

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-b) 投資支援策（電力買取制度(FIT)、RPS 制度、資金補助、税の控除等）

Sub : 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

1-f) 環境保全及び改善

プロジェクト名	: Hemsil III 発電所 : Hemsil II 発電所の増設・増強計画
国名（州／県を含む）	: ノルウェー、Buskerud 郡、ゴル Gol 地方自治体
実施機関／団体	: E-CO Energi AS
実施期間	: 2011～2016 年 計画、申請、ライセンス及び投資決定 2016～2019 年 詳細計画、建設工事、発注
更新および増強の誘因	: (A) 老朽化/故障頻発 (a,b) (B) 環境劣化 (b) (C) 高効率の必要性 (a,b)
キーワード	: 発電量の増加（流量損失の減少）、効率改善（設計水量の増加と落差損失を減らす新しい水路）、川への最小水流（エコロジカルフロー）の導入

要旨

Hemsil 川の Eikredammen から Gol までの落水は、Hemsil 2 発電所がオスロ市に電力供給を開始した 1960 年以降、水力発電に利用されている。Hemsil 2 水力発電所は、ノルウェー首都のオスロから 180 km 北西にある Hallingdal 溪谷に立地する。Hemsil 2 水力発電所は、オスロ市が所有する公営企業、E-CO 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、www.e-co.no を参照。

Hemsil 2 水力発電所は、2004 年～2006 年の期間に更新された。「Hemsil 2 水力発電所の更新」も参照する。これにより容量と発電量が増加し、数十年間にわたって耐久性と安全性が保証される。現在は発電所を拡張している。

Hemsil 2 水力発電所は、55～60 年前に計画され建設された。計画および建設は、その時点の前提および要件に基づいて実施された。その後数十年間に他の条件が設定された。経済力も重要である。そのため、設計流量および設備は、流入量に対して小規模である。したがって、Hemsil 2 の拡張（Hemsil 3 と呼ばれる）は、過去数十年における各種ソリューションを使用して評価されている。基本計画には、1980 年代に準備された残りの水源に関する選択肢が含まれる。それ以降、プロジェクトは何年か検討されたが、収益が出ないことが分かった。

ノルウェー・スウェーデン電力証書市場が計画され実現したことで、拡張しても採算がとれる可能性が高まった。そのため、E-CO Energi は、2011 年に集中的な計画を開始した。そして、既存の系統の近くに並列に水路と発電所系統が置かれることになった。現時点で最大の計画では、容量が 98 MW から 181 MW に増加し、平均年間発電量は 537 GWh から 628 GWh に増加する。許可申請書がノルウェー水資源・エネルギー庁（NVE）に提出された。NVE は、許可を交付するよう石油エネルギー省（OED）に勧告する。許可が交付される場合、投資決定は 2015 年から 2016 年に行われる可能性がある。現場工事は 2016 年から 2017 年にかけて開始され、2 年半ほどかかる。新規の Hemsil 3 発電所は、2019 年または 2020 年に稼働開始す

る見通しである。

2012 年、ノルウェー・スウェーデン電力証書（「グリーン証書」）市場が始動した。Hemsil 3 は、2020 年末までに稼動開始すれば、証書に必要な資格を得る。現在の状態になるまでに多くの面に関して包括的な計画が実施されたが、最終的な計画は決定されていない。



Hallingdal の Hemsil 発電所の位置

1. プロジェクトの概要（更新/増強前）

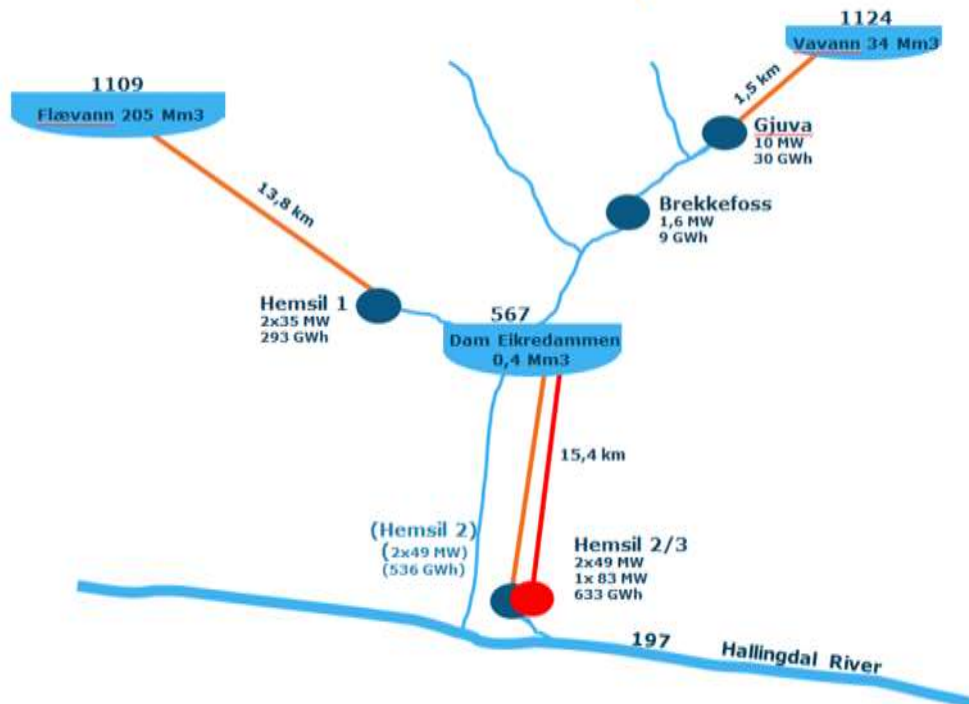
Hemsil 川流路の Eikredammen から Gol に至る落水が、水力発電のために 1960 年から利用されてきた。発電所は、ノルウェーの首都のオスロから西方約 180 キロメートルにある Hallingdal 溪谷に位置している。当初、電力はオスロ市の公共用途に供されていた。ハリンダル地域からオスロへの送電線は、この目的のために設置された。1990 年代の電力市場の自由化後、本発電所で発電された電力は、電力市場で取引されている。

取水池は Eikredammen と呼ばれる人造湖である。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。

取水池は非常に小さい($V=0.37\text{M m}^3$)。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(の流水)は、二つの貯水池 (Flævatn 205 Mm^3 と Vavatn 34 Mm^3) で調整されている。続けて、大きな調整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となり、春、夏、秋の間のエイクレダムへの流入量はかなり変動する。Eikredammen ダムへの年間を通した平均流入量は、 $23\text{ m}^3/\text{s}$ 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 70 MW であった。

The Hemsil HPP system



Hemsil 水力発電所の構成



Eikredammen の写真（2012 年）

既設の Hemsil II 発電所は、標高 566m の小さな Eikredammen 取水池から Gol 付近の標高 196m の Hallingdalselva 川に至る Hemsil 川の落水を利用している。導水路トンネルは、長さ 15.4km で断面積は 10~18 m² である。トンネルの通水容量が少なく、システム中でかなりの水頭損失がある。



Eikredammen 取水池

Hemsil 2 発電所は 1959～1960 年に地下に建設された。発電所には、2004～2006 年に更新された 49MW の容量を持つ二つのフランシスタービンがある。現在の合計最大使用水量は 31 m³/s である。発電機器は、2006～2008 年に更新増強された。現在の発電所の平均年間発電量は、約 537GWh である。



Hemsil 2 号 発電機がある発電所建屋

Hemsil II 発電所の設計使用水量は、実際の河川流量に対して最適化されていない。効率は低く、環境フットプリント※を最小限にとどめることに重点が更に置かれている。Hemsil 川下流の Eikredammen への維持流量に関する許可条件はない。それは、その地域の河川と周辺景観の間のつながりを改善するための地域のニーズであった。2009～2011 年に、E-CO は地域社会（河川と土地の所有者）と一緒に、河川の美化を実施した。2011 年からは、E-CO は、冬季に 25 l/s 及び夏季に 100 l/s の環境流量の放流（維持流量放流）を自主的に始めた。2012 年に実施された評価では、魚類に関して河川システムが向上している。

※ 河川周辺の環境や生態系を守るためのプロジェクト

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

プロジェクトの主な根拠は、経済的利益に合わせて河川の流水を利用するには設備容量が足りないことである。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

ここでの不具合は、水源の利用率が不十分であることを意味する。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。総容量を最大 83 MW 増やすと、平均年間発電量は 91 GWh 増加する。当初の許可申請を参照する。

申請の処理中、E-CO Energi は、拡張を小規模に抑えた 3 つの追加オプションを提示した。これらのオプションでは、設計流量と設備容量を抑え、古いトンネルに並列に短めの導水路トンネルを建設する。簡単に言うと、4 つの選択肢には 51 MW (48 GWh/年) から 83 MW (91 GWh/年) までの幅がある。すべての選択肢で 1 ユニットが想定される。

(A)-(b) 老朽化／故障頻発－耐久性、安全性、信頼性向上

タービンを追加 (Hemsil 3) すると、Hemsil 2 および Hemsil 3 の組み合わせにより保守時間と休止期間が短縮し、数十年間にわたって耐久性と安全性が向上する (Hemsil 2 水力発電所の 2 基のタービンは 2004 年～2006 年に更新された)。

(B)-(b) 環境劣化－河川環境の改善

取水口 (環境放水) 下流の河川の最低流量が要件として導入された。環境にやさしい流量が許可申請書で提案され、許可の重要な前提条件となる。これにより、流域の環境条件が保護される。

② 価値 (機能) の向上

(C)-(a) 発電機能向上の必要性－効率向上、増設、出力・アワー増

既存の発電所は、現在妥当と見なされる以外の前提に基づいて開発された。総設計流量と設備容量は比較的低く、水と発電量の損失がやや高い。総容量を増やして水損失を減らし、総発電量を増やすことが有益であった。

(C)-(b) 発電機能向上の必要性－発電用途の変更、機能付加

2012 年にノルウェー・スウェーデン電力証書市場が導入されたことは、Hemsil 2 水力発電所を拡張するための投資インセンティブとなった。プロジェクトの最終計画および実施は 2012 年までに開始されたが、証書市場が準備中であるという有力な信頼できる見通しがあった。

③ 市場における必要性

ノルウェー・スウェーデン電力証書市場は、本プロジェクトの重要な資金源となった。

2.2 経 緯

計画及び実施プロセス

2011	担当機関によるマスタープランの承認
2012	スウェーデン・ノルウェー電力証書市場の導入
2012	NVE に通知書を提出
2012	EIA
2013	ライセンス申請を NVE に提出
2013	NVE からの勧告 (想定)
2014	石油エネルギー省からのライセンス取得 (想定)

2015 プロジェクトマネジメント策定（予定）
2015/16 許可決定の見通し（OED）
2015/16 予定プロジェクト管理
2016 建設計画開始（予定）
2019 完成及び商業運転開始（予定）

2.3 内 容（詳細）

1-b) 投資支援策（電力買取制度(FIT)、RPS 制度、資金補助、税の控除等）

新しい再生可能エネルギー発電を開発する強力な動機となるのは、2012 年にノルウェー・スウェーデン電力証書市場の導入である。新しい再生可能エネルギー発電による収益は、電力販売と電力証書市場での販売の両方から生じる。Hemsil 3 プロジェクトによる追加発電は、そのような証書の対象となる（2020 年 12 月 31 日までに新規発電所を稼動開始することを前提とする）。

この場合、以下による追加発電に証書が発行される。

- i) 余水の利用
- ii) 電気機械設備の効率向上
- iii) 水路における水頭喪失の軽減
- iv) 古い発電所と新しい発電所を別に運転するため、保守期間のエネルギー損失の軽減

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

このプロジェクトは長年にわたって会社のポートフォリオに含まれていたが、予想される収益性は最近まで期待できなかった。

決定の根拠として、複数の選択肢に関する詳細な費用便益分析が実施された。正味現在価値（NPV）と内部収益率（IRR）を計算して比較することが不可欠であった。モデルには、プロジェクト費用/建設費、作業中の生産損失（生産停止または減少）の価値、稼動開始後の生産増加の価値、更新前後の運転費および保守費、電力証書（「グリーン証書」）および税が含まれる。税は残念ながら、新しい機器に投資せずに古い機器を修理するなど、機器をあまり交換しないという強力な動機になりうるため、非常に重要である。

その時点で NPV および IRR の収益性が最も高い選択肢が許可申請に選択された。許可が交付される場合、新たな計算が実施される。結果に基づき、最初に申請したものより拡張を抑えることが選択される可能性がある。投資決定プロセスでは、以下が主に検討される。

- 許可（条件および要件）
- 新規施設の建設費用（土木工事および電気機械機器）
- 電力市場の展開（電力価格、証書価格）。ノルウェー・スウェーデン電力証書市場（新規再生可能発電を開発するインセンティブ）は、プラント容量の決定およびプロジェクト発表時期において重要となる

1-f) 環境保全及び改善

このプロジェクトの目標は、河川および流域の生物多様性を保護し、改善するソリューションを実施することである。

最低流量要件なしで 50 年以上にわたってエネルギーを生産してきたため、EIA プロセスでは、注意すべきいくつかの種（希少苔類/地衣類）があるという結論が導き出された。最低流量（環境にやさしい流量）が Eikredammen 池から放出される。

新しい計画により、強力な長期的ソリューションがもたらされる。今後 50 年～60 年間は、環境フットプリントを最低限に抑えた予測可能で費用効率にすぐれた発電が確保される。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。

2015 年 5 月までの状態

Hemsil 3 水力発電所は Hemsil 2 水力発電所の容量拡大と見なされ、更新および増強の事例となる。Hemsil 3 は現在、最終許可プロセス段階にある。2012 年、プロジェクト通知がノルウェー水資源・エネルギー庁（NVE）に提出された。

2012 年、自然、生物多様性、社会に関する環境影響評価（EPA）が外部コンサルタントによって実施された。以下が主要事項であった。

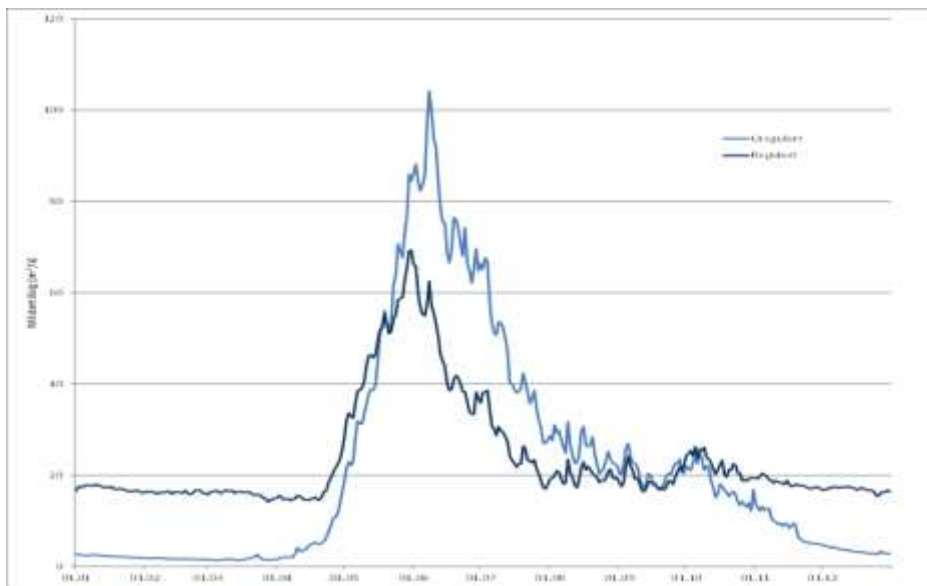
- 環境問題（環境水流、魚類、希少植物）
- 景観（河川敷、歴史と文化、掘削土の処理）
- 地域社会（経済的影響）

2013 年、EIA 報告書を添付した許可申請が NVE に提出された。NVE は許可を交付する権限を持たないが、許可を交付するよう勧告した。この権限は石油エネルギー省（OED）に割り当てられている。許可が交付される場合、投資決定は 2015 年から 2016 年にかけて行われる可能性がある。現場工事は 2016 年から 2017 年にかけて開始され、2 年半ほどかかる。新規の Hemsil 3 発電所は、2019 年または 2020 年に稼動開始する見通しである。

投資決定プロセスは、許可規定、建設費、市場拡大（通常市場と証書市場）が不可欠な要因となる評価に基づく。

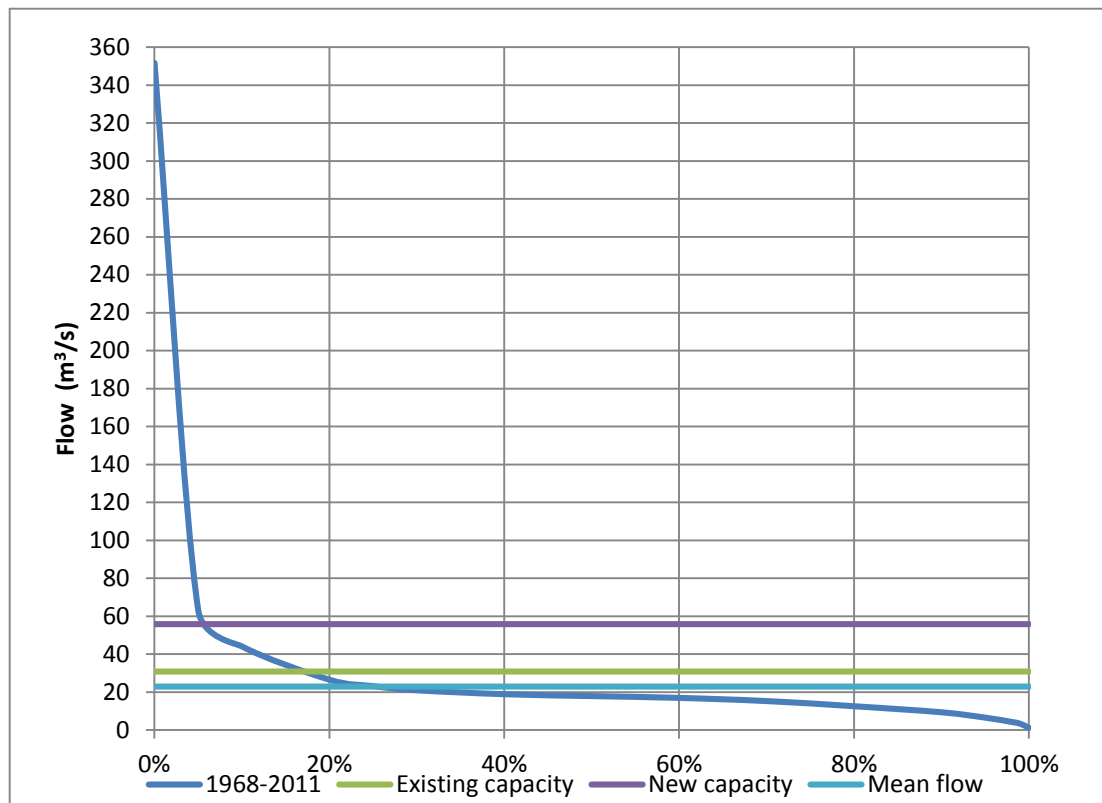
流入量および流量持続曲線

Eikredammen 池は、平均流入量のある程度調整する。Flævatn と Vavatn という 2 つの上流貯水池が年間を通じて流量を均等化する。これを以下の図に示す。



調整及び非調整状態の Eikredammen に向かう年間平均流入量（m³/s）の変化

以下の図に、Eikredammen での流量持続曲線を示す。Hemsil 2 および Hemsil 3（第一の選択肢）をまとめた容量は 56 m³/秒であり、流水の大部分を利用するために十分である。



Hemsil 2/3 号の Eikredammen の流量持続曲線

持続曲線は、選択した設計流量を実証する簡単な方法である。曲線は約 55~60 m³/秒を超える流量で非常に急になり、最適な設計流量がこの範囲にあることを示す。持続曲線は最適な設計流量をおおまかに示すが、発電量はさらに高度なシミュレーションモデルも使用して算出される。

技術的配置

第一の選択肢（最初の申請による）は、Hemsil 2 発電所からそう遠くないところに、フランシスタービンを含む 83 MW のユニットを 1 基備える地下発電所を新規に建設することである。設計流量は 25 m³/秒、最低流量は 6.3 m³/秒である。導水路トンネルは、Hemsil 2 の導水路トンネルとほぼ並列し、長さ 15.4 km、断面積 25 m² となるよう建設される。取水口は、Hemsil 2 水力発電所と同じ取水池に位置する。

第一プロジェクトを実施すると、設備容量は 98 MW から 181 MW に増加する。増強した設備により、水損失が約 1 億 m³ 減少する。増加発電量は、Hemsil 2 + Hemsil 3 の合計発電量から、Hemsil 2 水力発電所の現在の発電量を引き、E-CO Energi から提案された最低流量を引いて求められる。Hemsil 3 の発電セットは、主機として運転される。Hemsil 2 は、流入量が Hemsil 3 の流量を超えたときに稼動する。

Hemsil 3 プロジェクトは年間約 91 GWh の新規発電を行い、これらは電力証書の適用対象となる。平均年間発電量は、537 GWh から 628 GWh へと増加する。費用は、約 7 億 4,000 万ノルウェー・クローネ（2010 年価格レベル、2015 年 5 月の為替レートで約 1 億米ドル）と見積もられる。

Hemsil 2 と Hemsil 3 の主な特徴

	Hemsil 2	Hemsil 3	合計
総落差 (m)	370	370	
最大流量 (m ³ /秒)	31	25	56
発電設備容量 (MW)	2x49 = 98	83	181
タービンタイプ	フランシス	フランシス	
発電量 (GWh/年)	537		628
増加発電量 (GWh/年)			91
稼動開始年	1959～60 年	2019 年予定	

以下では、いくつかの重要な考慮事項について説明する。

導水路出口と落差の選定

導水路トンネルの位置と出口高さの 3 つの選択肢が検討された。選択されたソリューションは、Hemsil 2 と Hemsil 3 共通の導水路トンネルである。つまり、Hemsil 3 は、Hemsil 2 と同じ総落差で建設される。他の 2 つの選択肢は、選択された出口より下流に出口を備え、総落差が高く、設備容量が多く、発電量が増加する（同じ流量）。しかし、これらの選択肢は、費用がかかるために却下された。

損失水頭の低減

既存の Hemsil 2 水力発電所では、特に発電所が全面稼動（最高 98 MW）した場合、重大な水頭損失が生じる。そのような場合、トンネルの水頭損失は約 22 m である。発電所が最大容量の 3 分の 2 で稼動している場合、水頭損失は約 12 m となる。

新規の並列トンネルが建設されると、最高 183 MW の全面稼動時の水頭損失は Hemsil 2 で約 18 m、Hemsil 3 で約 15 m となる。この容量の 3 分の 2 で稼動する場合、水頭損失は約 10 m に縮小する。

出力と生産性

既存の Hemsil 2 水力発電所には大量の余水があるため、容量を増加することが重要であった。これは、Hemsil II 発電所の全面的な改築及び既存設備の交換、又は付近に新発電所の建設のどちらかを実施することで可能であった。Hemsil II の改築は、導水路トンネルの寸法を大きくすることを含めたかなりの工事が必要であった。それは、又、容量増加が限られていた。改築には、約 1 年半の停止が必要であり、それにより約 500GWh の発電量が消失すると見積もられた。

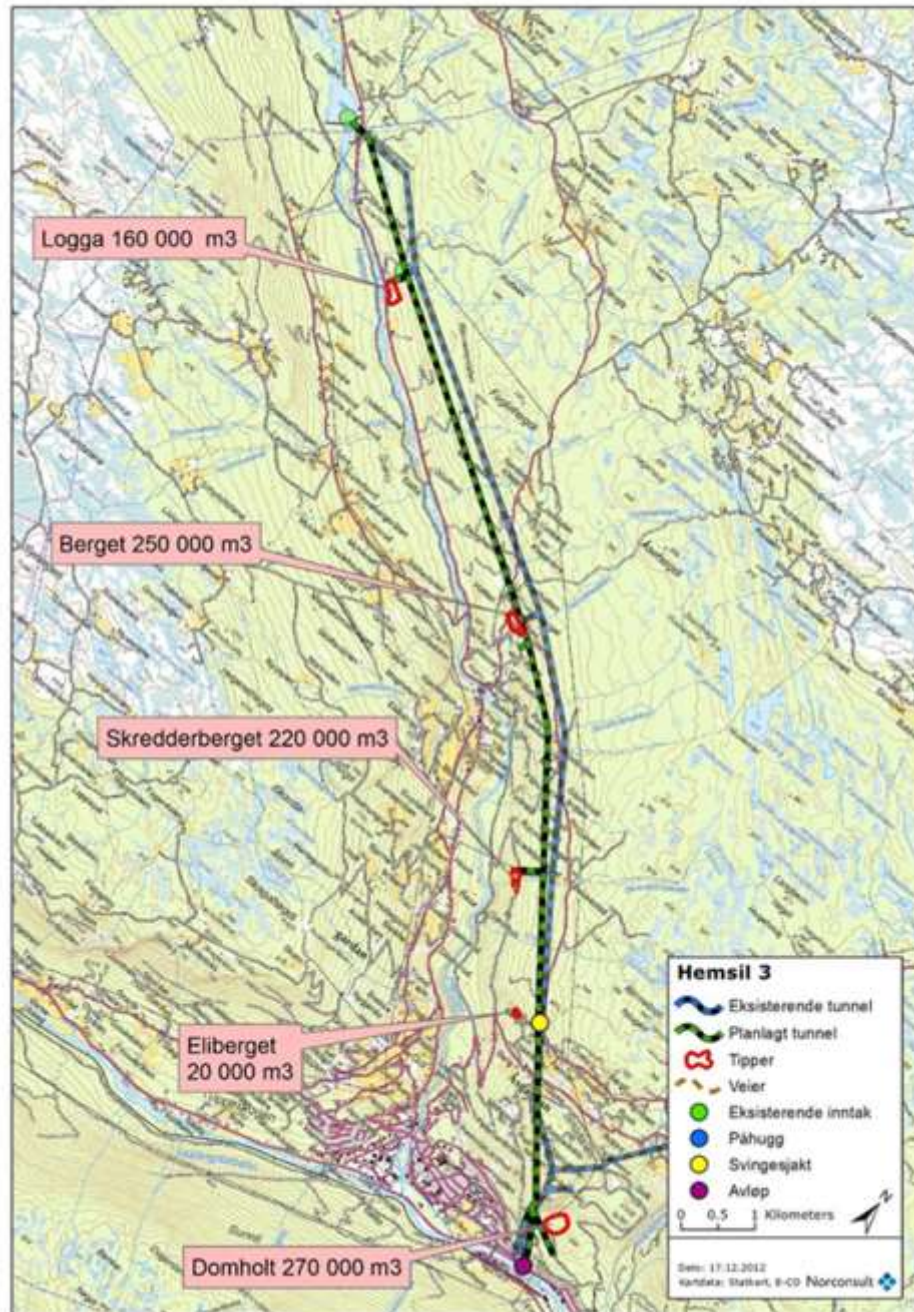
新発電所の建設により、容量の最適化の機会が与えられる。新しい並行した取水は、洪水処理容量を減らさずに、Eikredammen 取水池に統合することができる。

1 基の大型フランシスタービンが選択された。1 基のユニットの代わりに 2 基の小型ユニットも検討されたが、これは費用のかかるソリューションである。新規の発電所を建設することにより、Hemsil 2 は、たいていの場合、建設期間中に長期の停止期間を置くことなく稼動する。新規の発電所により、設備容量が増加するだけでなく、全体的なプラント効率が向上する。新規の設備は少なくとも「最新」基準のものであるが、E&M 機器の最終的な特定機能や革新的技術を考慮するのは最終段階に持ち越される。

実際、建設に関するいくつかの課題がある。新発電所と新導水路は、既存発電所が運転中に建設される。

安全性

既存の発電所は、人と機械のためのアクセストンネルがひとつしかない。運転スタッフの作業環境に関する現在の標準要件に合致するために、追加の緊急アクセストンネルがあることが望ましい。Hemsil III では、Hemsil II 及び III のための緊急トンネルを提供する予定である。



Hemsil III : プロジェクト概要、Eikredammen から Gol の新発電所に至る新水路

環境に配慮した流量

E-CO は、最小流量（生物学的必要流量）を夏季 200 l/s 及び冬季 50 l/s に増加させるべきであると提案した。このことは、要件なしの場合に比較して 2〜3GWh の発電量の損失になる。このレベルの流水量は、川底の魚に優しい対策と併せて、希少植物を守り、魚の産卵及び生育地域を改善するであろう。

NVE は、夏期には 500 l/秒、冬期には 150 l/秒と最低流量を増やすよう勧告した。これにより、発電損失が約 6 GWh/年増加する。その場合、追加発電量は年間平均 85 GWh となる。



河川流の集中化による Hemsil の景観改善（2010 年）

計画プロジェクトの実施

建設工事は 2016 年から 2017 年にかけて開始される見通しである。これは、許可が交付され、投資決定が下された時期に応じて決まる。予想される建設期間は 2 年半である。新規の Hemsil 3 発電所は、2019 年または 2020 年に稼動開始する予定である。

最初の年は岩石とトンネル掘削（約 1,000,000 m³）を実施する。第 2 年目は、主として発電所と取水口のコンクリート工事となる。

最後の第 3 年目と最終年は、主として水車発電機器（フランシスタービン 1 台と 1 台の発電機）の設置になる。これらの 2 年半で、約 25 万現場時間が必要となる。

3. プロジェクトの特徴

3.1 好事例要素

水路とプラントおよび発電所の更新により、環境フットプリントを最小にして、予測可能なコスト効率の良い発電が、今後 50～100 年間に亘って確保できる。約 60 年間の稼動後に、複合的に調整され、かつ流れ込み式の水力発電所は、最新の発電所に更新されるであろう。このことによって、グリーン証書に適合した年間約 91GWh の新たな電力量が得られる。これは、7 億 4,000 万 NOK（2015 年 5 月のレートで約 1 億 US\$）の企業費用で得られる。

3.2 成功の理由

- ・スウェーデン・ノルウェー電力証書の導入
- ・コスト効率の高い土木エンジニアリングと建設
- ・重要な経験を持った技能の高いサプライヤー
- ・最新のプロジェクト管理

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）

- ・年間エネルギー増産量がモニターされ、分析される。
- ・生物多様性及び魚類個体群に対する影響が分析される。

6. 詳細情報

6.1 参考文献

東京 IEA 会議、日本、2013 年 2 月

ノルウェーの Gol における IEA 会議、2013 年 6 月、E-CO Energi AS の Halvor Kr. Halvorsen 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