

本資料は 年 月 日付けで登録区分、  
変更する。 2001. 6. 20 [技術情報室]

# スウェーデンの使用済燃料封入施設

ENCAPSULATION PLANT FOR SPENT FUEL IN SWEDEN

(Tommy Hedman, Stig Pettersson, Jan Vogt)

1997年10月

動力炉・核燃料開発事業団  
東海事業所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

複製, 転載,  
。また今

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)  
2001



# 「スウェーデンの使用済燃料封入施設」 (仮 訳)

ENCAPSULATION PLANT FOR SPENT FUEL IN SWEDEN  
(Tommy Hedman, Stig Pettersson, Jan Vogt)

実施責任者；石川博久\*  
訳 者；千葉恭彦\* 菅野毅\*\*

## 要 旨

本報は、国際シンポジウム「WASTE MANAGEMENT '96」(1996年2月、於米国アリゾナ州 Tucson)において発表された「ENCAPSULATION PLANT FOR SPENT FUEL IN SWEDEN」を翻訳したものである。

---

\* 東海事業所 環境技術開発部 地層処分開発室

\*\* 現在、石川島播磨重工業株式会社

## 訳者まえがき

本報は、国際シンポジウム「WASTE MANAGEMENT '96」(1996年2月、米国アリゾナ州 Tucson)において発表された「ENCAPSULATION PLANT FOR SPENT FUEL IN SWEDEN」を翻訳したものである。

スウェーデンにおける放射性廃棄物管理の計画やシステムの概要の他、使用済燃料最終処分のための封入施設(ENCAPSULATION PLANT)について設備配置や機能等の詳細が示されている。御参考としていただければ幸いである。

尚、文中記載のある図については、付録の英文資料を参照いただきたい。

# 目 次

要 旨	1
スウェーデンの廃棄物管理システム	1
輸送システム	2
使用済燃料集中中間貯蔵施設 (CLAB)	2
放射性廃棄物最終処分施設 (SFR)	2
使用済燃料処分キャニスター	2
開 発	2
蓋溶接試験設備	3
封入施設	3
概 要	3
設備配置	3
封入工程	4
輸送チャンネル, ハンドリング/連絡プール	4
操作セル	4
搬送台車及び搬送エリア	5
不活性ガス注入・密封ステーション	5
溶接ステーション	5
非破壊検査・加工ステーション	6
モニタリング・除染ステーション	6
緩衝貯蔵施設	6
炉心構造物	6
輸送キャスク充填	7
発送ホール	7
まとめ	7
付録1 原文 (英文)	8

# スウェーデンの使用済燃料封入施設

## ENCAPSULATION PLANT FOR SPENT FUEL IN SWEDEN

### 要 旨

現在、スウェーデンでは、国内のあらゆる種類の放射性廃棄物を長期間管理するためのシステムが運用されている。このシステムは短寿命廃棄物の最終処分施設（SFR）、使用済燃料集中中間貯蔵施設（CLAB）、及び輸送システムから構成されている。また、現在計画中的のものとして使用済燃料や他の長寿命廃棄物最終処分のための封入施設及び深地層処分施設がある。スウェーデンの封入施設と深地層処分施設の計画は順調に進行している。現在の計画では封入施設はCLABを拡張する形での建設が予定されており、封入施設とCLABを同一敷地内に建設することで既存の産業基盤の利用やCLAB従業員の封入施設での兼任を図っている。封入施設の燃料処理システムはCLAB内の使用済燃料貯蔵プールに直接つながっている。

使用済燃料は、インサート（燃料集合体収納のための内部構造物）を有する銅製のキャニスターに封入される。このキャニスターの開発は既に10年以上続けられており、1995年には実規模大のキャニスターの試作品が完成した。封入施設の基本設計は1996年中に終了し、スウェーデン当局への許認可申請を1998年初頭までに実施する予定である。今世紀の終わりに施設の建設を開始し、運転開始を2005年、キャニスターの深地層処分施設への搬入開始を2008年に計画している。年間約210本のキャニスターを処理することができるよう封入施設の設計処理能力は1日当たりキャニスター1本とされている。BWR燃料用あるいはPWR燃料用のキャニスター1本当たりには、それぞれ約2.2/1.8トンのウランが封入される。スウェーデンの原子力計画では、約8000トンのウランの発生が見込まれており、そのうち約75%はBWR燃料からのものである。封入施設への総投資額は17億クローネ（2億6千万米ドル）と見積もられている。

### スウェーデンの廃棄物管理システム

スウェーデンの原子力事業者は、国内12の原子力発電所から発生する使用済燃料やその他のあらゆる放射性廃棄物の安全な管理と処分に対し責任を負っている。この責務を果たすため、事業者は、必要となる廃棄物管理のための施設やシステムの計画立案、建設、運転といった業務を行うスウェーデン原子燃料廃棄物管理会社（SKB；the Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co）を共同で設立した。SKBはスウェーデンの原子力発電所から発生するあらゆる放射性廃棄物の取扱いの安全を確保するシステムを開発した。このシステムの重要な構成要素は以下のとおりである。

- ・輸送システム、1983年稼働開始、稼働中。
  - ・使用済燃料・炉心構造物集中中間貯蔵施設（CLAB）、1985年操業開始、操業中。
  - ・低／中レベル・短寿命廃棄物最終処分施設（SFR）、1988年操業開始、操業中。
- また、本システムの残りの部分で現在計画中的のものとして以下がある。
- ・使用済燃料封入施設

・使用済燃料・長寿命放射性廃棄物深地層処分施設

輸送システム

全ての原子力発電所と同様、SFRとCLABも海岸地域に位置しており、独自の港を備えているため、SKBは海上輸送システムを開発した。このシステムは、大きな積載容量を確保できることや他の交通機関との干渉がないといった多くの利点を持っている。本システムは専用船（M/S Sigyn）1隻、使用済燃料用輸送キャスク10個、炉心構造物用輸送キャスク2個、低／中レベル廃棄物用輸送コンテナ（type IP II）27個、及びターミナル搬送台車5台で成り立っている。ターミナル搬送台車は発電サイトから港まで及び港からCLABまたはSFRまでの陸送に使用される。

使用済燃料集中中間貯蔵施設（CLAB）

CLABはスウェーデン東海岸に位置するOskarshamn原子力発電所にある。1985年に稼働開始し、1995年末までにキャスク数で700本以上、約2300トンの使用済燃料を受け入れた。また、制御棒などの放射化した炉心構造物は約70キャスク分を受け入れた。CLABの配置図を図1に示す。

地上部の主な施設は、受け入れ建屋であり、ここに燃料輸送キャスクが荷降ろしされる。荷降ろしは水中で行なわれる。CLABの貯蔵区画は岩盤中に設けられた坑道内にあり、坑道の天端レベルは地下25～30mである。

CLABの現在のウラン受け入れ容量は約5000トンであり、これは2004年までの必要量を確保している。スウェーデンの原子力計画では、約8000トンのウラン発生が見込まれている。このうち約75%はBWR燃料、25%はPWR燃料である。そのため、CLABは既存坑道の近くに新しい坑道を設け、貯蔵プールを増設する必要がある。現在の計画では新坑道の建設は1999年に開始される予定である。使用済燃料は約30～40年間CLABで貯蔵される。

放射性廃棄物最終処分施設（SFR）

SFRの操業は1988年4月より開始された。SFRは低／中レベル廃棄物の処分施設であり、Forsmark原子力発電所に近い、バルト海の海底岩盤中に建設されている。海底下の処分坑道部分は厚さ60mの岩盤で覆われている。第1段階として、現在、地上建屋、坑道、運転建屋、及び廃棄物約60,000m<sup>3</sup>相当の処分坑道が操業中であるが、第2段階として2000年以降増設が予定されている。SFRでは1995年末までにトータルで約18,000m<sup>3</sup>の廃棄物が処分されている。

使用済燃料処分キャニスター

開 発

使用済燃料（燃料集合体）は銅製の処分キャニスターに、インサートと呼ばれる内部構造物と共に封入されることになっている。キャニスターの開発は10年以上続けられており、実規模大の試作キャニスターが1995年に製作された。銅製キャニスターの蓋部に

適用される電子ビーム溶接技術はイギリス、ケンブリッジ市のTWI（正式名：The Welding Institute）と共同で開発された。燃料集合体12本を収納するBWRインサートを有するキャニスターの試設計を図2に示す。燃料集合体4本を収納するインサートを有するキャニスターもこれと同じ外形寸法になっている。

長さの短いキャニスター本体への実規模大の蓋の溶接試験が1994～1995年に実施された。図3は実規模大キャニスターの内面機械加工の様子を示したものである。

#### 蓋溶接試験設備

封入施設の重要な機能は銅製キャニスターへの蓋の溶接である。この溶接は遠隔操作により高精度で行われ、溶接後は非破壊試験による溶接部の検査が行なわれる。現在候補とされている溶接方法は電子ビーム溶接法であり、本溶接は雰囲気気圧力を減じて（真空状態で）行う方法である。銅製キャニスターの蓋溶接を対象とした電子ビーム溶接と非破壊検査の装置の試験を目的として、実規模の試験設備の建設が計画されている。本設備での溶接試験は1998年初頭に開始される予定であり、試験結果は許認可時の裏付けとされる。

### 封入施設

#### 概要

1993～1994年に、封入施設のフェージビリティスタディーが4つの欧州企業により実施された。1994年6月には、イギリス原子燃料公社BNFL（British Nuclear Fuels plc）（子会社BNFLエンジニアリング株式会社を通じて）が封入工程の概念設計及び基本設計の主担当に選ばれ、スウェーデンのABBアトム社は封入施設の操業やその補助システム及びエリア管理などの担当となった。また、ABBアトム社はCLABの貯蔵能力拡張工事の概念設計及び基本設計担当にもなっている。BNFLとABBアトム社間の調整業務や施設配置検討はSKBによって行なわれている。

封入施設の基本設計は、1996年中に完了し、これはPreliminary Safety Reportのベースとなる。許認可申請は1998年初頭にスウェーデン当局に提出される予定であり、建設は今世紀末までに開始の見込みである。そして施設の操業開始を2005年、最終処分施設への処分キャニスターの発送を2008年に計画している。施設の設計処理能力は、1年間で約210本の処理を想定して1日当たりキャニスター1本である。炉心構造物や炉内構造物も本封入施設で処理される。これは使用済燃料の封入、処分場操業の第1ステージの評価の後、2020年頃を目処に開始される計画である。

#### 設備配置

封入施設は、CLABの既設の廃棄物受け入れ建屋付近に建設される計画である。施設の主な機能とその配置を図4に示す。施設操業に必要なハンドリングや各工程設備に加え、付属的に、新しい作業場やスタッフ施設、操業・管理システムが必要になるところであるが、この点に関しては、CLABにおける既存のシステムや設備を利用することが非常に有利である。



封入施設は、CLABにつながっている主建屋と既設の燃料エレベータで構成されている。この建屋内の新しいハンドリングプールはCLABの中にある受け入れプールと平行に並んでいる。操作セルと他の各工程区画とは、将来の施設の改造などに備えて対応可能な柔軟性を考慮した設備配置となっている。建設中や試運転の間、封入施設はCLABとは切り離されてサイトとして独自の出入口を持つことになるが、正式な運転開始後は、封入施設は完全にCLABと統合することになる。

封入施設はCLABへの統合を前提とした位置に立地しているため、その設備の一部はCLABの既存設備を拡張して共用される。共用される設備には、電源の他に、燃料エレベータ、冷却システム、水浄化システム、監視システム、防火システムがある。封入施設の運転管理室には日中のみ人員が配置される。CLABにある中央管理室は、封入施設の管理とシフト時間外の限られた運転に使用される計画である。また、封入工程からの全ての関連するデータはCLABの中央コンピュータでも記録されることになる。封入施設の設備配置を図5に示す。建屋の外形寸法はおよそL 80m×W 70m×H 25mである。

## 封入工程

本設備の種々の部分で予測される機能や作業に関する詳細な記述を以下に示す。種々の部分の配置を図5に示す。

### 輸送チャンネル、ハンドリング／連絡プール

使用済燃料（あるいは炉心構造物）の入った貯蔵用キャニスターはCLABからCLAB内の既設の燃料エレベータを使って封入施設内に新設される燃料プールへ搬送される。CLAB内の燃料エレベータは封入施設へのキャニスター搬送用に既に拡張されている。

プール内では各燃料集合体の検査が行われる。処分キャニスターへの充填前の検査としてガンマ線測定がある。これは燃料集合体の残留出力の測定や保護手段の検証のためにも利用される。

この測定結果は予想値と比較され、1キャニスター当たり約1.5～2.0kWという最大許容崩壊熱の観点からキャニスターに充填する燃料集合体を最終選定するためコンピュータに転送される。選定された燃料集合体はBWR燃料の場合には12本、PWR燃料の場合には4本ずつ輸送キャニスターに充填され、傾斜エレベータで操作セルへ運ばれる。

### 操作セル

エレベータケージに載せられた輸送キャニスターは斜面を昇り、水面を出て操作セル直下の位置で停止する。この位置で輸送キャニスターの排水が行なわれる。その後、キャニスターはセル内のクレーンでエレベータケージから出され、セル内に2つ有る乾燥ステーションの何れかへ移される。ここで燃料は、HEPA（超高性能微粒子除去）フィルタを備えた閉鎖系内の高温循環空気により約12時間乾燥される。

遮蔽枠に入れられた処分キャニスターは、搬送エリアから操作セルの下に固定される。キャニスターインサートの鋼製の蓋は取り外されて一時的に操作セル内に保管される。この時、蓋の表面汚染が防止されるよう配慮されている。乾燥終了後、燃料集合体は1

つずつ輸送キャニスターから取り出され、処分キャニスターインサートへセットされる。この時、各燃料集合体は処分キャニスターの最終的な内容物を確認するために識別される。

キャニスターインサートの鋼製の蓋は、キャニスターの移動前にインサートに仮止めされ、移動中の遮蔽と密封の役割を果たす。また頂部に遮蔽ゲートを備えたキャニスターの遮蔽枠も同様な役割を担っている。これで、不活性ガス注入とインサートの蓋締めを行う次工程ステーションへキャニスターを搬送することができる。

#### 搬送台車及び搬送エリア

処分キャニスターは遮蔽機構付の搬送台車で各工程間を移動する。搬送台車は走行部と遮蔽枠から構成されており、この構造が放射線を遮蔽し、かつ搬送経路の汚染を防ぎながらのキャニスターと操作セル及び各工程設備との連絡を可能にしている。搬送台車は遠隔操作により走行し、搬送エリア内の種々の位置までキャニスターを移動させる。また、搬送台車をメンテナンスのための作業場へ移動することも可能である。

走行部分は、台車の移動や位置の微調整に柔軟な対応が可能なようエアクッション式とする計画である。遮蔽枠にはリフト機構を持たせ、これによってキャニスタースリーブを種々のステーションの連絡口まで持ち上げる。遮蔽枠は、内筒と外筒からなるテレスコープ形シリンダである。

#### 不活性ガス注入・密封ステーション

本工程では、キャニスターインサート内雰囲気を変え、最終的に鋼製の蓋締めを行う。本工程にはインサート蓋のハンドリングやボルト締め作業のための機能を備えた真空チャンバーが設置されており、真空引きやアルゴンまたはヘリウムガス供給のためのシステムに接続されている。

キャニスターは搬送台車上で蓋が仮止めされた状態で本作業ステーションの下に搬送され、チャンバーへ接続する。インサート内の空気を不活性ガスに置換するためキャニスターインサートの蓋が取り外される。不活性ガス充填後、蓋はキャニスターインサートへ戻されボルトにより堅く固定される。この固定により、次工程の銅製蓋の溶接の間、密封性が確保される。

#### 溶接ステーション

キャニスターは搬送台車で溶接ステーションに運ばれ、キャニスター頂部の溶接部分を真空状態とするため、真空チャンバーに下方から接続される。

真空チャンバーには、溶接面の洗浄機構や溶接機構が備えられている。溶接される銅製の蓋は、キャニスター本体が搬入され位置決めされる前の段階でチャンバー内へ搬入される。

溶接工程中、キャニスターは回転される。電子ビーム溶接設備は位置調整可能なテーブル上に固定されており、電子ビームは蓋とキャニスター本体との溶接線上を正確に捕らえることが可能である。

溶接は、キャニスターの上方向にセットされた銅製のターゲットを用いた電子銃の調整・試験から開始される。これにより本溶接の直前に、各種溶接パラメータを最適化することができる。銅製の蓋溶接は、事前設定した手順に従って完了する。

#### 非破壊検査・加工ステーション

本ステーションでは、銅製蓋溶接部の機械加工及び非破壊検査を行う。本ステーションには、溶接部の機械加工設備及び超音波探傷試験と放射線透過試験設備がある。また溶接欠陥補修のための加工設備もある。遮蔽枠に入ったキャニスターは溶接ステーションから搬送され、本ステーションに下側から接続する。

溶接欠陥の見つかったキャニスターは、すぐに再溶接されるか、あるいはラインから外されて、後の補修、再溶接まで保管される。再溶接が繰り返され、不合格となったキャニスターは、非破壊検査・加工ステーションで切断される。その後操作セルでインサートを開け燃料が取り出される。インサートは再利用されるが、銅製キャニスターは廃棄される見込みである。

#### モニタリング・除染ステーション

キャニスターは非破壊検査・加工ステーションから搬送エリアの出口まで運ばれ、緩衝貯蔵施設の遮蔽ハンドリング装置によって（搬送台車の）遮蔽枠から取り出される。取り出されたキャニスターはそのままモニタリング・除染ステーション上まで移動し、下ろされる。ここで、遠隔操作のスミヤ試験によってキャニスターの表面汚染が検査される。汚染があった場合には高圧水による洗浄が行なわれる。スミヤ試験のふき取りサンプルは遠隔操作で本ステーションから遮蔽ゲートを通過して運ばれ、オペレータプラットフォームで測定が行なわれる。

汚染のないキャニスターは本ステーションから緩衝貯蔵施設へ遮蔽ハンドリング装置により運ばれる。

#### 緩衝貯蔵施設

緩衝貯蔵施設は、最終処分場への出荷調整のために、廃棄物充填キャニスターを一時保管する施設である。キャニスターは遮蔽床の下に保管され、各保管位置の上方には遮蔽プラグが設置されている。厚い壁が周辺への放射線の影響を防いでいる。また冷却は貫流式エアシステムにより行われる。遮蔽ハンドリング装置は、遮蔽プラグを外した後に、空の保管位置にキャニスターを定置し、プラグを再度設置する。緩衝貯蔵施設からキャニスターを搬出する際、キャニスターは遮蔽ハンドリング装置により輸送キャスク搬入口まで運ばれて、ここで輸送キャスク内に下ろされる。

#### 炉心構造物

コンクリートモールド中の炉心構造物の処理は、処分キャニスターと同様の工程で行なわれる。炉心構造物が充填された貯蔵キャニスターは操作セルで乾燥された後、キャニスターと同様な遮蔽枠内のモールドに入れられる。コンクリートモールドの外形寸法

は1.2m×1.2m×4.8mで肉厚は200mmである。コンクリートモールドの蓋取付と隙間へのグラウトの最終的な注入はそれぞれ別のステーションで行なわれる。モニタリング・除染ステーション、緩衝貯蔵施設とその遮蔽ハンドリング装置は、キャニスターとコンクリートモールドの両方に共用する計画である。

#### 輸送キャスク充填

輸送キャスクへの処分キャニスター及びコンクリートモールドの充填は、緩衝貯蔵施設のハンドリング装置を用いて行なわれる。この作業では、貯蔵エリア内の専用の固定位置と出入口が用いられる。この位置で輸送キャスクにキャニスターが充填される。

#### 発送ホール

搬送ホールは、物品の輸送や一時保管のための広いエリア、緩衝貯蔵施設への連絡部、及び輸送キャスクのメンテナンスエリアに分けられる。発送ホールはエアロック式の物品搬出入口を備えている。また、輸送キャスクやコンテナの運搬や空のキャニスターやモールドを取扱うための設備を備えている。スリーブに入った空のキャニスターは立て向きにされて置かれ、遮蔽枠内へ入れるための検査や準備が施される。また、一般に空のキャニスターやモールドを保管するためのエリアもある。搬送されるものとしては、空の銅キャニスター用コンテナ、充填済キャニスター用輸送キャスク、空のモールド用コンテナ、充填済モールド用輸送キャスクがある。キャニスターの銅製の蓋や、電子ビーム溶接テスト用銅ターゲットもまたこのホールで取扱われる。

充填キャニスターの出荷工程は搬送ホールエアロック内の輸送キャスクから始まる。輸送キャスクは緩衝装置（ショックアブソーバ）が取り外された後、立て向きにされて台車（bogie）に載せられる。この台車には周囲に作業台が設けられており、キャスク蓋のボルトを取り外す際に利用される。台車は遮蔽搬出エリアに運ばれ、そこで充填キャニスターは緩衝貯蔵施設の遮蔽ハンドリング装置で直接キャスク内に下ろされる。キャスクは積載ベイから出された後、蓋が設置される。

#### まとめ

封入施設の計画・設計は順調に進んでいる。現在のスケジュールでは2005年に操業を開始し、銅製キャニスターの深地層処分場への最初の発送は2008年の計画である。封入施設の生産目標は1日当たりキャニスター1本であり、年間約210本、ウラン量で年間約400トンの封入を見込んでいる。スウェーデンの原子力計画では約8000トンのウランの発生が見込まれており、封入施設の総投資額は17億クローネ（約2億6千万米ドル）と見積もられている。

Presented at WM'96 Tucson, AZ February 25-29, 1996

33-4



## ENCAPSULATION PLANT FOR SPENT FUEL IN SWEDEN

Tommy Hedman

Stig Pettersson

Jan Vogt

Svensk Kärnbränslehantering AB

Box 5864

S-102 40 Stockholm, Sweden

### ABSTRACT

Sweden currently has a system in operation that will manage all types of radioactive waste in the country for a long period ahead. The system comprises a final repository for short lived operational waste (SFR), a central interim storage facility for spent nuclear fuel (CLAB) and a transportation system. The remaining system components now being planned are an encapsulation plant and a deep repository for final disposal of spent fuel and other types of long lived waste. The Swedish program for the encapsulation plant and the deep repository is well advanced. According to current plans, the encapsulation plant will be built as an extension to the CLAB facility. The co-location of the two facilities will enable the use of existing infrastructure and staff at CLAB. The fuel handling system of the encapsulation plant can also be directly connected to the storage pools for spent fuel in CLAB.

The spent fuel will be encapsulated in a copper canister containing an insert. The copper canister development work has been going on for more than 10 years and in 1995 full size demonstration canisters were fabricated successfully. The Basic Design for the encapsulation plant is scheduled for completion in 1996. The licensing application is programmed for submission to the Swedish authorities in early 1998. The construction work is expected to start at the end of the century. The first commissioning of the facility would then start in 2005 and delivery of canisters to the deep repository is planned for 2008. The design capacity of the plant is one canister per working day, corresponding to an annual output of approximately 210 canisters. One BWR/PWR canister will contain approximately 2,2/1,8 tons of uranium respectively. The Swedish nuclear program is expected to generate approximately 8 000 tons of uranium and about 75 percent is BWR fuel. The total investment cost for the plant is estimated to be in the order of 1 700 MSEK (260 MUSD).

### THE SWEDISH WASTE MANAGEMENT SYSTEM

The Swedish nuclear power utilities are responsible for the safe management and disposal of spent nuclear fuel and other radioactive waste from the 12 Swedish nuclear power stations. In order to fulfil this responsibility, the utilities have jointly created SKB, the Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co, with the task to plan, build, and operate the necessary waste management

Presented at WM'96 Tucson, AZ February 25-29, 1996

facilities and systems. SKB has developed a system that ensures the safe handling of all kinds of radioactive waste from the Swedish nuclear power plants for the foreseeable future. The keystones of this system are:

- A transport system which has been in operation since 1983;
- A central interim storage for spent nuclear fuel and core components, CLAB, in operation since 1985;
- A final repository for low and intermediate level, short-lived waste, SFR, in operation since 1988.

The remaining parts of the system, now being planned are:

- An encapsulation plant for spent nuclear fuel;
- A deep repository for encapsulated spent fuel and other long-lived radioactive wastes.

### ***The Transportation System***

As all the nuclear power plants, SFR and CLAB are located on the coast and have their own harbours, SKB has developed a sea transportation system. This has many advantages, such as a high load capacity and low interference with other traffic. The system comprises a purpose built ship, the M/S Sigyn, 10 transport casks for spent fuel, 2 casks for spent core components, 27 transport containers, type IP II, for transporta

tion of low and intermediate level waste and 5 terminal vehicles. The terminal vehicles are used for the land transport from the reactor site to the harbour and from the harbour to CLAB or SFR.

### ***Central Interim Storage for Spent Fuel (CLAB)***

CLAB is located at the Oskarshamn nuclear power plant on the east coast of Sweden. Operation started in 1985, and at the end of 1995 more than 700 casks containing some 2300 tonnes of fuel had been received. Also, approximately 70 casks with activated core components, eg control rods, had also been received. The arrangement of CLAB is shown in Fig. 1.

### **Fig. 1**

The main complex above ground is the receiving building, where the fuel transport casks are unloaded. The unloading is performed under water. The CLAB storage section is located in a rock cavern, the roof of which is 25-30 metres below ground level.

The present capacity of CLAB, approximately 5 000 tonnes of uranium, covers the requirements until 2004. The Swedish nuclear program is expected to generate approximately 8 000 tonnes of which approximately 75 percent is BWR fuel and 25 percent PWR fuel. CLAB must therefore be expanded by adding storage pools in a new rock cavern close to the existing one. According to the current plan, the construction of the second cavern will start in 1999. The spent fuel will remain in CLAB for approximately 30-40 years to decay before encapsulation.

Presented at WM'96 Tucson, AZ February 25-29, 1996

### ***Final Repository for Radioactive Waste, SFR***

The operation of SFR started in April, 1988. It is a repository for low and intermediate level waste, built in the bedrock under the Baltic Sea, close to the Forsmark nuclear power plant. 60 m of rock cover the repository caverns under the sea bed. The first stage, which is in operation, include buildings on ground level, tunnels, operating buildings and disposal caverns for about 60 000 m<sup>3</sup> of waste. A second stage is planned to be built and commissioned after year 2000. Until the end of 1995, a total of approximately 18 000 m<sup>3</sup> of waste has been disposed of at SFR.

### **THE DISPOSAL CANISTER FOR SPENT FUEL**

#### ***Development Work***

The spent fuel is planned to be encapsulated in a disposal copper canister with an insert. The canister development work has lasted for more than 10 years and full size demonstration canisters have been fabricated during 1995. The development work with electron beam welding (EBW) of the canister copper lid is done in co-operation with TWI (formally The Welding Institute), Cambridge, England. A preliminary design of a disposal canister with an BWR insert for 12 fuel assemblies is shown in Fig. 2. A canister with a PWR insert for 4 fuel assemblies will have the same outer dimensions.

Test welding of full size lids on copper canisters with reduced length was carried out during 1994/95. Figure 3 shows the machining of the inner surface of one of the full size canisters.

#### ***The Lid Welding Pilot Plant***

A crucial function in the encapsulation plant is the welding of the lid to the copper canister. This will be done remotely with high accuracy, and in such a way that the weld can be checked afterwards by non-destructive testing (NDT). The welding method preferred at present is EBW at reduced atmospheric pressure. A full size pilot plant is planned which will be used for testing of EBW and NDT equipment for the copper canister lid weld. The experience gained will be used in the continued design work of the encapsulation plant. The welding in the pilot plant is planned to start early 1998 and the results from the pilot plant will be used to support the licensing case.

**Fig. 2**

**Fig. 3**

### **THE ENCAPSULATION PLANT**

#### ***General***

A feasibility study for the Encapsulation Plant was performed in 1993/94 by four different European companies. In June 1994, BNFL plc, (via its subsidiary BNFL

Presented at WM'96 Tucson, AZ February 25-29, 1996

Engineering Ltd) England, was selected as the main consultant for the Conceptual and Basic Design of the encapsulation process. In parallel, ABB Atom, Sweden, was selected as consultant for service and auxiliary systems and service areas of the encapsulation plant. ABB Atom was also selected for the Conceptual and Basic Design work for the extension of the storage capacity of CLAB. The coordination between BNFL and ABB Atom and the plant layout work is done by SKB.

The Basic Design of the encapsulation plant will be completed in 1996 and will be the base for the Preliminary Safety Report. The licensing application is programmed for submission to the Swedish authorities in early 1998. The construction work for the encapsulation plant is expected to start at the end of the century. The commissioning operations of the facility would then start in 2005. Delivery of disposal canisters to the final deep repository is planned for 2008. The design capacity of the plant is one canister per working day, corresponding to an annual output of approximately 210 canisters. Core components and reactor internals will also be conditioned in the encapsulation plant. These activities are planned to start approximately year 2020, after evaluation of the first operation stage of the spent fuel encapsulation and disposal operation.

#### **Fig. 4**

##### ***Plant Layout***

The encapsulation plant is planned to be built adjacent to the existing CLAB receiving building. The main functions and the principal arrangement of the plant are shown in Fig. 4. In addition to the handling and process equipment necessary for these operations, auxiliary, service and control systems as well as different workshops and staff facilities are required. Great advantage can be achieved by utilizing the existing corresponding systems and functions in CLAB.

The encapsulation plant consists of a main building connected to CLAB and the existing fuel elevator. The new handling pool in the encapsulation building is parallel to the receiving pools in CLAB. The handling cell and the different process stations are arranged to permit flexibility in the plant layout for future modifications of the plant. During the construction and commissioning the encapsulation plant will be separated from CLAB and will have its own site entrance. Later, during active operation, the encapsulation plant will be fully incorporated with CLAB operation.

The location as an extension to CLAB provides possibilities to extend several existing functions into the encapsulation plant. These functions include the fuel elevator, cooling systems, water purification systems, draining and fire fighting systems as well as electrical power supply. The local control room in the encapsulation plant is staffed only during the daytime shift. The central control room in CLAB is planned to be used for supervision and limited operation of the encapsulation plant outside the daytime shift. The CLAB central computer may



Presented at WM'96 Tucson, AZ February 25-29, 1996

also be used for recording of all relevant data from the encapsulation process. The layout of the encapsulation plant is shown in Fig. 5. The dimensions of the building is approximately 80 m x 70 m x 25 m (LxWxH).

## **THE ENCAPSULATION PROCESS**

The following will present a more detailed description of the functions and work foreseen in the different parts of the plant. The location of the different parts are marked in Fig. 5.

### ***Transfer Channel, Handling and Connection Pools***

The storage canisters with fuel (or core components) are transferred from CLAB into the new pool in the encapsulation plant using the existing fuel elevator system, which is already prepared for this extended function.

In the pool, checking of each fuel assembly will be done. The checking before placement in the disposal canister will include a gamma measurement. This measurement may also be utilized for the determination of the residual power and safeguards verification of the fuel assemblies.

The results of these measurements are compared with expected values and transferred to a computer for confirmation and final selection of fuel assemblies with regard to the maximum allowed decay heat, which is approximately 1.5-2.0 kW, per canister. The selected assemblies are placed in a transfer canister with 12 BWR or 4 PWR loading positions. The transfer canister is moved to the ramp elevator leading to the handling cell.

### **Fig. 5**

#### ***Handling Cell***

The transfer canister, in the ramp elevator cage, is moved up the ramp and is stopped at a position above the water level and below the handling cell. In this position the transfer canister is allowed to drain. The canister is then lifted out of the cage with an in-cell crane and is transferred to one of the two drying stations in the cell. The fuel is dried for approximately 12 hours by means of hot recirculating air in a closed system with a HEPA filter.

A disposal canister, placed in a sleeve and shielded frame, is docked from the transfer area below the cell. The steel lid of the insert is removed and temporarily stored in the cell in such a way that it is protected from surface contamination. After drying the fuel assemblies are lifted, from the transfer canister, one by one and placed into the disposal canister insert. The fuel assemblies may also be identified to ascertain the final canister contents.

The steel lid is temporary placed back onto the insert prior to undocking. The lid provides shielding and tightness during the transfer from the cell. The shielded frame is also provided with a shielded gate on top. The canister is then ready to be transferred to the next process station for inerting and final lidding of the insert.

Presented at WM'96 Tucson, AZ February 25-29, 1996

### ***Transfer Vehicle and Transfer Area***

The disposal canisters are transferred between the different process stations in shielded transfer vehicles. A vehicle consists of a transporter and a shielded frame, which allows docking of the canister in its sleeve to the handling cell and the process stations in a way that provides radiation shielding and prevents contamination of the transfer area. The vehicles are remotely operated and bring the canisters to the different positions in the transfer area. The vehicles can also be brought to the active workshop for maintenance.

The transporter is currently planned to be of air cushion type, which offers flexibility in movement and position adjustment. The shielded frame has a lifting feature which lifts the canister in its sleeve into the docking port of the different stations. The shield is telescopic with an outer and an inner cylinder.

### ***Inerting and Lidding Station***

Operations in the inerting and lidding station are performed in order to change the atmosphere in the canister insert and to finally seal the steel lid. The station has a vacuum chamber with equipment for handling and bolting the steel lid and is connected to systems for vacuum and inerting with argon or helium gas.

The filled canister with the steel lid temporary fitted arrives below the station on the transfer vehicle and is docked to the chamber. The steel lid is lifted to permit the exchange of the air with the inert gas. After gas filling, the steel lid is placed back on the insert and is bolted tight.

The seal between the lid and the insert provide gas tightness during the subsequent welding of the copper lid.

### ***Welding Station***

The transfer vehicle brings the filled canister to the welding station where the canister is docked to the vacuum chamber from below in such a way that vacuum conditions can be achieved at the welding area at the top of the canister.

The vacuum chamber contains equipment for cleaning the weld surface and for welding. The copper lid is posted into the chamber before the canister is docked and positioned.

The canister is rotated during the welding process. The EBW equipment is fixed on an adjustable mount so that the beam can track the joint between the lid and the cylinder during welding.

The welding starts with a gun conditioning and testing using a copper target situated directly above the canister. This enables the welding parameters to be adjusted immediately before welding of the canister. The copper lid welding is then completed following a pre-set procedure.

### ***NDT and Machining Station***

Presented at WM'96 Tucson, AZ February 25-29, 1996

In this station the copper lid weld is machined and checked with non-destructive testing (NDT). The station is provided with equipment for machining of the welded zone and for ultrasonic and radiographic testing. There is also equipment for machining for repair of failed welds. The canister arrives from the welding station in the shielded frame and is docked to the station from below.

Canisters with failed welds are either rewelded immediately or put aside and stored for later rewelding and repair. Canisters rejected after repeated rewelding can be cut open in the NDT and machining station. The fuel will then be removed in the handling cell after opening of the insert. The insert can be reused but the copper canister will probably have to be scrapped.

### ***Monitoring and Decontamination Station***

From the NDT and machining station the canister is brought to the export port of the transfer area. There it is lifted up from the shielded frame by a shielded handling machine belonging to the buffer store. This machine transfers the canister and lowers it into the monitoring and decontamination station. The canister surface is checked with remote smear testing and if contaminated the canister is cleaned with high pressure water. Smear test samples are brought from the station remotely through a shielded opening and measured locally at the operator platform.

The clean canister is transferred from the station to the canister buffer store by the shielded handling machine.

### ***Buffer Store***

The buffer store serves as a buffer for filled canisters prior to transport to the repository. The canisters are stored under a shielding floor with shielding plugs over the storage positions. Thick walls protect the surrounding area from radiation. Cooling is provided using air on a once-through basis. The shielded handling machine place the canister into an empty storage position after first lifting the shield plug. Before leaving the position the machine replaces the plug. When a canister is to leave the store the machine moves it into the cask entrance area where it is lowered down into a transport cask.

### ***Core Components***

The conditioning of core components in concrete moulds will have a route similar of that of the disposal canisters. The storage canisters with core components are dried in the handling cell and then placed in a mould in a shielded frame similar to the ones used for canisters. The main outer dimensions of the concrete mould could be 1.2 m x 1.2 m x 4.8 m and with a wall thickness of 200 mm. The lidding of the mould and the eventual filling of the void with grout will be done in separate lidding and grouting stations. The monitoring and decontamination and the buffer store with the shielded handling machine, are planned for use for both canisters and moulds.

Presented at WM'96 Tucson, AZ February 25-29, 1996

### ***Transport Cask Loading***

The buffer store handling machine is used for transferring canisters and moulds into the transport cask. A special docking position and port in the storage area is provided for this operation. Below the position a transport cask is positioned for receipt of a canister.

### ***The Dispatch Hall***

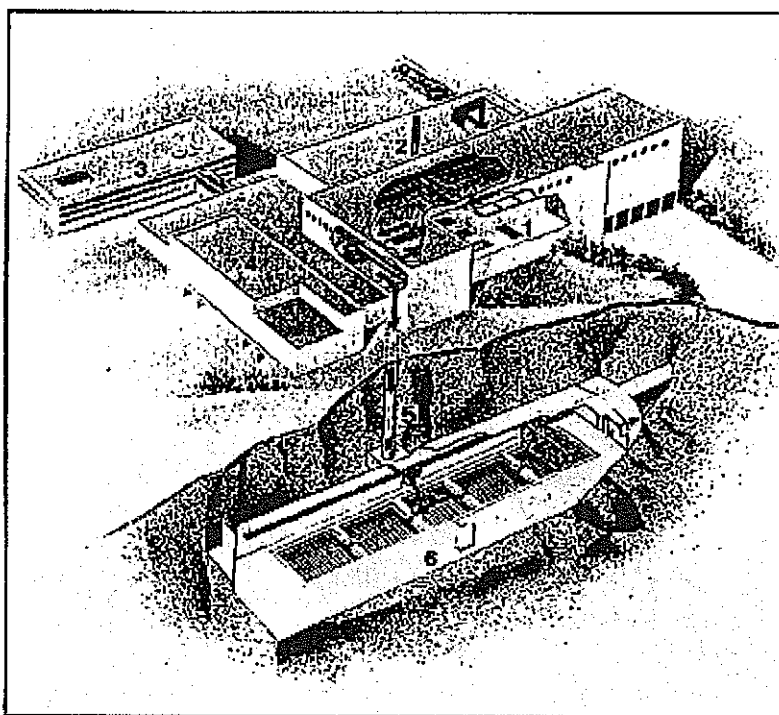
The dispatch hall is divided into a large area for transport and temporary storing of goods, connections to the buffer store and a transport cask maintenance area. A passage from the hall leads to the active workshop. The hall has an air lock for entering and dispatching goods. The dispatch hall has equipment for lifting transport casks and containers and for handling the empty canisters and moulds. The empty canister will be tilted vertically and placed in a sleeve, checked and prepared for positioning into the shielded frame. There are also general areas for storing empty canisters and moulds. Items to be transported are transport containers for empty copper canisters, casks for filled canisters, containers for empty moulds and transport cask for filled moulds. Copper lids for canisters and EBW copper test targets are also handled in the hall.

The transport procedure for filled canisters starts with a transport cask in the dispatch hall air lock. After removing the shock absorbers, the cask is raised to a vertical position and lifted into a bogie with a surrounding platform. The platform enables the bolts of the lid to be removed. The bogie is moved into a shielded export area where a filled canister is lowered directly into the cask with the buffer store shielded handling machine. The cask lid is positioned, the cask withdrawn from the loading bay and the lid is tightened.

### **SUMMARY**

The plans and design of the encapsulation plant are well advanced. According to current time schedule, the commissioning will start in 2005 and the first copper canister delivery to the deep repository will be in 2008. The production target for the encapsulation plant is one canister per working day corresponding to an annual output of about 210 canisters or encapsulation of approximately 400 tonnes of uranium per year. The Swedish nuclear program is expected to generate approximately 8 000 tonnes. The total investment cost for the encapsulation plant is estimated to be 1 700 MSEK (approximately 260 MUSD).

Presented at WM'96 Tucson, AZ February 25-29, 1996



1. Receiving building
2. Auxiliary systems
3. Offices
4. Electrical building
5. Fuel elevator
6. Storage cavern

**Fig. 1. Central interim storage of spent fuel, CLAB**

Presented at WM'96 Tucson, AZ February 25-29, 1996

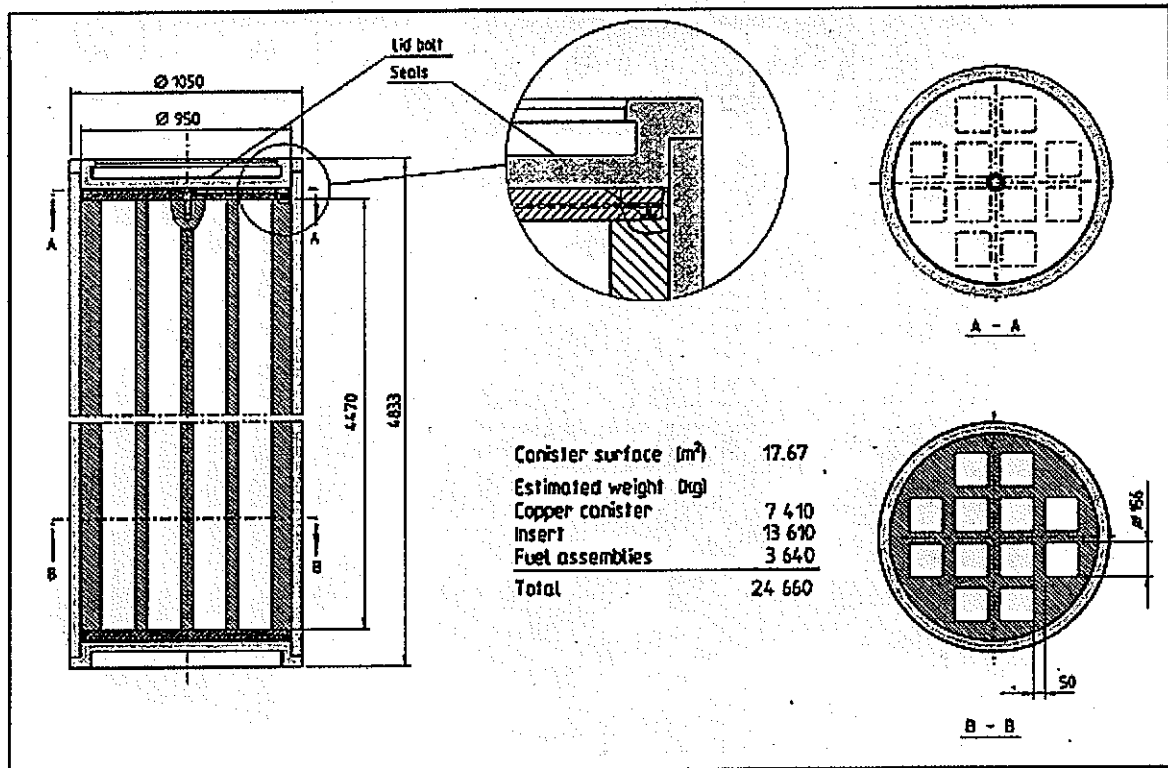
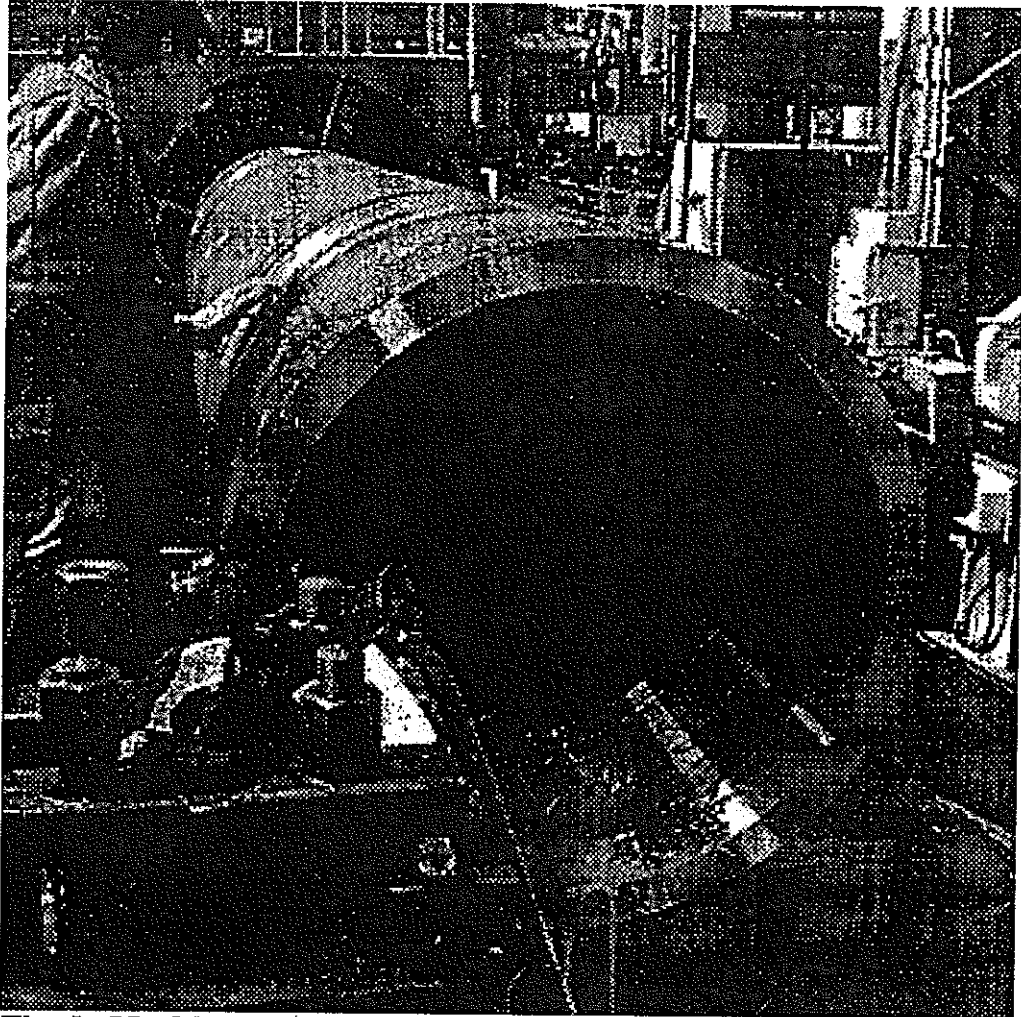


Fig. 2. Disposal copper canister with insert for 12 BWR fuel assemblies

Presented at WM'96 Tucson, AZ February 25-29, 1996



**Fig. 3. Machining of a full size disposal copper canister**

Presented at WM'96 Tucson, AZ February 25-29, 1996

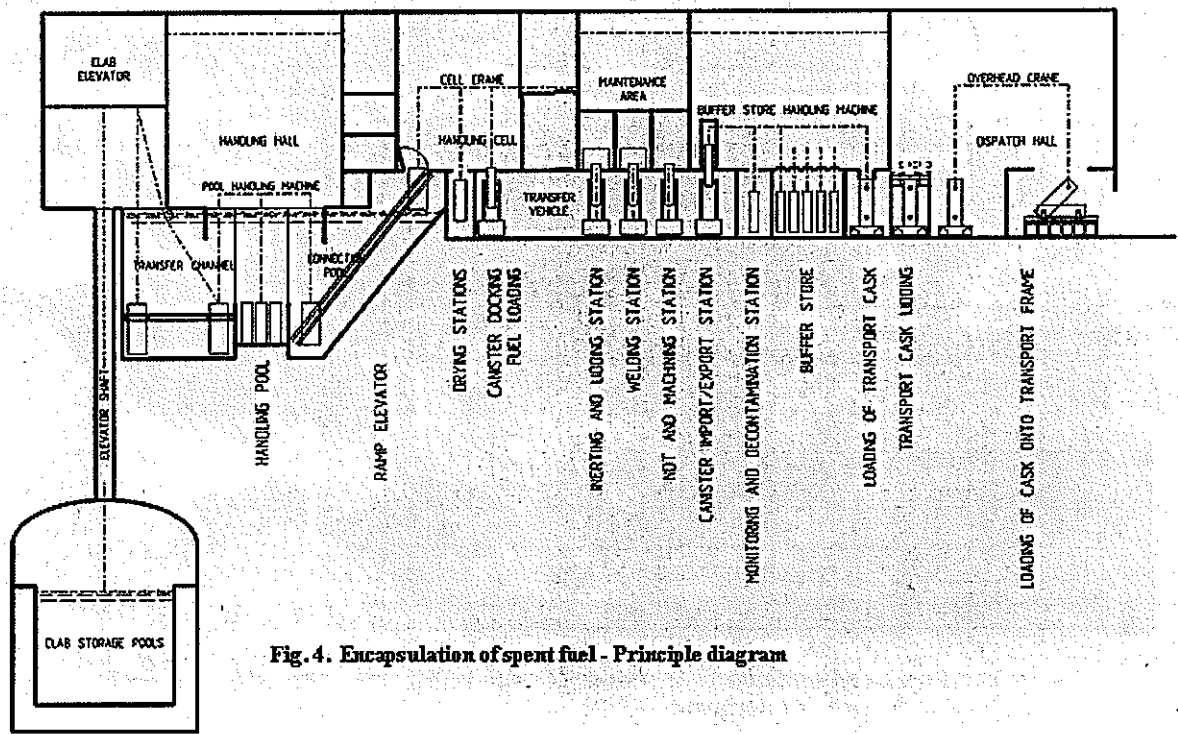
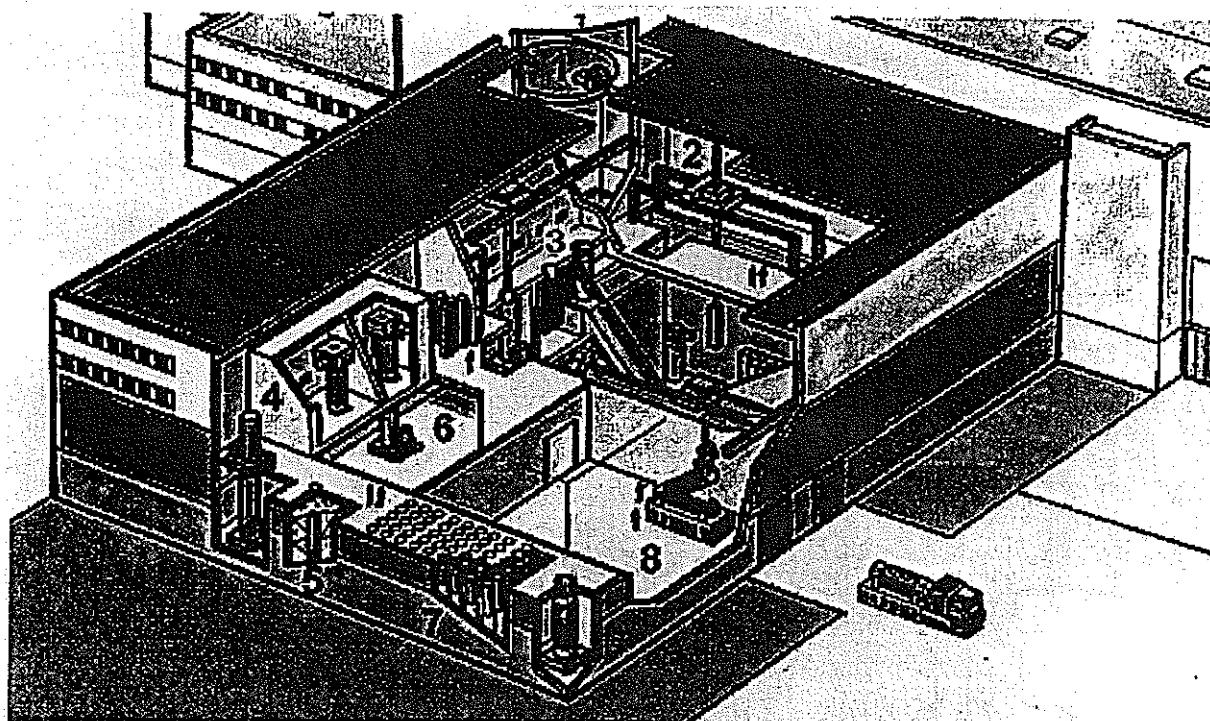


Fig. 4. Encapsulation of spent fuel - Principle diagram



Presented at WM'96 Tucson, AZ February 25-29, 1996



1. Fuel elevator, 2. Handling hall, 3. Handling cell
4. Process stations (EBW, NDT, etc),
5. Monitoring & decontamination, 6. Transfer vehicle,
7. Buffer store, 8. Dispatch hall

Fig. 5. Layout of the encapsulation plant