



IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY
IMPLEMENTING AGREEMENT FOR
HYDROPOWER TECHNOLOGIES AND PROGRAMMES

Nw.08_Kongsvinger

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: 1-a) 国および地方のエネルギー政策

プロジェクト名	: Kongsvinger 水力発電所－2 号機
国、地域（州／県含む）	: ノルウェー、Kongsvinger 市
プロジェクト実施機関	: Eidsiva Vannkraft (Eidsiva Hydropower) Eidsiva Vannkraft は Eidsiva Energi 社の子会社
プロジェクト実施期間	: 2008 年以前: 計画と評価 ; F/S 調査 2008 年: 役員会決定 2008 年～2011 年 4 月: 建設期間
更新と増強の誘因	: (A) 老朽化／故障頻発 (C) 発電機能向上の必要性
キーワード	: 流れ込み式発電所、容量増大、再生可能エネルギー発電、柔軟性増大

要旨

Kongsvinger 発電所は、Glomma 川のコングスビンゲル町の数キロメートル下流にある。Glomma 川は総延長約 620km で、ノルウェーで一番大きな川である。Glomma 川の水資源は、100 年以上にわたり水力発電で開発、利用されてきている。

Kongsvinger 発電所は流れ込み式発電所で 1975 年竣工時は 1 台であった。水車発電機停止を必要とする全面運転保守時は発電できなく経済的損失が生じた。



Kongsvinger 発電所の位置図



30 年以上運転した機器の状態は悪かった。更なる発電を継続するためには全体的なリハビリが必要であった。もし、発電機が壊れたら 1 年位停止が必要となる。1 年間の発電停止は 130GWh（平均年間発電量）の損失となるかもしれない。新しい機器の設置は発電電力量の損失なくフレキシブルに半年間のメンテナンスを行うことができる。

Glomma 川の水量は、半年の間は Kongsvinger 発電所の最大使用水量よりも多い。水車 2 台の合計最大使用水量 $500\text{m}^3/\text{s}$ は、年間発電量を 70GWh 増加させ、200GWh にすると算定された。更に、長期間の発電停止も回避することができる。Kongsvinger 水力発電所に 2 号機を設置することで、現在、河川流量の大半が発電に使用されている。

新しい機器を設置する場合、1 号機については短期間でより簡単なメンテナンスが必要であった。これは冬季に発電電力量を損失することなく行うことができた。結局、新機器が設置された後にもっと包括的な方策（メンテナンス）を実施することができた。

機器停止を必要とする全面的メンテナンスは、オペレーターにストレスが掛かる状況を生み出す結果ともなる。発電所に機器 2 台を設置することで、河川の水量が少ない冬季に 5 ヶ月間のメンテのための自由な時間が確保できる。この作業は発電量損失なく行うことができる。従って、発電電力量の損失なくメンテナンス作業を行うことができる。

また、環境への影響は小さいと考えられたため、Kongsvinger 発電所拡張に伴う許可は必要なかった。

ノルウェー・スウェーデンのグリーン電力証書市場は、再生可能エネルギー電源を市場ベースで支援するシステムであるが、2012 年 1 月にスタートした。2 号機の運転開始は 2011 年であり、この市場での証書授与はないであろう。

プロジェクトは、更新と共に拡張を実施することが適切なソリューションであることを実証した。1 基ではなく 2 基を用意すると、リスクが低下し、建設期間中も発電を続けることができ、信頼性と安全な発電が数十年にわたって保証される。既設機を運転した状態で新しい機器を設置することは困難な作業であったが、無事に実施された。



Kongsvinger 水力発電所



1. プロジェクト地点の概要（改修前）

Kongsvinger 発電所は Glomma 川流域にあり、1975 年に運開した。Hedmark 地方の Kongsvinger 町の約 7km 下流の Svartfoss 滝地区に位置する。1988 年に最大水位を増加させ、総落差は 10.25m である。

Glomma 川は総延長約 620km でノルウェーの中で最大・最長の川である。川は海拔標高 700m にある Aursunden 湖から流れ出て、海面まで到達する。1895 年から水力エネルギー資源が開発され、当時から数多くの水力発電所が建設された。その数は約 15 か所である。これら全ては流れ込み式発電所で、主として滝が利用されている。多くの発電所が近代化および拡張されている。

我々が、1960 年代から 1970 年代にかけて、この Glomma 川に来た頃には、大半の滝は既に水力発電所として開発されていた。利用されている最低の落差は約 10m でその発電所は数箇所であったが、大半の発電所は 20m 以上の落差地点であった。水車型式としては、フランスおよびカプラン水車であった。

しかし、発電に適用出来て利益を生むような地点は未だ数箇所あった。1920 年代から、1930 年代にかけて、ドイツおよびスイスではバルブ型水車が開発されていたが、ノルウェーの水力発電所では小型機のみであった。Glomma 川および他の大河川での低落差をもっと有効利用するため、数箇所の地点でバルブ型水車は経済的かつ有益であることが分かった。

バルブ型水車はカプラン水車に類似したプロペラ型水車の一種である。バルブ水車の発電機は流路の中心に水密構造の鋼板性ハウジングの中に配置されている。バルブ（球）の下流側に設置された可動翼プロペラ水車で発電機を回転させる。カプラン水車と異なって、水は水車発電機の軸芯方向から入って若干流れの方向を変えながら軸芯方向へ排出される。水車ランナはプロペラ水車と同じように、3～8 枚のブレードを有し、負荷によってその翼角度を回転（変動）させる。これは低落差用フランス水車とは異なり、バルブ水車は翼角変動させることで負荷に対してより良い効率で運転出来る。

バルブ水車がコンパクトになれば、自由な発電所建屋設計が可能となる。しかし、バルブ水車は補修のためのアクセスが困難でバルブ（球）内は特殊な空調および冷却装置が必要となる。

1970 年代から 1980 年代にかけて、ノルウェーでは数多くのバルブ型水車が設置された。Kongsvinger 水力発電所を含め 4 台のバルブ型水車が Glomma 川流域に設置されている。最低落差は約 5m のものであるが、他の 3 台は落差 9～10m である。



Glomma 川流域の Kongsvinger 発電所



2号機設置前の Kongsvinger 発電所諸元

項 目	諸 元
流域面積	19,000 km ²
平均年間総流入量	約 9,500 Mm ³
平均流入量	300 m ³ /s
総落差	10.25 m
出力	21 MW
水車形式	バルブ水車 (1 台)
設計流量	250 m ³ /s
平均年間発電電力量	130 GWh
ダム形式	コンクリート、洪水吐ゲート
ゲート数	4
運転開始年	1975 年

設計流量は平均流入量の 80%より若干大きくポテンシャルの利用は 60%程度となっている。

2. プロジェクト（更新/増強）の内容

2.1 誘因および具体的なドライバー

プロジェクト実現化のおもな根拠は、既設発電所の設備容量が河川の流量を十分に経済的かつ有益に利用していなかったことであった。原因については、2.3 項以降で詳しく説明する。

① 状態、性能、リスクの影響度等

(A)-(a) 老朽化／故障頻発－効率向上

Kongsvinger 水力発電所の古いユニットが消耗し、1975 年以降効率が低下している。1 号機の徹底的なメンテナンスは必要だが、時間が掛かり、長時間の運転停止を要するので発電電力量損失が大きい。更新の原因となったのは、低効率と倒壊リスクであった。

ここでの不具合は、水源の利用率が不十分であることも意味する。設計流量と設備容量を増やして、利用率を向上させることができる。総容量は 22 MW 増加し、これによって追加平均年間発電量は 70 GWh となった。全体的実施には、既存の消耗したユニットの更新が含まれる。新規ユニットのおかげで、1 号機に必要な更新を実施するための柔軟性が高まった。

(A)-(b) 老朽化／故障頻発－耐久性、安全性、信頼性向上

新しいタービンを更新した古いタービンと併用することで、Kongsvinger 水力発電所の保守時間と停止期間が減少し、信頼性と安全性が数十年にわたって向上する。

② 価値（機能）の向上

(C)-(a) 発電機能向上の必要性

更に大きな容量の設備は技術的に可能であり、出力増加はコストに見合うものと考えられた。2 号機の設置は Kongsvinger 水力発電所より大きな容量となるが、流量損失を減少させることに繋がるので発電量を増加させ収入が増えることとなる。

③ 市場における必要性

全般的な収益を超える外部投資インセンティブは特になかった。プラントは 2011 年に稼動開始したため、2012 年 1 月から開始されたノルウェー・スウェーデン電力証書市場の証書を受ける資格を持たない。決定の根拠は、電力証書を考慮に入れず、発電、費用、全般的な市場予測であった。さらに、耐久性と安全性も不可欠なインセンティブであった。



2.2 経 緯

2008 年以前：計画・評価：FS 調査
2008 年 3 月：プロジェクト遂行の閣議決定
2008 年 8 月：現場作業開始
2011 年 1 月：試験
2011 年 4 月：新設機運転開始
2011 年 6 月：発電所周辺の整備および清掃

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

Kongsvinger 水力発電所 2 号機の設置は改修および拡張プロジェクトであり、Eidsiva Vannkraft の水力ポートフォリオの最適な開発に向けた長期戦略の一部をなす。これらの検討は（ノルウェーの他の電力会社と同じく）Eidsiva Vannkraft でも続いており、Kongsvinger 水力発電所でも同様である。総合的な計画および経済的・戦略的検討は、2 号機を設置するという決定につながった。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。1 号機の故障確率は、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。

1-a) 国および地方のエネルギー政策

拡張は重要な環境の取り組みであり、議会および政府が表明した最優先目標に従い、既存発電所の能力を更に活用することで再生可能エネルギーを増産することが規定されている。そのような措置は、多くの場合、未開発地域に発電所を建設するよりも環境影響が小さい。

カテゴリー2 キーポイントは、本プロジェクトに関しては明らかまたは有力でなかったため、特に説明しない。電気機械（E/M）機器の技術進歩および展開は、ある程度、1 号機の更新および 2 号機の設置時に問題となるが、タービン設計に関する既存のノウハウを超えるものではない。絶対的に顕著な時期は、計画、全体的解決、導入である。

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。

背 景

Eidsiva Vannkraft 社の子会社である Eidsiva Energi 社は、数多くの水力発電所を所有・運用している。年間発電電力量は 3.5TWh である。会社の所有権は、26 地方都市と 2 郡自治体が保有している。

Eidsiva Vannkraft 社の明確な方針は、水力発電（再生可能エネルギー）量を増やすことである。更新・増強の時期にきている発電所がいくつかある。これを検討することは継続的なプロセスであり、いくつかのケースでは、既設発電所の拡張にも繋がる。Kongsvinger 発電所はこの事例である。

1990 年代のノルウェー電力市場の事情により、21 世紀初め以前は水力発電所の拡張が再度収益を上げるとは一般的にみなされていなかった。その後、Kongsvinger 水力発電所の新設機計画が始まった。

計 画

1 号機の機器は 30 年以上経過した悪い状態であって、これ以上の連続運転は無理だった。改修のためには 1 年間が必要で、顕著な発電量と収入の損失があると試算された。

1970 年代当時の開発者の限られた資金力のため、設備容量は余りにも小さ過ぎた。従って、既設機と同一容量の機器を追加設置することが推奨された。同時に、これは 1 号機の増強だけよりも良い解決策であった。2008 年 3 月 26 日の役員会で投資決定がなされた。現地工事は 2008 年 8 月に始まった。



流込み式発電所で1基のユニットしか稼動していなければ、発電損失なしで保守を実施する時間のごく制限される。通常、保守にはユニットの停止が必要となり、必要であるよりも保守作業が少なくなる。そのせいで、機器が損傷する確率が高くなる。柔軟な保守を実施して発電損失を軽減するには、2基を稼動させることが重要であると判断された。

実 施

1975年にKongsvinger発電所が建設された当時は、1台分の増設スペースが準備されていた。ダム上流側の開放部はブロックで閉鎖された。岩盤は削孔・発破されることなく、また、放水路側には防壁も設けられなかった。防壁は2008年の秋に設けられた。既設発電所建屋の反対側では魚道が防壁として使用された。魚道は鋼線で岩盤の8m深さの孔に固定された。

2009年に5000m³の岩盤の削孔・発破が行われた。既設発電所建屋と堰柱に対して、岩盤はワイヤーソーにて掘削された。この作業は、既設機が運転中に行わなければならなかった。破砕は既設発電所に幾分かの振動を与えたが、制御室への振動を軽減するためいくつかの対策が施された。全コンクリート打設量は約9,000m³であった。



掘削と爆破

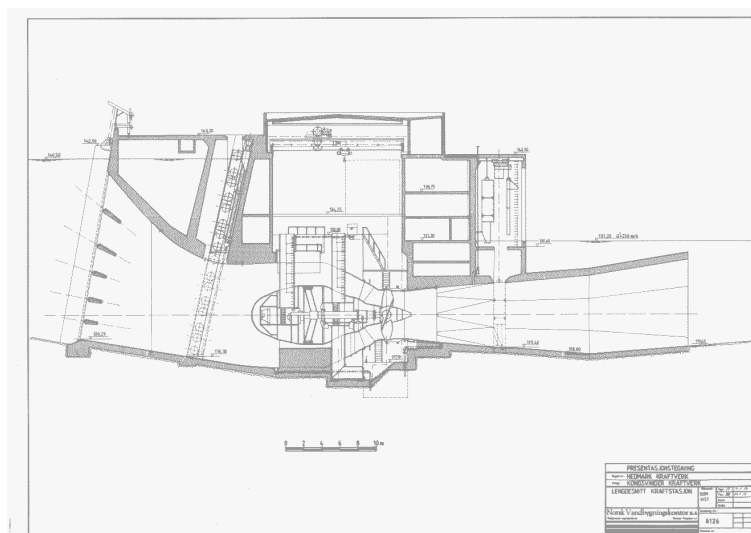
2010年に新発電ユニットの設置が行われた。水車はランナ径5.5mのバルブ型水車である。ステータ径は5.9mである。最終据え付けと試験は2011年4月に行われた。



IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY
IMPLEMENTING AGREEMENT FOR
HYDROPOWER TECHNOLOGIES AND PROGRAMMES



上左：ドラフトチューブ建設
上右：水車ランナの組み立て
下：発電機固定子組み立て



Kongsvinger 発電所縦断面図

建設中の課題は数多くの建設業者と資材供給者との調整であった。最も集中した時期には、7 建設業者と資材供給者が同時期に作業した。



IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY
IMPLEMENTING AGREEMENT FOR
HYDROPOWER TECHNOLOGIES AND PROGRAMMES

特 徴

2号機設置後の Kongsvinger 発電所の特徴を下表に示す。

項 目	1 号機	2 号機	計
総落差	10.25 m	10.25 m	
設備出力	21 MW	22 MW	43 MW
水車形式	バルブ水車	バルブ水車	
回転速度		93.75 rpm	
設計流量	250 m ³ /s	250 m ³ /s	500 m ³ /s
発電機容量		25.8 MVA	
年間発電電力量	130 GWh		200 GWh
運転開始	1975 年	2011 年	

1号機の発電量は2号機据え付け前の値である。2号機は1号機より1%高い効率を有しているため、流量がそれぞれの水車の設計水量より小さい時には2号機を運転することが好ましい。

2号機設置後、設計流量と平均流入量との関係は1.7（約2倍）である。河水の利用率は現在60%から増えて約90%である。

新設機は契約日である2011年4月に運転開始した。総工費は356.5百万NOK（2015年5月時点で約46～47百万ドル）である。これは予算より3.8%低かった。

3. プロジェクトの特徴

3.1 好事例要素

計画と実施は適切に行われた。

Eidsiva vannkraft 社は現在 Braskereidfoss 水力発電所の増設の据え付け作業を始めた。この発電所もまた Glomma 川流域、Kongsvinger 発電所の上流約70kmにある。Braskereidfoss 発電所は Kongsvinger 発電所と同一形式のバルブ水車を備えた流れ込み式発電所である。Braskereidfoss 発電所は1978年に1台の機器で運転開始した。

設計流量は270m³/sで発電容量は22MWである。状況は Kongsvinger 発電所と同様である。設計流量は相対的に小さく、増設は溢水量を減らし発電量を増加させる。更に、メンテナンスに柔軟性を持たせることができる。

それ故に Kongsvinger 発電所2号機で得られた経験、特に建設中の河床評価と水量制御は、Braskereidfoss 発電所の新設機計画・据え付け時の有益な情報となるであろう。建設は2013年7月に開始。2015年12月に完成する予定である。

3.2 成功の理由

1. 既設機が運転された状態で土木建設作業、新設機（水車、発電機）据付が行われた。
2. どんなプロジェクトでも同様に、工期通りの施工と予算は成功のための重要かつ明白な指標であった。
3. 数多くの建設業者と資材供給者の上手なコーディネーション

4. 他地点へ適用にあたっての留意点

2.3項を参照する。

5. その他（モニタリング、事後評価等）

なし



IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

IMPLEMENTING AGREEMENT FOR

HYDROPOWER TECHNOLOGIES AND PROGRAMMES

6. 参考情報

6.1 参考文献

なし

6.2 問合せ先

会社名: Eidsiva Vannkraft (Eidsiva Energi)

URL: <https://www.eidsivaenergi.no/>