



**Bu bir MMO  
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

## **JEOTERMAL ORGANİK RADYAL DIŞ AKIŞ TÜRBİNİ (THE GEOTHERMAL ORGANIC RADIAL OUTFLOW TURBINE)**

**CLAUDIO SPADACINI  
LUCA XODO  
MATTEO QUAIA  
ANTHONY HINDE  
EXERGY**





# JEOTERMAL ORGANİK RADYAL DIŞ AKIŞ TÜRBİNİ

**Claudio SPADACINI**  
**Luca XODO**  
**Matteo QUAIA**

## ÖZET

Son yıllarda Exergy tarafından jeotermal enerji kullanımı için yeni bir türbin teknolojisi geliştirildi, düzenlendi, üretildi ve test edildi: organik radyal dış akış türbini.

Radyal dış akış türbin teknolojisinin, jeotermal organik ikincil akışkanlı enerji santrallerinin tipik süreç koşullarına en iyi şekilde uyum sağlamak gibi, bu inovatif konfigürasyonu pek çok jeotermal uygulama için avantajlı kılan çok sayıda benzersiz özelliği var.

Bu makalenin amacı, organik radyal dış akış türbininin bir jeotermal alana, ENEL Green Power'a ait Bagnore enerji santraline, yapılan ilk kurulumunda karşılaşılan üretkenliği ortaya koymak ve analiz etmektir.

**Anahtar Kelimeler:** Organik radyal dış akış türbini, Binary (ikili) güç santrali, Bagnore jeotermal enerji santrali

## ABSTRACT

In the last years a new turbine technology for geothermal energy exploitation has been developed, engineered, manufactured and tested by Exergy: the organic radial outflow turbine.

The radial outflow turbine technology has several unique characteristics which qualify this innovative configuration as advantageous for many geothermal applications, as it ideally matches the process conditions typical for geothermal organic binary power plants.

The purpose of the present article is to introduce and analyze the performances encountered in the first installation of the organic radial outflow turbine in a geothermal field, the Bagnore power plant of ENEL Green Power.

**Key Words:** Organic radial outflow turbine, binary power plant, Bagnore power plant.

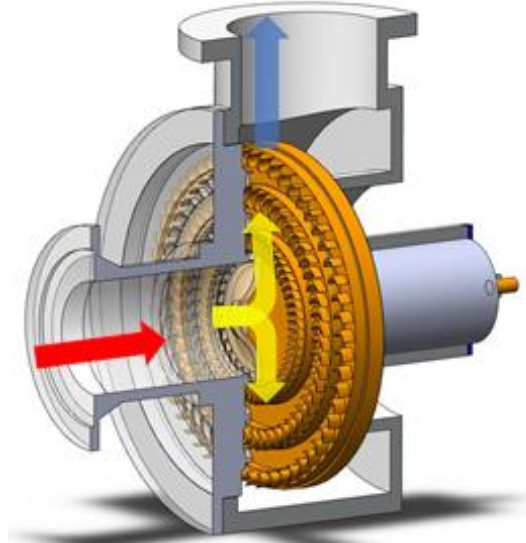
## 1. GİRİŞ

İkincil akışkanlı jeotermal enerji santralleri için sarkık konfigürasyonlu aksiyal türbinlerin geleneksel olarak tercih edilen tasarım olduğu yazılı kanıtlarla belgelenmiştir. Aslında, sektörde radyal içe akış türbini gibi farklı konfigürasyonda çözümler sunulmuş olmasına karşın, 50 yıldan uzun süredir geliştirilmekte olan ve günümüzde en yaygın türbin teknolojisini temsil eden dış akış aksiyal düzeni jeotermal alanda referans alınan konfigürasyondur [1].

Son zamanlarda jeotermal ikincil akışkan enerji santrallerindeki organik buharı yaymak için uygun türbin teknolojisi olarak farklı bir çözüm tekrar ele alınmaktadır: radyal dış akış türbini.

Bu teknoloji 20nci yüzyıl başlarında Ljungstrom (*counterrotating* - ters dönüş) ve Parsons tarafından buharı yaymak için geliştirilmiştir [2].

Radyal dış akış türbininde çalışan sıvı buharının yayılımı Şekil 1’de gösterilmektedir: sıvı türbin diskinde aksiyal olarak merkezden girer ve tek diske monte edilmiş bir dizi düzenek yoluyla çevreye doğru (radyal olarak) yayılır. Son rotorun tahliyesinde akıntı radyal bir difüzörün içinden geçer ve sonra tahliye volütü vasıtasıyla ısı eşanjörüne ve/veya sistemin yoğuşma bölümüne iletilir.



Şekil 1. Radyal dış akış türbininin 3D kesiti.

## 2. BAGNORE ORGANİK RADYAL DIŞ AKIŞ TÜRBİNİ

Bagnore enerji santrali, jeotermal alana kurulan ilk organik radyal dış akış türbinidir ve 2013 yılı başından beri işletilmektedir [1].

İtalya’da daha önce test edilmiş olan başka deneysel ORC üniteleri olmasına rağmen, Bagnore radyal dış akış türbini İtalya’da çalışan ilk ticari jeotermal organik türbin olmuştur.

Türbin Green Power’a teslim edilmiş ve Monte Amiata, Toskana (İtalya)’daki Bagnore jeotermal alanına yerleştirilmiştir.

Bagnore alanı, yüksek sıcaklık ve basınçla suyun baskın olduğu tipik bir alan olan, Monte Amiata jeotermal rezervine aittir [3]. Bu alandan geçmişte Bagnore 1 ve Bagnore 2 ünitelerindeki toplam 40 MW’lık buhar türbinleriyle jeotermal sıvıyı gönderip buharı yaymak ve tuzlu suyu bölgenin ısıtması için kullanmak suretiyle faydalanılmıştır.

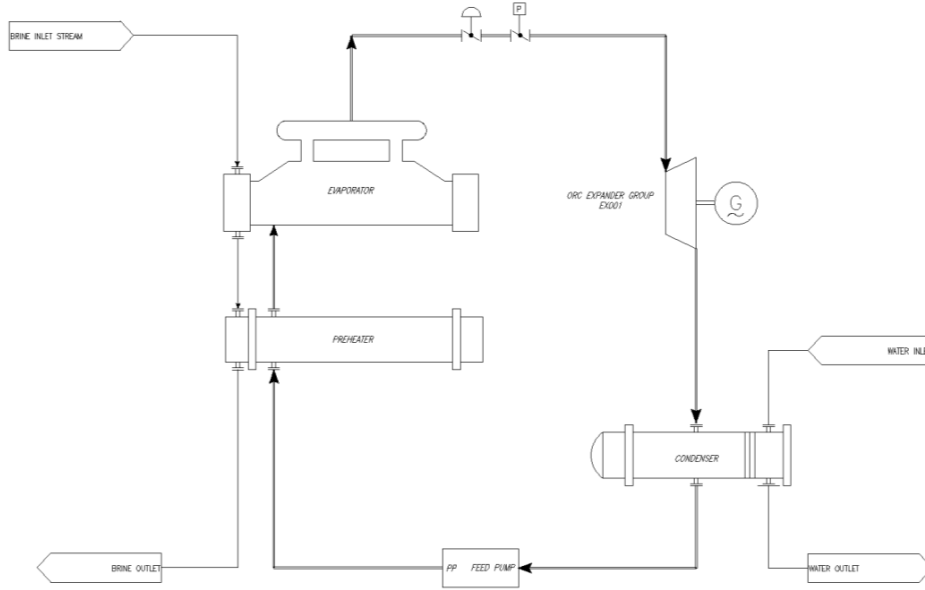
Kaynağın yaşam döngüsü üzerindeki varyasyonlarından faydalanabilmek için yeterli esnekliğe sahip bir teknolojiyi uygulamaya almak amacıyla ikili teknolojinin tercih edilen çözüm, radyal dış akış türbininin de en verimli ve maliyet etkin türbin olduğu düşünülmüştür.

ORC ikili ünitesi buhar türbinlerine paralel olarak yerleştirilmiştir ve 150 °C’de buhar kullanmaktadır.

Buhardan sağlanan termal enerjiyi en üst seviyeye çıkarmak ve böylelikle ısı değişiminden kaynaklanan tersinmezliği en düşük seviyeye indirmek için Pentane ile tek basınç seviyeli çevrim, çalışma çevrimi ve sıvı arasındaki en uygun kombinasyon olarak seçilmiştir.

Bundan başka, ünitenin soğutma suyu sistemi su soğutmalıdır ve organik sıvının yayılımından sonraki enerji geri kazanımı az olduğundan ısı eşanjörü monte edilmemiştir.

Bagnore ikili enerji santralinin akış diyagramı Şekil 2’te gösterilmektedir.



Şekil 2. Bagnore ikili enerji santrali akış diyagramı.

Ana bileşenlerinin vurgulandığı Bagnore jeotermal enerji santrali, Şekil 3’te gösterilmektedir.



Şekil 3. Bagnore Binary (ikili) enerji santrali.

Yukarıdaki çalışma koşullarında aksiyal türbiniyle radyal dış akış türbininin beklenen tasarım verimliliği arasında bir kıyaslama yapılmıştır.

Optimizasyon çalışmasını için türbin tasarımını etkileyen temel termodinamik parametreler, Tablo 1’de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Bagnore ORC ikili enerji santrali için türbin tasarımını etkileyen temel parametreler.

Parametre	Birim	Değer
Giriş buhar kalitesi	-	1
Kütleli debi	[kg/s]	18.6
Giriş sıcaklığı	[°C]	115.6
Giriş basıncı	[bara]	8
Çıkış statik basınç	[bara]	1.1
İzentropik entalpi yükü	[kJ/kg]	75.4
Hacimsel genişleme oranı	-	7.7
Basınç genişleme oranı	-	7.27

Tablo 1’in girdileri esas alınarak, optimize edilmiş aksiyal ve radyal dış akış türbinlerinin temel mekanik parametreleri Tablo 2’de sunulmuştur.

**Tablo 2.** Optimize edilmiş aksiyal ve radial dış akış türbinlerinin temel mekanik parametreleri.

Parametre	Birim	Aksiyal türbin	Radyal dış akış türbini
Dönüş hızı	[rpm]	3000	3000
Kademe sayısı	-	2	4
Şaft uzunluğu	[mm]	940	800
Disk çapı	[mm]	886-910	740
Kanat yüksekliği	[mm]	En az 13; en fazla 44	En az 36; en fazla 54

Türbinlerin hangi verimlilik değerinin üzerinde olduğu Tablo 3’te gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Bagnore ikili enerji santralinin optimize edilmiş aksiyal ve radyal dış akış türbinlerinin beklenen tasarım türbin verimliliği.

Parametre	Birim	Aksiyal türbin	Radyal dış akış türbini
Beklenen tasarım türbin verimliliği	-	80%	84.50%
			[4]
			[5]

Türbinlerin hesaplanan beklenen verimliliği radyal dış akış türbini için daha yüksektir ki bu da Bagnore sahası için kusursuz uygunluk sağlamaktadır. Bagnore türbini Şekil 4’de sunulmuştur.



**Şekil 4.** Bagnore radyal dış akış türbininin rotor disk.

### 3. SONUÇLAR

Bu çalışma jeotermal enerjiden faydalanmak için yeni bir türbin teknolojisi sunmaktadır: Exergy organik radyal dış akış türbini.

Sarkık radyal dış akış türbininin mekanik ve sıvı dinamik avantajları, organik radyal dış akış türbininin ilk kurulduğu jeotermal alan olan ENEL Green'in Bagnore enerji santrali için gösterilmiştir. Beklenen tasarım verimliliği referans ikili türbin için hesaplanan değerden önemli ölçüde (+4.5%) daha yüksek modellenmiş ve hesaplanmıştır.

Yukarıda belirtilenlere dayanarak aşağıdaki sonuçlara varılabilir:

1. EXERGY radyal dış akış türbini geleneksel organik türbinlerle kıyaslandığında daha yüksek verimliliğe sahiptir;
2. EXERGY radyal dış akış türbininin ISO Standart değerleriyle kıyaslandığında çok düşük vibrasyona sahip olduğu görülmüştür.

### KAYNAKLAR

- [1] Di Pippo, R.: Geothermal power plants: principles, applications and case studies, Elsevier, 2005.
- [2] Dixon, S.L.: Fluid mechanics and thermodynamics of machinery, Butterworth-Heinemann, 1998.
- [3] Bertini G., Cappetti G., Dini I., Lovari F. : Deep drilling results and updating of geothermal knowledge on the Monte Amiata, 1995
- [4] Frassinetti, M., Rizzi, D., Serafino, A., Centemeri, L., Spadacini, C.: Operational results of the world's first orc radial outflow turbine, and its future development, ASME ORC 2013, Proceedings, 2nd International Seminar on ORC Power Systems, Rotterdam, The Netherlands, 7/8 October 2013.
- [5] Spadacini, C., Centemeri, L., Xodo, L.G., Astolfi, M., Romano, M.C., Macchi, E.: A new configuration for organic Rankine cycle power systems, Proceedings, 1st International Seminar on ORC Power Systems, TU Delft, The Netherlands, 22/23 September 2011.







# THE GEOTHERMAL ORGANIC RADIAL OUTFLOW TURBINE

**Claudio SPADACINI**  
**Luca XODO**  
**Matteo QUAIA**

## ABSTRACT

In the last years a new turbine technology for geothermal energy exploitation has been developed, engineered, manufactured and tested by Exergy : the organic radial outflow turbine.

The radial outflow turbine technology has several unique characteristics which qualify this innovative configuration as advantageous for many geothermal applications, as it ideally matches the process conditions typical for geothermal organic binary power plants.

The purpose of the present article is to introduce and analyze the performances encountered in the first installation of the organic radial outflow turbine in a geothermal field, the Bagnore power plant of ENEL Green Power.

**Key Words:** Organic radial outflow turbine, binary power plant, Bagnore power plant.

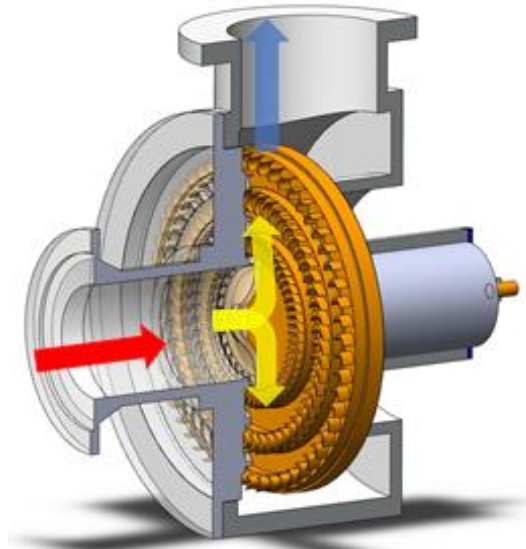
## 1. INTRODUCTION

It is well documented that for binary geothermal power plants axial turbines with an overhung configuration have traditionally been the selected design. In fact, despite other configurations having been proposed in the market, such as the radial inflow turbine, the overhung axial arrangement is the reference configuration in the geothermal field, having been developed since more than 50 years and representing nowadays the most common turbine technology [1].

Recently a different solution has been reconsidered as a suitable turbine technology for expanding organic vapor in geothermal binary power plants: the radial outflow turbine.

This technology has been developed in the early 20<sup>th</sup> century by Ljungstrom (counterrotating) and Parsons to expand steam [2].

The expansion of a working fluid vapor in a radial outflow turbine is shown in Fig. 1: the fluid enters the turbine disk axially in its center and expands radially through a series of stages mounted on the single disk. At the discharge of the last rotor the flow goes through a radial diffuser and is then conveyed to the recuperator and/or condensation section of the system, through the discharge volute.



**Figure 1.** 3D cross section of the radial outflow turbine.

## 2. THE BAGNORE ORGANIC RADIAL OUTFLOW TURBINE

The Bagnore power plant represents the first installation of the organic radial outflow turbine in the geothermal field and it has been operational since early 2013 [1].

Despite other experimental ORC units tested in Italy previously, the Bagnore radial outflow turbine represents the first commercial geothermal organic turbine operating in Italy.

The turbine was delivered to ENEL Green Power and installed in the Bagnore geothermal site at Monte Amiata, Tuscany (Italy).

The Bagnore field belongs to the Monte Amiata geothermal reservoir, which is a typically water dominated field with high temperature and pressure [3]. These field was already exploited in the past, by flashing the geothermal fluid and expanding the steam in steam turbines in the units Bagnore 1 and Bagnore 2 of a total power of 40 MW and delivering the brine to the district heating.

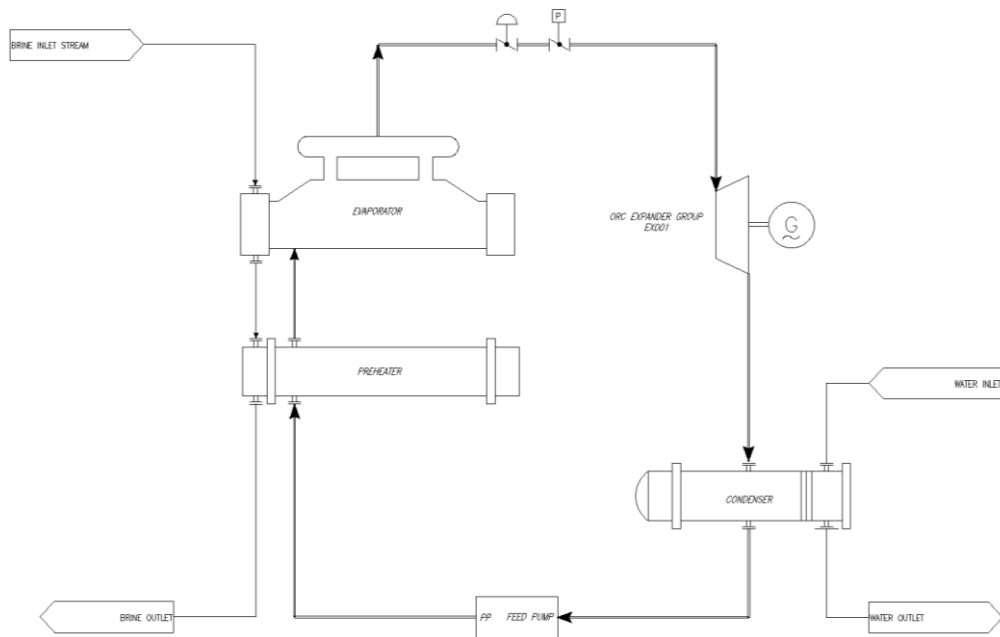
To implement a technology flexible enough to accommodate the variations in the resource over the lifecycle, binary technology has been considered to be the preferred solution and the radial outflow turbine the most efficient and cost effective turbine.

The ORC binary unit has been installed in parallel to the steam turbines and is exploiting steam at 150 °C.

In order to maximize the thermal energy recover from the steam, thus to minimize the irreversibility associated to the heat exchange, a single pressure level cycle with Pentane has been selected as the most appropriate combination between working cycle and fluid.

Furthermore the unit condensing system is water cooled and no recuperator installed due to the low amount of energy recoverable after the expansion of the organic fluid.

The process flow diagram of the Bagnore binary power plant is shown in Figure 2.



**Figure 2.** Process flow diagram of the Bagnore binary power plant.

The Bagnore plant is shown in Figure 3, where the principal components are highlighted.



**Figure 3.** Bagnore binary power plant.

Working in the above conditions, a comparison between the expected design efficiency of an axial turbine and a radial outflow turbine has been performed.

The main thermodynamic parameters, affecting the turbine design, for the optimized working cycle are presented in Table 1.

**Table 1.** Principal parameters affecting the turbine design for the Bagnore ORC binary power plant.

Parameter	Unit of measure	Value
Inlet vapor quality	-	1
Mass flow	[kg/s]	18.6
Inlet temperature	[°C]	115.6
Inlet pressure	[bara]	8
Discharge static pressure	[bara]	1.1
Isoentropic enthalpy head	[kJ/kg]	75.4
Volumetric expansion ratio	-	7.7
Pressure expansion ratio	-	7.27

Based on the inputs of Table 1, the main mechanical parameters of the optimized axial and a radial outflow turbines, with an overhung configuration, are presented in Table 2.

**Table 2.** Main mechanical parameters of the optimized axial and radial outflow turbines.

Parameter	Unit of measure	Axial turbine	Radial outflow turbine
Rotational speed	[rpm]	3000	3000
Number of stages	-	2	4
Shaft length	[mm]	940	800
Disks diameter	[mm]	886-910	740
Blade height	[mm]	min 13; max 44	min 36; max 54

For what above the efficiency of the turbines are as shown in Table 3.

**Table 3.** Expected design turbine efficiency of the optimized axial and radial outflow turbines for the Bagnore binary power plant.

Parameter	Unit of measure	Axial turbine	Radial outflow turbine
Expected design turbine efficiency	-	80%	84.50%
			[4]
			[5]

The expected efficiency of the turbines is calculated to be higher for the radial outflow turbine, which is thus perfectly suited for the Bagnore site. The Bagnore turbine is presented in Figure 4.



**Figure 4.** Rotor disk of the Bagnore radial outflow turbine.

### 3. CONCLUSIONS

This paper has presented a new turbine technology for geothermal energy exploitation: the Exergy organic radial outflow turbine.

The mechanical and fluid dynamics advantages of the overhung radial outflow turbine has been demonstrated in the first installations of the organic radial outflow turbine in a geothermal field, the Bagnore power plant of ENEL Green, where the expected design efficiency has been modeled and calculated to be significantly higher (+4.5%) than the reference binary turbine.

For all the above, the following can be concluded:

1. The EXERGY radial outflow turbine has an higher efficiency compared to traditional organic turbines;
2. The EXERGY radial outflow turbine has been demonstrated to have very low vibrations compared with the ISO Standard values;

### REFERENCES

- [1] Di Pippo, R.: Geothermal power plants: principles, applications and case studies, Elsevier, 2005.
- [2] Dixon, S.L.: Fluid mechanics and thermodynamics of machinery, Butterworth-Heinemann, 1998.
- [3] Bertini G., Cappetti G., Dini I., Lovari F. : Deep drilling results and updating of geothermal knowledge on the Monte Amiata, 1995
- [4] Frassinetti, M., Rizzi, D., Serafino, A., Centemeri, L., Spadacini, C.: Operational results of the world's first orc radial outflow turbine, and its future development, ASME ORC 2013, Proceedings, 2nd International Seminar on ORC Power Systems, Rotterdam, The Netherlands, 7/8 October 2013.
- [5] Spadacini, C., Centemeri, L., Xodo, L.G., Astolfi, M., Romano, M.C., Macchi, E.: A new configuration for organic Rankine cycle power systems, Proceedings, 1st International Seminar on ORC Power Systems, TU Delft, The Netherlands, 22/23 September 2011.

