

出國報告（出國類別：開會）

美國 EPRI 機構
第 13 屆國際核電廠除役技術會議

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：楊志雄 除役技術發展課長

趙懷曾 運轉值班主任

派赴國家：比利時

出國期間：103.10.12 ~ 103.10.18

報告日期：103.12.5

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

參加美國 EPRI 機構第 13 屆國際核電廠除役技術會議

頁數 49 含附件：■是□否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/ 陳德隆 / (02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

楊志雄/台灣電力公司/核後端處/除役技術課長/(02)23657210-2247

趙懷曾/台灣電力公司/核能一廠/運轉值班主任/(02)26383501-3071

出國類別：□1 考察□2 進修□3 研究□4 實習■5 其他（開會）

出國期間：103.10.12 ~ 103.10.18 出國地區：比利時

報告日期：103.12.5

分類號/目

關鍵詞：核能電廠除役

內容摘要：

依據政府於 100 年 11 月 3 日所宣佈之新能源政策，本公司既有之核能電廠於 40 年營運期屆滿後將不再延役，即核一廠 1、2 號機分別將於 107 年 12 月 5 日及 108 年 7 月 15 日停止運轉、進行除役工作。

核一廠之除役為我國首次辦理核能電廠除役工作，為瞭解國際除役動態與資訊，汲取各國除役技術及經驗，本公司近年加入成為美國電力研究院(The Electric Power Research Institute, EPRI)之會員，

本次會議係該機構舉辦除役相關之第 13 次年會，會中與會各國進行除役案例經驗分享、策略分析與創新科技應用技術說明，本次年會 EPRI 特別與法國蘇伊士環能集團(GDF-SUEZ)所屬之 Electrabel 電力公司協同合作召開，並參訪比利時核能研究中心(Belgian Nuclear Research Centre, SCK-CEN)及負責比利時核能電廠除役及放射性廢棄物處理的公司 Belgoprocess。本報告即就會中討論及參訪之歐洲的除役計畫、放射性廢棄物管理、大型組件的管理、除役經驗、除污、安全性及規劃與專案管理等議題摘要說明。

(本文電子檔已傳至出國報告資訊網 <http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目錄

壹、 出國目的地	1
貳、 出國過程	2
參、 會議內容摘要	3
肆、 出國心得及建議事項	49
伍、 附件（美國 EPRI 機構第 13 屆國際核能電廠除役技術會議議程）	50

壹、出國目的

台灣電力公司將遵照政府於 100 年 11 月 3 日所宣佈之新能源政策，既有核能電廠將不再延役，因此核一廠 1 號機將於 107 年停止運轉，台電公司為辦理核一廠除役工作，刻正遵照「核子反應器設施管制法」第 23 條規定「核子反應器設施之除役，經營者應檢附除役計畫，於核子反應器設施預定永久停止運轉之三年前，向主管機關原子能委員會提出申請除役許可」，展開各項除役前置準備作業，目前正積極辦理除役計畫的編擬工作，期能如期完成並於 104 年 12 月前陳報原子能委員會並提出除役許可的申請。

鑑於核一廠除役係我國首次辦理之核能電廠除役作業，國內並無類似經驗，故為瞭解國際除役技術、經驗與資訊，本公司持續派員參加國際會議，藉由會議的參與汲取並蒐集國際核能電廠除役之最新規劃及執行之相關資訊，並引進國外最新除役技術與經驗以做為本公司進行除役之策略分析、規劃與研擬除役計畫時之參考。

貳、出國過程

本次於比利時布魯塞爾召開之 EPRI 第 13 屆國際核電廠除役技術會議(會議議程如附件)，係由台電公司核能後端處楊志雄課長及第一核能發電廠趙懷曾主任參加。

本次年會 EPRI 特別與法國蘇伊士環能集團(GDF-SUEZ)所屬之 Electrabel 電力公司協同合作召開，並參訪比利時核能研究中心(Belgian Nuclear Research Centre, SCK-CEN)及負責比利時核能電廠除役及放射性廢棄物處理的公司 Belgoprocess。會議包含「歐洲的除役計畫」、「放射性廢棄物管理」、「中階及高階放射性廢棄物」、「大型組件的管理」、「除役經驗」、「除污」、「安全性」及「規劃及專案管理」等議題。

叁、會議內容摘要

一、 歐洲的除役計畫

(一) 比利時對於除役的管制方式

2013 年 12 月 18 日比利時法令規定逐步停止核能，並具體指定 Doel 核電廠的一、二號機應分別在 2015 年 2 月 15 日及 2015 年 12 月 1 日終止運轉。FANC (Federal Agency for Nuclear Control) 係比利時聯邦機構的核能管制機關，FANC 及其技術子機構 Be V 在過去的幾十年已經在幾個較小的除役計畫中建立了經驗，然而，考慮到第一次商用核能電廠的除役，需要制定一個更加策略性的方法，這個策略性的方法已被轉換成一個五大軸線行動計畫：

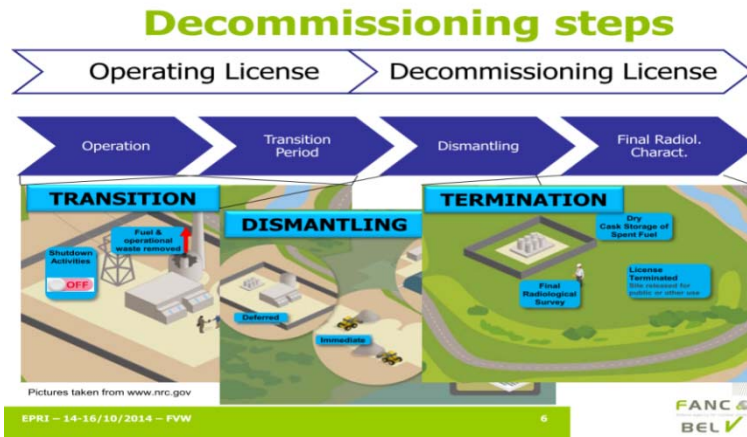
- 除役與除役廢棄物領域的知識與經驗管理
- 核能設施終止運轉後與除役階段的授權與安全分析
- 核能設施終止運轉後與除役階段的管制與檢驗
- 特別關注除役所產生的廢棄物
- 建築物及/或廠址外釋並結束監管(執照終止)

與此同時，藉由執照者與比利時國家放射性廢棄物與濃縮物質專責機構 (Belgian National Agency for Radioactive Waste and Enriched Fissile Materials, NIRAS/ONDRAF) 的密切合作，對於 Doel 核電廠的一、二號機終止運轉執照申請程序的準備工作已經啟動。

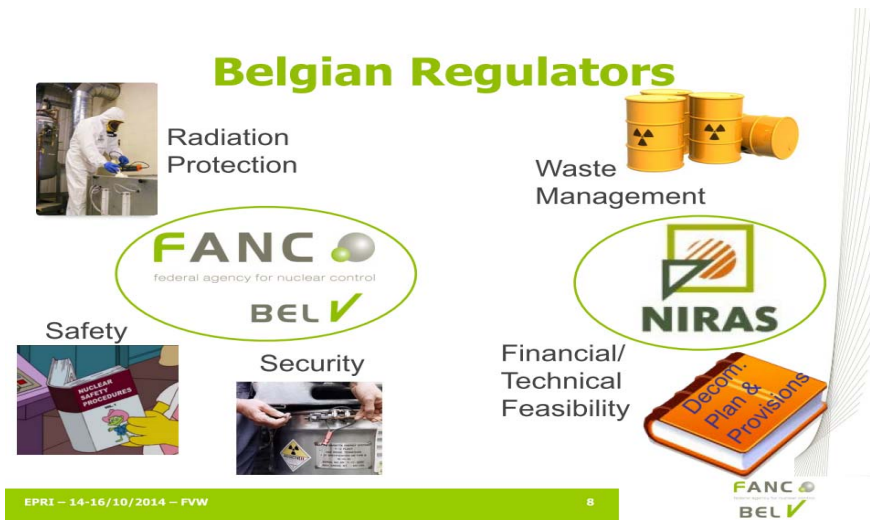
1. 比利時的除役

- SCK•CEN
 - BR 3 研究用反應器
- Belgonucleaire
- Belgoprocess site 1 : Eurochemic
- Belgoprocess site 2
- FBFV International
- Thetis
- Doel 核能電廠 1 & 2 機 (規劃於 2015 年終止運轉)

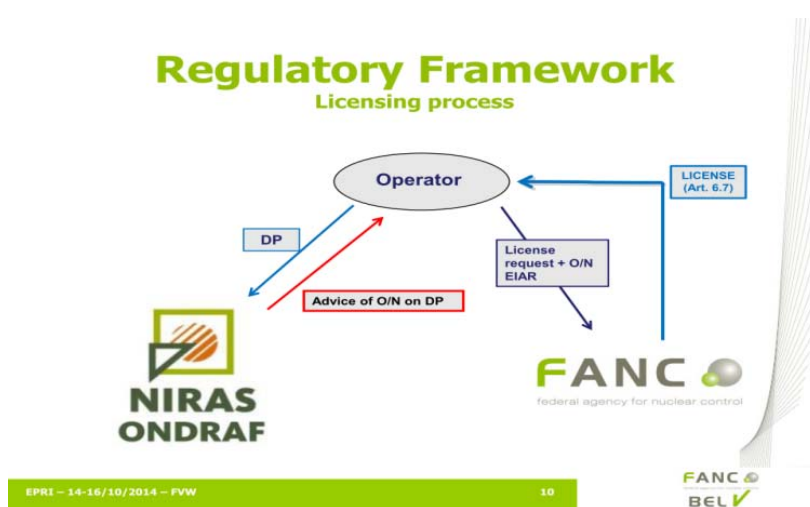
2. 除役步驟



3. 比利時管制機關



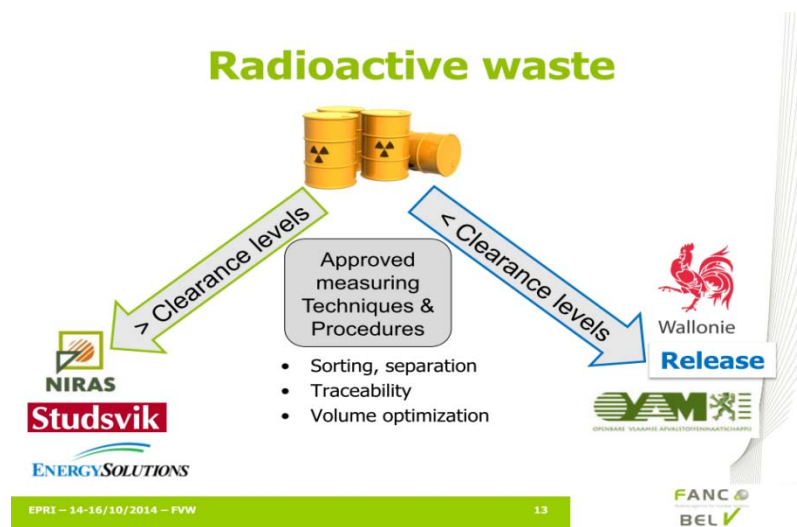
4. 申照程序



5. 除役執照條件



6. 放射性廢棄物



7. 2014 FANC & Be V 策略的方法

- 用於考量除役需要的策略方法
 - 商用核能電廠的第一次除役
 - 不同小型除役方案的最後階段
- 目標：建制一套明確與架構性方法來補獲並完整涵蓋下利項目的運

作範圍

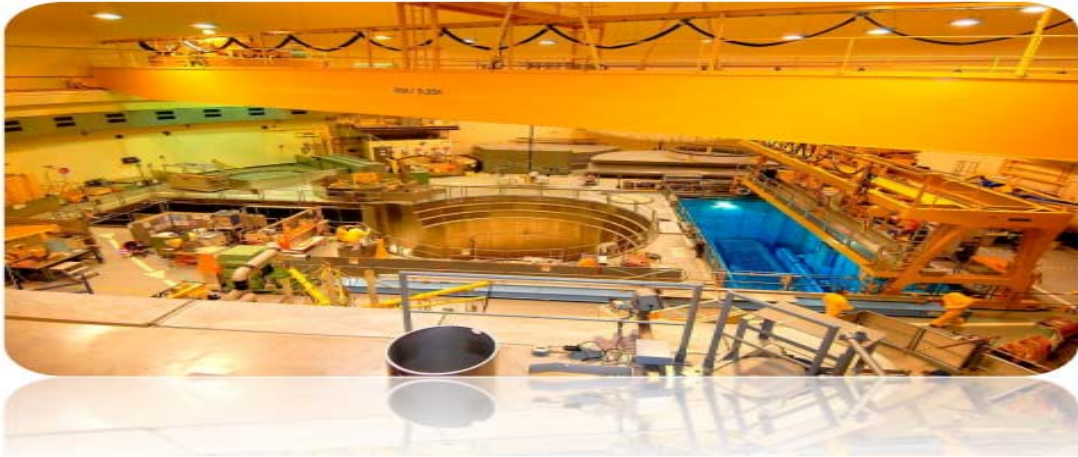
- 除役
- 除役廢棄物
- FANC & Be V 內部所建制的方法
- 時間表：2014 年第 1 季→2016 年第 1 季
- 五個核心的行動計畫
 - 除役與除役廢棄物領域的知識與經驗管理
 - ◆ 建制一套方法用於除役及除役廢棄物下列知識與經驗的管理
 - ◆ 考量除役策略、安全、除污技術、除役技術、除役物料的管理及監控、申照者的組織、土地與建築物的外釋
 - ◆ 蒐集及分析比利時與其他國家的除役資訊
 - ◆ 藉由除役的圓桌會議 (FANC - Be V - NIRAS)及除役的利害關係人會議等相關組織
 - 核能設施終止運轉後與除役階段的授權與安全分析
 - ◆ 建制用於核能設施終止運轉後階段的具體處理程序
 - ◆ 建制一個明確的申照政策，包括基礎的審查及評估程序與申照程序
 - ◆ 優化現有合作以處理除役方案分析、評估以及除役執照的申請
 - 核能設施終止運轉後與除役階段的管制與檢驗
 - ◆ 建制用於核能設施終止運轉後階段的具體處理程序
 - 建制一個明確用於管制與檢驗以及管制與檢驗程序的政策以監測核能設施終止運轉後階段的每一個步驟
 - 建制一個除役方案的特殊檢驗計劃以及必要的檢驗導則 (guides)
 - ◆ FANC - Be V - NIRAS
 - 優化現有合作方式以處理除役方案後續作業的內容
 - 特別關注除役所產生的廢棄物
 - ◆ 產生廢棄物源的概觀
 - 沒有放射性的物質
 - 外釋的物質
 - 回收的物質
 - 放射性的物質，被分類與管理
 - ◆ 現場貯存及廢棄物外送

- ◆ 廢棄物特性描述的程序--- 由 FANC - Be V - NIRAS / ONDRAF 進行最佳化評估
- ◆ 建制必要的指引 (guideline)
- 建築物及/或廠址外釋並結束監管(執照終止)
 - ◆ 建制外釋具體項目的導引 (guidance)
 - 建築物的外釋
 - 廠址的外釋
 - 外釋的程序---FANC 及 Be V 的先期最佳化評估
 - 法規管制的結束與降級
 - ◆ FANC - Be V - NIRAS
 - 闡述一項新的合作程序，從
 - 從核能管制降級及移除
 - 廠址降級後的文件

(二) Muhleberg 核能電廠除役--運轉者的期待與希望

米勒貝格 (Muhleberg) 核能電廠終止運轉的決定，促使瑞士產生第一個商業用核能電廠的除役計畫。經過對於瑞士監管條件和審查情況的短暫觀察後，運轉者針對除役的目標有一項簡短的說明。最終，提出有關優化除役方式的描述，它包括技術和組織以及管制特性。此外，Muhleberg 核能電廠提交“退役方案”給瑞士主管機關供其指導與監管除役工作，不同的除役階段均須重新提報除役方案。這包括方案開發和執行的技術與監管特點，除了方案的組織，這也包括任務的平行推動。進行了前提條件的討論，以確保一旦除役政策方向獲得確認，即可立即執行拆除工作，在這個時間點上，核燃料的可能依然單獨被貯存在核電廠。此外，一項在核能電廠終止運轉前適當準備年限的考量已經被開發。總之，運轉者期望除役方案能順利獲主管機關審核通過。





1. 運轉者的目標

- 關鍵點：運轉者對於社區以及監管機構的責任在終止運轉後依舊維持
- 運轉者關鍵的目標
 - 安全：在任何時刻都有足夠的安全餘裕保證安全性，考量所有的規範要求，在拆除工作進行中降低可能的危害。
 - 經濟：經濟的使用所分配的基金，如此讓瑞士聯邦政府保管尚未使用過的基金得以妥善應用。
 - 靈活性：讓運轉及法規要求具有彈性，如此可以在拆除工作進行中讓適應實際狀況變得可能
 - 規劃：及時的規劃能夠讓基金及早釋出使用，以避免法律及規定被從嚴解釋。

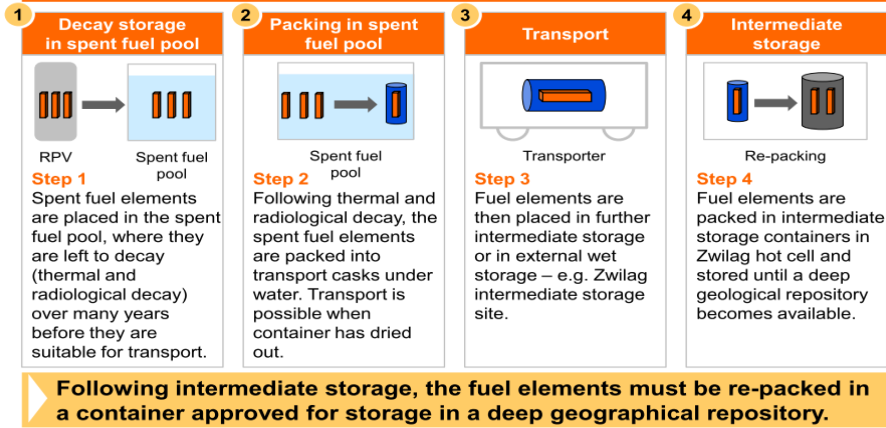
2. 法律法規

- 終止運轉及拆除期間執照的狀況
 - 核電廠終止運轉後必須自動地承擔除役的規範要求
 - 核電廠終止運轉後運轉者須負責陳報除役方案計畫給管制機關
 - 聯邦環境、運輸、能源及通訊部(Uvek)指導除役的基本方式，Uvek 也決定哪些工作必須先獲得管制機關的核准
 - 現有執照持續有效並且只有在除役活動執行後才會變得比較不重要

3. 優化終止運轉及拆除工作

- 優化合法程序的方式，正當程序的可靠性
- 技術與組織的最佳化，盡量降低成本驅動的影響
- 核燃料的全數移除，盡量降低成本驅動的影響

The path from RPV to intermediate storage



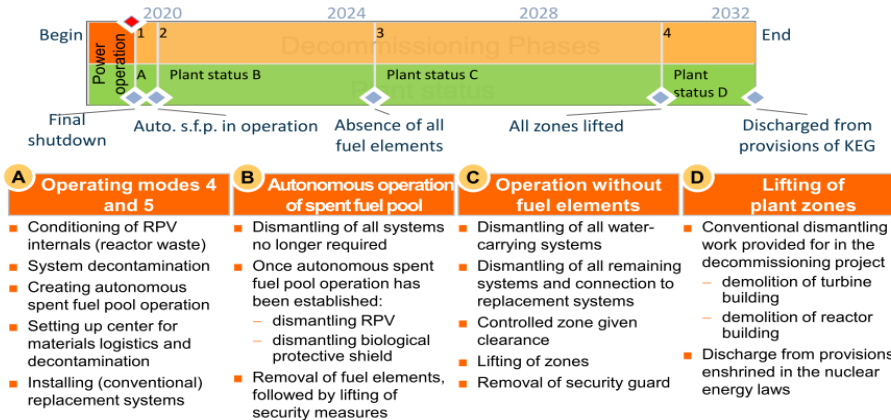
3th EPRI International Decommissioning and Radioactive Waste Management Workshop: "Decommissioning Mühleberg NPP Expectations and Intentions of the Operator", Brussels, October 14th 2014

燃料元件從 RPV 移至中期貯存設施的路徑

4. 除役方案

Decommissioning Phases

Decommissioning direction becomes effective



3th EPRI International Decommissioning and Radioactive Waste Management Workshop: "Decommissioning Mühleberg NPP Expectations and Intentions of the Operator", Brussels, October 14th 2014

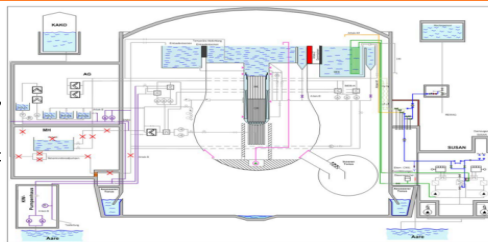
除役各階段主要的作業

5. 優化 Muhleberg 核能電廠的除役

- 時間關鍵路徑的並行

Parallel performance of work with a view to optimizing the work process...

- Creating autonomous spent fuel pool operation, consisting of constructional protection and installations to ensure comprehensive fulfilment of safety objectives.
- Absence of and protection against repercussions is ensured.



... greatly shortens the total amount of time needed for decommissioning

- Dividing-up the time-critical path, e.g. dismantling the reactor pressure vessel before removing fuel elements from the site.

- 汽機廠房作為後援中心，以工作并行的執行方式優化工作流程
 - 除役及系統的終止運轉：先在汽機廠房，然後在反應器廠房。
 - 使用汽機廠房為材料和廢棄物處理中心。

- 優化組織，發展除役除織
 - 管理系統和運轉相關的程序須適應新的組織結構。
 - 組織必須從運轉的組織移換成拆除的組織。
 - 終止運轉及拆除階段所採用的方法及所做的工作必須能夠計劃和控制。
 - 有關人員未來的就業前景的 HR 理念，必須被制定並且及時溝通。

註：HR 理念：公平競爭，適者生存，並發揮自己的優勢，每個人都有機會充分顯示自己的才華。

6. Muhleberg 核能電廠現在所採行的措施

- 需要澄清的要點
 - 終止運轉及拆除的法規仍在持續討論中，需要盡快獲得澄清。
 - 設置幾個委員會來解決有關除役方面與小組委員會關切的程序，技術和通訊方面的挑戰。
- 最迫切的需要注重三個關鍵點
 - PePe -人員未來的遠景
 希望有安全意識，積極性和令人滿意的員工。
 - 技術計劃 - “一個除役的完整組成部分”
 根據已制定的除役程序，最重要的活動已經概述在一項報告中。這構成了終止運轉後所有方法的基礎。
 - “Arbek”- 用過燃料池獨立島區的計劃
 拆除作業應盡快在終止運轉後準備。終止運轉後應簡單化並將那些不再需要的組件拆除。為了這個目地，獨立運作用過燃料池是需要的。我們目前正在進行這項計劃並在適當的時候將它提交展示。

7. 期望最佳的實施方案

- 程序原則的期望：終止運轉後涵蓋拆除的準備

- 直到除役策略方向生效，準備或拆除工作（涵蓋告知的義務或者被解釋為當核電廠改變需要根據 40 KEG 法規獲得特別的批准）可以開展。
 - 當電力生產已經停止後，核電廠根據 69 KEG 法規所作的重大改變與核電廠運轉狀態的不同加以評估。
 - 終止運轉後不再需要的組件拆除作業應加以執行，假設它不會危及安全和影響未來的拆除工作將不會被有意的加以阻止。
 - 預備拆除作業的其他措施，例如現有基礎設施的改建、拆除作業所需的各項設施、以及服務，貯存和放置區域的設施應在終止運轉後成為可能的。
- 成功的關鍵：考慮到所有的因素關於導致三個至關重要的期望
 - 均衡性：除役過程必須緊密地追求安全目標；核能安全的成本反映在放射性危害的可能性。
 - 批准過程的靈活性：運轉者（或方案）在方案執行期間必須能夠靈活地應對改變邊界條件。
 - 短除役時間：終止運轉後，依據 Ensi A04 指引所審核通過的程序，除役大量的準備工作可以被執行。

二、放射性廢棄物的管理

(一) 比利時 Doel 1&2 核電廠除役成功的廢棄物管理：從比利時廢棄物管理協會 (the Belgian Waste Management Agency) 的觀點

ONDRAF / NIRAS 係比利時放射性廢棄物及濃化分裂產物的管制機關，它已經成功的處理幾個核能設施除役廢棄物的管理，例如先前的 Enrochemic 再處理廠、Belgonucleaire 的 MOX 燃料製造廠、小型的 BR3 壓水式反應器、以及 2015 年即將終止運轉的 Doel 核電廠 1&2 機組。

ONDRAF / NIRAS 將必須處理各種不同的除役廢棄物來源及重要的數量，一個核能電廠生命週期最後步驟的管理是非常重要的，必須考量運轉者與放射性廢棄物管理機構之間很多的界面。這份報告的目的是表達運轉者和放射性廢棄物管理機構雙方的需求，確定除役廢棄物管理的界面與關鍵的成功因素。

關鍵的成功因素

- 通過預期的規劃;
- 運轉及組織的靈活性就緩衝儲存、運輸、臨時中期貯存（如果需要）、處置、做成決定、關鍵程序的替代...等方面

1. 法律授權給 ONDRAF / NIRAS 的一般性任務

- 放射性廢棄物的接收及運送
- 放射性廢棄物的處理及固化包裝 (conditioning)
- 放射性廢棄物的貯存
- 放射性廢棄物的最終處置
- 所有貯存核能設施及場地的放射性廢棄物數量管理
- 除役計畫的核准

2. 廢棄物管理：經由除役計畫早期規劃：第一版到最終的版本

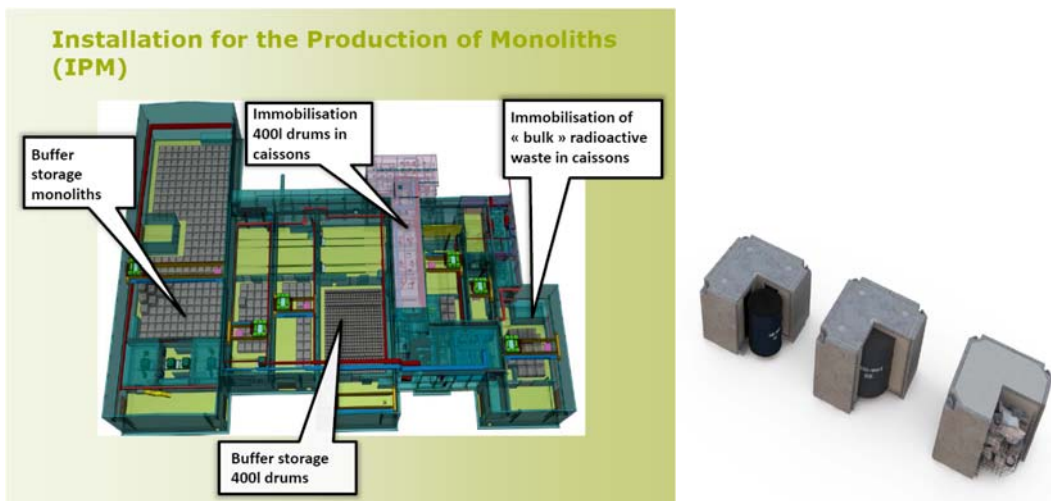
- 所有廢棄物的來源必需確認
- 管理方案：將重點從成本評估（可行性）轉移至現實與工業的方案
- 及時完成規劃工作：將重點從成本的評估轉移至運輸、處理及固化包裝、貯存及最終處置等規劃事項
- 下列目的的特性描述
 - ◆ ONDRAF / NIRAS 規劃（貯存、最終處置、...）
 - ◆ 申照規劃：選擇實際可行的方案
 - ◆ 依據「廢棄物接受標準」的要求，將最終特性描述作為第一步驟

- ◆ 確認特殊廢棄物的來源（R&D, T&C...）
- 實物盤點
 - ◆ 所有放射性物質的完整資料庫
 - ◆ 除役期間採取定期的方式加以更新

3. 比利時的放射性廢棄物管理

- ONDRAF / NIRAS 將位在 Dessel 的主要廢棄物管理設施委請 Belgoprocess 公司營運
 - ◆ CILVA for 低放射性廢棄物的處理
 - ◆ A 類, B 類, C 類廢棄物的中期貯存
- ONDRAF / NIRAS 位在 Dessel 的廢棄物管理設施即將營運
 - ◆ Installation for the Production of Monoliths (IPM)：2018 年中
 - ◆ A 類放射性廢棄物的最終處置設施：2020 年中

- 混凝土容器(Monoliths)的製造設施（IPM）
 - 以混凝土容器裝載放射性廢棄物的設施
 - ◆ 混凝土箱（Monoliths）= 安全的重要關鍵（key to safety）
 - ◆ 這個設施較現有的固化包裝設施為佳
 - ◆ 由 Belgoprocess 公司營運
 - ◆ 2013 年 12 月取得核能執照
 - ◆ 規劃
 - 2015~2017 年建造
 - 2018 年營運

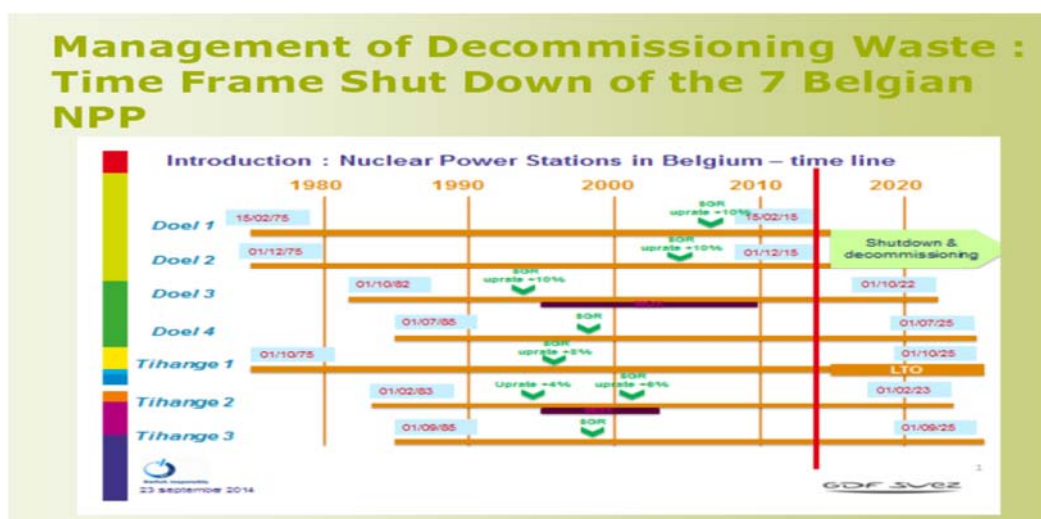


混凝土容器(Monoliths)的製造設施（IPM）

- 廢棄物分類方案：位於 Dessel 的地表最終處置場處置所有比利時 A 類的放射性廢棄物



位於 Dessel 的地表最終處置場



比利時 7 座核能電廠終止運轉的時間表

- 7 座核能電廠除役所產生的放射性廢棄物：數量和分類
 - A 類放射性廢棄物（低和中階短半化性廢棄物）：21%由 ONDRAF 管理
 - B 類放射性廢棄物（低和中階長半化性廢棄物）：20%由 ONDRAF 管理



4. Doel 核電廠 1&2 號機除役廢棄物管理

- A 類放射性廢棄物的組成：
 - 活化的部分（RPV、RPV 的保溫材、內部組件的碎片、生物屏蔽）
 - 受污染無法壓縮的大型物件（管路、閥件、...）
 - 受污染可壓縮的顆粒狀物（pellets）
- B 類放射性廢棄物：內部組件高度活化的主要碎片
- Electrabel 公司考量廢棄物管理的參考選項
 - 在 2019 年第 1 季取得拆除執照
 - A 類放射性廢棄物源：
 - ◆ 在現場新建廢棄物管理設施（Waste Management Facility, WMF），2020 年開始營運→混凝土箱（monoliths）的製造
 - ◆ 將混凝土箱運至 IPM 設施
 - ◆ A 類放射性廢棄物最終處置
 - B 類放射性廢棄物源：
 - ◆ 在現場或 Belgoprocess 的場址以厚重屏蔽的高完整性容器（High Integrity Containers, HIC）進行中期貯存

5. 廢棄物接受標準

ONDRAF / NIRAS 對於所有現存以及未來可能產生的廢棄物源，定義固化（conditioned）及非固化（non-conditioned）廢棄物的接受標準

- 以經法定機關核准的一般法規為基準
- 以參考的處置方式為基準（A 類放射性廢棄物採地表最終處置，B、C 類放射性廢棄物及用過核子燃料採深地層最終處置）

6. Doel 核電廠 1&2 號機除役廢棄物處理設施（VMF）申請與規畫

- 廢棄物處理設施（VMF）：
 - 固化包裝過程的限制條件→混凝土製造完成等待最終處置
 - 製造方法、輻射線的特性、化學放射性廢物的限制條件
 - =>期望廢棄物接受標準可適用於 A 類放射性廢棄物的最終處置
 - =>建立合格的廢棄物處理設施以及放射性廢棄物的處理方法已經由 ONDRAF 及 Electrabel 公司開始進入討論的程序
- 後續實際的規畫
 - A 類放射性廢棄物的最終處置場 202 年開始營運
 - =>混凝土箱於 2018 年開始製作
 - =>IPM 於 2018 年開始營運

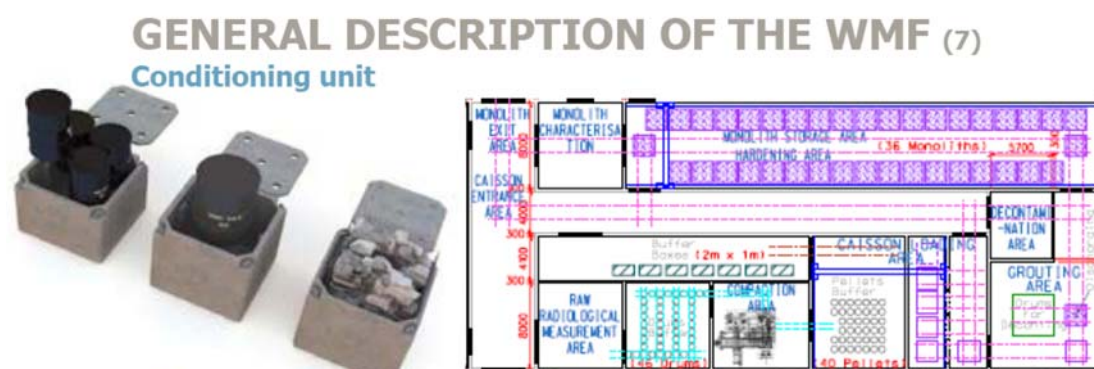
(二) THE FORSEEN 廢棄物管理設施在 DOEL 核電廠的除污及除役準備工作的角色

DOEL 核電廠 1&2 號機組除役準備工作的一部分，除污和除役（D&D）計畫提供興建一座新大樓，稱為廢棄物管理設施（WMF），其中因 DOEL 核電廠拆除活動所產生的污染物質，將採除污後外釋或採進一步處理或固化包裝，並交由 ONDRAF/ NIRAS 運送及接收，以進行最終處置。

廢棄物管理設施（WMF）主要功能單元及系統

- 一個接收和貯存單元：一個進入的緩衝貯存區用來收集、接收以及臨時貯存受污染的放射性物料。
- 一套處理單元：實施切割、除污以及壓縮操作受污染的物料。
- 一套固化包裝單元，用以進行放射性廢棄物的裝載、灌漿以符合廢棄物接受標準對於最終處置的規定。
- 一座無條件外釋的量測單元。
- 一個貯存單元：一個外運的緩衝貯存區用來作為固化廢棄物容器的臨時貯存，準備好以等待 ONDRAF/ NIRAS 的運送及接受。

廢棄物管理設施（WMF）規劃在 DOEL 核電廠 1&2 號機組拆除活動前（即終止運轉後階段的結束）的 2019 年開始營運，廢棄物管理設施將隨後處理和固化包裝 DOEL 核電廠 3&4 號機除污及除役（D&D）活動所產生的放射性廢棄物源，以及從同一設施其他除污及除役活動所產生的放射性廢棄物源（例如現有的液體廢棄物處理廠房、用來貯存之前更換下來之舊有蒸汽產生器的設施）



固化包裝單元

- 放射性廢棄物的特性描述
- 裝載放射性廢棄物於「Monolith」混凝土箱（caissons）內

- 「Monolith」混凝土箱（caissons）進行灌漿，在某種程度上，它是適用於ACRIA 在附近地表處置場的最終處置

1. 目前的進度



- 概念設計
 - 核能安全參考
 - 初步安全案例、考慮與安全主管機關討論
 - 廢棄物源的定義
 - 廢棄物源處理方法的定義
 - 處理及固化包裝與貯存需要的評估
 - 處理系統概念的開發（切割、除污等）
 - 廢棄物處理設施可能位置的評估
 - 初步的建築佈置圖
 - 初步的輻射劑量評估
 - 設施初步規畫的尺寸

2. 未來的步驟

- 基本設計活動正在進行
 - 進一步確認廢棄物源處理方法
 - 處理及固化包裝與貯存之需要更精確（refine）的評估
 - 處理系統概念設計的定案（切割、除污等）
 - 為輔助系統定義一個用於製作/發行理念
 - 執行意外事件的學習、準備初步的安全分析報告、環境影響評估（EIA）
 - 進一步考量合理抑低（ALARA）觀念
 - 開發建築佈置圖

三、中階及高階放射性廢棄物

(一) 創新電漿傾斜熔爐用於放射性廢棄物及有問題的化學廢棄物的處理

IBERDROLA Ingenieria y Construccion, Belgoprocess

電漿技術提供了處理該廢棄物高減容比（VRF）非常有效的方法，不含有機物、液體和水汽。由此產生的廢棄物毫無疑問的符合安全貯存和處置的驗收標準。使用大約 5000°C 電漿束的方法，使無機材料融化成一個玻璃狀含有大部分的放射性同位素的爐渣，有機材料被氣化並隨後在一個後燃燒室中被氧化，並且在廢氣清潔系統中加以純化。

本報告介紹了電漿的原理、不同的廢棄物供料系統、廢氣處理、運轉的經驗和未來的電漿工廠。特別地是，本報告介紹保加利亞的科茲洛杜伊 (Kozloduy) 核能電廠正在興建一種新的全尺寸電漿設施用來處理放射性廢棄物，這個設施 Iberdrola INGENIERIA y Belgoprocess 兩家公司合資興建，目前設施的設計已經完成並正在建設中。

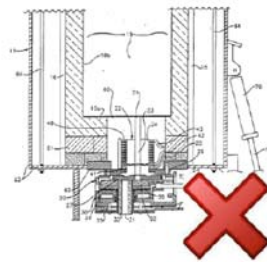
1. 電漿技術

- 電漿技術的特性
 - 60 年代為了發展太空工業以高強熱源來測試高溫屏蔽
 - 用於冶金工業
 - 使用高強熱源來處理/融溶有害廢棄物，典型的溫度為 5000°C
 - 經過 40 多年後，第一次申請用來處理放射性廢棄物
 - 使用電漿，有機材料被汽化揮發成碳氫化合物、一氧化碳等；而無法燃燒和其它無機的組成物被融化並轉化成玻璃狀爐渣

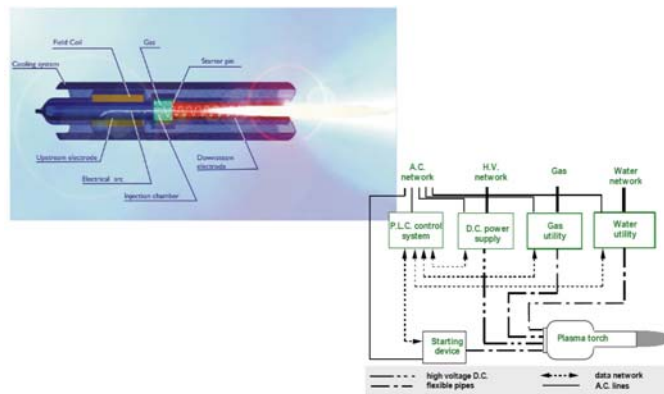
- 由於電漿的溫度較高適用複雜廢棄物類型的範圍要大得多→有機材料被氣化和鐵，混凝土，玻璃等無機材料被融化成一個爐渣
- 技術性的效益
 - 單一程序可以處理許多放射性廢棄物源
 - 適用於固體有機及無機廢棄物，包括石棉
 - 裝桶的廢樹脂及液體廢棄物
 - 過程完全符合 ALARA 的精神
 - 廢棄物包裝可以被”以現況使用（as is）”加以處理並且無需打開容器也無須進行前處理或分類。
 - 排除除污的風險及限制劑量的攝入
 - 得到一個堅固的廢棄物的型態（類似玻璃化）
 - 可自由的來自任何有機物料及液體/溶渣
 - 依據用於長期貯存及最終處置最嚴格 WAC 規定
 - 適用於那些不完全符合 WAC 規定已有歷史的廢棄物的重建
 - 高減容比可以最大限度地減少貯存和最終處置的成本

- Kozlzdny 核能電廠被處理的放射性廢棄物的型式
 - 未處理的廢棄物：有機物料以袋子包裝
 - 前壓縮廢棄物：有機/無機的混合物料裝在 200 L 的鋼桶中
 - 超高壓縮廢棄物（有機、木頭、混凝土）
 - 液體廢棄物：例如油類
 - 廢樹脂

- Kozlzdny 核能電廠 PMF 最重要的設備
 - 電漿處理室 > 電漿爐傾斜的設計



- 噴管（Torch）> 500 kW 非轉移電弧電漿噴管；溫度 5000°C



非轉移電弧電漿噴管

- 供料系統 > 連續通過 2 段式的破碎機

- Primary and secondary shredder
- Screw feeder
- Driving force is system has to accept 200 L Drums



- 廢氣系統 >依據 Belgoprocess 廠區的 CILVA
- 溶渣收集室 >依據 ZWILAG 的設計
- 電漿熔爐及進料機
- 結論
 - ◆ 主要設備的 FAT 測試都是成功地進行，這是這項方案的一項重要的里程碑
 - ◆ 不同無機廢棄物的組成物成功地被熔融及倒出
 - ◆ 電漿熔爐及螺旋進料器的整合測試給予對於 PMF 設施未來運轉極佳的自信心

四、大型組件的管理

(一) REX 對於大型組件的移出以及它們的特性描述

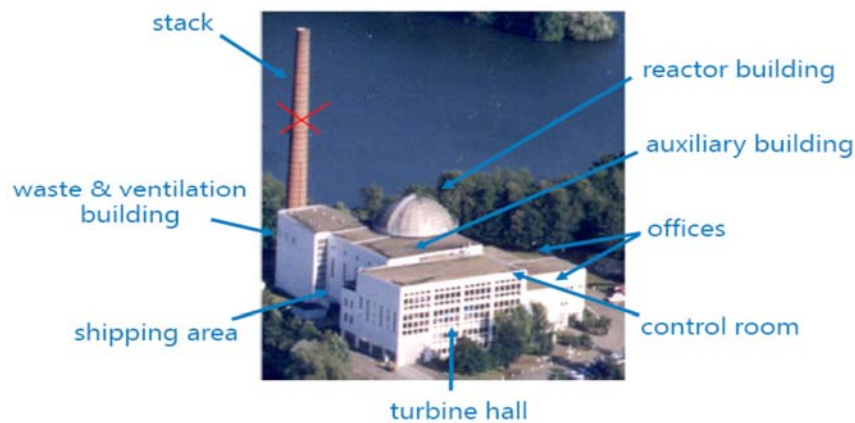
SCK· CEN 得助於它的 BR 3 除役計畫，在除污及除役(D&D)已經建立許多的訣竅(know-how)，1989 年 BR 3 壓水式反應器被歐盟委員會(European Commission)選為歐洲的先導型除役計畫，BR 3 除役計畫被允許就使用於核設施拆除及除污的各種技術加以測試、比較及評比。

在 90 年代初期，這個計畫關切遙控拆除及大型活化組件的移除，包括內部組件、反應器壓力槽(RPV)等，後來，蒸汽產生器也被拆卸，經過除污後加以拆解(切成片狀)並無條件外釋。即使這些操作方式是在多年前使用的，它可以在非常新的計畫觀察到，類似的技術被應用和選擇來進行類似的工作。這次會議的目的是來觀看累積的經驗，採取什麼方式來切除並移空反應器內部組件、反應器壓力槽、蒸汽產生器等...驗證這些知識還是適用於今日處理所有種類大型放射性組件(高活化及/或污染)的拆除。

最後將描述如何將這些組件加以特徵化，規劃並將拆卸過程產生的物料最終清空路線納入考量的最佳拆除策略。

BR3 是一座小型的壓水式反應器 (PWR)：開發期間 1962~1987

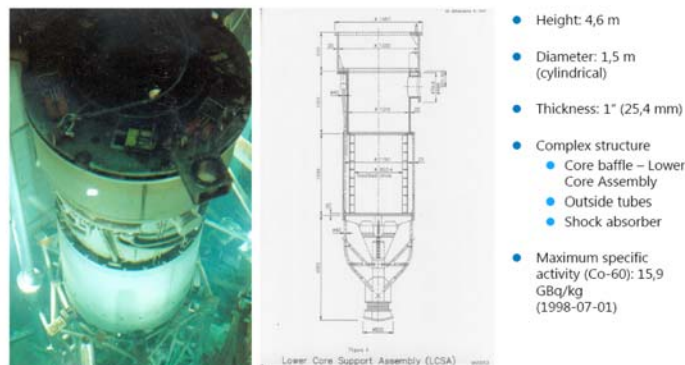
- 比利時 3 號反應器
- 型式：壓水式反應器 (西屋)
- 是歐洲第一座壓水式反應器，也是第一座被拆除的壓水式反應器
- 功率：40.9 MWth, 10.5 MWe (net)
- 於 1962 年開始運轉，於 1987 年終止運轉
- 11 個運轉活動 (Operating campaigns)
- 主循環(primary loop)=1.5 loop(1 SG, 2 主要的 pumps, 1 hot leg, 2 cold legs)
- 當成未來壓水式反應器運轉員的訓練中心以及進步型壓水式反應器 MOX 燃料試驗台



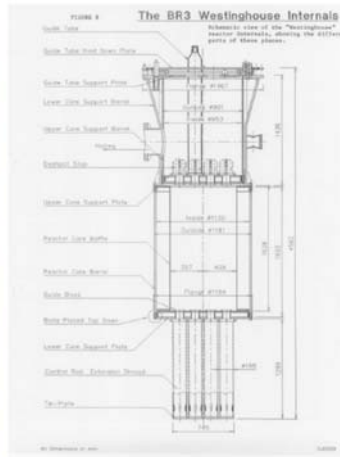
BR3 的照片

1. 活化組件的拆除

- 內部組件



Vulcain 內部組件



- Height: 4,6 m
- Diameter: 1,5 m (cylindrical)
- Thickness: 1" (25,4 mm)
- Less complex structure
 - Guide tubes
 - Control Rod Extension Shroud
- Maximum specific activity (Co-60): 5,24 GBq/kg (1998-07-01)

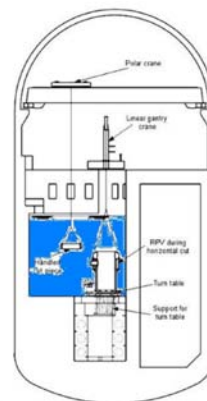
西屋內部組件

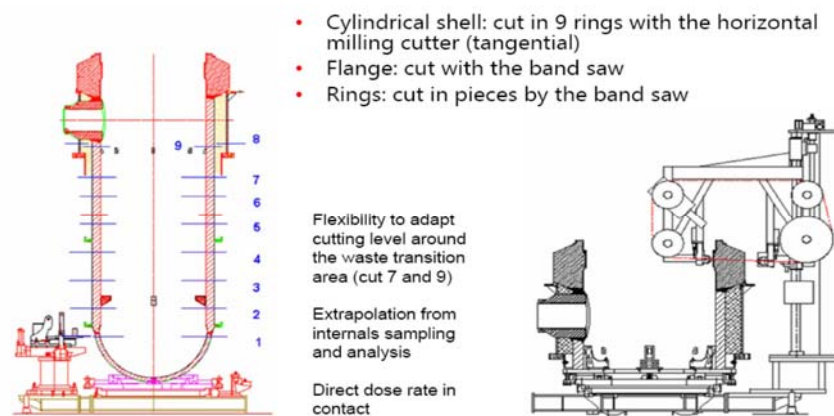
- 取得代表性的樣本用以決定污染程度及主要組件的活度
 - ◆ 來自除污方案 (MEDOC)
 - ◆ 來自內部組件的沉積物 (crud deposit)
 - ◆ 不同部分的切屑
 - ◆ 護套及 RPV 基本金屬的樣本
- 直接量測與化學分析
- 以樣本的活度作為基礎的計算 (理論)
- 使用劑量率與樣本活度之間的關係

● 反應器壓力槽 (RPV)



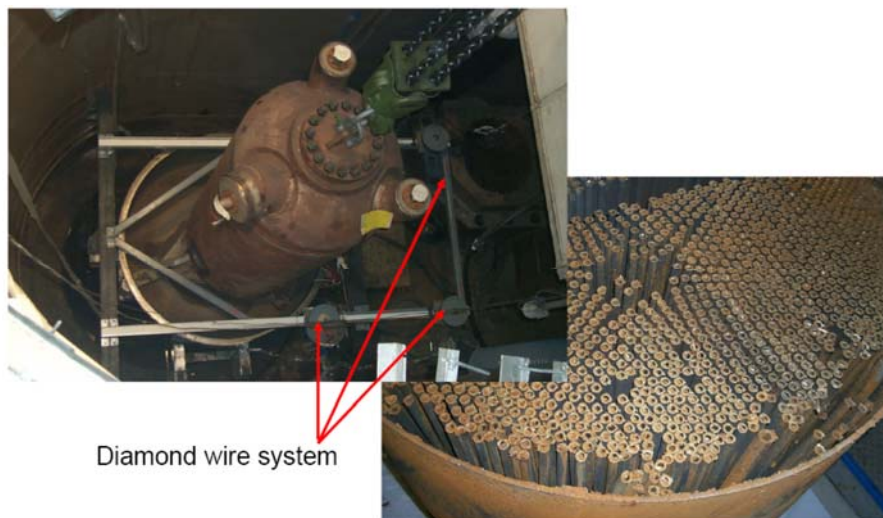
- Disconnect RPV from primary loop
- Lift RPV into refueling pond
- Re-instate pond integrity
- Cutting of RPV





反應器槽（Reactor Vessel）拆除作業

2. 蒸汽產生器（SG）除污前的處理
3. 使用拆除的設備



使用鑽石鋼索切割蒸汽產生器（SG）

4. 結論
 - 剛開始的階段，BR3 除役計畫比較、選擇和採用的方法以及技術；這些在新的計畫都持續的被考量。
 - 最佳的方法取決於國家關切廢棄物接受標準以及無條件外釋的可能性。
 - 縱使 BR 3 是一座很小的設施，所完成的主要工作對於未來的計畫應該（非常）有用

(三) Doel 核能電廠蒸汽產生器除役策略

目的

Elctrabel 擁有許多使用過、污染的蒸汽產生器，他們被要求應在特定的時間點進行除污，不同的除役情節目前正被調查中，這些情節中的一種是將蒸汽產生器或其他大型組件的外部拆除，這次會議將展示策略理由及這個計畫實際實施的情形。

目標

這次會議將大致說明這項計畫策略目標並進一步解釋大型組件海外運送的細節。

計畫概述

不同的清空及拆除情節用於大型組件(蒸汽產生器) 是可能的，且依據 NEA/OECD 的導則，這些選擇可以使用多標準分析(multicriteria analysis)做為最佳標竿(benchmarked)，這次會議將解釋這些是如何在 Doel 核能場區及 Doel 核能電廠 1&2 機組被做到。

放射性物料的運輸及出口依據歐洲法律，需要一些許可證和授權，這次會議將更詳細的說明如何符合這些法規要求。

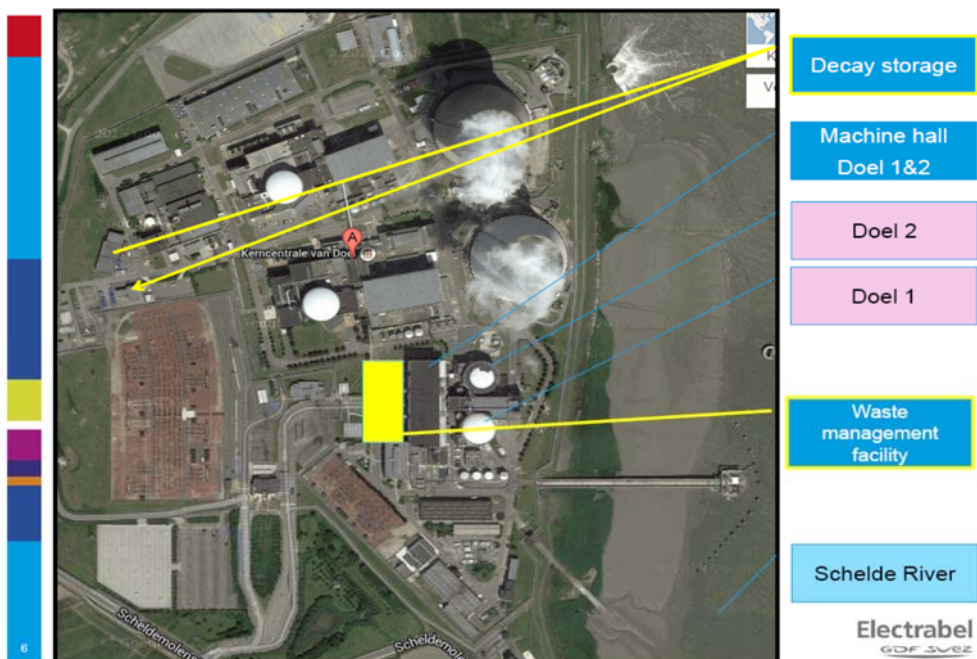


SG decommissioning at DOEL NPP

1. Electrabel 公司蒸汽產生器群的概觀
 - 共有 38 座蒸汽產生器
 - 18 座在 Tihange 核電廠區
 - 20 座在 Doel 核電廠區

2. Doel 核電廠 1&2 號機除役的內容

- 立即拆除
 - 2015 停機
 - 2019 年第 1 季開始拆除及除役 (D&D)
- 在場址建造新的廢棄物管理設施 (WMF)
 - 拆除大型組件的選項，包括蒸汽產生器
- 在拆除方案之初，蒸汽產生器經由屋頂進行移除
- 蒸汽產生器的拆除作業需要使用經證明/成熟的程序
- 經由 Schelde 河，取道 Ro-RO
 - 荷蘭的邊境
 - 通往北海



3. 蒸汽產生器拆解過程

蒸汽產生器分為 3 級污染

- 高污染的蒸汽產生器 ($> 0.5 \text{ TBq}$)
 - 不用先期除污，沒有衰減的意義
 - 不採用 REX 系統除污：沒有考量
- 低污染的蒸汽產生器 ($< 0.5 \text{ TBq}$)
 - 進行先期化學除污取得等量的衰減
 - 最小除污因數 4~10
 - 只有 Studsvik 能夠驗證已經證明/成熟的程序
- 非常低污染的蒸汽產生器 (無條件外釋的程度)
 - 對於個別組件進行先期化學除污

- 除污因數 $\gg 1000$ ，或沒有污染
- BR3 / EWN 的案例

4. 蒸汽產生器除役的各種情節

- 蒸汽產生器延遲拆除
 - 繼續將蒸汽產生器貯存在擴建的建築物進行衰減貯存
- 蒸汽產生器立即拆除
 - 在廢棄物管理設施(WMF)現場進行拆解
 - 在反應器廠房進行拆解
 - Grundremmingen 的例子，以冰鋸切除蒸汽產生器冷卻管
 - 由於高複雜性，當時不考慮其他的情節
- 委外處理(Externalization)
 - 每船運送 4 座蒸汽產生器到外面的機構(Studsvik)進行拆解廢棄物
 - 必須於 3 年內回運

Dismantling in reactor building

Example Grundremmingen,
Ice sawing to fix SG tubes

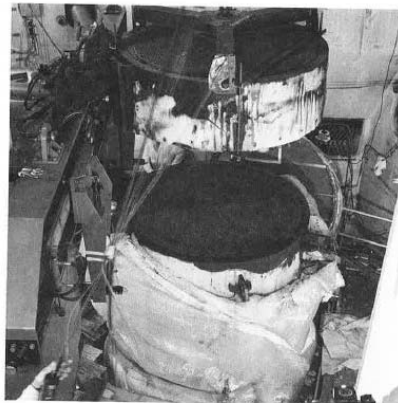


Fig. 5. Lifting of a segment after cutting.

Externalization :

Naval Shipment to Studsvik

5. 多標準(Multicriteria)分析-各種情節

- 蒸汽產生器的延遲拆除
 - 缺點
 - 不連貫的期望及立即除役的策略
 - 增加 1 年/ 3 座蒸汽產生器從廠址外釋→額外的運維(O&M)成本、稅金和許可證
 - 增加管制規範→成本、延遲、廢棄物數量
 - 興建衰減用貯存庫的成本

優點

- 低劑量率
- 當蒸汽產生器市場公開並降價時獲得利益

- 蒸汽產生器的立即拆除
在廢棄物管理設施(WMF)進行拆解

優點

- 參考最初的除役計畫案例，預訂的策略
- 按規劃日期進行廠址外釋
- 市場上有成熟可用的技術

缺點

- 學習學校(learning school)可預期的高成本
- 需要緩衝的貯存設施(新建)
- 20 年全滿的工作量(日班)→衝擊廢棄物處理設施計畫的工作量
- 只有 Studsvik 驗證這個蒸汽產生器的策略程序

- 蒸汽產生器的立即拆除

委外處理

缺點

- 額外的費用(蒸汽產生器的運送、商業成本、廢棄物運送、申照、...)
- 海運=比利時第一次採用這樣的方式
- 執照申請的風險
- 非政府組織(NGO) 的風險

優點

- 多種途徑→靈活性
- 平行的途徑→允許廢棄物管理設施工作量的最佳化
- 成熟可用的程序
- 固定和已知的成本

6. 結論

- 當他們完全符合先決條件，我們建議蒸汽產生器採行立即拆除的方式
- 多標準分析表示優先選用
案例=委外處理
- 財務標竿必須完成，包括學習學校的成本、商業風險、溶化(melting)是必要的

- 在本方案早期，不同的廢棄物源的接受必須加以分析
- 二次廢棄物高劑量的問題必須持續被解決，儘管蒸汽產生器的總劑量率=0.12 TBq
- 非常低污染的蒸汽產生器的拆解是非常有趣的（低複雜度、低劑量率、快速、一般的建築物）
- 非常低污染可以要求一個低價的除污技術

7. 產生的各種廢棄物源

- 6 種廢棄物源的確認
 - A：爆炸殘留物
 - B：管件，切碎與扁平
 - C：蒸汽產生器的 U 型夾：壓縮
 - D：研磨及鑽孔所產生的金屬套筒(插入管)
 - E：熔融所產生的金屬塊及灰渣
 - F：其它(二次殘渣、管件碎片)

- 數量的估算：(參考案例：管板無條件外釋及蒸汽產生器的冷卻管沒有爆破)
 - 的 77.4 噸回收廢棄物：從 284 噸的蒸汽產生器拆解所產生
 - 351 桶(220 L)
 - 5 部 40 呎卡車的運送
 - 廢棄物必須於 3 年內回運

- 物理性和化學性的特性描述
 - 符合比利時現行廢棄物接受標準
放射性特性描述的問題
 - 沒有爆破
廢棄物源 B&C(蒸汽產生器的冷卻管) > 2mSv/h
由於高劑量率的處理以及固化包裝的問題
 - 有爆破
廢棄物源 A(爆破的殘渣) > 2mSv/h
由於高劑量率的處理以及固化包裝的問題

8. 運送法規

- 一般
 - 組合(Combination of)
 - ◆ 特殊運輸許可(非核能)
 - ◆ 運輸許可(核能)
 - ◆ 處理輸出許可證(核能)

- 國外處理設施
- 廢棄物回運的追蹤
- "挑戰"當我們需要運輸一個不符合現有包裝規定的物件
- 技術可行性與申請執照



- 沒有包裝的大型物件
 - ◆ 按獨家使用的方式運送
 - ◆ 不得堆疊
 - ◆ 視為"第 2 型工業包件"(Type IP-2 package)

五、除役經驗

(一) Dessel Mox Plant

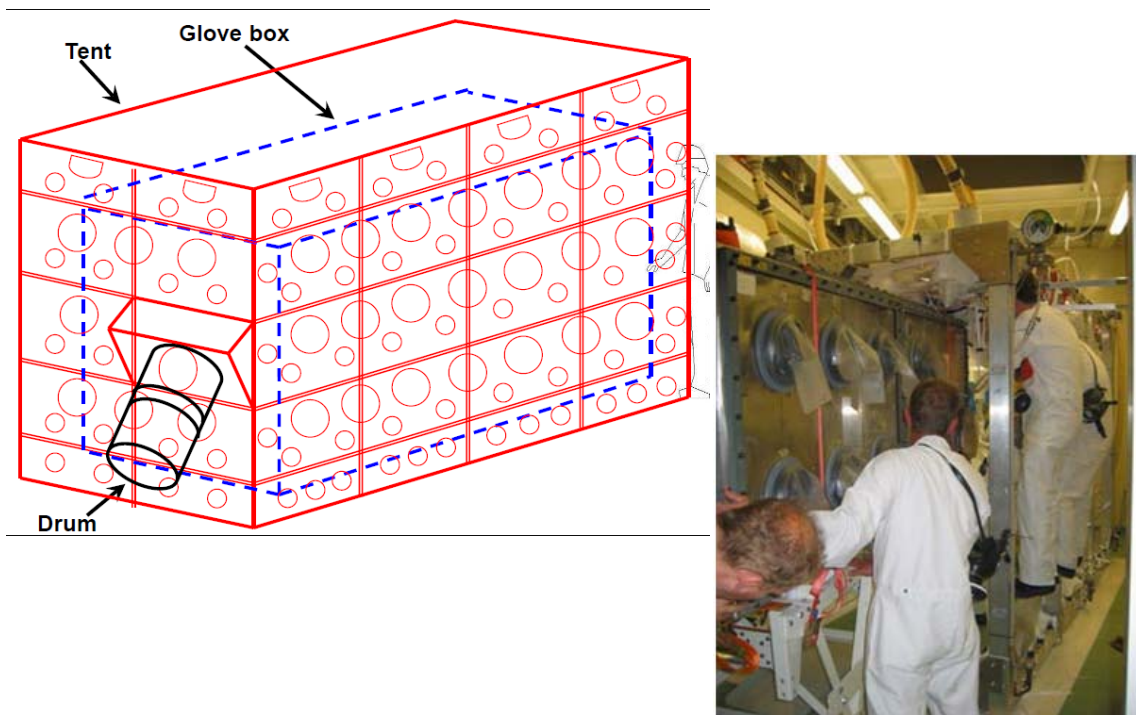
Dessel Mox Plant 是由 Belgonucleaire 公司營運，自 1986~2006，這是一家製作反應爐所用核燃料的工廠。期間已將 40 噸的鈾製作成商業用途的核燃料達 90 次。在 2006 年，因為政治與商業因素造成市場萎縮，因而公司決定停止工廠的運作。

在 Dessel Mox Plant 拆除的程序中，約有 170 個中型體積的 glove box 與 1300 噸結構物和設備等待拆除。

核准 Mox 拆除的執照在 2008 獲得頒布，拆除程序自 2009 年 3 月開始。拆除過程的掌控是由 Belgonucleaire 公司下的一個整合性組織來負責。

在敘述過整個計畫的主要特性後，簡報者再從技術與組織方面來說明 glove box 的拆除。像是決策的依據，人員素質與程序、限制、切割技術與輻射防護、安全性、廢棄物管理等方面，這些須要同時考量。

在 2014 年 8 月，Belgonucleaire 公司將這段時間所獲得的知識與經驗整理發表出來。



Tecnubel 公司受委託於 Belgonucleaire 公司進行實際工作執行。非常有系統的介紹了整個計畫的進行。Tecnubel 公司的任務包括：

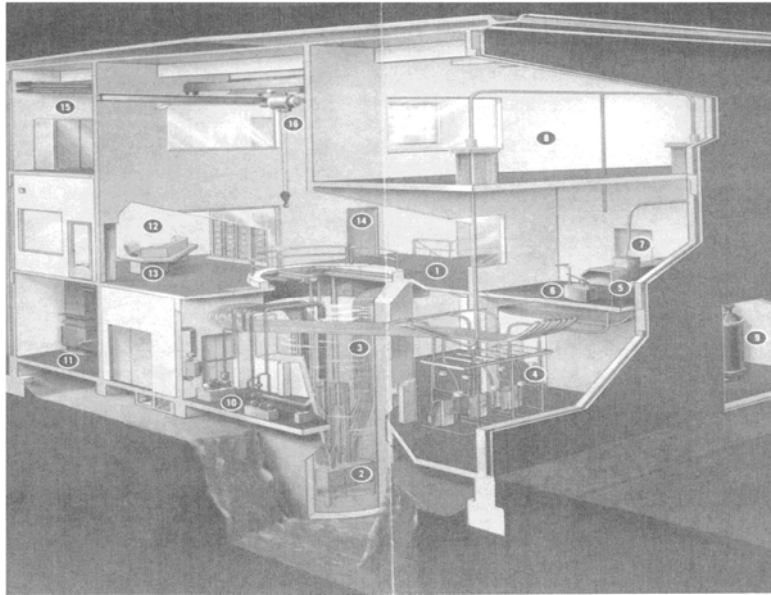
- 編寫工作指引
- 拆除 glove box
- 建物拆除
- 輻射防護工作
- 工安防護工作
- 作業員訓練
- 輻射物分類

Tecnubel 公司共有 7 名工程師與 65 名作業員投入相關工作

(二) Thetis 反應爐除役工作經驗

Thetis 反應爐是一座位於 Ghent 大學的研究型反應爐，1967~2003，利用中子源產生同位素與進行活性分析。

反應爐設置在一個直徑 3M 深 7.5M 的水池中。在水池中還有一些氣體管路、手工具、做為緩和劑的石墨，還有一些其他的實驗用裝置。在建築物中有一些儲存放射性物質的房間、傳送樣品的氣體管路、一次側和二次側冷卻水、清洗用的水源管路、通風系統和一些必要的裝置。因為是實驗型反應爐，所以有 glove box 的實驗室，還有一些必要的工具，這些都列在拆除計畫之中。Belgoprocess 公司負責拆除反應爐、實驗室、儲存大樓和管路。目標是使大樓內部淨空，能夠被再度使用。



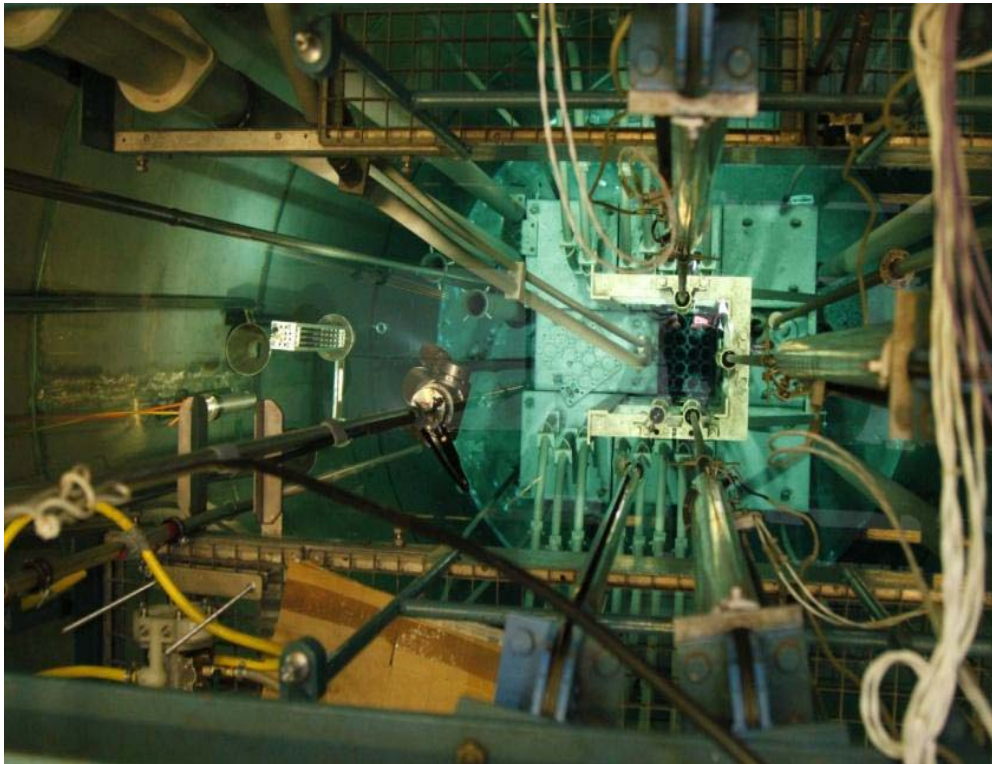
Belgoprocess 公司的工作包括：

- 確認高活性物質
- 容器、房間、樓面的除污工作。
- 切割物質
- 分離石棉
- 廢棄物減容處理，使能成為無限制型外釋物質、限制型外釋物質，或是核子廢料。

簡報中逐步介紹除污工作，說明其挑戰與機會所在。對於石棉污染物質處理，輻射污染物質處理，再從技術、法規、組織的角度來探討問題。



機器手臂的演練，以減少工作人員所受劑量



反應爐內有許多組件與管路設備



建立隔離的工作環境，以防放射性物質擴散。

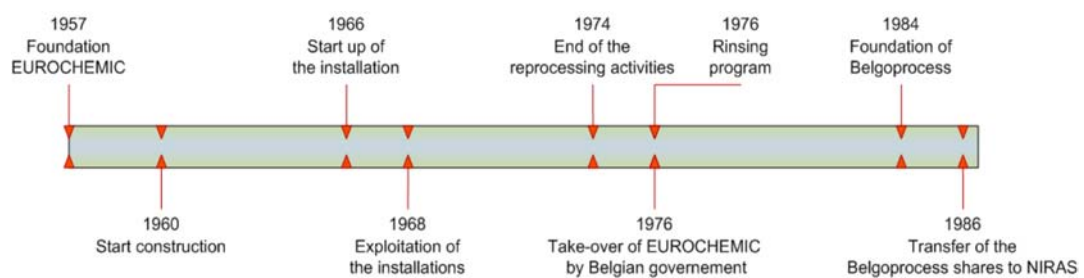
(三) Eurochemic Reprocessing Plant 除役工作經驗

Eurochemic Reprocessing Plant 自 1966 開始營運，到 1974 停止運作，負責處理核電廠與研究型反應爐使用的核子燃料。Belgoprocess 公司負責除役工作。主建物是一座大型鋼筋混泥土建築，表面積 55,000m²，混泥土體積

12,500m³ 與 1,500Mg 的金屬組件。建築物區分成多個單元。總計約有 106 個單元需要拆除。還包括將單元內的設備移除與除污，牆壁、天花板、地板與通風系統都需要處理。

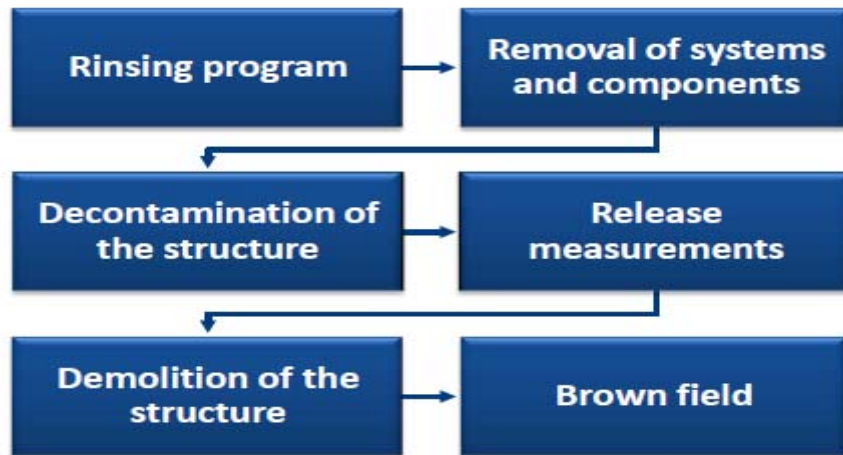
Belgoprocess 公司自 1990 年開始進行主建物的除役工作。到了 2014 年，該區域已恢復成限制型條件的土地了。這 23 年期間，在改進效率上做過了許多的努力。比利時的除役政策，就是要盡一切可能地做到無條件型釋出，將核子廢料減少到最低。最後，運用了多項的工具，以減少在處理上的花費，增加除污能力，並加快了無限制型釋出的速度。例如，燃燒裝置、混凝土取樣裝置、混泥土分類裝置。

進行時程：



Eurochemic Reprocessing Plant 除役前外觀

除役工作進行的程序：



Eurochemic Reprocessing Plant 除役後外觀

(四) 德國除役計畫的經驗：物件、建築與場所的清理

由於比利時對國際上核子設施除役計畫的關注，使得在 2015 年開始拆除 Doel 1/2 時獲得很大的幫助。因為這個計畫是比利時的第一個商業核能電廠的除役計畫。比利時的除役計畫從其他許多成功的大型除役計畫獲益良多。德國，就是一個重要的參考，它有一些已完成和一些進行中的除役活動。在此介紹一些經驗，與在除役所遇到問題的解決方法。重點在物件、建築與場所的清理主題，並提出幾個大型除役專案所得到的經驗。

關於物件的清理，簡報者說明關於外釋物質的一些策略。並比較了一下比利時與德國的法律規定。在討論過可以用在比利時除役計畫的一些可能的選項之後，例如對再利用的金屬物質做有條件的清理，對建築物則是做無條件式的清理，這是類似於運用在德國的策略。

	Belgium	Germany
Legal provisions	ARBIS	Strahlenschutzverordnung (§ 29 StrlSchV)
Relevant Norms for measurement	FANC guideline: „Richtlijnen meetprocedures ...“ ISO 11929	DIN 25457 part 1 DIN ISO 11929
Averaging mass	< 1000 kg	< 300 kg
Averaging area	(< 300 cm ²)	< 1000 cm ²

Clearance criteria: Clearance levels	Unconditional: based on RP 122 (“Clearance of metal scrap for (mass specific recycling”) (mass- and surface levels); Co-60: 0.1 Bq/g, 10 Bq/cm ² Cs-137: 1 Bq/g, 100 Bq/cm ²	Unconditional: based on RP 89 (mass- and surface specific levels) Co-60: 1 Bq/g, 10 Bq/cm ² Cs-137: 1 Bq/g, 100 Bq/cm ²
	Conditional: 1 Bq/cm ² for beta/gamma 0.1 Bq/cm ² for alpha (to be decreased in future) Conditional: May be applied for on a by-case basis (§ 18.1 ARBIS)	Conditional: based on RP 89, but with limits by other clearance options <i>Metal scrap for recycling:</i> based on RP 89 <i>Rubble > 1000 Mg/a:</i> based on RP 113 <i>Disposal:</i> SSK recommendation 2006 (4 sets, of which 2 for incineration, 2 for disposal, each graded by mass/a)

比利時與德國策略的比較

六、除污

(一) Chemical full sys decontamination (CSD)

簡報者介紹將於 2016 年在 Doel 1&2 電廠除役時，所設立的策略目標與所建立的第一套全系統化學除污系統。

以一般的實例，當核電廠除役時，它經過多年營運期所累積的污染物質，須靠全系統化學除污的方式來去除。大多數除役的目標是減少拆除過程中工作人員所受的輻射劑量，但 Electrable 更進一步設立了一些額外的策略目標。

每一除役計畫非常重要的一件事就是保持高度的彈性，在 Doel 1&2 電廠除役的全系統化學除污就可使整個計畫保有彈性，並能將一些額外的目標整

合進全系統化學除污計畫。

計畫描述：

CSD 被認為是高風險的工作，需要運用許多特定的技巧，以避免風險。CSD 在 2016 年運用時，能獲得最大的效益的是減少人員所受的輻射劑量，也能使系統儘快的停用，更減少許多工作程序。簡報者運用幾個理由說明為何在 POP(Post-Operational Phase)是最佳時機。

化學除污被認為是對付污染金屬與氧化層最佳的除污方式，因此，一次系統、冷卻停機系統、水位控制系統，都是在選擇的範圍內。簡報中也說明主要各組件選定的價值與其限制。

化學除污的程度在於其事先所設定的目標，但最終還是花費的考量。以 Doel 1&2 除役計畫而言，其主要受益為可增加整個計畫的彈性。

七、安全性

(一) 核安能安全訓練(NSTP)

European Control Services (GDF SUEZ) 發展出一套核能設施拆除與除污的訓練計畫，並且還在持續研發中。這套計畫的核心就是核能安全。因其重心不在於技術的發展，而是正確的工作行為的核能安全文化。在其背後的這些想法與技巧，已經在許多不同環境中做過試驗。舉例來說，Bn Mox Plant, Electrabel Del 核電廠的 Nuclear Safety Culture Training。事實上在非核能工業也可以運用。

這方面的專門知識結合了 ECS 的訓練與核能部門。在訓練方面，ECS 是一個主要高風險工作教育的提供者。例如高架作業、局限空間作業。對於特定的議題，也可以提供訓練以改進安全性。輻射防護是核能部門重要的工作，在比利時的許多電廠都是如此。

Box School：



新人訓練設施：



將此 2 種領域結合在核能安全訓練計畫，NSTP，是拆除計畫中重要的一環。因會核能設施除役有其獨特的污染、技術與其它的風險。NSTP 能增加安全性，且能調和不同的工作文化。

(二) 獨立的核能安全監護

獨立核能安全監護(INSO)，要夠能挑戰組織的決策、過程與行為，才可以達到以下目的：

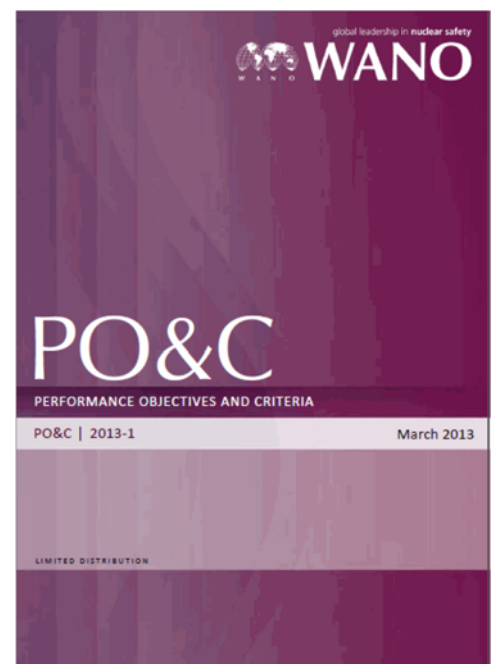
- 確保能符合法規要求與安全性
- 可以找出問題與可能的肇因
- 找出偏差之所在與進行持續性的改正行為

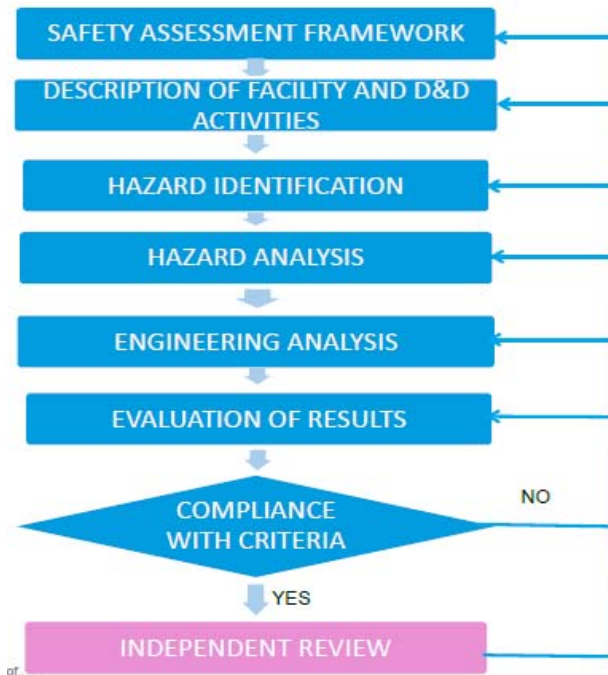
要在保健物理部門內指派專門的核能作業人員，負責調查關於法規要求的公眾防護、工作人員防護與環境保護，相關的輻射防護的事項。包括：

- 事先檢視與許可最終停機文件
- 輻防計畫的控制
- 事先檢視與許可放射性物質的運送
- 會衝擊核能安全新設施的最終許可
- 事先檢視與許可廢棄物清理程序

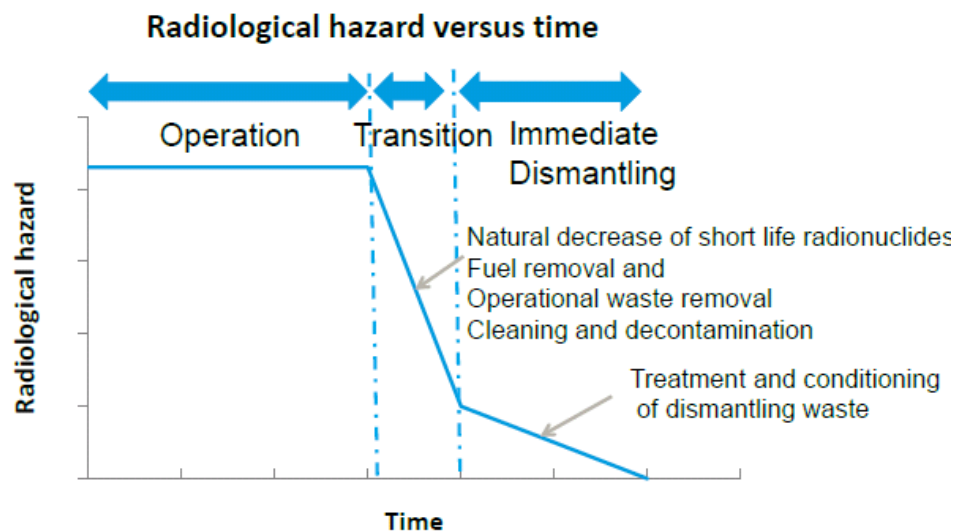
15 項準則的建立，是依據 WANO 文件：
PERFORMANCE OBJECTIVES AND CRITERIA
(PO&C) (Mar,2013)

另外也參照 IAEA WS-G5.2 安全評估程序建立獨立查證：





另外，簡報人也介紹除役過程中不同時期的風險：



他還提出了幾個重要的觀念：

- 低傷害 “不等於” 低風險
- 要專注於主要風險的各項活動
- 要考慮到下列因素：
 - ✓ 國際上經驗的運用
 - ✓ 事件發生會產生的後果
 - ◆ 放射性總量(輻射傷害)
 - ✓ 事件發生的可能性
 - ◆ 操作程序的複雜度
 - ◆ 安全措施的可靠度

- ✓ 不確定性
 - ◆ 要依據其特性與以往經驗做出判斷

最後報告人特別強調幾個重要的結論：

- 再度強調，低傷害不等於低風險
- INSO 要持續發展
- 獨立檢視與安全評估，需要專門知識
- 持續進行經驗交換

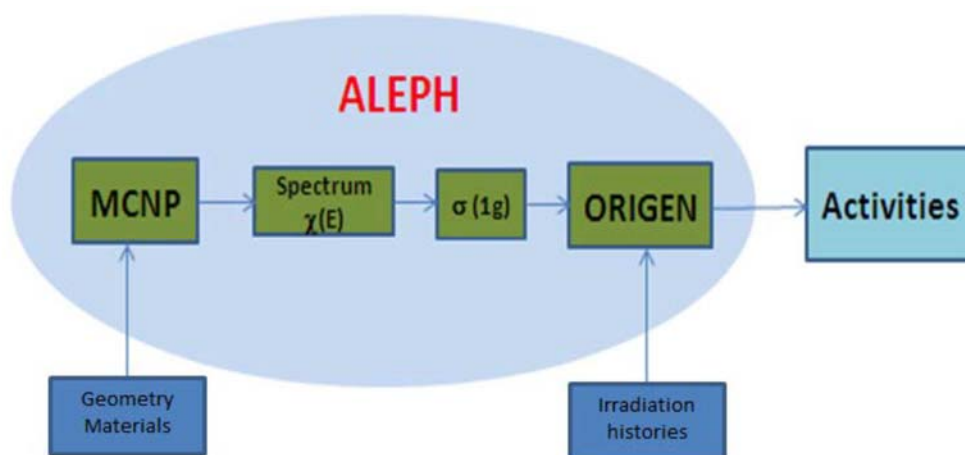
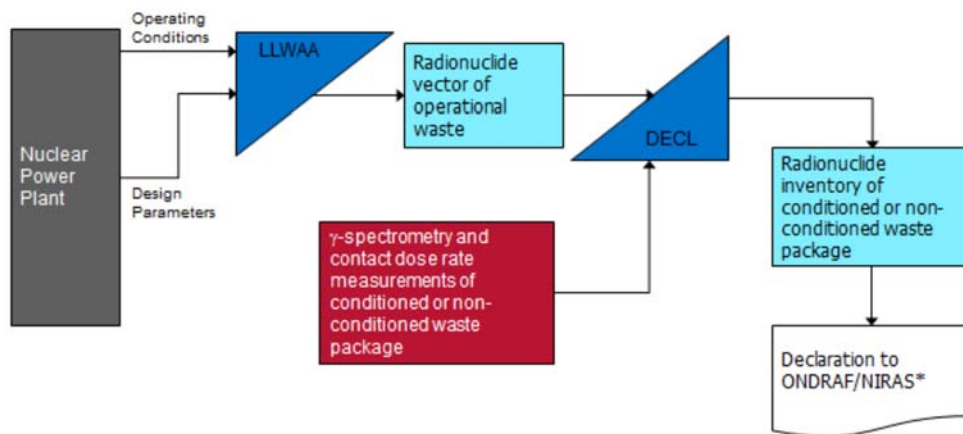
八、規劃與計畫管理

(一) 水中輻射物質特性的策略與中階放射性物質的移除

拆除 Doel NPP 的先期準備工作，就是要將 SFP 內的用過燃料與非放射性物質清空。

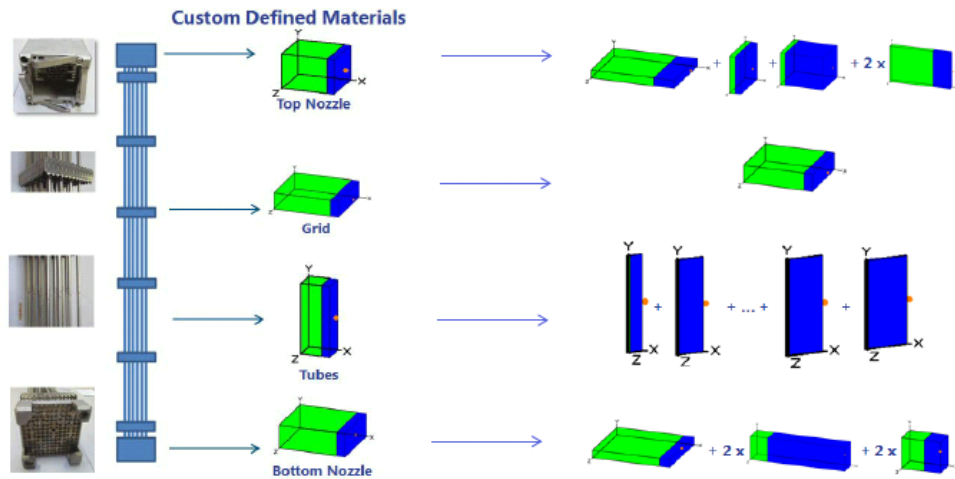
分裂性物質包括中階放射性物質，它所釋出輻射強度會超出現有廢料處理流程限制。如此的特性，需要運用新的放射性分類法與處理流程。

首先須將放射性物質需要定性，因此建立了一個定性流程：



除運用現有輻射特行處理程序，一方面發展多工用水中輻射測量工具。另一方面，還發展不同的活性與污染計算模型。

簡報人介紹用過燃料活性分性模型：



實施新的清空路徑，包括完全分析水上、水下的處理程序，物料處理，容器選擇、裝載、運送、中期儲存、棄置。整個程序都將準則與相關執照要求列入了考量與新的挑戰：

新的處理程序：

- ✓ 處理活性高於一般性的廢棄物

新的運送路徑：

- ✓ 依據不同放射性程度設計
- ✓ 需要官署與公司合作



(二) Enresa 公司正打算將 Jose Cabrera NPP 廠址釋出

廠址釋出包過以下的步驟：

- 建立輻射方面的釋出標準
- 完成恢復作業
- 最終廠址環境調查與申請執照終止

復原行動需要適當地組織與協調。這些活動包括：

- 收集現有輻射與實體的數據
- 訂定土地初始輻射特性

- 輻射資料的靜態分析
- 土壤移除與所在地土壤特性
- 土壤淨化技術
- 訂定廢料與物質管理

Jose Cabrera 正在計劃這些活動，其中一些已開始進行，其它在未來也將陸續展開。

(三) EPRI 的石化電廠的除役與廠址復原計畫

經過五年的規劃，EPRI 提供一個除役計畫給各個打算進行石化電廠除役工作各公司。計畫中所面對的議題是，環境評估與修護、危險物質的確認與管理，這些都與核能電廠除役所遇到的問題類似。在計劃初期重視資訊交換與流通。

- 主題 – 協助不清楚除役工作的成員
成果 – 指引手冊

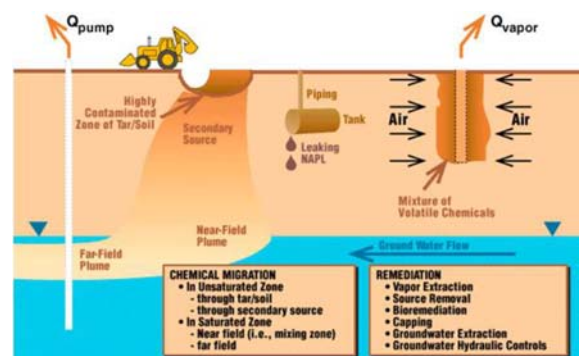


- 主題 – 為成員提供除役計畫必要的資訊
成果 – 六個電廠的工程、環境與花費的數據。

Plant Decommissioning Database



- 主題 – 評估對地下水影響的改正方案
成果 – ROAM 模型的升級，使包括有機物質，金屬物質，輻射物質。使用者可比較在未使用6個改正方案前後的情況。



- 主題 – 如何有效完成之前的廠區環境評估
成果 – 提供使用者環境評估手冊，使在進行環境評估時能遵循 ASTM 第一與第二階段所使用的方法與標準。



- 主題 – 石化電廠員工對自然產生的放射性物質(NORM)確認管理方面知識的不足

成果 – 發展指引手冊，提供給石化電廠可能用到的知識

結語：EPRI 在進行這項工作時需要各個部門的合作，包括了發電部門、環境部門與核能部門。



九、參訪行程

(一) 比利時核能研究中心 (National Nuclear Research Centre, SCK • CEN)

1. HADES 地下實驗室

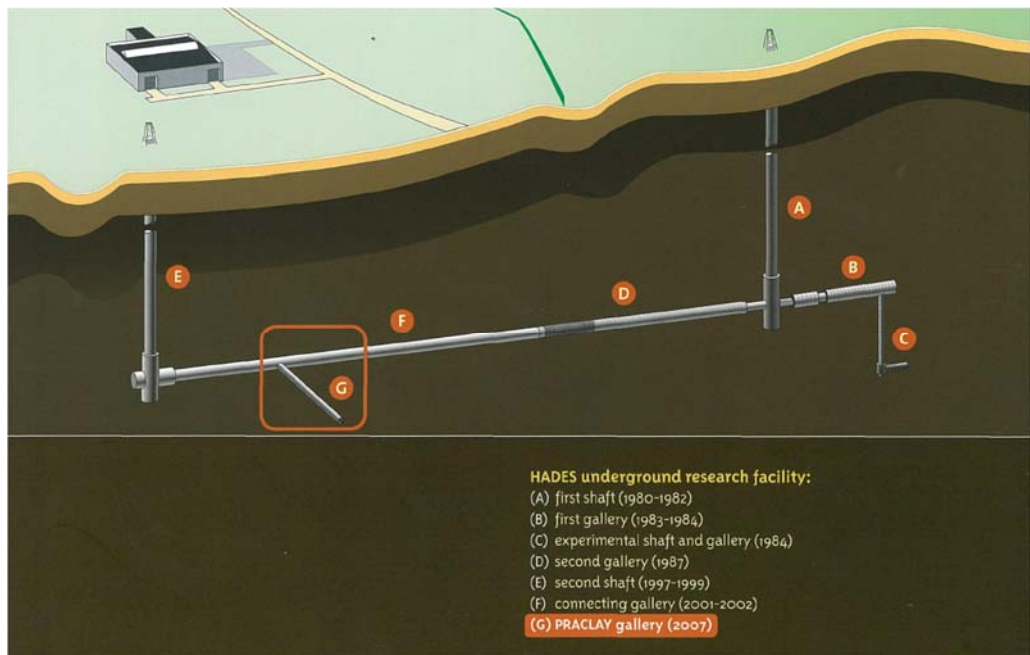
比利時核能研究中心 (SCK • CEN) 位於布魯塞爾東北方約 2 小時的車程之 Mol 地區，根據比利時全國深層處置潛在場址岩性調查結果顯示，比利時僅有黏土層及頁岩較合適，其中又以位於 Dessel 核能地區之 Boom 黏土層最為適合作為用過核子燃料及高放射性廢棄物之最終處置場。

從 1980 年開始，SCK • CEN 執行 HADES (high activity disposal experimental site) 計畫，在 Dessel 場址之 Boom 黏土層興建一座地下實驗設施，該設施包括有約 225 公尺的豎坑及約 100 公尺的隧道。2000 年 12 月 ONDRAF/NIRAS 與 SCK • CEN 合作在 Mol 成立 EIG EURIDICE， EIG EURIDICE 之主要任務為：

- 進行在黏土層進行放射性廢棄物處置之可行性研究。

- 負責 HADES 地下研究設施 (URF) 之營運。
- 執行 PRACLAY 實驗，該實驗對於在黏土層進行地質處置之可行性有很大重要之貢獻。
- 開放地下實驗室給國際上之合作夥伴。

比利時在 HADES 地下實驗設施之研究工程持續進行。1999 年完成第二條豎井，而在 2002 年 3 月則完成第二條出入豎井與既有實驗廊道之連通廊道 (connecting gallery)，該廊道總長 80 公尺，且位於地面下 225 公尺深處。這是第一次在此一深處使用工業技術完成此種工程。此一結果證明可在地下深處的 Boom 黏土層進行工業規模之開挖。



- A：完成第一條豎井 (first shaft) 1980~1982 年。
- B：完成第一條廊道 (first gallery) 1982~1983 年：
- C：建立實驗豎井與廊道 (experimental shaft and gallery) 1984 年
- D：建立第二條廊道 (second gallery) 1987 年
- E：建立第二條豎井 (second shaft) 1997~1999 年
- F：建立連通廊道 (connecting gallery) 2001~2002 年
- G：建立 PRACLAY 廊道 (PRACLAY gallery) 2007 年

在 HADES 地下實驗設施所進行之一項重要實驗稱為 PRACLAY (Preliminary demonstration test for CLAY disposal of highly radioactive wastes)，為高放射性廢棄物在黏土層處置之初步驗證試驗。PRACLAY 廊道於 2007 年完成開挖，從 2010 年開始在 PRACLAY 廊道進行熱物試驗 (heater experiment)，以研究玻璃化高放射性廢棄物及用過核子燃料所產生的熱對黏土層之長期行為及影響。此項實驗將持續至 2019 年。



PRACLAY 的入口



研究人員正在調整量測儀器

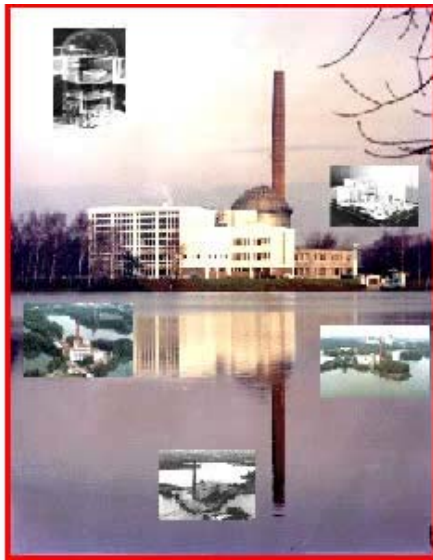
根據比利時目前之規劃，高放射性廢棄物及用過核子燃料最終處置場在 2025 年以後才會開始興建。

2. BR 3 除役中的電廠

BR3 電廠自 1962 年開始商業運轉成為歐洲第一座 PWR 核電廠，機組功

率僅有 10.5MWe 而已。在運轉期間 BR3 亦同時肩負著訓練鄰近國家 PWR 運轉人員之重責大任。1987 年 BR3 因為比利時政府在安全之考量下停止運轉，總計 BR3 電廠共服役 25 年。1989 年，歐盟將 BR3 選為歐洲的四個先導型除役計畫之一，並決定開始執行 BR3 之除役計畫，於是 BR3 成為歐洲第一座進行除役之 PWR 核電廠。

此反應器之除污是從主管路之除污開始，然後在水下切除高污染的爐心組件後加以拆除。2000 年，進行水下切除反應器壓力槽，同時拆除其它管路。接著將進行大型設備，如蒸汽產生器及調壓槽之除污及拆除工作。2002 年 9 月開始將廠內的用過核子燃料裝填在特殊屏蔽護箱，然後利用特殊卡車移至 500 公尺處的 Belgoprocess 廠區進行中期貯存，總共運送 7 次，而於 2002 年年底完成所有用過核子燃料之運送工作。BR3 之除役工作將持續至 2015 年才會全部完成，屆時所有的廠房及反應器均將完全移除而成為綠地。



(二) BELGOPROCESS 公司

BELGOPROCESS 是比利時放射性廢棄物專責機構 ONDRRAF/NIRAS 所屬的子公司，主要是再處理設施的維護與除役作業及先前 CEN/SCK 所屬的廢棄物處理設施的除役作業；此外，BELGOPROCESS 亦負責高、中、低放射性

廢棄物的處理及固化。BELGOPROCESS 所有的設施包括有 Eurobitum 瀝青固化廠，PAMELA 高放射性廢棄物玻璃固化廠，低放射性廢棄物處理設施及低放射性固體廢棄物處理設施等。

Belgoprocess 之廠區特別針對 15 至 18 歲的年輕人設立 Isotopolis 資訊中心。比利時通常將放射性廢棄物運至 Belgoprocess 處理及中期貯存。Isotopolis 資訊中心包含三個展示區，全部參觀行程約兩小時。第一個展示區為輻射及放射性，參觀者可利用實際動手及實驗之機會來瞭解輻射現象，其中利用雲霧室以使游離輻射變為可見為最特別之展示。第二區為放射性廢棄物處理區，在此區可瞭解放射性廢棄物之來源，放射性廢棄物長得像什麼樣子，及放射性廢棄物有什麼影響。利用圖片、模型、及例子來解說。第三區為如何進行放射性廢棄物之長期營運，利用圖片，模型來解釋各種處置概念。

1987 年比利時亦開始進行 EUROCHEMIC 再處理廠除役之準備工作。該再處理廠是由歐洲 13 個國家共同合資設立，但該廠停機後則僅由比利時負責除役工作及所需之大部份經費。ONDRAF/NIDRAS 負責廢棄物營運及除役之子公司 BELGOPROCESS 負責此項除役工作，預計在 2013 年完成，將成為世界上第一座完成除役之再處理廠。





BELGOPROCESS 從 1996 年起就發展出工業級的乾式研磨除役設備，以對所拆除的金屬組件進行徹底的除污。同時亦針對建築物之除污而發展出半自動的薄層混凝土刮除技術以減少除役所產生的放射性廢棄物量。

BELGOPROCESS 之主要再處理廠房總共有 106 個熱室，在 2000 年底止已有 34 個熱室全部拆除及除污完畢，另外有 13 個熱室已拆除設備，正進行結構物之除污，及有 39 個熱室正在拆除其室內之設備。

肆、出國心得及建議事項

- 一、鑑於核一廠係我國擬首次辦理之核能電廠除役作業，國內並無類似經驗，故主管機關尚未建立完整的法規體系供業者遵循，例如我國核能電廠之機組均由美國廠家所提供，故所有法規與管制規定也都依循美國的法規與規定，然目前核管法規定業者需於核能設施終止運轉前 3 年備妥除役計畫向主管機關申請除役許可的規定（類似大部分歐洲國家之規定），卻與美國現有規定不符（原有運轉執照持續有效，無需另外申請除役許可）；據悉，原能會為了延續核能電廠終止運轉後的管制作業，擬於政府組織改造後比照美國法規修訂核管法，並已完成修法之文字內容，且要求本公司先行遵照辦理，此一方式，可能造成本公司發生法規適用之困難，擬建議在主管機關尚未提送修法前，應再與原能會溝通釐清法規之適用，以保障公司權益，並有助於除役作業之推動。
- 二、如能源政策未改變，核一廠一號機將於 107 年 12 月終止運轉，由於主管機關要求現有管制事項在未申請並獲原能會同意豁免或縮減前，仍因持續遵照辦理，故本公司應儘速開始進行終止運轉後可豁免或縮減系統之評估與確認，並進行相關 FSAR、技術規範等文件修訂，且應及時提報原能會審查，本項管制事項豁免或縮減申請案應於 107 年 12 月終止運轉前獲原能會核准，俾便核一廠一號機終止運轉後可立即適用，以維護公司利益。
- 三、除役廢棄物管理是除役作業的核心工作項目，從廢棄物的來源、分類、特性、數量、減量措施、運送、貯存以及外釋，均需詳細估算與評估；本項作業牽涉未來低放射性廢棄物貯存庫的興建的規模（容量）、各種貯存容器的設計與採用、以及部分新建廢棄物減量處理設施的興建或租用等諸多界面，建議應妥善規劃與管理。
- 四、應儘速完成核一廠除役期間各階段仍須運轉之安全/非安全相關結構、系統及組件（SSCs）與其運轉方式之評估作業，俾以協助 FSAR、技術規範等文件修訂工作之順利進行；另，尤其是如何讓用過核子燃料池（SFP）能在符合安全基準下維持獨立運作，是除役作業非常重要的課題，由於 SFP 於核一廠終止運轉後仍有約 8 年的運轉過渡期（需待核一廠二期乾式貯存設施完工），所以必須修改 SFP 的冷卻系統及相關的緊急電源、通風、輻射監視系統及消防設計以符合核能相關的安全基準，建議應參照國外之經驗，妥為評估規劃。

伍、附件

美國 EPRI 機構第 13 屆國際核電廠除役技術會議議程



13th EPRI International Decommissioning and Radioactive Waste Management Workshop, in Collaboration with Electrabel - GDF SUEZ

14-16 October 2014
Renaissance Brussels · Brussels, Belgium

Monday, October 13

6:00 pm – 8:00 pm – Registration and Welcome Reception in the Parnasse Bistro, Ground Floor

Tuesday, October 14

Time	Topic	Presenter
Opening Session: European Decommissioning Programs		
<i>Session Chair: Lisa Edwards, EPRI</i>		
9:00 a.m.	Welcome and Introduction	<i>David Perkins; EPRI</i>
9:10 a.m.	Keynote Address	<i>Wim De Clercq, Electrabel Chief Nuclear Officer</i>
9:30 a.m.	Belgian Regulator's Approach to Decommissioning (FANC-Bel V)	<i>Federick Van Wonterghem; Federal Agency for Nuclear Control</i>
10:00 a.m.	Shutdown Mühleberg Nuclear Power Plant – Expectations and Intentions of the Operator	<i>Dr. Anton von Gunten, Julia Heizinger, Erwin Neukäter and Mario Radke; BKW Energie AG</i>
10:30 a.m.	Update on the Belgian NPP Doel 1&2 D&D Project	<i>Geert Backaert; Electrabel, N. V.</i>
11:00 a.m.	<i>Break</i>	
Session I: Radioactive Waste Management		
<i>Session Chair: David Perkins, EPRI</i>		
11:30 a.m.	Successful Waste Management from the Decommissioning of Doel 1&2 NPP in Belgium: the Point of View from the Belgian Waste Management Agency	<i>Marnix Braeckveldt and Alain Lemmens; ONDRAF/NIRAS</i>
12:00 p.m.	The Role of the Foreseen Waste Management Facility in the Preparation for the Decontamination and Decommissioning of the Doel Nuclear Power Plant	<i>Frédéric Desmedt; Tractebel Engineering, S. A.</i>
12:30 p.m.	Abstract Material Management Including the Post Dismantling Decontamination	<i>Isi Verwaest and Kurt Van Den Dungen; SCK-CEN</i>
1:00 p.m.	<i>Lunch</i>	
Session II: Intermediate and High Level Waste		
<i>Session Chair: Rick Reid, EPRI</i>		
2:00 p.m.	Plasma Tilting Furnace for Treatment of Radioactive and Problematic Chemical Waste: Innovative Technology	<i>Jan Deckers and David Cano; Belgoprocess and Alicia Gonzales, Iberdrola</i>
2:30 p.m.	Overview of EPRI's Cask Loader Software	<i>Hatice Akkurt; EPRI</i>
3:00 p.m.	<i>Break</i>	
Session III: Management of Large Components		
<i>Session Chair: Rich McGrath, EPRI</i>		
3:30 p.m.	REX in Large Component Removal and Characterization	<i>J. Dadoumont, SCK-CEN</i>
4:00 p.m.	Steam Generator Decommissioning at Doel NPP	<i>Rudi Saelens, Electrabel N. V. and Wim Boeckx; Transnubel</i>
4:30 p.m.	Segmentation and Packaging of Reactor Internals at José Cabrera Nuclear Power Plant	<i>Nieves Martín Palomo; Enresa</i>
5:00 p.m.	<i>Adjourn</i>	
6:00–9:00 p.m.	<i>Group Event Hosted by Electrabel</i>	

Wednesday, October 15

Time	Topic	Presenter
Session IV: Decommissioning Experience		
<i>Session Chair: David Perkins, EPRI</i>		
9:00 a.m.	Decommissioning of the Belgonucleaire Dessel Mox Plant: Presentation of the Project and Situation End August 2014	<i>Fred Jofroy; Tecnubel</i>
9:30 a.m.	Thetis Research Reactor Decommissioning: Cooperation of Expertise	<i>Pieter Michiels; Belgoprocess</i>
10:00 a.m.	Decommissioning of the Eurochemic Reprocessing Plant: the Value of Hands-On Experience	<i>Willem Notelsteers, Bart Ooms and Thomas Huys; Belgoprocess</i>
10:30 a.m.	Experience with Site Characterization and Clearance at German Nuclear Power Plants	<i>Philip Harding; Brenk Systemplanung GmbH</i>
11:00 a.m.	<i>Break</i>	
Session V: Decontamination		
<i>Session Chair: Rick Reid, EPRI</i>		
11:30 a.m.	Chemical Full System Decontamination	<i>Rudi Saelens; Electrabel, N. V.</i>
12:00 p.m.	Decontamination of Philippsburg Unit 1	<i>Marc Brenneisen; Westinghouse Electric Germany, GmbH</i>
12:30 p.m.	AREVA's Experience in Chemical System Decontamination for D&D	<i>Jose Pedro Moreira do Amaral, Luis Sempere Belda and Christian Topf; AREVA GmbH</i>
1:00 p.m.	<i>Lunch</i>	
Session VI: Safety		
<i>Session Chair: Rich McGrath, EPRI</i>		
2:00 p.m.	Nuclear Safety Training Program (NSTP) for Dismantling	<i>Peter Cretskens, Koen Lenie and Guido Mulier; European Control Services</i>
2:30 p.m.	Independent Nuclear Safety Oversight for Decommissioning and Dismantlement	<i>S. Powis de Tenbossche, Electrabel</i>
3:00 p.m.	<i>Break</i>	
Session VII: Planning and Project Management		
<i>Session Chair: Rich McGrath, EPRI</i>		
3:15 p.m.	Use of the Visiplan ALARA Planning Tool for Decommissioning	<i>Luc Denissen; SCK-CEN</i>
3:45 p.m.	Strategy for Underwater Radiological Characterization and Evacuation of Intermediate Level Radioactive Materials	<i>Alexandru Biro, and B. Walschaerts; Tractebel Engineering, S. A.</i>
4:15 p.m.	Planning of Site Restoration Activities at José Cabrera Nuclear Power Plant	<i>Christina Correa Sáinz, Enresa</i>
4:45 p.m.	EPRI Fossil Plant Decommissioning Program – How do Fossil and Nuclear Plant Decommissioning Programs Compare?	<i>Jeff Clock; EPRI</i>
5:15 p.m.	<i>Adjourn</i>	
Member Panel (EPRI Program Members Only)		
<i>Session Chair: Rick Reid, EPRI</i>		
5:25 p.m.	Open Discussion on Decommissioning Program	<i>EPRI Program Members</i>
6:00 p.m.	<i>Adjourn</i>	

Thursday, October 16

- Pre-registered attendees only
- Please remember to take your passport
- Remember to wear comfortable walking shoes
- No cameras will be allowed

Time	Activity
SCK-CEN Facility Visit	
7:30 a.m.	Depart hotel
8:45 a.m.	Arrive at SCK-CEN Facility
12:00 p.m.	Depart SCK-CEN Facility
12:30 p.m.	<i>Lunch</i>
Belgoprocess Facility Visit	
2:00 p.m.	Arrive at Belgoprocess Facility
4:00 p.m.	Depart Belgoprocess Facility
5.30 p.m.	Arrive at Hotel