



**Bu bir MMO
yayıdır**

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

COVE FORT BINARY (İKİLİ) GÜÇ SANTRALİ (COVE FORT BINARY POWER PLANT)

**ARIEL SACERDOTI
ORMAT**

COVE FORT BINARY (İKİLİ) GÜÇ SANTRALİ

Ariel SACERDOTI

ÖZET

Enel Green Power, Cove Fort jeotermik projesinin haklarını 2007’de edindi. Proje, geçmişte hem kullanıma hazır buhar santralini hem Organik Rankine Çevrimi (ORC) ekipmanını içermiş olsa da buhar kaynağı, zaman içinde azaldı. Enel Green Power, kapsamlı şekilde çalışarak kuyu sahasını sıvı ağırlıklı sürdürülebilir jeotermik kaynağa çevirmeyi başardı. Buna ek olarak değişim halindeki elektrik pazarının zorlukları ve ITC nakit ödeneğinin yakında sona erecek olması, projenin ekonomik açıdan cazip olmasının önüne eşi olmayan birtakım engeller getirdi. Bu engeller, Ormat Technologies ile ortak çalışarak aşıldığı gibi güç santrali tasarımının ve proje yürütümünün disiplin içinde koordine edilmesiyle projenin kendisinden beklenen performansı, teslim tarihlerini ve bütçeyi karşılaması sağlandı. Cove Fort jeotermik güç santrali, bugün beklentilerin üzerinde çalışıyor olup jeotermik gücün hem günümüz için hem gelecek için sürdürülebilir ve etkili çözüm olduğunu bir kez daha kanıtlamış bulunuyor.

Anahtar Kelimeler: Güç santrali; ikili; özel imalat mühendisliği; Organik Rankine Çevrimi (ORC)

ABSTRACT

Enel Green Power acquired the rights to the Cove Fort geothermal project in 2007. In the past, the project contained both an operational flash power plant and Organic Rankine Cycle (ORC) equipment, however, over time, the steam resource diminished. Through extensive work, Enel Green Power was able to convert the well field into a sustainable, liquid dominated geothermal resource. Additionally, the challenges of a changing power market and the approaching termination of the ITC cash grant provided a unique set of hurdles for the project to be economically attractive. These hurdles were overcome through a collaboration with Ormat Technologies; coordinating a disciplined power plant design and project execution which resulted in the project meeting its expected performance, deadlines and budget. Today, the Cove Fort geothermal power plant is operating above expectations and has proven, once again, that geothermal power is a sustainable and effective solution for today, and the future.

Key Words: Power plant; binary; custom engineering; ORC.

1. GİRİŞ

Enel Green Power, yeni bu projeyi geliştirmek için Organik Rankine Çevrimi (ORC) bazlı enerji üretiminin tüm alanlarında on yıllara dayanan pratik deneyimini göz önüne alarak Ormat’ı seçti. Bu ORC üniteleri, alçak, orta ve yüksek sıcaklık ısısını elektrik enerjisine çevirerek belli bir kaynak türüne uyarlaştırılabilen esnek, modüler çözümler sunar. Buna ek olarak güç santralının tamamı için tam optimizasyon analizi sunabilme yeteneği, kapsamlı çözüm sağlamak ile yalnızca enerji çevirme ürünü sağlamak arasındaki farkı yaratır. İki kuruluş arasındaki ortak çalışma, santralin yatırım sahibine sağladığı getirinin maksimuma çıkarılmasına olanak verdi.

2. COVE FORT TARİHÇESİ

Cove Fort Sulphurdale (CFS) jeotermik kaynak alanı, orta güney Utah'ta Millard ve Beaver illerini kapsar. Bu alanda jeotermal enerji üretme potansiyeli bulunduğu jeolojik etütlerle keşfedilmesinden sonra 1970'lerin başlarında değişik şirketlere çeşitli işletme hakları verildi ve bunun üzerine arama çalışmaları başladı. Potansiyelini ve sınırlarını belirlemek için alanda çeşitli gradyan kuyuları açıldı. Bunun üzerine açılan sondaj kuyuları, 5.200 fit derinlikte 350 F° sıcaklıkta kaynak bulunduğunu gösterdi.

3. YENİ BİR DÖNEM, YENİ GELİŞMELER

Buhar üretim sahaları yeni kalkınma için kaynak olarak tükeniyor olduğu için jeotermik gelişme, son on-yıllarda sıvı ağırlıklı kaynakların kullanılmasına doğru kaymakta olup güç üretim teknolojileri, daha düşük sıcaklıklardaki kaynakların geliştirilip işletilmesini ekonomik hale getirdi. Örneğin son 20 yılda ABD'nin batısında buhar ağırlıklı yeni yalnızca 5 jeotermik projesi oluşturuldu. Buna karşılık aynı dönemde ABD'nin yine batısında sıvı ağırlıklı 40'ı aşkın jeotermik projesi oluşturulmuş olup bu yönelimin görülebilir gelecekte devam etmesi bekleniyor.

Cove Fort projesi, 2007'de Enel Green Power tarafından edinildi. İlk iş emirleri, jeotermik kaynağın değerlendirilerek işletme parametrelerinin ve sürdürülebilirliğinin belirlenmesi oldu.

Enel Green Power, gelişme sürecini teknik, ticari ve izin açısından koordine etmişti. Santrali temin işi, ihale sürecinden sonra 2012'de Ormat'a verildi. Santral, çalışmaya, planlanan takvimden yaklaşık bir ay önce 2013 Kasımında başladı.



Şekil 1(a). Saha görünüşü, Mart 2013.



Şekil 1(b). Saha görünüşü, Eylül 2013.

4. KAYNAK, GÜÇ SANTRALLARI VE ZORLUKLAR

Cove Fort kaynağı, tuzlu su ağırlıklı olarak tanımlandı ve Enel Green Power tarafından yürütülen araştırmada güç üretiminin randımanlı ve ekonomik olması için en uygun teknolojinin ORC bazlı düzenleme olduğu sonucuna varıldı.

Üretilen net gücü maksimuma çıkarırken santralin ömür boyu maliyetini minimuma indirmek üzere kaynağın termik karakteristikleri kimyasal bileşimi ile birlikte düşünülerek ORC'li çeşitli düzenlemeler değerlendirildi.

Ancak ortada üstesinden gelmesi gereken başka zorluklar vardı. Enel Green Power, projeyi tamamlamak için karşı karşıya olduğu program çok sıkıydı, bütçe ise sabitti. O anda, yani 2012'nin başlarında ortaya çıkan DOE'nin 1603 programı, proje 31 Aralık 2013'e kadar devreye sokulursa projenin sermaye yatırımının % 30'unu nakit ödenek olarak sağladı. Buna ek olarak Cove Fort projesine ilişkin maliyet aşımalarının etkisi projenin yatırım getirisini şiddetli biçimde etkileyeceğinden kabul edilemez görüldü.

Bu, Enel'den Cove Fort projesini—zamanında bitirmeye yönelik en yüksek kapasite ve maliyet aşımalarına ilişkin en düşük risk ile—güvenilir şekilde tamamlayabilecek teknoloji türünü ve MİY (Mühendislik-Alım-Yapım) yüklenicisini seçmesinin, ayrıca en güvenilir ve kendisini kanıtlamış teknolojiyi sağlamasının istenileceği anlamına geliyordu. Enel için büyük özen ve titizlik gerektiren bu süreç, günümüzdeki çoğu projenin tersine ayrıntılara sonsuz dikkat yanı sıra yüklenici ve teknoloji sağlayıcı ile çok yakın işbirliği de istiyor. Enel, bunlara ek olarak projelerinde en sıkı güvenlik standartlarının ve işçilik konusunda en yüksek kalitenin tutturulmasını zorunlu kılıyor.

Jeotermik geliştirme konusunda İtalya'da öncü olan Enel, zorlu bu proje için geniş çaplı değerlendirmeden sonra Ormat'ı seçti. ORC teknoloji sağlayıcısı ve MİY yüklenicisi olan Ormat, tek bir sorumluluk noktası sunuyor olup jeotermik güç santrallerinin zamanında başarıyla tamamlanması konusunda günümüzde bu pazardaki en çok deneyime sahip bulunuyor. Toplamı 1750 MW'yi bulan jeotermik güç santrallerini otuz yılı aşkın zamandır tasarlamakta, imal ve inşa etmekte olan Ormat, bunların yanı sıra 600 MW'yi aşkın ORC-bazlı jeotermik ve Geri Kazanılan Enerji Üretimi projeleriyle başarılı jeotermik yapım işlerini de sürdürüyor.

Cove Fort projesi güç santrali ve kuyu sahası yapımı, 2013 Aralık ayında işletmeye alınmak üzere resmen 2012 Temmuz ayında serbest bırakıldı.

4.1 Ormat® Enerji Çevirici (OEC)

Ormat OEC, güç üretim ünitesi olup jeotermik geliştiricilerine doğal olarak meydana gelen ve bütün dünyada bulunan jeotermik kaynaklarının—düşük sıcaklıktaki jeotermik sudan yüksek basınçtaki buhara kadarki—bütün yelpazesini randımanlı ve ekonomik şekilde kullanarak elektrik enerjisi üretebilme olanağını sağlar. Tek bir OEC, büyüklük olarak 250 kW ile 25 MW arasında yer alır. Isı kaynaklarının çok değişik türlerinin özgül koşulları için tasarlanan OEC'lerin ana bileşenleri arasında buharlaştırıcı/ön ısıtıcı, turbo jeneratör, havayla soğutulan veya suyla soğutulan yoğuşturucu, besleme pompası ve kontrol aygıtları yer alır. Tüm OEC üniteleri, kendi başlarına bağımsız ve tam otomatik olup şebekeyle uyumlu güç üretirler. Organik Rankine Çevrimine (ORC'ye) dayanan OEC, organik çalışma akışkanı kullanır. Bu akışkan, düşük ile orta arası sıcaklıklardaki ısı kaynaklarında işletirken buhardan daha randımanlı olur. Belli bir ısı kaynağından, sıcaklıktan ve debiden alınan güç çıktısını optimize etmek üzere seçilen çalışma akışkanı, üretim koşullarında buharlaştırıcı ve ön ısıtıcı içinden geçen akıntı tarafından taşınan ısı vasıtasıyla buharlaştırılır. Buhar, jeneratöre mekanik olarak bağlı olan organik buhar türbininden geçerken genleşir. Egzos buharı, daha sonra havayla soğutulan yoğuşturucuda yoğuşturulur ve geri kazanılmak üzere hareket ettirici akışkan çevrim pompası tarafından buharlaştırıcıya gönderilir.

4.2 Özel İmalat Mühendisliği

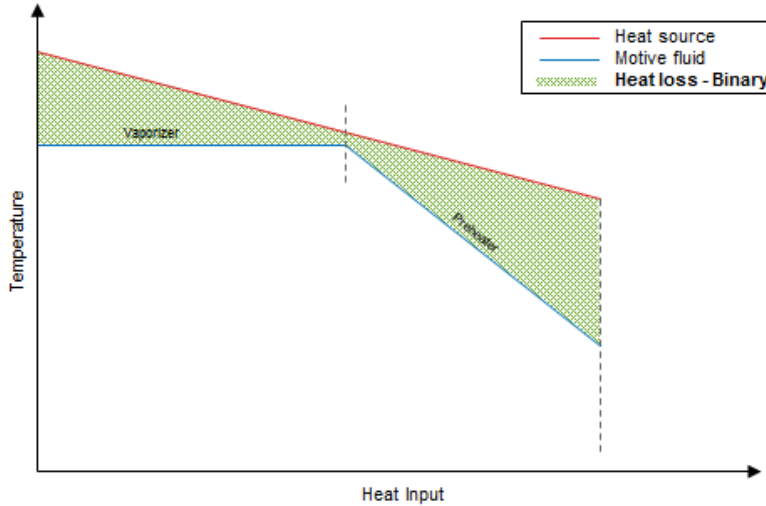
Cove Fort verilerinin ilk analizinden ikili ünitenin uygulanmasıyla tahminen 24 MW üretilebileceği sonucuna varıldı. Şekil 2'ye bakınız.

Almaşık ORC devreleri kıyaslanarak yapılan ek analiz, iki düzeyli kademeli ORC (İki Düzeyli Bütünleşik Ünite) - İDBÜ uygulanması durumunda aynı kaynak karakteristikleriyle aslında 26,4 MWe'lik veya % 15 daha fazla güç üretilebileceğini gösterdi. Bu düzenlemede daha yüksek basınçtaki ek bir türbinin kullanılmasıyla toplam randıman, artırılmış olur. Şekil 3'e bakınız. Maliyet-fayda analizi, projenin ömrü boyunca marjinal ekonomik kazancın bu düzenleme için istenilen gerekli ek ekipmanla bağlantılı maliyeti fazlasıyla aşır olduğunu, dolayısıyla kW başına düşen birleştirilmiş maliyeti düşürdüğünü gösterdi.

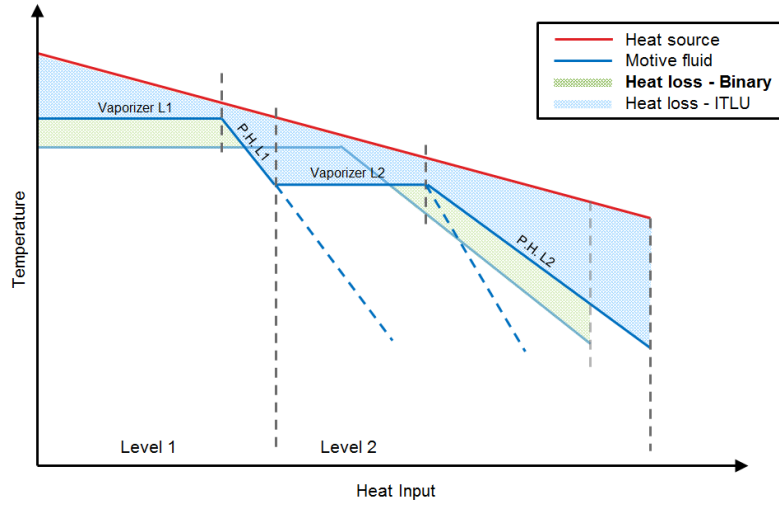
Sonuçlar umut verici görünürken yapılan ek etütler, daha yüksek mutlak üretim potansiyelinin teknik açıdan mümkün olduğunu gösterdi. Süper Kritik ünite, bürüt çıktının İDBÜ çözümüne kıyasla % 8 oranında (yaklaşık 28,5 MW'ye kadar) artırılmasının mümkün olduğunu kanıtladı. Bununla birlikte besleme pompasının yüksek yükü, son incelemede bütün o kazancı silerek net üretimi aslında % 4 kadar düşürüyor.

Mühendislik ekibi, tüm bu etkenleri göz önüne aldıktan sonra bu proje için en uygun düzenlemenin İDBÜ olduğu sonucuna vardı.

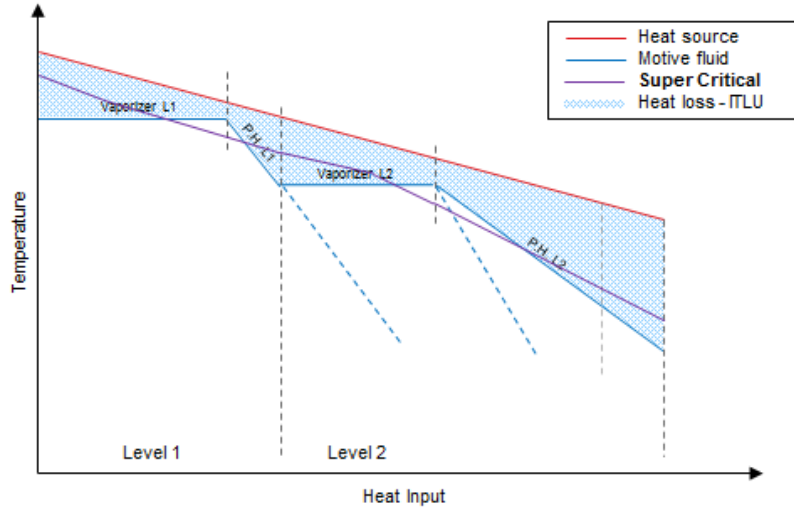
Müşteriye uyarlatma sürecinde termodinamik analiz tamamlandıktan sonraki adım, büyük çaplı tekil bileşenleri seçip tasarlamak olur. Türbin, şaft takımı gibi döner bazı bileşenler, Sonlu Eleman Modeli yardımıyla tek tek analiz edilerek ekipmanın kendisinden beklenen tasarımlık ömrü boyunca maruz kalacağı gerilmelerin benzeri oluşturulur. Üç türbin kademesinden her birinin maksimum tasarım kıstaslarındaki davranışının abartılı çarpılmasının Şekil 5'te gösterilmesiyle bunların gerilme altındaki öngörülen doğal frekanslarının bilinen diğer sistem uyarmalarından aşama aşama uzaklaşmasını sağlıyor.



Şekil 2. Tipik T/Q Diyagramı.



Şekil 3. Kademeli OEC- İDBÜ.



Şekil 4. Süper kritik ile kademeli İDBÜ karşılaştırma diyagramı.

5. ÖMÜR BOYU PERFORMANS

5.1 Kaynak Yönetimi

Güç santrali tasarımı optimize edilirken kaynağın yalnızca o andaki durumu değil zaman içindeki davranışı da göz önüne alınmalı; kaynaktaki değişime karşılık kaynak verimliliğinin ve ekipman esnekliğinin sürdürülmesi, anahtar önem taşır. Bu türden güvenilirlik, projenin yatırım getirisini maksimuma çıkarmak için yaşamsal nitelikte olur.

Kuyuların tümü eşit oluşmaz. Sahanın geliştirilmesi, yüksek gaz, yüksek entalpi, düşük gaz, düşük entalpili kuyular, değişken buhar/tuzlu su yüzdesi ve kimyasal bileşim gibi herhangi kombinasyonla sonuçlanabilir.

Santral tasarımı, kuyuların gelecekteki üretimini etkiler; jeotermik akışkanların % 100 oranında yeniden zerk edilmesi, rezervuarın düşmesini ve bileşiminin değişmesini görece düşük maliyetle en

aza indirir. Bu, jeotermik sahasının sürdürülebilirliğini sağlamak için en iyi uygulama olur. Kaynakta son on-yıl içinde yaşanan büyük çaplı talihsiz düşme, büyük bir dizi proje için öldürücü oldu.

Kuyuların üretimi zaman içinde değişeceğinden tasarımlarının olabildiğince esnek ve çok yönlü olmasıyla entalpi düştüğünde veya arttığında, ayrıca bileşiminin bu şekilde değişmesi durumunda elektrik üretilebilmesinin sağlanması gerekir.

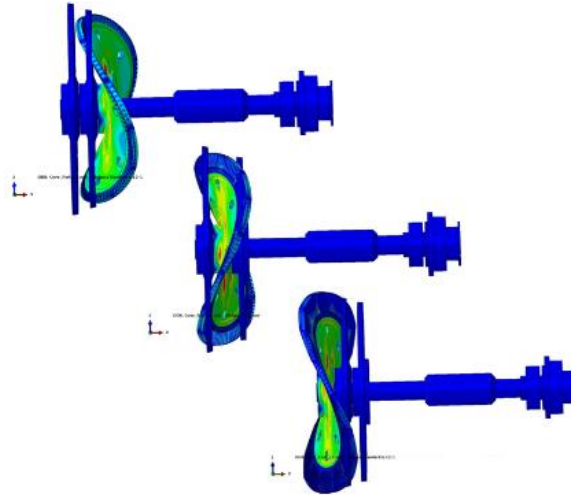
5.2 Düşey Bütünleşme

Jeotermik güç santralı projeleri, genellikle gurup çalışması olarak her biri sürecin özgül bir aşamasında uzman olan değişik bir dizi şirketi bir araya getirir. Bu durum, rezervuar mühendisliği, arama, kuyu açma, süreç mühendisliği, ekipman imalatı, Mühendislik-Alım-Yapım, İşletme ve Bakım hizmetleri için de söz konusu olur. Ormat, jeotermik projelerin geliştirilmesinde, ayrıca jeotermik proje geliştirmenin tüm alanlarında teknik bilginin ve deneyimin geliştirilmesinde düşeyde bütünleşmiş strateji seçen tek şirket oluyor. Bunların yanı sıra proje finansman, izin verme, PPA müzakereleri ve ara bağlantı anlaşmaları gibi tüm hususlar, kaliteli projeleri zamanında ve bütçeleri dahilinde başarıyla tamamlamak konusunda birbiriyle yakından bağlantılı olurlar. Bu yaklaşımın faydaları, aşağıda özetleniyor.

- Projenin farklı yönlerinden sorumlu ekipler arasında daha fazla iletişim.
- Projenin değişik unsurlarının—sözleşme gereği ilişkiler geçerlikten kalktığı için mümkün olduğu üzere—aynı zamanda yürütülmesiyle toplu hazırlık sürelerinin kısalması.
- Ekiplerin her birinin diğerlerinin gereksinimlerini, dolayısıyla diğer bölümlerin ihtiyaçlarına en uygun ürünü meydana getirecek işlerin farkında olması. Örneğin mühendislik ekibinin santral işleticilerinin ihtiyaçlarının farkında olması, santral işleticilerinin ise İşletme ve Bakım deneyimlerini mühendislik ekibiyle paylaşması, böylece son ürünün sürekli olarak iyileştirilmesi.

Güç santralı işletmek ve geliştirmek ile geçen otuz yıl boyunca kazandığı kurumsal geniş çaplı bu bilgi, Ormat'a deneyiminin faydalarına müşterilerine sunma olanağı sağlıyor.

Cove Fort sahasının santral sahibince İşe Başla Bildirimini verilmesinden yalnızca 12 sonraki durumu, Şekil 5'te yapım halinde gösteriliyor.



Şekil 5. Şaft Takımının Sonlu Eleman Modeli.

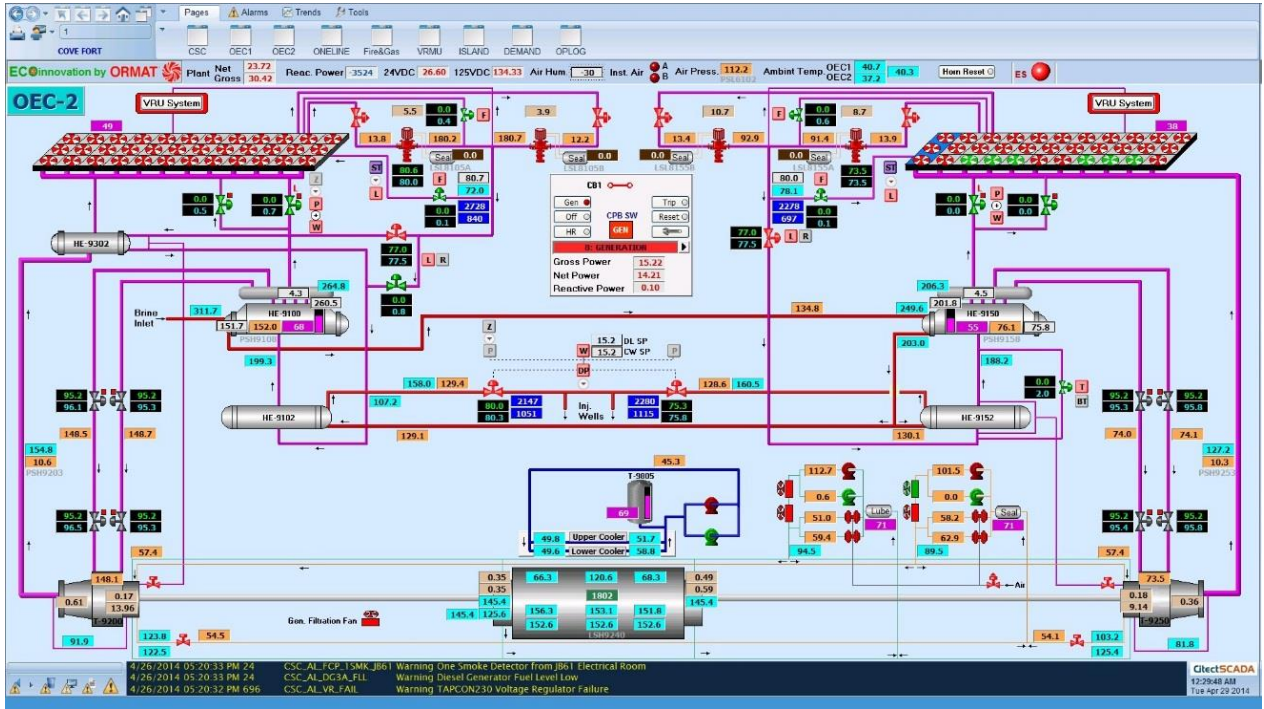
6. KONTROL FELSEFESİ

Santral kontrol sistemi, santralin tüm alt sistemlerini kontrol edip izlemek üzere tasarlanır:

- OEC-I
- OEC-II
- Santral Bilançosu (BOP)

Kontrol felsefesinde bu alt sistemlere ilişkin kontrol devreleri tanımlanır ve OEC işletme adımları ile adımların birinden öbürüne geçmek için gerekli koşullar betimlenir. Kontrol felsefesinde buna ek olarak santraldaki tüm Girişler/Çıkışlar tanımlanır ve bunlar arasındaki mantık ilişkileri belirlenir. Örneğin belli bir vananın basınç ileticisindeki değişikliğin ardından gelecek gerekli açılma konumu tanımlanır. Kontrol felsefesinde ayrıca santraldaki her bir arıza veya uyarı için kurulu alarm ve kapatma noktaları tanımlanır.

Santralin uzaktan izlenip kontrol edilebilmesi, işleticilere sorunları hem belirlemelerinde hem gidermelerinde, ayrıca üniteyi uzaktan başlatabilmelerinde veya durdurabilmelerinden yardımcı olur. PLC'ye bağlı uzaktan ek izleme sistemleri de var olup bunlardan Vlnode, türbin titreşimlerini sürekli olarak gösterir ve öngörücü bakım etütleri için kullanılır.



Şekil 6. Tipik HMI ekran görüntüsü.

7. ADA MODU

İşletme modlarından biri olan ada modunda güç santrali, elektrik iletim şebekesi henüz hazır değilken tesis yükleri için güç üretir. Bu, güç santralının sürekli işletilebilmesine olanak vererek (üretim pompası gibi) ekipmanların başlatmak ve durdurmak için kullanılma sıklığını azaltarak şebekeyle yeniden senkronlanma için gerekli zamanı en aza düşürür veya ortadan kaldırır.

Santral kontrol sistemi, şebeke kaybı veya santral ana devre kesicisi arızası gibi durumlarda OEC'yi işletip ada kipi adımına geçirir. İlk işletimde türbinleri ve jeneratörleri aşırı devirden ve hasardan



koruma amacına dönük ihtiyati işlemler yer alır. Kontrol sistemi, türbin ve jeneratör devir hızını kurulu belli bir noktaya düşürdükten sonra devir hızı kontrolünü devralarak frekansı da kontrol altına alabilir. Santral, gerekli gücü sürekli olarak hesaplanan tesis yüklerine göre üretir.

Kontrol sistemi, işleticinin isteğinin ardından şebekeyle otomatik olarak yeniden senkronlanır ve santralin ana devre kesicisini kapatır.

8. SONUÇLAR

Utah Cove Fort'ta şu anda ileri tamamlanma aşamalarında bulunan yapım süreci ile geçmişteki benzer çalışmalar, düşük performans veren jeotermal güç santralının başarılı geri dönüş fırsatı olabileceğini kanıtladı. Var olan kaynak için uygun olan termodinamik çözümün dikkatli analizi, santral bileşenlerinin titiz optimizasyonu ile birlikte düşük başarı gösteren geliştirmelere yeniden hayat verebilir. Bu, zaman içinde değişen jeotermal kaynaklardan yararlanan ve entalpi bakımından düşüş gösteren yaşlı santraller için özel önem taşır. Bu girişimlerin tüm yönlerindeki asıl yeterlik, taban yük için elektrik üretiminin başarıyla artırılmasının tamamlanmasını sağlarken yenilenebilir tüm enerji kaynaklarının en temizini elde eder.

KAYNAKLAR

- [1] The Cove Fort-Sulphurdale, Utah geothermal field” – GHC Bulletin, Aralık 2004.
- [2] Benjamin J. Barker, Todd L. Sperry, Joseph N. Moore, Howard P. Ross “Progress of recent exploration at Cove Fort-Sulphurdale, Utah” proceedings, Twenty-Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, Ocak 28-30, 2002 SGP-TR-171 .
- [3] Lucien Y. Bronicki, Ormat Technologies, Inc., “Advanced Power Cycles for Enhancing Geothermal Sustainability”, IEEE – Pittsburgh 2008.
- [4] Ormat arşivleri.



COVE FORT BINARY POWER PLANT

Ariel SACERDOTI

ABSTRACT

Enel Green Power acquired the rights to the Cove Fort geothermal project in 2007. In the past, the project contained both an operational flash power plant and Organic Rankine Cycle (ORC) equipment, however, over time, the steam resource diminished. Through extensive work, Enel Green Power was able to convert the well field into a sustainable, liquid dominated geothermal resource. Additionally, the challenges of a changing power market and the approaching termination of the ITC cash grant provided a unique set of hurdles for the project to be economically attractive. These hurdles were overcome through a collaboration with Ormat Technologies; coordinating a disciplined power plant design and project execution which resulted in the project meeting its expected performance, deadlines and budget. Today, the Cove Fort geothermal power plant is operating above expectations and has proven, once again, that geothermal power is a sustainable and effective solution for today, and the future.

Key Words: Power plant; binary; custom engineering; ORC

1. INTRODUCTION

Enel Green Power, chose Ormat to develop this new project, considering its decades of practical experience in all aspects of Organic Rankine Cycle (ORC) based energy generation. These ORC units convert low, medium and high temperature heat into electrical energy that offers flexible, modular solutions, capable of being customized to a given resource. Additionally, the ability to provide full optimization analysis for an entire power plant makes the difference between providing a comprehensive solution and merely providing an energy converting product. The collaboration between the two organizations allowed to maximize the plant return on investment owner.

2. COVE FORT HISTORY

The Cove Fort Sulphurdale (CFS) geothermal resource area spans Millard and Beaver Counties in south-central Utah. After geological studies found there was a potential to generate geothermal energy in the area several concessions were granted to different companies in the early 1970s, which then initiated an exploration effort. Several gradient wells were drilled in the area to define its potential and boundaries, which led to the drilling of four exploration wells that proved a resource of 350°F at 5,200 feet.

3. A NEW ERA AND NEW DEVELOPMENT

Over the last decades, geothermal development has shifted towards the use of liquid dominated resources, as the steam producing fields were being exhausted as a source for new development, and power generation technologies made lower temperature resources economical to develop and operate. For example, in the last 20 years only 5 new steam dominated geothermal project has been developed in the western United States. Alternatively, there have been over 40 liquid dominated geothermal projects developed in the western United States in the same period, and that trend is expected to continue in the foreseeable future.

In 2007 the Cove Fort project was acquired by Enel Green Power. The first order of business was to evaluate the geothermal resource to determine operating parameters and its sustainability.

Enel Green Power had coordinated the development process from a technical, commercial, and permitting standpoint. After a bidding process, Ormat was awarded the contract to supply the plant in April 2012. The plant commenced operation in November 2013, about a month ahead of its planned schedule.



Figure 1(a). Site view March 2013.



Figure 1(b). Site view September 2013.

4. RESOURCE, POWER PLANTS AND CHALLENGES

The Cove Fort resource was defined as brine dominated and research conducted by Enel Green Power concluded that the most well suited technology for efficient and economical power generation was an ORC-based configuration.

Considering the thermal characteristics of the resource, in conjunction with its chemical composition, various ORC configurations were evaluated in order to maximize the net generated power, minimize plant life cycle cost, thus maximizing ROI for the plant owner.

However, there were other looming challenges to overcome. Enel Green Power was confronted with a strict timeline and a fixed budget to complete the project. At this time, early in 2012, the DOE's 1603 program provided a 30% of the project's capital investment as a cash grant, if the project was brought online by December 31, 2013. Additionally, the effect of cost overruns for the Cove Fort project would drastically affect the project's ROI, and were therefore deemed unacceptable.

This meant that Enel would be required to choose a technology option and EPC contractor that could reliably complete the Cove Fort project, with the highest capacity for on time completion, lowest risk for cost overruns, and also provide the most reliable and proven technology. For Enel, this is a very careful and rigorous process, which requires endless attention to detail and a very close collaboration with the contractor and technology supplier, unlike most projects today. Additionally, Enel mandates that its projects maintain the strictest safety standards and the highest quality of workmanship.

Enel, a pioneer in geothermal development in Italy, chose Ormat for this challenging project after extensive evaluation. Ormat is an ORC technology supplier and EPC contractor that offers a single point of responsibility, and has the most experience in the on-time, successful completion of geothermal power plants in the market today. Ormat has been designing, manufacturing, and constructing geothermal power plants for over three decades, 1750 MW in total, and additionally is a successful geothermal developer with over 600 MW of ORC-based geothermal and Recovered Energy Generation (REG) projects.

The Cove Fort project power plant and well field construction was officially released in July, 2012 with commissioning set for December, 2013.

4.1 The Ormat® Energy Converter (OEC)

Ormat's OEC is a power generation unit, enabling geothermal developers to efficiently and economically use the full range of naturally occurring geothermal resources found throughout the world - from low temperature geothermal water to high pressure steam – to generate electrical energy. A single OEC may range in size from 250 kW to 25 MW. OECs are designed for the specific conditions of a wide variety of heat sources. Its main components include a vaporizer/preheater, turbo generator, air-cooled or water-cooled condenser, feed pump and controls. All OEC units are self-contained, fully automatic and produce grid compatible power. The OEC is based on the Organic Rankine Cycle (ORC) and uses an organic working fluid, which is more efficient than steam when operating at low to moderate temperature heat sources. The working fluid is selected to optimize the power output from a particular heat source, temperature and flow. Under production conditions, the working fluid is vaporized by the heat carried by the stream flowing through the vaporizer and preheater. The vapor expands as it passes through the organic vapor turbine, which is mechanically coupled to the generator. The exhaust vapor is subsequently condensed in an air cooled condenser and is recycled to the vaporizer by the motive fluid cycle pump.

4.2 Custom Engineering

Initial analysis of the Cove Fort data concluded that an estimate of 24 MW can be generated applying a binary unit, see Figure 2.

Further analysis, comparing alternate ORC circuits, indicated that the same resource characteristics can actually generate 26.4 MWe, or 15%, more if a two-level cascaded ORC (Integrated Two Level Unit - ITLU) is applied. This configuration incorporates the use of an additional turbine at a higher pressure, increasing the overall efficiency, see Figure 3. The cost benefit analysis indicated that the marginal economic gain during the life of the project far exceeds the cost associated with additional required equipment necessary for this configuration, hence lowering the unitized cost per kW.

While the results looked promising, additional studies indicated that higher absolute generation potential is technically feasible. A Super Critical unit proved that an increase of gross output by 8% (to

about 28.5MW) compared to the ITLU solution is possible. However, in ultimate examination, high feed pump load erases all that gain and actually reduces net generation by 4%.

Taking all these factors into consideration, the engineering team finally concluded that the optimal configuration for this project is ITLU.

The next step in the customization process, after completing the thermodynamic analysis, is to select and design individual major components. Some rotating components, such as turbines shaft assemblies, are individually analysed using a Finite Element Model to simulate the stresses the equipment will sustain during its expected design lifetime. Figure 5 shows an exaggerated distortion of the behavior of each of the three turbine stages under maximum design criteria, hence ensuring that their predicted natural frequencies under stress are phased away from other known system excitations.

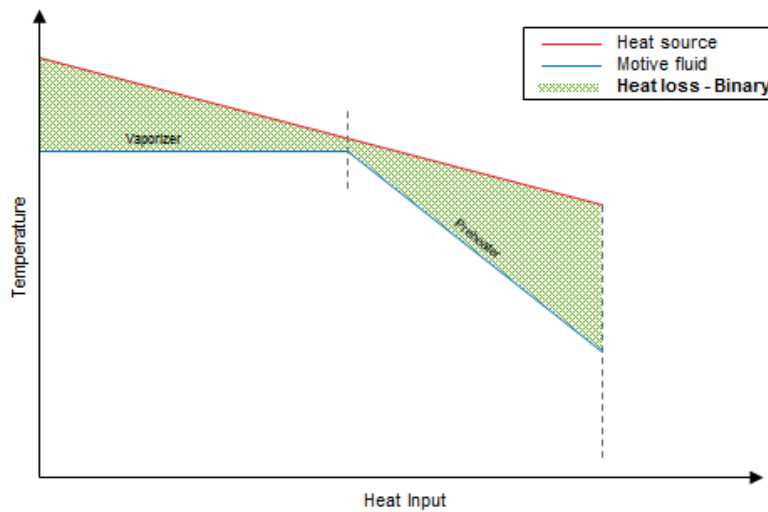


Figure 2. Typical T/Q Diagram.

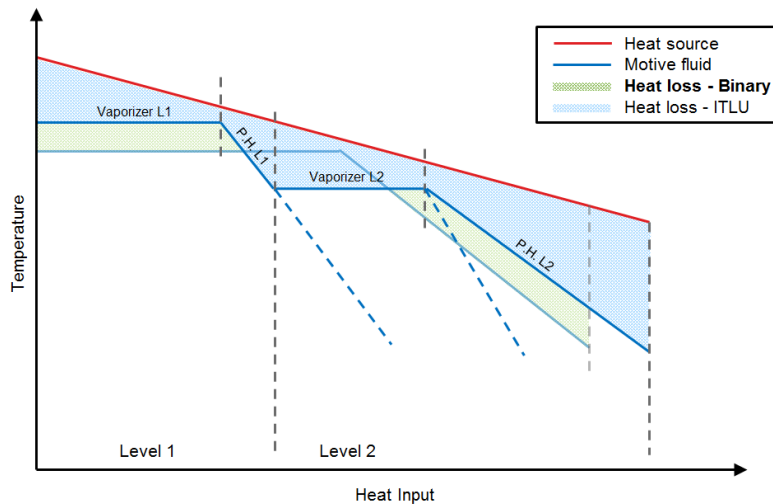


Figure 3. Cascaded OEC- ITLU.

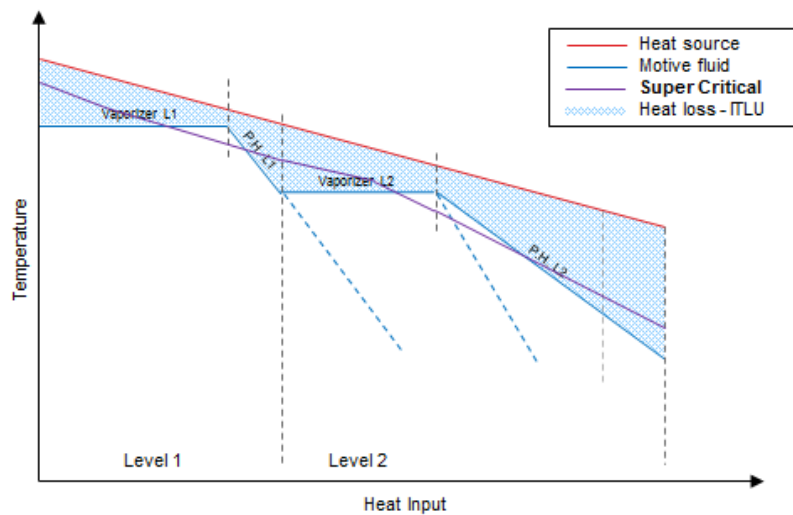


Figure 4. Comparison of super critical and cascaded ITLU diagrams.

5. LIFE CYCLE PERFORMANCE

5.1 Resource Management

When optimizing power plant design, not only should the current status of the resource be considered but also its behavior over time; maintaining resource productivity and equipment flexibility reacting to variation in a resource is key. Such reliability is vital to maximizing the project ROI.

Not all wells are created equal - Field development may result in any combination of high-gas, high-enthalpy, low-gas, low-enthalpy wells, varying percentage of steam vs. brine and chemical composition.

Plant design influences future well production - 100% reinjection of geothermal fluids minimizes reservoir decline and composition change at a relatively low cost. This is the best practice to ensure the sustainability of a geothermal field. In the last decade, unfortunate experience of major resource decline proved lethal for a number of large projects.

Well production will change over time – as a result, design must be flexible and versatile, able to produce electricity when enthalpy declines or increases, and also if it changes its composition, to the extent possible.

5.2 Vertical Integration

Geothermal power plant projects are usually group efforts, bringing together a number of different companies, each expert in a specific stage of the process. Such is the case for reservoir engineering, exploration, drilling, process engineering, equipment manufacturing, Engineering-Purchasing-Construction and Operation & Maintenance services. Ormat is the only company that chose a vertically integrated strategy developing geothermal projects, developing know how and experience in all aspects of geothermal project development. Furthermore, aspects of project financing, permitting, PPA negotiations, and interconnection agreements all intertwine to successfully complete quality projects on time and within budget. The following summarizes the benefits of such approach:

- Greater communication between the teams in charge of different aspects of the project.
- Different elements of the project to be carried out concurrently, which would have not been possible if contractual relationships prevailed, shortening overall lead times.

- Each team is aware of others requirements and, therefore, works to create a product that will best fit the needs of other departments. For example, the engineering team is aware of the needs of plant operators and they in turn share their O&M experience with the engineering team, hence constantly improving the end product.

This extensive in-house knowledge base gained over three decades of power plant operations and development, enables Ormat to offer its customers the benefits of its experience.

Figure 5 shows the Cove Fort site depicted in construction, merely 12 months after Notice to Proceed was released by the plant owner.

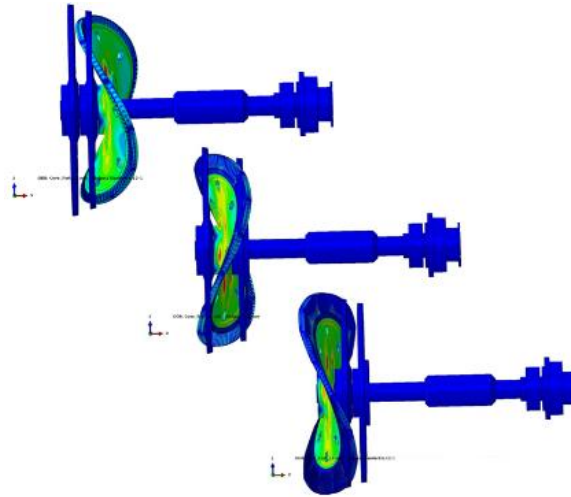


Figure 5. Finite Element Model of shaft assembly.

6. CONTROL PHILOSOPHY

The plant control system is designed to control and monitor all plant subsystems;

- OEC-I
- OEC-II
- Balance Of Plant (BOP)

The control philosophy defines the control loops for these subsystems and describes the OEC operational steps and the required conditions for progressing from step to step. In addition, the control philosophy defines all the I/O's in the plant and determine the logic relations between them. For example, defining the required opening position of a certain valve following a change in a pressure transmitter. The control philosophy defines the alarm and trip set points for each failure or warning in the plant.

The plant can be remotely monitored and controlled which helps the operators to both diagnose and troubleshoot problems and start or stop the unit from a distance. Additional remote monitoring systems are connected to the PLC, such as Vibnode which continuously indicate the turbine vibrations and is used for predictive maintenance studies.

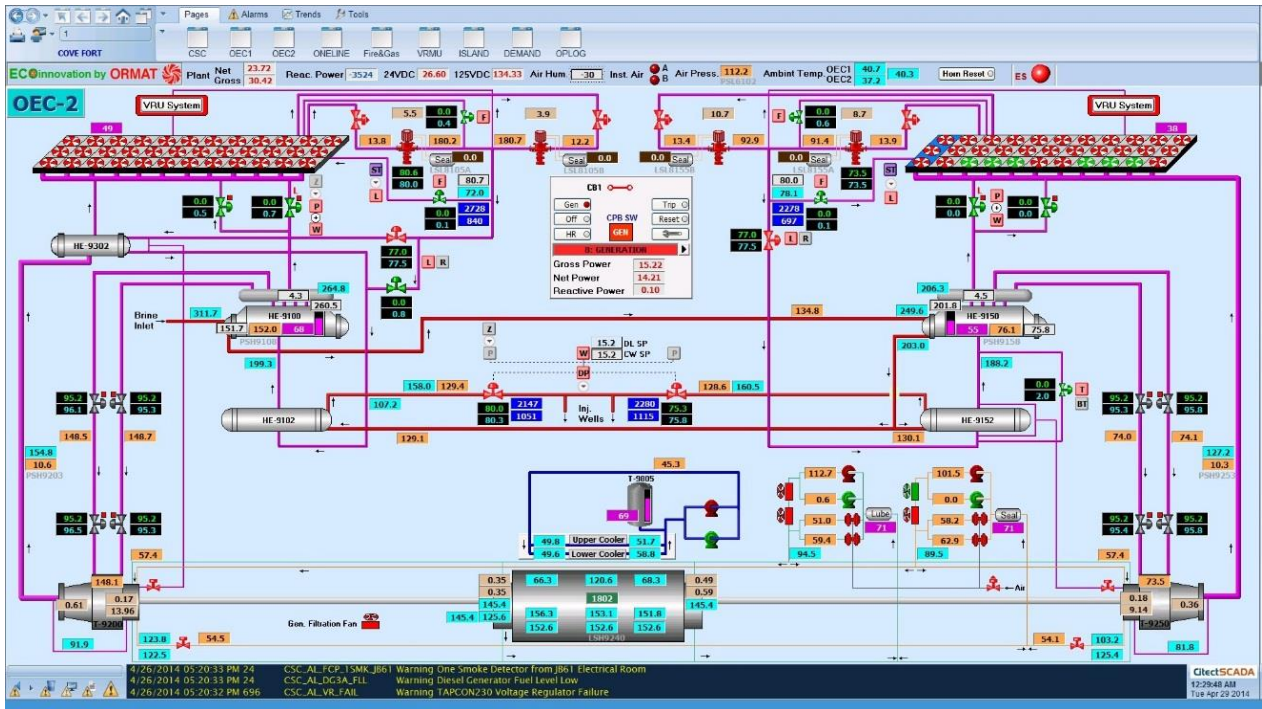


Figure 6. Typical HMI screen shot.

7. ISLAND MODE

Island mode is an operation mode in which the power plant produces power for house loads while the electric transmission grid is unavailable. This allows for continuous operation of the power plant, thus reducing the frequency of the use of the starting and stopping of equipment (such as production pumps) hence minimizing, or even eliminating, the time required for synchronization back to the grid.

During an event of a grid loss or plant main breaker failure, the plant control system will operate the OEC into Island mode step. The initial operation includes precautionary actions in order to protect the turbines and generators from overspeed and damage. After reducing the turbines and generators speed to a defined set point the control system takes over speed control enabling it to control the frequency. The plant will generate the required power according to a continuous calculation of house loads.

Following an operator request, the control system synchronizes back to the grid automatically, and closes the plant's main breaker.

8. CONCLUSIONS

The construction process, currently in advanced completion stages in Cove Fort, Utah, and other past similar initiatives have proven that an underperforming geothermal power plant can be an opportunity for a successful turnaround. Careful analysis of a thermodynamic solution fit for the existing resource, coupled with meticulous optimisation of plant components, can provide new life to underachieving developments. This is of particular interest for older plants, utilizing geothermal resources that changed over time, often declining in enthalpy. Core competence over all aspects of these ventures



ensures the completion of successful growth of base load electricity generation, obtaining the cleanest of all renewable sources of energy.

REFERENCES

- [1] “The Cove Fort-Sulphurdale, Utah geothermal field” – GHC Bulletin, December 2004.
- [2] Benjamin J. Barker, Todd L. Sperry, Joseph N. Moore, Howard P. Ross “Progress of recent exploration at Cove Fort-Sulphurdale, Utah” proceedings, Twenty-Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 28-30, 2002 SGP-TR-171 .
- [3] Lucien Y. Bronicki, Ormat Technologies, Inc., “Advanced Power Cycles for Enhancing Geothermal Sustainability”, IEEE – Pittsburg 2008.
- [4] Ormat archives.