

出國報告(出國類別：開會)

2008 國際小水力發電會議  
(Hydroenergia 2008)

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：蔡坤義 主辦水路設計專員

派赴國家：斯洛維尼亞

出國期間：97年6月10日~97年6月18日

報告日期：97年8月6日

# 目錄

第1章 緒論	
1.1 出國目的.....	3
1.2 出國行程.....	3
1.3 開會過程及研討會資料取得.....	3
第2章 研討會及專業展覽展示.....	4
2.1 小型水力發電及研討會簡介.....	5
2.2 印度 Nayar River SHP 簡介.....	5
2.3 GRP Pipe 於壓力鋼管之應用簡介.....	11
2.4 專業展覽展示.....	16
第3章 現場觀摩活動.....	17
3.1 水輪機研發及測試中心參訪.....	17
3.2 小水力發電廠參觀簡介.....	22
3.2.1 Bistrica 電廠.....	22
3.2.2 He Savica 電廠.....	25
第4章 心得與建議.....	29
4.1 心得.....	29
4.2 建議.....	30

# 第 1 章 緒論

## 1.1 出國目的

國際小水力發電會議(International conference on small Hydropower)係歐洲小水力發電協會(ESHA)最重要的國際學術活動，每 2 年舉辦 1 次。ESHA 為一國際性非營利組織，由歐洲各國小水力發電相關之政府、民間、國際組織、相關協會、研究機構及學界團體所組成，該組織亦為歐洲再生能源組織(EREC)之創始會員，主導歐洲有關小水力發電各領域專業知識分析之整合並提供各國知識與經驗的交流機會及平台。

目前國內水力發電領域，小水力發電之新建或更新已慢慢成為本公司主要工作之一，希望經由參加本次會議，能與全球小水力發電相關領域的專家學者們進行難得的知識與經驗交流，並培養國際視野，提升本公司的國際競爭力。

## 1.2 出國行程

96/06/10~96/06/11 行程(台北—維也納—盧比茲納—布雷德)

96/06/12~96/06/15 開會(研討會、專業展覽展示、現場觀摩)

96/06/16~96/06/18 返程(布雷德—盧比茲納—法蘭克福—台北)

## 1.3 開會過程及研討會資料取得

本年度國際小水力會議(Hidroenergia 2008)係在斯洛維尼亞舉行，會議內容除了研討會及專業展覽展示外，主辦單位還安排了現場觀摩活動。本次會議參加人員分別來自 36 個不同國家，包括許多政府組織、國際知名工程及顧問公司，廠商與學者。

本次研討會主辦單位所提供資料除簡報之電子檔(光碟)外，並無其它書面資料，與一般常見之研討會(提供書面資料、論文集、簡報電子檔)並不同。且本次

會議簡報內容多著重在目前歐洲國家中小水力發電相關設備發展現況之介紹、民營小水力電廠發電投資現況、成本與效益之資料統計與介紹，其會議性質類似設備製造商與投資廠商之交流會議，與一般研討會係對某一特定主題進行深入之研究與探討方式並不同，惟有助國際觀及視野提昇。

## 第 2 章 研討會及專業展覽展示

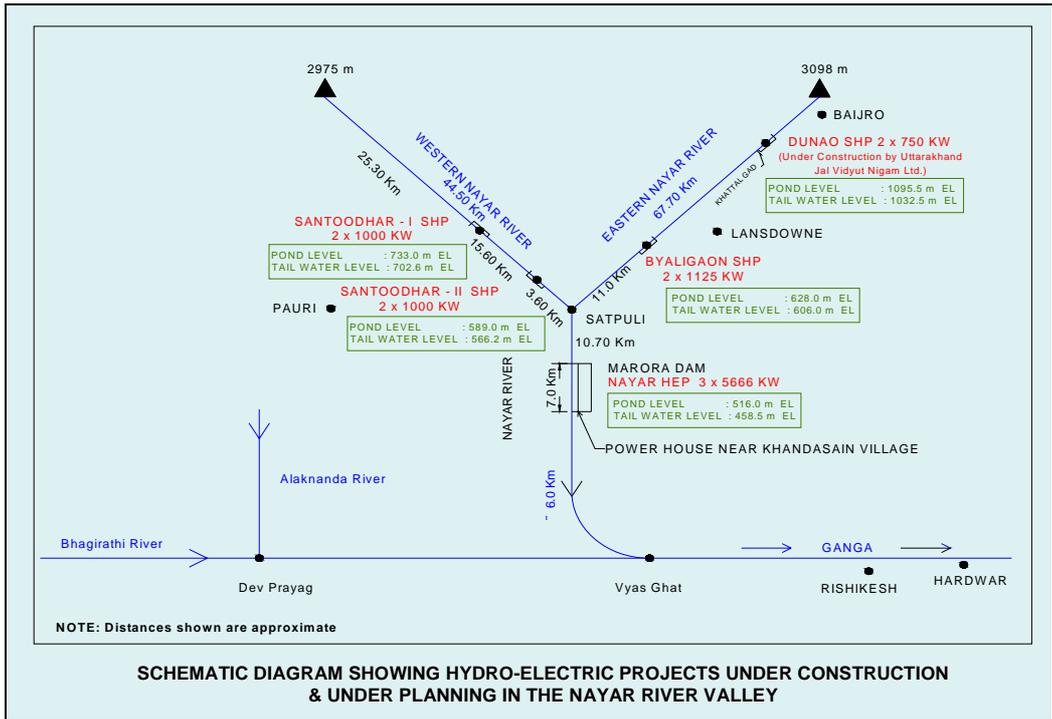
### 2.1 小型水力發電及研討會簡介

目前國際對於小型水力發電廠(SHP)的定義仍無統一標準，各國對於小型水力發電的設備功率有不同的設計上限、標準與規範限制。歐洲小型水力發電協會(ESHA)所採用的是歐盟執委會和國際發配電聯盟(International Union of Producers & Distributors of Electrical Energy)所廣泛共識的一千萬瓦設計功率，從而推廣相關水力再生能源技術。目前歐盟十五國共計有一萬四千個小型水力發電廠，平均發電功率為七十萬瓦，而在新歐盟會員國(EU10)和歐盟候選會員國(CC)則共有約三千兩百個廠平均發電功率在三十萬瓦至一百六十萬瓦不等。

本研討會議程為 2 天，主辦單位雖安排多場專題演講，惟相關簡報內容多著重在目前歐洲國家中小水力發電相關設備發展現況之介紹、民營小水力電廠發電投資現況、成本與效益之資料統計與介紹，因歐洲國情、法律規定、投資環境與現況與本國狀況並不同，前述相關資料對本公司相關業務參考價值並不高。本報告將針對相關議題中與本公司業務關聯性較大之「印度 Nayar River SHP」及「GRP Pipe 於壓力鋼管之應用」加以說明及介紹。

### 2.2 印度 Nayar River SHP 簡介

本章節將介紹印度 Nayar River 水力發電系統，印度於該河道中游原本僅設置有一裝置容量較大(16998Kw)之 Nayar 電廠，考量該電廠壩址以上水位落差之更有效利用，於是又在 Nayar River 東、西兩側支流各規劃 2 個小水力電廠，包括 Byaligaon SHP、Dunao SHP、Santoodhar- I SHP 及 Santoodhar- II SHP，其發電裝置容量分別為 2450kW、1500kW、2000 kW 及 2000 kW。其中除 Dunao SHP 尚在施工階段外，其餘三個小電廠均已完工，本報告將以圖表及照片介紹前述三個已完工小水力電廠之發電水路系統佈置、壩(堰)址之選取(兩岸岩盤裸露、河道窄縮)、流量歷時曲線及流量資料、發電水頭及水輪機資料、財務結構資料等。



印度 Nayar River 水力發電系統佈置圖



Byaligaon SHP 壩址



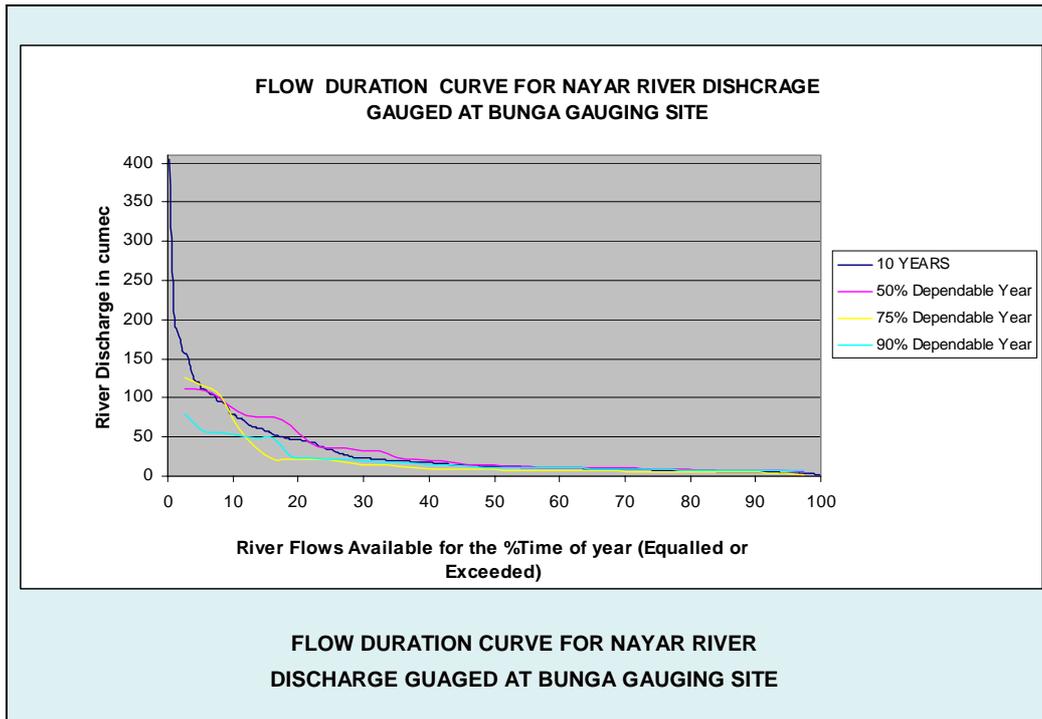
VIEW OF THE DIVERSION DAM SITE FOR SANTOODHAR - I SHP

Santoodhar - I SHP 壩址



VIEW OF THE DIVERSION DAM SITE FOR SANTOODHAR - II SHP

Santoodhar - II SHP 壩址



Nayar River 流量歷時曲線(監測點：Bunga Gauging)

Characteristics	Byaligaon SHP	Santoodhar – I SHP	Santoodhar – II SHP
Maximum discharge (cumec*)	198.51	120.19	165.18
Minimum discharge (cumec*)	1.02	0.62	0.85
50% dependable discharge (cumec*)	6.47	3.91	5.30
75% dependable discharge (cumec*)	4.35	2.63	3.61
90% dependable discharge (cumec*)	3.10	1.86	2.56
Maximum Flood (cumec*) for flood marks	1010	325	785
Maximum Flood (cumec*) (Dicken's)	2402	1648	2092

Dicken's empirical formula is given in equation

$$Q = C.A^{0.75}$$

Where, Q = Flood discharge in cumec  
 C = A constant varying between 11 and 14  
 A = Catchment area in square kilometer

For the Himalayan area, it has been found that a value of 14 for the constant C is appropriate, and hence adopted.

註：設計用水量採：50% dependable discharge

Cumec=cms

Nayar River 三個 SHP 相關流量資料表

<b>TURBINE &amp; GENERATOR</b>			
The average net head available for the three SHPs are as under:			
	Byaligaon SHP	Santoodhar – I SHP	Santoodhar – II SHP
Average Net Head	16.80 m	26.40 m	18.80 m
Maximum Net Head	18.00 m	27.00 m	19.60 m
Minimum Net Head	16.40 m	26.00 m	18.30 m
Type of turbine proposed	Kaplan (Horizontal)	Francis (Horizontal)	Kaplan (Horizontal)

Nayar River 三個 SHP 發電水頭及水輪機資料表

<b>Turbine Parameters and Setting</b>			
	Byaligaon SHP	Santoodhar – I SHP	Santoodhar – II SHP
No. of units & unit output	2 x 1225 KW	2 x 1000 KW	2 x 1000 KW
Turbine rotational speed, rpm	500	500	500
Specific speed, rpm (in kW-m units)	506	271	425.5
Runner Diameter (mm)	1150	860	1100
Suction Head, m	(-) 0.92	(+) 3.72	(+) 1.06

Nayar River 三個 SHP 水輪機資料表

**PROJECTED FINANCIAL PERFORMANCE**

**PARAMETERS:**

- ❖ Debt to equity ratio : 70:30
- ❖ Return on equity : 14%
- ❖ Construction Period : 2 years
- ❖ Licensing Period : 40 years
- ❖ Average annual energy production with 95% availability

Nayar River 三個 SHP 財務資料表(一)

**PROJECTED FINANCIAL PERFORMANCE**

Characteristics	Byaligaon SHP	Santoodhar – I SHP	Santoodhar – II SHP
Average Annual Energy, kWhr	9.9 x 10 <sup>6</sup>	9.1 x 10 <sup>6</sup>	8.9 x 10 <sup>6</sup>
Net Energy available for sale, kWhr	9.75	8.95	8.79
Plant Load Factor	50.23	51.84	50.92
Estimated project cost, Rs. Million	205.79	180.92	176.92
Sale price, Rs./kWhr	3.47	3.37	3.29
Levelised sale price, Rs./kWhr	3.00	2.89	2.85

註：Rs(印度盧比)：美金= 40：1

## 2.3 GRP Pipe 於壓力鋼管之應用簡介

GRP(Glass fiber Reinforced polyester)這種複合材料早在第二次世界大戰前就已被開發，至今約有 70 年之歷史，因為這種材料具有優良之耐腐蝕性，所以早期之因應用主要局限於化學工業之相關管件，近年來因為其質量輕、强度高特性，此種材料已被廣泛應用，包括輸水管、污水管、輸氣管、地下電纜管及高防腐工業管道等。

GRP Pipe 在水力發電工程之應用於台灣雖不常見，可是因為 GRP Pipe 摩擦係數低、重量輕、質地強韌、容易組裝、抗腐蝕等優良特性，其在國外水力發電工程上之應用其實已經相當普遍，依簡報資料所示，單單在挪威這個國家就有約 270 水力電廠之壓力鋼管係採用 GRP Pipe。本章節將介紹挪威三個小水力電廠將 GRP Pipe 應用於壓力鋼管之案例及 GRP Pipe 之產品規格、產品性能標準規範、材料特性及優點。

### 案例(一)

電廠名稱：Vangpollen Hydropower

管徑：700~800mm

抗壓強度：6-32bar

裝置坡度：46°

電廠裝置容量：3300kW

### 案例(二)

電廠名稱：SAFA hydro power station

管徑：2200~2400mm

抗壓強度：6-10bar

長度：250 公尺

電廠裝置容量：2200Kw

水輪機：Francis

案例(三)

電廠名稱：LANGFJORDEN hydro power station

管徑：500~1200mm

抗壓強度：32bar

長度：284 公尺



### GRP Pipes in Penstocks, case studies

AMIANITIT PIPE SYSTEMS

**Vangpollen Hydropower  
Norway**

DN700/800mm.  
PN6-32bar.

Slope up to 46 °.

Installed 1989

(3,3MW, horisontal  
Pelton~14,9GWh)



GRP Pipe 應用於壓力鋼管案例(一)

## GRP Pipes in Penstocks, case studies

### AMIAANTIT PIPE SYSTEMS

#### SAFA hydro power station, Norway

DN2400/2200mm L=250m  
PN6/10  
Installed 2005

Difficult access downside the plant required installation with a crane on a barge.

Pipes painted black after installation for the environmental reason.  
(2,2MW, 2 Francis turbines, 20GWh)



GRP Pipe 應用於壓力鋼管案例(二)

## GRP Pipes in Penstocks, case studies

### AMIAANTIT PIPE SYSTEMS

#### LANGFJORDEN hydro power station, Norway

DN1200mm L=284m  
PN32 (Static pressure 26bar)  
Installed 2005

Pipeline on fundaments in a tunnel from a pressure shaft in the mountain.

Manhole DN1200/500 PN32



GRP Pipe 應用於壓力鋼管案例(三)

## GRP Pipe, product range.

### AMIAANTIT PIPE SYSTEMS

- DN100 - 4000mm
- PN1-6-10-16-25-32bar
- Standard length:  
6 and 12 meter (1-18)
- Full fittings program



GRP Pipe 產品規格(管徑、抗壓力、長度)

## Performance standards for GRP pipes

### AMIAANTIT PIPE SYSTEMS

<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials ASTM D3517, ASTM D3754, ASTM D3262
<b>AWWA</b>	American Water Works Association AWWA C950 and design manual AWWA M45
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization ISO 10639, ISO 10467
<b>CEN</b>	Comité Européen de Normalisation EN 1796, EN 14364

Local, national standards and regulations.

GRP Pipe 產品性能標準規範

## Why GRP Pipes in Penstocks?

### AMIAANTIT PIPE SYSTEMS

#### Long service life

- Corrosion-resistant material.
- Low maintenance costs.
- Low Life Cycle Cost



#### Less head loss

- Best hydraulic characteristic
- Low friction coefficient
- Essentially constant over time.



GRP Pipe 應用於壓力鋼管優點(一)

## Why GRP Pipes in Penstocks?

### AMIAANTIT PIPE SYSTEMS

#### Economical

- Competitive with other “traditionally” used materials
- Low installation cost, easy to assemble
- Low operating costs and long service life!



GRP Pipe 應用於壓力鋼管優點(二)

## Why GRP Pipes in Penstocks?

### AMIANITIT PIPE SYSTEMS

**GRP pipes has a unique feature for cold and hot climate.**

- The mechanical properties remain the same from +30 to -60.
- It does not get brittle when it is cold.
- The pipe can be installed above ground without any special UV protections!



GRP Pipe 應用於壓力鋼管優點(三)

## 2.4 專業展覽展示

本次參與展覽之專業廠商十分多，產品內容主要涵蓋小水力發電工程所需之相關設備，包括水輪機、發電機、轉子、壓力鋼管、抽水機、變壓器等，展覽會中各家參展廠商均印製精美之產品型錄，職已收集並攜回供本處同仁參考。

## 第 3 章 現場觀摩活動

### 3.1 水輪機研發及測試中心參訪

在這次觀摩活動中，主辦單位首先安排與會人員參觀一家位於斯洛維尼亞首都之 turboinstitut 公司，該公司在水力發電機械(水輪機、抽水機、渦殼、吸出管等)之研究、發展與製造已有 60 年之歷史。該公司設有一個獨立的試驗室，專作水輪機及抽水機等水力發電機械之模型試驗，相關模型試驗均符合國際標準 (international IEC standard 60193) 要求。

另外 turboinstitut 公司在動態流體模擬計算(Computational Fluid Dynamics)方面之研究與發展也有超過 20 年之經驗，該公司設有一個高速電腦中心來處理前述模擬計算之龐大資料。利用水工模型試驗所收集之資料，回饋至前述動態流體模擬之模式中，經由不斷的回饋與分析模式修正，可以使得數值模擬之結果更接近實際之情形。本次觀摩過程將以照片及文字說明如下：



turboinstitut 公司~吸出管



turboinstitut 公司～轉子



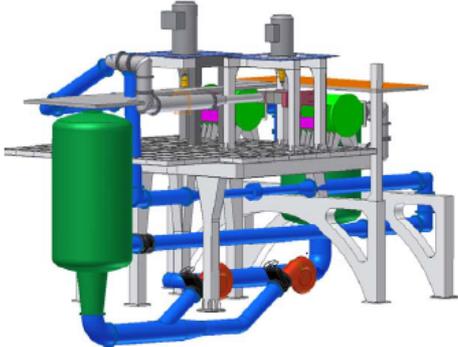
turboinstitut 公司～水輪機模型自動切削與制造

**High pressure test rig**



Basic data:

Head $H_{max}$	82 m
Flow rate $Q_{max}$	1.8 m <sup>3</sup> /s
Torque $M_{max}$	2000 Nm
Power $P_{max}$	450 kW
Rotation speed $n_{max}$	2000 min <sup>-1</sup>

水工模型試驗佈置情形

Basic principles:

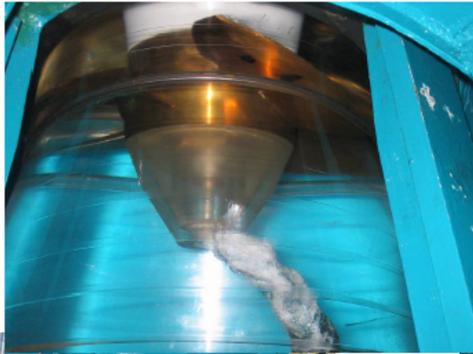
- Guide vane torque with strain gauge mounted on guide vane pivots (on four guide vanes),
- Runner blade pivot torque with strain gauges built in (on one blade),





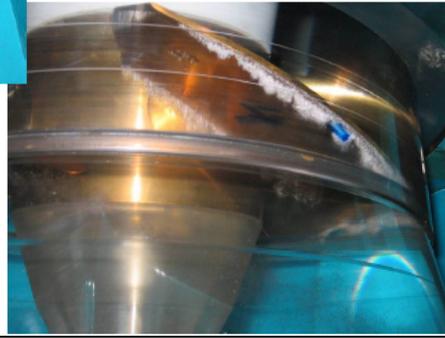

水工模型試驗～監測儀器

### Visual observation of the model



#### Basic principles:

- Determination of visual cavitation characteristics at different operating conditions
- Recordings made by photo and video equipment

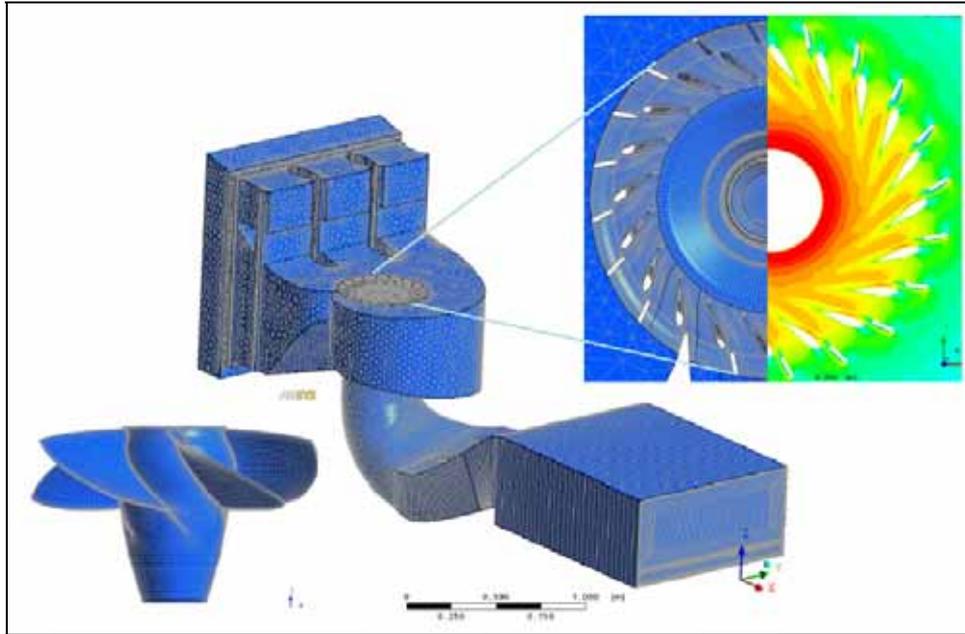


水工模型試驗～目視觀查

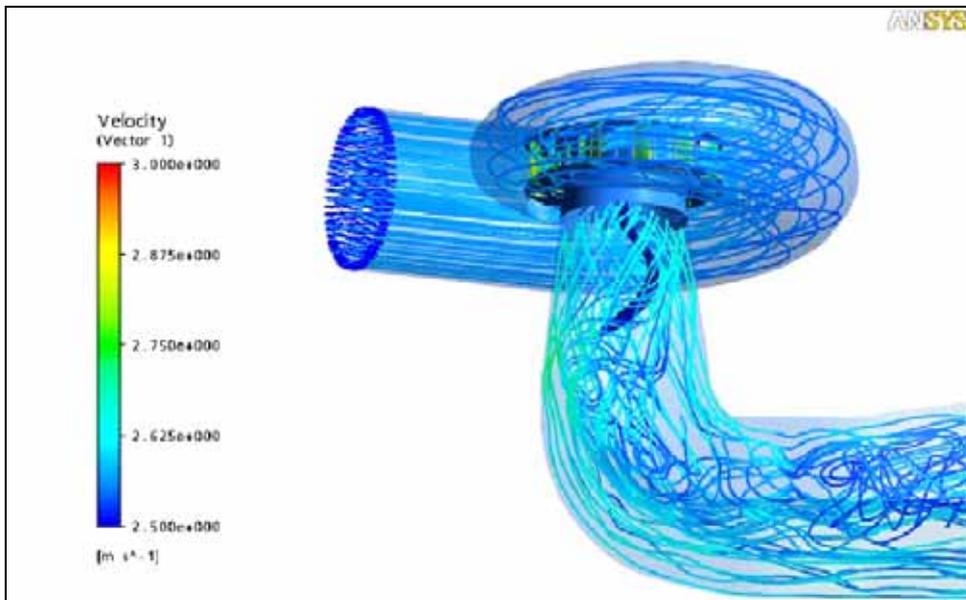


Number of proc. cores:	2048
RAM:	4TB
Hard disk:	10TB+
Cluster network:	Infiniband
Weight:	cca 3.5t
Linpack test:	8Tflops

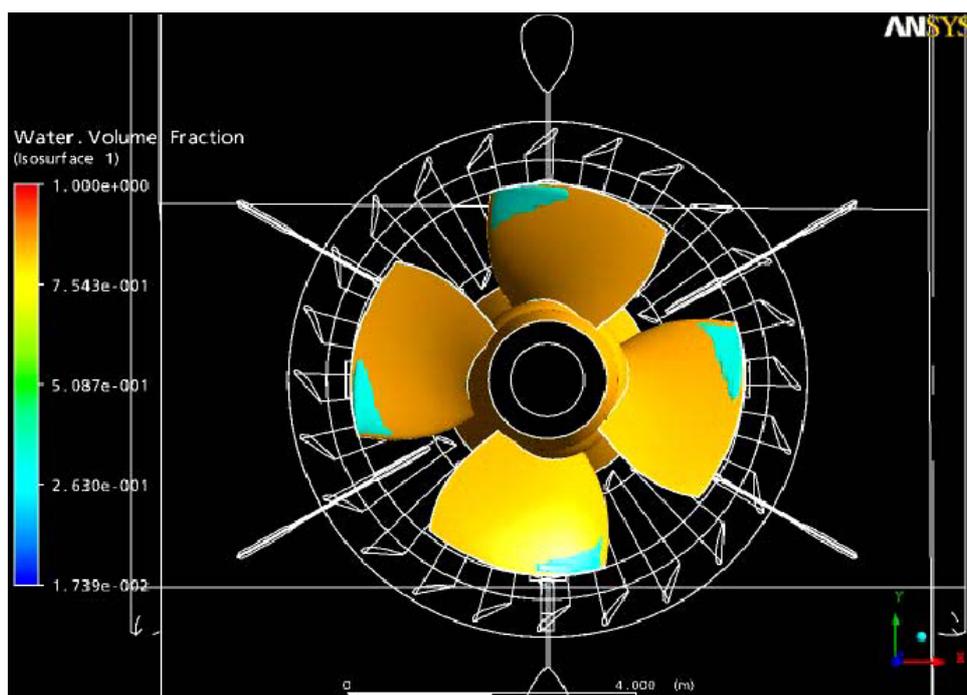
turboinstitut 公司高速電腦中心



動態水力模擬～模型與網格



動態水力模擬～水輪機及吸出管流速模擬



動態水力模擬～水輪機穴蝕(cavitation)模擬

### 3.2 小水力發電廠參觀簡介

本次會議主辦單位安排與會人員參觀 2 處小水力發電廠(Bistrica 及 He Savica)，因為時間有限，參觀範圍僅局限於廠房部份，有關壩堰、進水口、沉砂池及排砂道等相關設施並未列入本次參觀範圍，故本章節僅能針對廠房部份相關設施加以介紹及說明。

#### 3.2.1 Bistrica 電廠

本水力發電工程係於某溪流設置一座攔河堰並於右岸設置進水口，進水口下游設置約 600 公尺之混凝土引水渠道，其斷面為 2.5m(B)×2.5 m(H)，引水渠道終點處設置一控制閘門，閘門以下為約 1450 公尺之圓型鋼管路(D=1400mm)，於靠近廠房側時再分歧為二條水路，分別引水 2.5cms 及 1.5cms 進入廠房供水輪機發電。廠房內設置有 2 部橫軸式之法蘭西斯水輪機，發電後之尾水再經由 100 公尺之圓型鋼管水路(D=1400mm)洩放回原取水溪流。



Bistric 發電工程佈置圖

本電廠廠房位於一丘陵地上，附近環境相當原始，除了廠房木造建築物外，並沒有其它人爲開發之構造物，廠房通達道路爲碎石子路(未加鋪面)，道路旁之護欄亦就地取材以木頭製造，廠房區之開發十分重視環境之保護與協調。



Bistrica 電廠廠房外觀



Bistrica 電廠廠房內部

Bistrica 電廠發電設備介紹如下：

水輪機 #1(Francia spiralna)

◎裝置容量：1665kW

◎發電水量：2.5cms

◎發電水頭：75 公尺

◎轉速：1000rpm

◎效率：92%

水輪機 #2(Francia spiralna)

◎裝置容量：995kW

◎發電水量：1.5cms

◎發電水頭：75 公尺

◎轉速：1000rpm

◎效率：92%

發電機 #1

◎功率：1920kVA

◎轉速：1000rpm

◎電壓：6.3kV

◎電流：176A

發電機 #2

◎功率：1310kVA

◎轉速：1000rpm

◎電壓：6.3kV

◎電流：120A

主變壓器

◎功率：3300kVA

◎一次側電/二次側電壓：6.3/20Kv

◎電流：95A

### 3.2.2 He Savica 電廠

本水力發電工程已有約 100 年之歷史，近年已針對廠房及發電水路進行更新及補修工作，其廠房係位於一知名之國家級瀑布下方，其發電水頭約有 225.88 公尺。本發電工程特別之處在於其相關發電設施及構造物係位於國家公園內 (Triglav national park)。

本電廠內裝置有 4 部橫軸式 pelton 水輪機及 2 部發電機，其特別之處在於每 1 部發電機均由 2 部水輪機來帶動發電。

該電廠於 2007.5.27 總發電量達到 1000000000kWh。



He Savica 發電工程佈置圖



He Savica 電廠廠房外觀



He Savica 電廠廠房內部  
(註：2 部水輪機搭配 1 部發電機)



He Savica 電廠水輪機(橫軸式 Pelton)



He Savica 電廠控制室



He Savica 電廠尾水出口

He Savica 電廠發電設備介紹如下：

水輪機(4 部)

◎裝置容量：1260kW

◎發電水量：0.75cms

◎發電水頭：255.88 公尺

◎ 轉速：600rpm

發電機(2 部)

◎功率：2200kVA

◎轉速：600rpm

◎電壓：6.3kV

主變壓器

◎功率：2500kVA

◎一次側電/二次側電壓：6.3/20Kv

## 第 4 章 心得與建議

### 4.1 心得

- 一、 本次會議參加人員，分別來自世界三十六個不同的國家，十分踴躍，由此可見「小水力發電工程」，將是目前全球石油、煤碳、天然氣等石化原料價格高漲且各國積極尋求替代能源之際，相當值得投資與開發的領域。
- 二、 依會議相關簡報資料所示，在歐盟十五國約有一萬四千個小型水力發電廠，其平均發電功率為 700kW，且其中大多數之電廠係由民間業者所投資開發，與台灣小水力發電狀況(幾乎都由本公司投資開發，且裝置容量要有數千瓩之規模才具投資效益)相比，顯見水力資源之開發與利用在歐洲國家堪稱極至。
- 三、 Turboinstitut 公司在水力發電設備(水輪機、抽水機、渦殼、吸出管等)之研究、製造、數值模擬及水工模型試驗領域，具有十分專業之技術與整合能力，相當值得我國相關設備廠商學習與效法。
- 四、 本次現場參觀 Bistrica 及 He Savica 兩個電廠，可看出歐美國家在水力發電工程開發之餘，亦十分重視環境之保護與協調，其重視環保之態度，十分值得我們學習與效法。

## 4.2 建議

- 一、目前台灣相關河系中，具有豐富水量及高水位落差之廠址，本公司均已充份開發利用，在高投資效益廠址難尋之際，建議本公司未來可朝較小規模之水力發電工程方向努力與開發。
- 二、另外在已開發之較大規模廠址，建議可在其上、下游加設較小規模之電廠與機組，以充份利用河系中之水位落差，本公司目前規劃施工中之松林分廠與本報告所介紹之 Nayar River SHP 就是水力資源充分利用之最好的例子。
- 三、有關小型水力發電之開發，建議能源相關主管機關應比照其它再生能源(如風力、太陽能等)，擬訂投資補助及獎勵辦法以擴大民營業者參與之興趣與信心。