenerasyon sistemi



Diğer alt sistemler ve bileşen

Yakıt hücresi voltajı çok düşük olduğu için (yaklaşık 1,2V), güç çıkışını artırmak için birçok hücreyi istiflemek gerekir.

Yığının yanı sıra, bir yakıt hücresi sistemi, aşağıdakiler gibi diğer alt sistemleri ve bileşenleri içerir:

yakıt hazırlama ünitesi. Saf yakıtlar (hidrojen) dışındaki yakıtlar kullanıldığında, yakıt hazırlama (katışıkların giderilmesi, termal koşullandırma) veya yakıt reformu gereklidir;

- hava beslemesi için hava kompresörü veya üfleyici;
- sıcaklık kontrol sistemi;
- su yönetim sistemi;
- elektrik güç koşullandırma sistemi.

Yakıt hücrelerinin sınıflandırılması

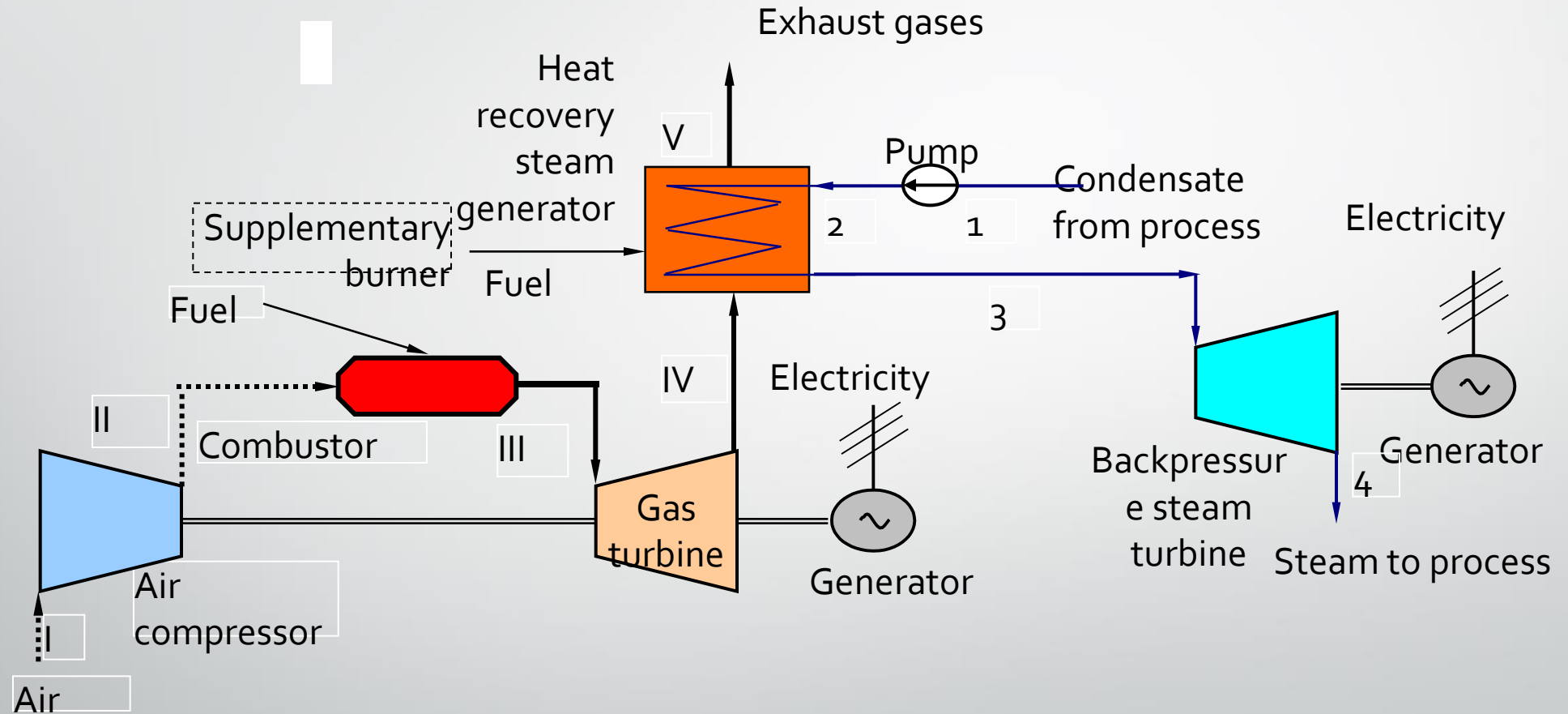
Yakıt pilleri elektrolit ve yakıt tipine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılır:

- proton değişim membranlı yakıt hücresi (PEMFC):
 - o doğrudan formik asit yakıt hücresi (DFAFC);
 - o doğrudan Etanol Yakıt Hücresi (DEFC).
- alkali yakıt hücresi (AFC):
 - o proton seramik yakıt hücresi (PCFC);
 - o doğrudan borhidrür yakıt hücresi (DBFC).
- fosforik asit yakıt hücresi (PAFC);
- erimiş karbonat yakıt hücresi (MCFC);
- katı oksit yakıt hücresi (SOFC);
- doğrudan metanol yakıt hücresi (DMFC).

Kombine çevrim kojenerasyon sistemleri

Bazı termodinamik çevrimler yüksek sıcaklık seviyeleri arasında, diğerleri ise orta sıcaklık seviyeleri arasında çalışır. Daha yüksek bir verim elde etmek için, yüksek sıcaklıktaki bir tepeleme çevrimi, orta veya düşük sıcaklıktaki bir dip çevrimi ile birleştirilir. Tepe çevriminden atılan ısı, mekanik/elektrik enerjisi üretmek için dip çevriminde geri kazanılır. En yaygın kombine çevrim sistemleri, kombine Brayton – Rankine çevrimi tabanlı sistemlerdir. Gaz türbini tesisi 300K ile 1700K arasında çalışır ve 800K'da ısıyı reddeder. Buhar türbini tesisi ise 300K ile 750K arasında çalışır ve 300K'da ısıyı reddeder. Çevrimlerin birleştirilmesiyle, tepeleme çevriminde atılan ısıнын büyük bir kısmı dip çevriminde kullanılır. Yüksek egzoz sıcaklığından oluşan gaz tepeleme çevriminin dezavantajı, buhar alt çevrim çevrimi için avantaj haline gelir. T-s diyagramında kombine çevrimin daha geniş bir alanı kapsadığını ve bunun daha yüksek bir verim sağladığını görebiliriz.

Brayton - Rankine kombine çevrim kojenerasyonu



Brayton - Rankine kombine çevrim kojenerasyon sisteminin genel verimliliği

$$\eta_{comb} = \frac{\dot{W}_{GT} + \dot{W}_{ST} + \dot{Q}_{ST}}{\dot{H}_{f,GT} + \dot{H}_{f,ST}}$$

.....: $\dot{W}_{GT}, \dot{W}_{ST}$

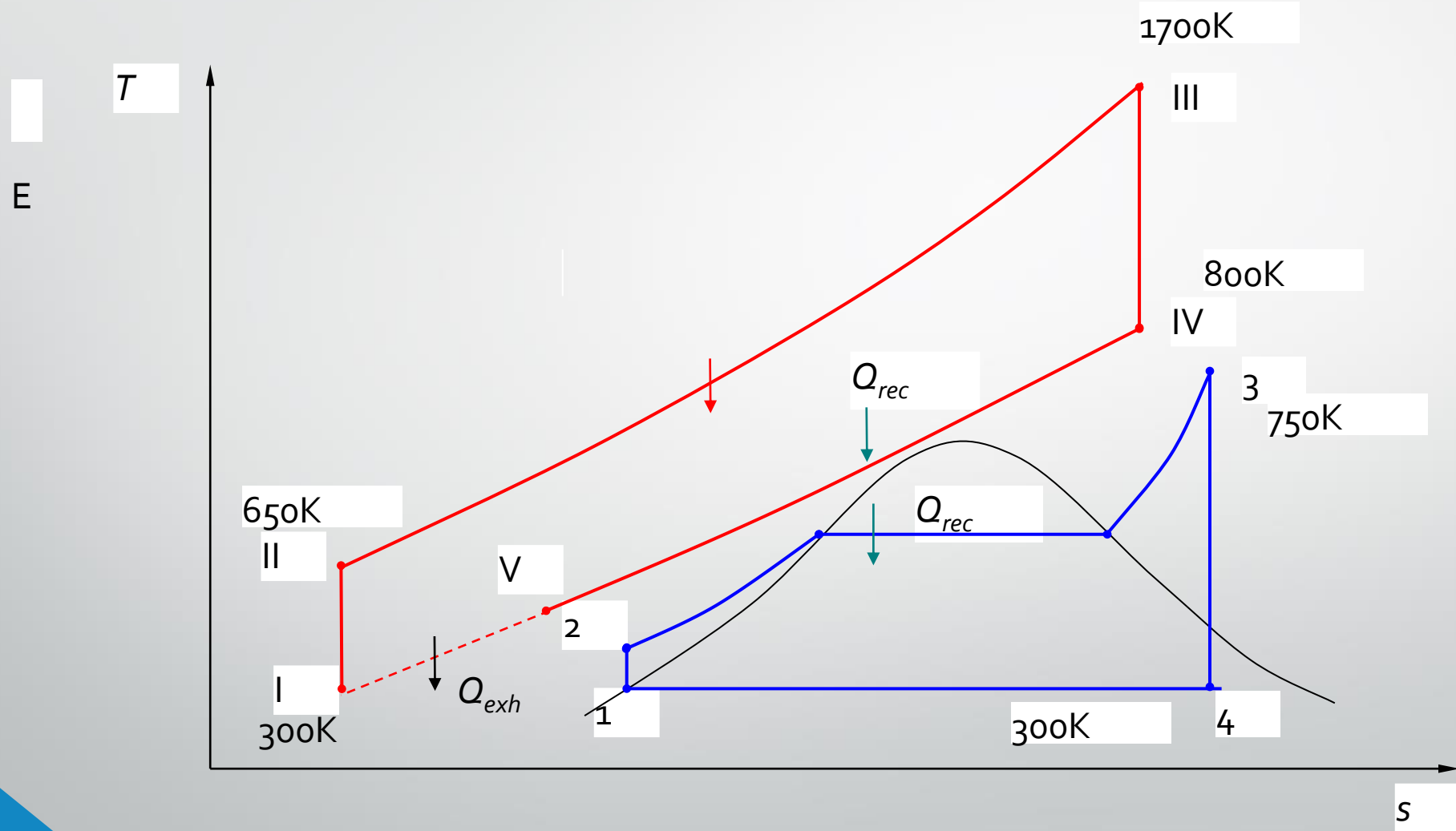
sırasıyla gaz türbini ve buhar türbini tarafından üretilen elektrik enerjisidir.;

$\dot{Q}_{ST}$ buhar sistemi tarafından üretilen ısı akışıdır;

$\dot{H}_{f,GT}, \dot{H}_{f,ST}$

gaz türbininde yakıtın yanması ve ısı geri kazanımı ile üretilen ısı akışıdır.
sırasıyla buhar jeneratörü.

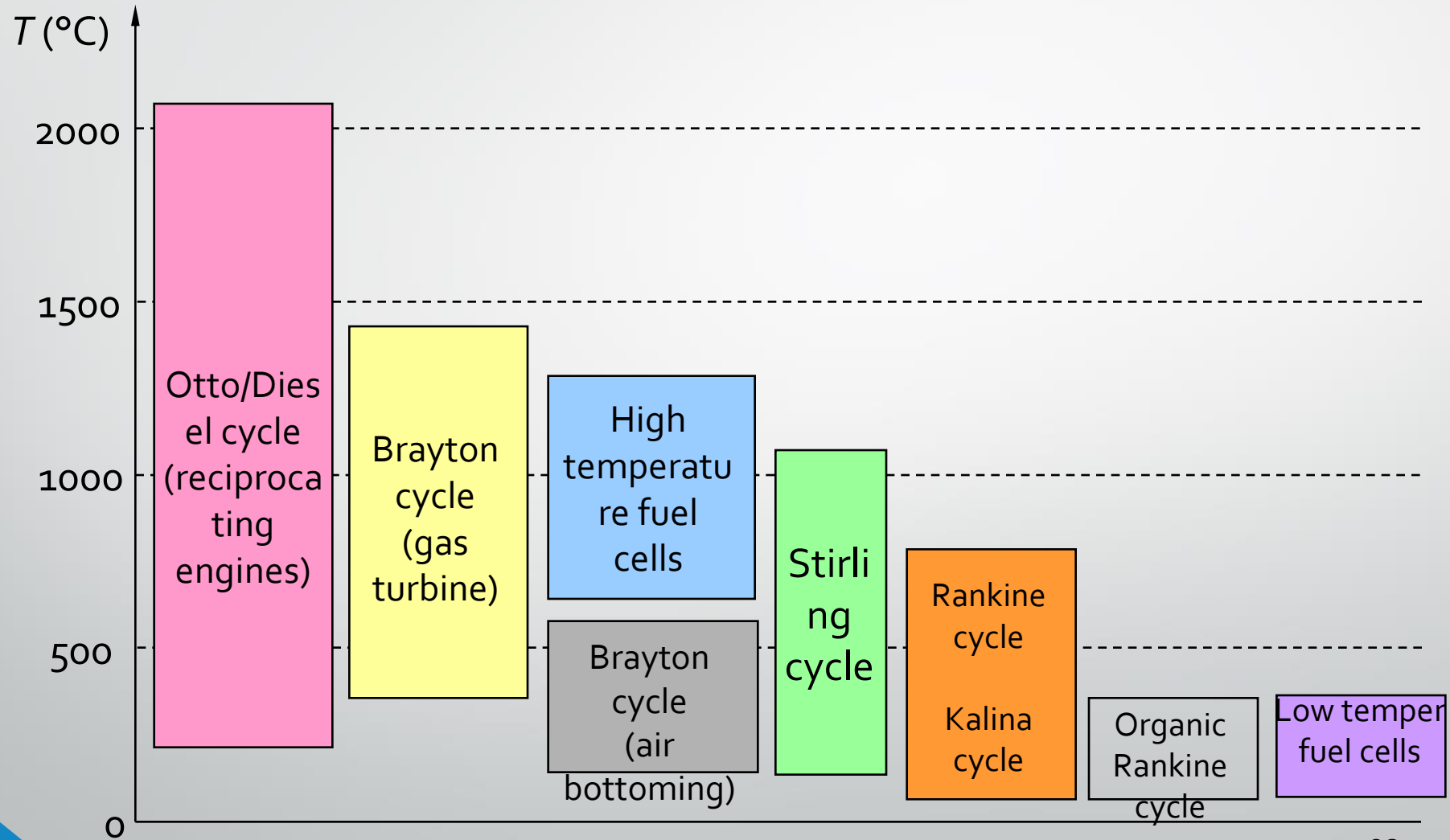
Kombine çevrimin T-s diyagramı (Rankine çevrimli Brayton çevrimi)



Kombine çevrim kojenerasyon sistemleri

Hangi çevrimlerin kombinasyona uygun olduğunu bulmak için çalışma sıcaklık aralığına göre sıralanmalıdır. Rankine ve Stirling çevrimleri, hem tepe hem de dip çevrimi için uygundur. Brayton, Otto ve Diesel çevrimleri ve ayrıca yüksek sıcaklıklı yakıt hücreleri, tepe çevrimi olarak daha iyi kullanılabilir. Kalina çevrimi (amonyak-su karışımı ile çalışan değiştirilmiş bir Rankine çevrimi), organik Rankine çevrimleri ve düşük sıcaklıklı yakıt hücreleri sadece dip çevrimleri olarak kullanılabilir..

Sıcaklık çalışma aralığına göre düzenlenmiş termodinamik çevrimler



Dağıtılmış enerji kaynakları

Son yıllarda, enerji arzında yeni bir teknik kavram ortaya çıktı, dağıtılmış/merkezi olmayan enerji kaynakları (DER). DER, kullanıcı tesislerinin içinde veya yakınında bulunan, elektrik ve termal enerjiyi aynı anda sağlayarak yerel kullanıcıları öncelikli olarak buluşturan bir elektrik üretim sistemi olarak tanımlanmaktadır. İki ana bölüme ayrılabilirler. İlk bölüm, pistonlu motorlar, gaz türbinleri, mikro türbinler, buhar türbinleri, Stirling motorları ve yakıt hücreleri gibi ana taşıyıcı teknolojileri kullanan endüstri ve binalardaki yüksek verimli kojenerasyon veya kombine soğutma ve ısıtma (CCHP) sistemlerini içerir. DER'in ikinci büyük alanı, fotovoltaik ve biyokütle sistemleri, yerinde rüzgar ve su türbini jeneratörleri ve ayrıca gaz basıncı düşürme, endüstriyel proseslerden egzoz ısı ve diğer düşük güçle çalışan sistemler dahil olmak üzere enerji geri dönüşüm teknolojilerine sahip yerinde yenilenebilir enerji sistemleridir. çeşitli işlemlerden kaynaklanan yanıcı enerji içeriği. Kombine soğutma, ısıtma ve güç (CCHP) sistemleri, kojenerasyon (birleşik ısıtma ve güç-CHP) sistemlerinden türetilir..

High-efficiency cogeneration or combined cooling and heating

In a CCHP system the thermal or electrical/mechanical energy is further utilized to provide space or process cooling. The CCHP systems are known also as trigeneration systems and as building cooling heating and power (BCHP) systems. One can say that a cogeneration system is a CCHP system without any thermally activated equipment for generating cooling power. Thermally activated equipment is the equipment that uses waste heat instead of electricity to provide air conditioning and/or dehumidification loads such as absorption chiller, adsorption chiller and desiccant dehumidifiers.

The CCHP systems are classified into two categories:

- traditional large-scale CCHP systems;
- relatively small capacity distributed CCHP units with advanced prime mover and thermally activated equipment to meet multiple energy demands in commercial, institutional, residential and small industrial sectors.

Yüksek verimli kojenerasyon veya kombine soğutma ve ısıtma sistemleri

Bir CCHP sisteminde termal veya elektrik/mekanik enerji ayrıca alan veya proses soğutması sağlamak için kullanılır. CCHP sistemleri, trijenerasyon sistemleri ve bina soğutma ısıtma ve güç (BCHP) sistemleri olarak da bilinir. Bir kojenerasyon sisteminin, soğutma gücü üretmek için termal olarak aktive edilmiş herhangi bir ekipmanı olmayan bir CCHP sistemi olduğu söylenebilir. Termal olarak aktif hale getirilen ekipman, absorpsiyonlu soğutma grubu, adsorpsiyonlu soğutma grubu ve kurutucu nem alıcılar gibi klima ve/veya nem alma yüklerini sağlamak için elektrik yerine atık ısı kullanan ekipmandır.

CCHP sistemleri iki kategoriye ayrılır:

- geleneksel büyük ölçekli CCHP sistemleri;
- ticari, kurumsal, konut ve küçük sanayi sektörlerinde birden fazla enerji talebini karşılamak için gelişmiş ana hareket ettirici ve termal olarak etkinleştirilen ekipmana sahip nispeten küçük kapasiteli dağıtılmış CCHP üniteleri

Dağıtılmış kojenerasyon veya kombine soğutma ve ısıtma sistemleri

Dağıtılmış CCHP sistemleri kapasitelerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılır:

- mikro sistemler (20 kW altı kapasite);
- mini sistemler (500kW'ın altındaki kapasite);
- küçük ölçekli sistemler (1 MW'ın altında kapasite);
- orta ölçekli sistemler (1'den 10 MW'a kadar kapasite);
- büyük ölçekli sistemler (10MW'ın üzerinde kapasite).

Tipik bir CCHP sistemi, ana hareket ettirici, elektrik jeneratörü, ısı geri kazanım sistemi ve termal olarak etkinleştirilen ekipmanı içerir. Motordan çıkan atık ısı, kullanım suyunu ısıtmak, kış aylarında ısıtma gücü üretmek ve yaz aylarında adsorpsiyonlu soğutucuyu (soğutma gücü için) çalıştırmak için kullanılır.

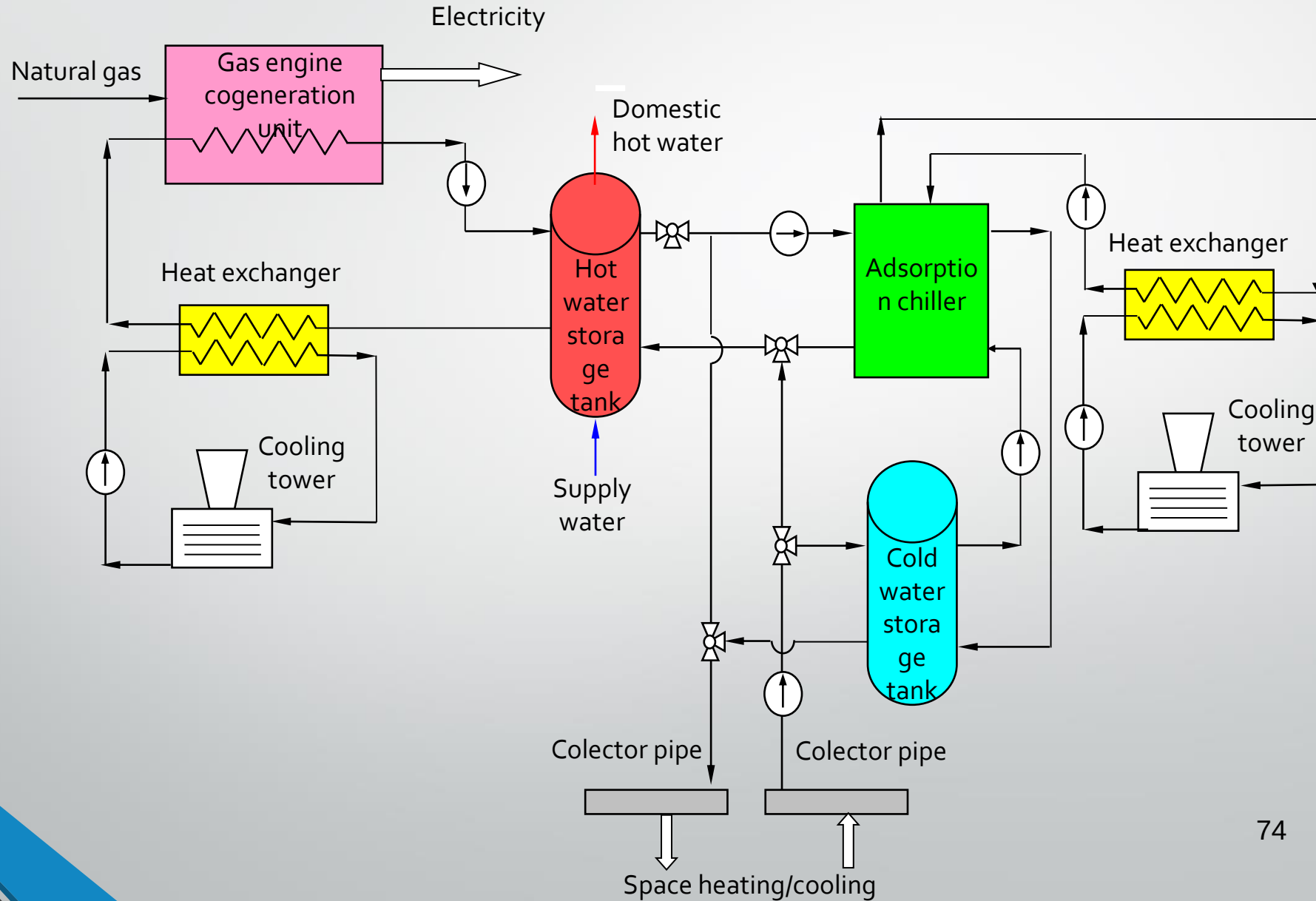
Dağıtılmış kojenerasyon veya kombine soğutma ve ısıtma sistemlerinin başlıca avantajları

Dağıtılmış CCHP sistemlerinin başlıca avantajları şunlardır: yüksek yakıt enerjisi kullanımı; düşük emisyon; enerji tedarik ağının artan güvenilirliği.

Farklı talepleri ve sınırlamaları karşılamak için seçilen ana hareket ettirici, buhar türbinleri, pistonlu içten yanmalı motorlar, yanmalı türbinler, mikro türbinler, Stirling motorları ve yakıt hücreleri olabilir. Termal olarak etkinleştirilen sistemler, absorpsiyonlu soğutma gruplarını, adsorpsiyonlu soğutma gruplarını ve kurutucu nem alıcıları içerir.

Aşağıdaki diyagram, belirli bir uygulama (elektrik gücü talebi) için kojenerasyon sisteminin seçilmesinde yararlıdır.

Mikro kombine soğutma, ısıtma ve güç sisteminin şematik diyagramı



Ana kojenerasyon sistemlerinin dağıtımı

