

IEA 水力実施協定 ANNEX11 水力発電設備の更新と増強

第二次事例収集（詳細情報）

カテゴリーとキーポイント

Main : 1-d) アセットマネジメント、戦略的アセットマネジメント、ライフサイクルコスト分析

Sub : 2-a) 電気機械 (E/M) 装置の技術革新と適用拡大

プロジェクト名	: Hemsil II 水力発電所 増強計画
国名（州／県名を含む）	: ノルウェー、Buskerud 郡、Gol 地方自治体
実施機関／団体	: E-CO Energi AS
実施期間	: 2002 年～2004 年 初期調査、連絡、詳細設計 2005 年～2006 年 大規模機械更新
更新と増強の誘因	: (A) 老朽化/故障頻発(a,b)、(B) 環境劣化(b)
キーワード	: 機器劣化、高経年電気機械 (E&M) 機器の交換、発電増加、効率向上

要旨：

Hemsil 川の Eikredammen から Gol に至る落水が、水力発電のために 1960 年から利用されてきた。その 1960 年は、Hemsil2 号が、オスロ市に電力供給を開始した年である。Hemsil 2 水力発電所は、オスロ市が所有する公営企業、Energi AS が所有する。E-CO Energi はノルウェーで 2 番目に大きな水力発電施設であり、年間平均発電量は 9.7 TWh である。総容量は約 2,800 MW である。詳細については、<http://www.e-co.no/>を参照。操業開始以来、コントロールセンターは更新され、発電機ステーターは巻き直された(1990～1991 年)。それを除いて、重要な増強は実施されなかったが、重要な増強を行うことが決定された。タービンは、老朽化が進んでいた。新品のタービンの時は、最適な容量（最適点：BP）における発電効率は、92.7%であった。測定結果では、40 年以上の運転後のタービン効率は、新品の状態より 1～1.5%低下している。ガイドベーンにグリースを注入するが、グリースが川の下流に漏れ出していた。更に、ラビリンスリングは水中に含まれる腐植土により摩耗しており、入口弁制御システムの修正が必要であった。シミュレーションと解析が実施され、これらの初期の検討を基にプロジェクトの範囲が決められた。予測によると、容量は、各発電ユニットで 41 から 48MW に増加できた。増強後、発電機の容量は、2x41MW から 2x49MW に増加し、平均年間発電量は、503GWh から 537GWh に増加し、それは約 6.8%の発電量増加になった。設計流量の増加は 3 m³/秒であった。



旧 Hemsil 2 号タービンランナー、現在は発電所から 3km 離れた環状交差点に陳列

1. プロジェクトの概要（更新/増強前）

1960 年以来、Hemsil 川水路の Eikredammen から Gol に至る落水が、水力発電のために開発されてきた。Hemsil II 発電所は、ノルウェーの首都のオスロから西方約 180km にある Hallingdal 溪谷に位置している。当初、電力はオスロ市の公共用途に供されていた。Hallingdal 地域からオスロへの送電線は、この目的のために設置された。1990 年代の電力市場の自由化後、本発電所で発電された電力は、電力市場で取引されている。



Hallingdal の Hemsil2 発電所の位置

Hemsil 2 水力発電所は、海拔 566 m の Eikredammen 取水池から海拔 196 m の Gol に接する Hallingdalselva 川まで、Hemsil 川にある総落差 370 m の落水を利用する。取水池は、Eikredammen と呼ばれる人工湖である。Eikredammen ダムはコンクリートダムで、高さ 8 ～12m、長さ 500m で二つの水門と洪水吐きを持つ。



Eikredammen の写真（2012 年）

取水池は、非常に小さい($V=0.37\text{Mm}^3$)。流域面積は 913 km^2 で、合計流入水量は 7 億 3,400 m^3 /年である。265 km^2 の流域面積は、二つの貯水池 (Flævatn 204 Mm^3 と Vavatn 34 Mm^3) で規制されている。したがって、大きな規制されていない流域面積 (648 km^2) がある。ノルウェーの気候条件では、冬季は非常に均一な流れの配分になり、春～秋の間の Eikredammen ダムへの流入量はかなり変動する。Eikredammen への年間を通した平均流入量は、23 m^3/s である。

Flævatn 貯水池は、Eikredammen 上流にある Hemsil 1 水力発電所の貯水池でもある。Hemsil 1 水力発電所は、1960 年に稼動し、容量は 70 MW であった。



Eikredammen 取水池

Hemsil 発電所は、1959～1960 年に地下に建設された。発電所には、それぞれ 41MW の性能を持つ二つのフランシスタービンがある。最大使用水量は $2 \times 14\text{ m}^3/\text{s}$ で、平均年間発電量は、503GWh である（更新工事の計画開始時）。

2. プロジェクト（更新/増強）の内容

2.1 誘因及び具体的なドライバー

プロジェクト実現の主な根拠は、老朽化に伴い機器の効率が低下していたことであった。効率を上げて発電量を増やすため、更新が計画された。原因については、2.3 項以降で詳しく説明する。

① 性能、状態、リスクの影響度

（主な要因）

(A)-(a) 老朽化／故障頻発－効率向上

更新した E&M 機器は、古い機器より効率にすぐれる。さらに、総容量が増加し、発電量が増加した。

(A)-(b) 老朽化／故障頻発－耐久性、安全性、信頼性の向上

Hemsil 2 の古い E&M 機器は、40 年以上にわたる稼動により消耗していた。更新せずに稼動を続けると、ますます安全性が低下し、時間と共にリスクが高まっていく（保守コストと時間がかかり、倒壊リスクが高くなる）。改造されたタービンは、数十年間、耐久性と安全性を保証する。

（二次的な要因）

(B)-(b) 環境劣化－河川環境の改善（二次的な原因）

以前、ガイドベーンの潤滑油が河川に漏えいした。更新により、不要な漏えいと汚染が起こらなくなる。

② 価値（機能）の向上

Hemsil 2 の更新は、原因（C）または（D）には直接関係しなかった。しかし、更新により、発電量が増加し、収益性が向上した。

③ 市場における必要性

市場要件はなかった。Hemsil 2 の更新は、スウェーデン・ノルウェー電力証書市場が実現する前に実施された。

2.2 経緯

計画及び実施プロセス

2002	初期調査
2003	契約実施
2004	詳細設計と発注
2005	2号発電機機械工事
2006	1号発電機機械工事

2.3 内容（詳細）

1-d) アセット・マネジメント、戦略的アセットマネジメント、ライフサイクルコスト分析

これらの検討は（ノルウェーの他の電力会社と同じく）E-CO Energi でも続いており、Hemsil 2 でも同様である。包括的計画および経済・戦略的検討を経て、タービンと発電機を更新する決定が下された。費用見積もり、予想収入、正味現在価値（NPV）などのパラメータが含まれた。故障確率は、ライフサイクルコストに関して考慮された。最終範囲は、これらの検討に基づいて決められた。

2-a) 電気機械装置の技術革新と適用拡大

一般に、古い機器は消耗して効率が低下する。他の技術作業も計画に考慮された。プロジェクトの特定の新規ソリューションが開発されたわけではないが、最適な機器を取得することが重要であった。ソリューションは、タイプ、製造者、費用、これまでの経験、専門家の助言など、調査と最新の知識（最新技術）に基づくものであった。

以降では、カテゴリー基準の追加的な詳細について説明する。

歴史

Hemsil 2 発電所（原機）の建設工事は、1957 年 1 月に始まった。建設終了時には、発電所は 2 基の発電ユニットで構成されていた。それぞれのユニットは、ドイツハイデンハイム（Heidenheim）のボイス（Voith）社製の堅型フランシスタービンを持っていた。発電機は、スイスのブラウンボveriバーデン（Brown Boveri Baden）社製であった。最初の機器は、1959 年 10 月に運転が開始され、その 1 年後の 8 月に第 2 基目が商業運転を始めた。

1980 年代の始めに発電機ステーターの一つが、巻き直された。1990 年頃に、コントロールセンターが更新され、発電機冷却機ファンが可変ピッチを持つ新しいブレードに交換され、もうひとつのステーターが巻き直された。それ以外には、運転開始から大きな改修はなかった。

技術的な状況

既存のタービンが運転を開始した時のデータシートでは、タービンが新しい状態の時に、最適な容量（最良点）の効率は 92.7%であった。機器は年間を通してずっと、定常的な裂傷の危険性にさらされてきた。2000 年に、タービンランナーの測定が行われた。測定では、現状のタービン効率のかんりの減少が見られ、それは新品のタービンと比較して 1~1.5%の低

下が測定された。新しいタービンは、大幅な効率向上が期待されている。同時期に、今後数年以内に行わなければならない、そして年次定期修理期間以上の長期間、発電機の運転を停止して実施しなければならない、いくつかのその他の保全作業が特定された。保全検査では、ラビリンスリングが直ぐに摩耗してしまう危険性を明らかにした。入口弁制御システムは、修正が必要であった。年次定期修理で必要な期間以上の多少の期間を必要とする、その他の小規模な改善業務もあった。これに加えて、設置されたガイドベーンシステムにグリースが塗られ、そのグリースが河川に漏れ出していた。このシステムの改善は、環境に対して有益な貢献を行った。

意思決定

保全の要求の取り組み、タービン効率を向上するために、重要な改修が検討された。初期検討のために、コンサルタント（SWECO）と契約を行った。初期検討において、コンピュータープログラムの Arab を用いてシミュレーションと解析が実施され、プロジェクトの範囲が検討された。収益性を検討するために、コスト見積と正味現在価値（NPV）計算が実施された。ライフサイクルコストの計算に際し、故障確率を考慮した。

これらの分析に基づいて、プロジェクトの最終の範囲が決められた。新しいタービンランナー、ガイドベーンの設置及び放水路の拡張プロジェクトを継続することが決められた。タービン容量を増やすために、容量が増加した新しい冷却ベンチレーターを設置しなければならなかった。そして、新しいコア絶縁のある新コイルを設置することも決められた。解析によると、改善後は、94.5%の効率が期待できた。現実的な推定では、各発電機は 41MW から 48MW の容量に増やすことができた（約 17%の増加）。

初期解析の結果は、入札書類の基本的な技術仕様の根拠として利用された。応札者の技術がより良好な結果をもたらすことができるなら、応札者が改善された効率を提示できるように応札書類が作成された。認定ベンダーは、各タービンについて 95%に近い効率と 49MW の容量を保証した。



新タービンのタービン検査

人員

機器の取り外しと新装置の設置は、E-CO 自身の従業員により実施された。コンサルタントは、エンジニアリングに従事した。

測定及び結果

増強された機器の運転が再開された時に、熱力学的効率測定が行われた。計測された効率は 94.3%で、ベンダーが保証した数値より若干低かった。保証効率からの差異の理由が検討され、予想より放水路の乱流が大きかったことが原因であった。既存の放水路は、新プラントを設計するときにベンダーが用いた放水路より丸い設計であったので、タービンと放水路の設計が、総合して最適化されていなかった。これにより、放水路にやや乱れが生じた。これは、効率偏差の理由を特定するために始動後に実施された詳細コンピュータモデリングによって発見された。設計と製造の不具合は見つからなかった。ベンダーがランナーを選択するタービン工程で適切なコンピュータモデリングを実施していれば、この問題が見つかった可能性がある。偏差の一部は、熱力学的測定の精度が低かったことでも説明がつく。ただし、最大発電機容量は保証されたレベルであった。

工事完了の時に、合計プロジェクトコストは、23 MNOK (3.9 MUSD)であった。それにより、0.68 NOK/kWh (0.11 USD/kWh)のコスト改善が得られた。

まとめ

更新後、平均年間発電量は 503 GWh から 537 GWh へと増加した。

技術データ	更新前	更新後	増加量
容量	2 x 41 MW	2 x 49 MW	16 MW
設計流量	2 x 14 m ³ /s	2 x 15.5 m ³ /s	3 m ³ /s
平均年間発電量	503 GWh	537 GWh	34 GWh

完成した時点での総プロジェクト費用は 2,300 万ノルウェー・クローネ（2006 年）（2015 年 5 月の為替レートで約 300 万米ドル）であった。ここから、開発費は 0.68 ノルウェー・クローネ/kWh（約 0.1 米ドル/kWh）となった。



Hemsil 2 号 発電機のある発電所建屋

3. プロジェクトの特徴

3.1 好事例要素

古いタービンランナーを新しい効率のものに更新し、発電機に修正を行うことによって、再生可能なエネルギーの発電を増加できた。設計上の放出は、わずか 3 m³/s だけ増えただけであった。この増加は環境に影響を与えないため、既存の許可の範囲内で実施された。

コンピュータモデリングおよびシミュレーションは、初期調査で実施された。ベンダー選定段階でこれを使用して、新規および既存の設計が互いに最適化されているのを確認すれば有効であった。

3.2 成功の理由

- ・ 詳細計画といくつかの代替案のシミュレーションを行った初期検討
- ・ 既存の資源を使った発電の増加
- ・ 必要な経験を積んだ E-CO Energi の職員（計画、プロジェクト管理、実施）
- ・ 重要な経験を持った技能の高いサプライヤー
- ・ 環境に対する影響がない
- ・ 土地所有者の許可が必要ない
- ・ 既存の許認可の範囲内で行える改善

4. 他地点への適用にあたっての留意点

本プロジェクトは、余剰の水量があり効率改善の可能性のある将来の類似プロジェクトのベンチマークになり得る。

5. その他（モニタリング、事後評価等）

2.3 項の測定および結果を参照する。

6. 詳細情報

6.1 参考文献

ノルウェーの Gol における IEA 会議、2013 年 6 月、E-CO Energi AS の Ranveig Jordet によるプロジェクトプレゼンテーション

6.2 問い合わせ

会社名: E-CO Energi AS

URL: www.e-co.no