

## IEA 水力実施協定 ANNEX 11 水力発電設備の更新と増強

## 第二次事例収集（詳細情報）

事例の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) 電気機械装置の技術革新と適用拡大

プロジェクト名 : Pirttikoski 発電所設備更新  
 国、地域 : フィンランド、ロヴァニエミ地区  
 プロジェクトの実施機関 : Kemijoki Oy  
 プロジェクトの実施期間 : 2009 - 2010  
 更新と増強の誘因 : (A)老朽化／故障頻発  
 (C)発電機能の向上  
 キーワード : 収益向上、増強、設備更新、アンシラリーサービス

要 旨：

Pirttikoski 発電所は 1956 ～ 1959 年に建設された。水車、発電機共に 50 年を経過している。他の発電所の設備更新の事例から、Pirttikoski 発電所のランナを更新することで出力を 110MW から 152MW へ増強できることが分かっていた。更新水車は効率改善ができ、更新発電機は既設機より損失を小さくできる。オイルレスのランナハブ水車ランナは、環境に対しても優しいものである。

Pirttikoski 発電所の例では、自動制御、保護および油圧制御システムの更新と共に主変圧器および 400kV 配開装置も更新した。

### 1. プロジェクト地点の概要（改修前）

Kemijoki川の主流に沿った発電所群は恒久的発電拠点であり、これら複合最適化システムにより変動が激しいピーク電力に対しても供給出来る。カスケード状に設置された発電所間の流量保持時間は大きく変動し、下流側発電所に影響を与える。発電所の上流池容量は限られているので、これら発電所群を効率良く総括的な運用を行う為には、それぞれの発電所の最大使用流量の緻密な相互関係が要求される。

Kemijoki川の主流の改善プロジェクトは1996年に開始された。現在、20台が既に改善され、これら改善は改修と一緒に行われた。改善基準や施工範囲は全体の費用効果に基づき決定され、プロジェクトの施工順番は、実現可能性および設備の状態や改修の必要性に応じて決められた。

Pirttikoski発電所はフィンランドの北部に位置し、Kemijoki Oy社はLapland地区に16発電所を所有しており、Pirttikoski発電所はその一部である。

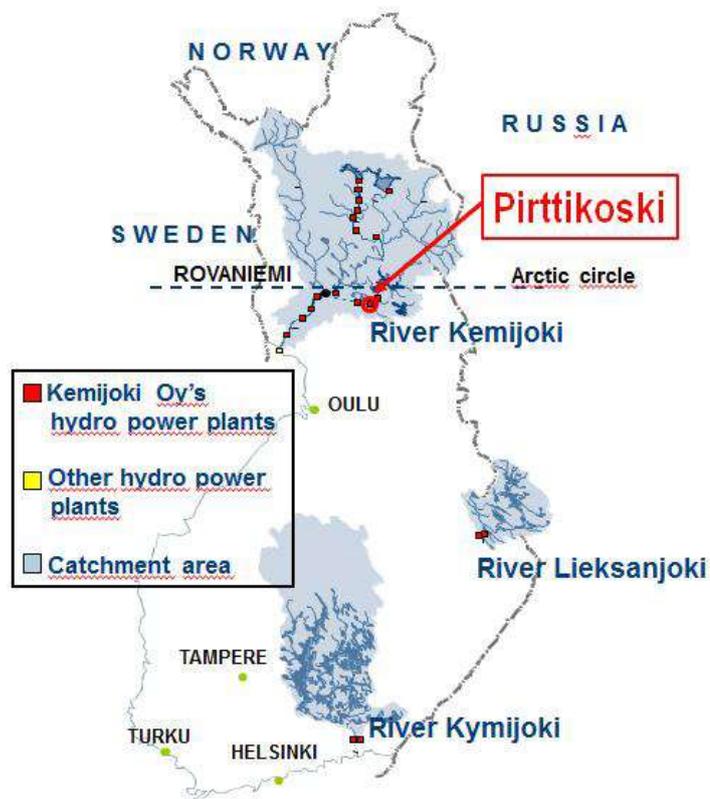


図1 Pirttikoski発電所の位置図

発電所は1956 – 1959年に建設された。機械室は岩盤の60m深さ迄掘削され、放水路の長さは3kmある。

既設発電所出力は110MWで発電量は551GWhであった。増強後、発電所出力は152MW、発電量は581GWhとなっている。

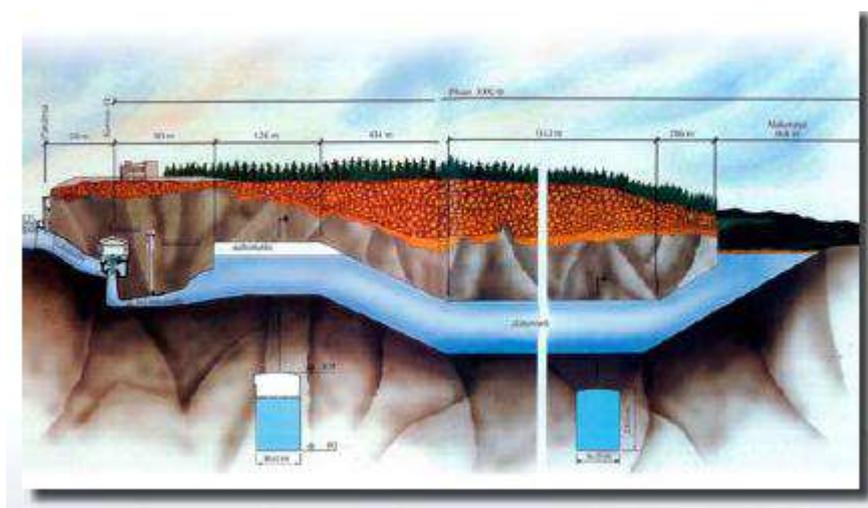


図2 Pirttikoski発電所トンネル

水量増加の影響範囲は発電所下流側6.3kmにも及び、Kemijoki Oy社は全土地所有者の補償に応じた。この補償の一部は新しいポートハーバーである。川べりの2km以上にわたり水位変動に伴う浸食を防ぐため、護岸を行っている。



図3 Pirttikoski地区外観

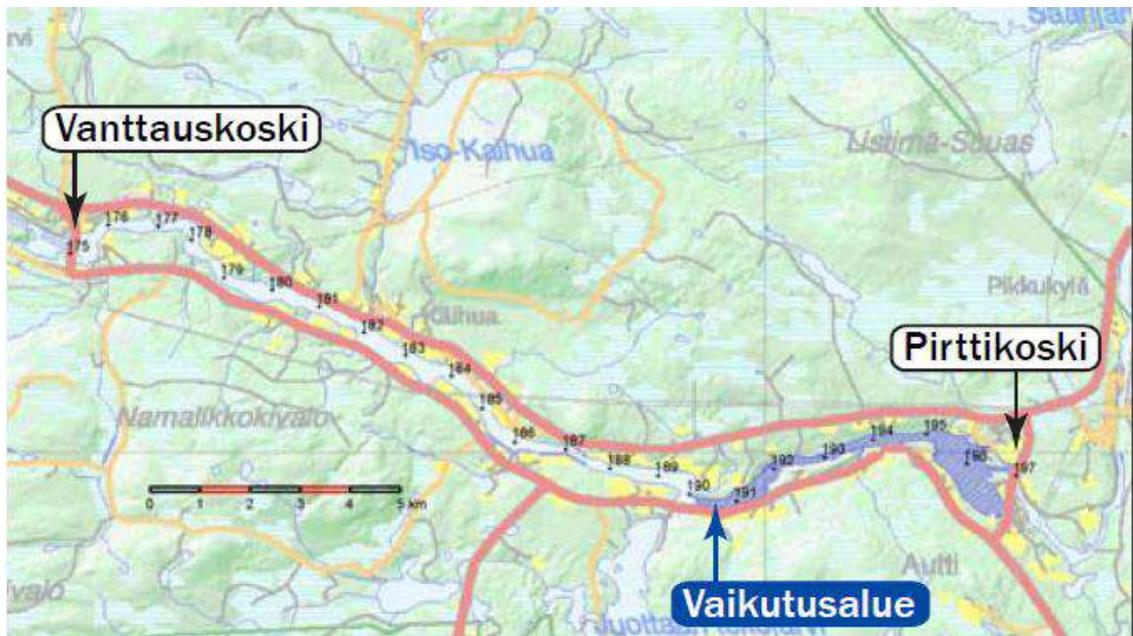


図4 Pirttikoskiの水位変動の影響を受ける範囲の地図（濃紺色部）

## 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

① 状態、性能、リスクの影響度等

(A)-(a) 老朽化／故障頻発 - 効率・出力改善

水車定格流量の増大と水車ランナ更新により出力および発電電力量増大

② 価値（機能）の向上

(C)-(b) 機能向上の必要性 - 機能向上の必要性と発電所用途変更（アンシラリーサービス）  
通常運転時の周波数制御予備力と瞬時（外乱）周波数制御予備力

Laitos	Rekennus- virittämän säily m <sup>2</sup> /a	Puutse- korkeus m	Uusi- lehto MW	Uusi- energia GWh/a	-96	-97	-98	-99	-00	-01	-02	-03	-04	-05	-06	-07	-08	-09	-10	-11
PETÄJÄSKOSKI I	+50	20,5	8,0	12	■															
SEITAKORVA II	+40	24,0	8,0	7		■														
TAIVALKOSKI I	+50	14,5	6,0	5			■													
TAIVALKOSKI II	+50	14,5	6,0	5				■												
TAIVALKOSKI III	+50	14,5	6,0	5					■											
VALAJÄSKOSKI I	+100	11,5	10,3	10						■										
VALAJÄSKOSKI II	+100	11,5	10,3	10							■									
VALAJÄSKOSKI III	+100	11,5	10,3	10								■								
SEITAKORVA I	+100	24,0	22,0	14									■							
PERMANTOKOSKI		24,0	2,0	4										■						
PETÄJÄSKOSKI II	+100	20,5	18,5	21											■					
PETÄJÄSKOSKI III	+100	20,5	18,5	21												■				
OSSAUSKOSKI II	+110	15,0	10,3	16													■			
OSSAUSKOSKI I	+110	15,0	10,3	16														■		
OSSAUSKOSKI III	+110	15,0	10,3	16															■	
PIRTTIKOSKI II	+100	26,0	21,0	15																■
PIRTTIKOSKI I	+100	26,0	21,0	15																■
VANTTAUSKOSKI I	+75	17,0	6,0	12																■
VANTTAUSKOSKI II	+75	17,0	6,0	12																■
PETÄJÄSKOSKI I	+75	17,0	10,0	7																■
<b>YHTEENSÄ</b>			<b>221</b>	<b>233</b>																

図5 1996年～2011年における Kemi joki Oy 社の増強実績

③ 市場における必要性  
(該当なし)

2.2 経緯

2006年	概要計画
2006年	リスク解析と損益計算
2007年	不動産交渉と合意
2007年	ライセンス申請
2008年 8月	第一回プロジェクト会議
2008年12月	ライセンス許可
2009年 7月13日～12月18日	最初の水車発電機停止
2010年 7月12日～11月26日	二番目の水車発電機停止

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

資産管理はプロジェクトのアップグレードに大きな影響力を有する。発電所は1957 - 1976年の間に建設され、大幅な改修が必要であった。

アップグレード（出力増強）の余地があることから、このプロジェクトの改修と改善を併せて行うことが有益であった。改修は発電機器の寿命を延ばし、保守費用の削減および安全性向上を図れる。アップグレードは発電所出力と発電量増大をもたらす。電力系統安定化に対しより多くの技術的余裕をもたらす。電力制御は風力発電量と不安定な電力の増大に伴い、近年非常に重要になってきている。

## 2-a) 電気機械装置の技術革新と適用拡大

発電所の出力は水車ランナを流れる水量および落差で決まる。より多くの水量と高い落差で出力を増すことができる。

過去 10 年の間に水車設計法は大きな改善が見受けられる。最大のアップグレードは 40% を超える出力の増大を達成したことである。これは一般に行われている水路、コンクリート構造物等の交換（変更）を要求されることなくできたことである。

出力増強の主因は水車流量を増加したことであった。概して効率を 0.5~2% 改善し種々の運転点において損失を小さく出来たという功績もある。

水車発電機停止期間前に、天井クレーンは完全に点検・オーバーホールが行われた。発電機の固定子と回転子を吊り上げるリスクを小さくするため、天井クレーン操作の信頼性を確認する必要がある。これらを吊り上げる時は、他の水車発電機は安全のため停止させた。工事工程が厳しかったため、クレーンにトラブルが生じた場合、プロジェクト全体に影響を及ぼす可能性があった。

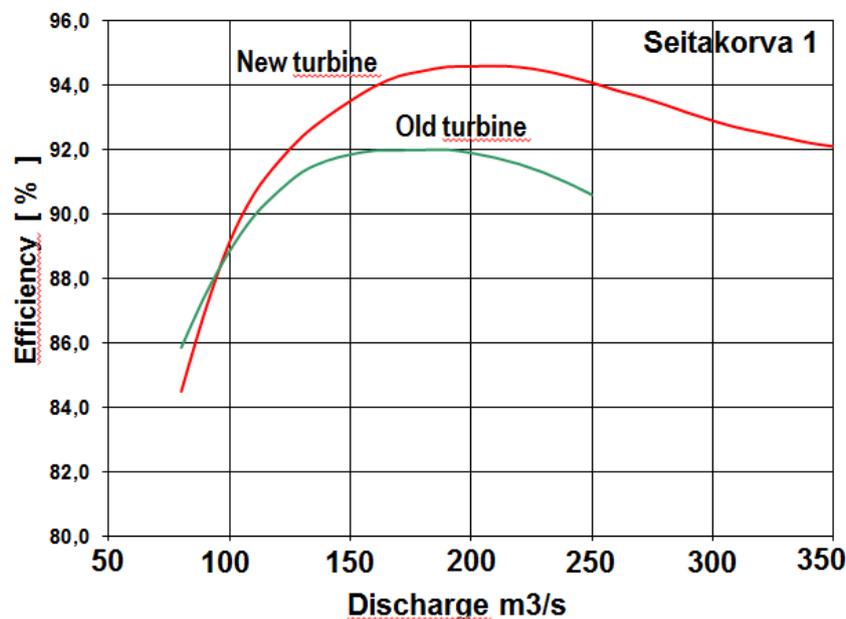


図 6 水車効率の改善

高圧の油圧装置を使用する場合、水車ランナハブ内のメカニズムを小さくすることが出来るので、水車ランナハブ径を小さくできる。

従来、水車ランナハブ内は油で満たされていた。Pirttikoski 発電所では、この油は無酸素水で置き換えられた。これはランナブレードのオイルシールに欠陥が生じた場合、油が河川に流出することがないので、環境に優しい水車となる。



旧水車ランナ



新水車ランナ

図 7 旧および新水車ランナ

ランナブレードの軸受は水車が常に周波数制御を行うことを前提に大きさが決められている。水車運転中は、ランナブレードは始終動いている。更に、昨年中は運転開始／停止頻度が増加し、この1年の間で1台当たり150～250回の起動／停止を繰り返している。

旧発電機はアップグレードを行っても出力を管理することは出来なかった。そのため、発電機は更新された。水車発電機停止作業が始まる前に、新しい発電機の固定子の作業が行われた。新しい固定子枠は3分割で取り寄せられ、組み立てが行われた。固定子枠内径がチェックされた後、固定子鉄心が規定場所に装着され、コイルを装着・結線した。

Pirttikoski 発電所の機械室は狭いため、水車発電機停止後この作業は開始された。最初、旧発電機の固定子は分解・搬出された。その後、新発電機の固定子が搬入され、旧発電機の回転子を搬出後、磁極等を分解・撤去した。回転子フレームを清掃・検査後、新しい回転子磁極が装着された。

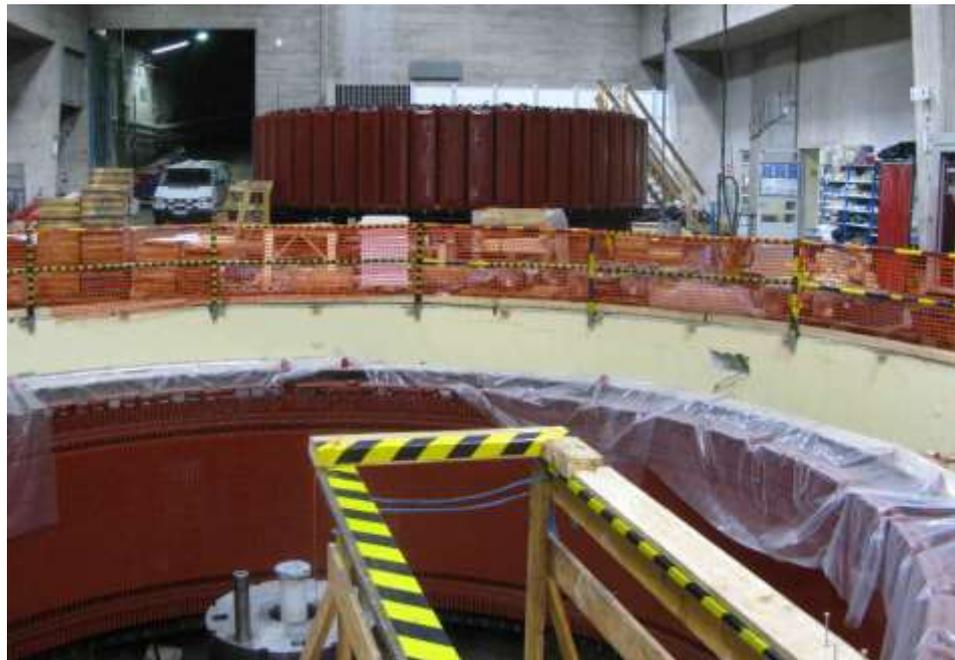


図8 新発電機の固定子と回転子

発電機と主変圧器との間の母線は電流が増えたために強化しなければならなかったが、旧母線に新しい銅板をボルト締めして対処した。

大きなプロジェクトをしばしば遂行する際は、この停止期間を利用して他の作業も同時に行うことが経済的である。Pirttikoski 発電所では、自動制御、発電機、主変圧器保護継電器が更新された。



図9 発電機の新スラスト軸受パッド

Pirttikoski 発電所の設備更新概要：

水車：

- ・新水車ランナ
- ・定格流量を250m<sup>3</sup>/sから350m<sup>3</sup>/s
- ・出力は55MWから76MWへ増強
- ・効率は2%改善
- ・新油圧装置、高油圧
- ・油レス化ランナハブ
- ・周波数制御を増強

発電機：

- ・新固定子および新回転子磁極
- ・容量を70MVAから85MVAへアップ
- ・効率は0.5%改善
- ・新保護継電器
- ・電流増大に伴う発電機～主変圧器間母線の強化
- ・新スラスト軸受、樹脂軸受(PTFE)

新自動制御システム：

- ・周波数制御の容易化

主変圧器：

- ・既設機は単相変圧器であったのを三相変圧器に更新
- ・2×85 MVA, 13,8 / 410 kV

新 400kV 断路器開閉所

### 3. プロジェクトの特徴

#### 3.1 好事例要素

- ・水力発電所アップグレードの事例の中では、40%出力増強という比較的高い改善となっている
- ・運転停止期間：20～23 週間

#### 3.2 成功の理由

Pirttikoski 発電所の設備増強プロジェクトは、Kemijoki Oy 社の設備増強シリーズ（計画）の 16 番目と 18 番目であった。人員計画、監督およびプロジェクト遂行は非常に手慣れたものであった。プロジェクトは多種多様であるが、彼らはたくさん共用していた。

技術的目標は達成でき、プロジェクトは予定通り行われ、予算内で遂行することができた。プロジェクト期間中、業務災害もなく計 17 回の危険状況通知を受けた。

プロジェクトの作業の大半は Kemijoki Oy 社の職員によって行われた。

### 4. 他地点への適用にあたっての留意点

Pirttikoski プロジェクトの経験は、他のプロジェクトでも使用されるべきである。技術的問題、プロジェクトチームの作業内容およびいくつかのプロジェクトで開発されたもの。

### 5. その他（モニタリング、事後評価等）

Pirttikoski の機器はアップグレード後問題なく運転されている。これらの機器は 40 年間運転出来るものと思われる。

アップグレードによる利益の半分弱は、改良機の出力量増強により発電能力が増え、豊水期に運転して得られた利益である。利益分布の代表的なものとして、利益の約 1/4 は効率改善によって、20%は出力増強によってピーク運転時の発電量増大、5%はアンシラリーサービス（周波数制御予備力と瞬時（外乱）周波数制御予備力）による売電量、そして残りは種々の機器の近代化によるものである。

予備力を確保すればするほど、OMコストがそれだけ嵩む。フィンランドでは水力発電のアンシラリーサービス機能役目が増えており、周波数制御予備力への投資は利益を生み出す。

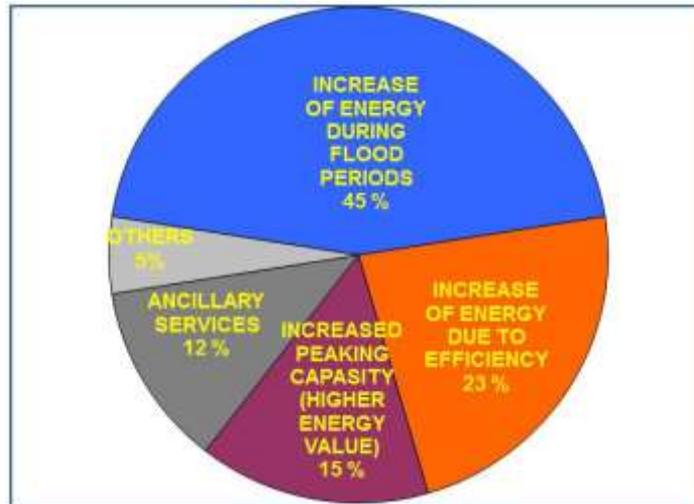


図10 アップグレードによる平均的利益分布

## 6. 参考情報

### 6-1 参考文献

- [1] Kari Lamminmäki, Janne Ala, Cost-effective new hydro capacity by upgrading existing hydro units on the Kemijoki River, Hydro 2012, Bilbao
- [2] Janne Ala, IEA Annex XI – Renewal & upgrading of hydropower plants, Questionnaire

### 6-2 問合せ先

会社名: Kemijoki Oy, Finland.

URL: [www.kemijoki.fi](http://www.kemijoki.fi)