

Övervakad torr lagring

Beskrivning av metoder och användning i andra länder samt bedömning av förutsättningarna i Sverige

Celia Jones, Marie Wiborgh
Kemakta Konsult AB

December 2006

Svensk Kärnbränslehantering AB

Swedish Nuclear Fuel
and Waste Management Co
Box 5864

SE-102 40 Stockholm Sweden

Tel 08-459 84 00
+46 8 459 84 00

Fax 08-661 57 19
+46 8 661 57 19



ISSN 1651-4416

SKB P-06-94

Övervakad torr lagring

Beskrivning av metoder och användning i andra länder samt bedömning av förutsättningarna i Sverige

Celia Jones, Marie Wiborgh
Kemakta Konsult AB

December 2006

Sammanfattning

Övervakad lagring ingår av tekniska skäl som ett nödvändigt steg i hanteringen av använt kärnbränsle. Under mellanlagringen minskar radioaktiviteten och därmed resteffekten vilket underlättar den fortsatta hanteringen av bränslet. Bränslet förvaras alltid i ett första steg i bränslebassänger vid kärnkraftverket, men fortsatt mellanlagring kan ske centralt i väntan på uppärbetning eller slutligt omhändertagande.

Internationella erfarenheter finns från mångårig drift av både våta och torra lager. Runt om i världen har intresset för torra lager ökat då lagringskapaciteten i befintliga bränslebassänger vid kärnkraftverken är begränsad. Torra lager planeras ofta i anslutning till kärnkraftverken men även torra centrala mellanlager, där både förglasat högaktivt avfall och använt kärnbränsle kan förvaras i väntan på slutligt omhändertagande, har tagits i drift.

I Sverige skulle lagring i en torr anläggning kunna vara aktuell om utrymmet i Clab (Centralt mellanlager för använt kärnbränsle) inte räcker till. Detta kan inträffa till exempel om drifttiden för reaktorerna utsträcks utöver de 40 år som för närvarande är en dimensioneringsförutsättning. Det finns licensierade kombinationsbehållare för transport och lagring av använt kärnbränsle från BWR- och PWR-reaktorer och även utvecklade lagringssystem för torr lagring. Anledningen för val av denna metod skulle i första hand vara lägre driftskostnader. Det bör dock påpekas att torra lager har mindre flexibilitet när det gäller andra bränsletyper, till exempel högre utbränningsgrader eller MOX på grund av att det i torra koncept är svårare att effektivt skärma neutronstrålning än i konventionella lagringsbassänger. Vidare innebär begränsningar i kylningskapaciteteten vid torr lagring att dessa typer av använt kärnbränsle kan behöva lagras längre i bränslebassänger innan de kan överföras till torr lagring.

Det bör påpekas, att även om våt så väl som torr lagring kan pågå i minst hundra år utan att säkerheten äventyras är det ingen slutförvaring.

Summary

For technical reasons, monitored storage is a necessary step in the management of spent fuel. Radioactivity and residual heat generation decrease during storage, thereby facilitating handling of the spent fuel. The first step of spent fuel storage is always pool-storage at the reactor. The interim storage of spent fuel before reprocessing or final disposal can take place in central facilities.

There are many years of international experience in the operation of both wet and dry storage facilities. Worldwide, the interest for dry storage is increasing as the available storage capacities in existing pools at reactors are limited. Dry storage facilities are often planned at the reactor sites. In addition, central dry intermediate storage facilities where both vitrified high level waste and spent fuel can be stored before final disposal are in operation.

In Sweden dry storage of spent fuel could be an option if the storage capacity in the central interim storage facility for spent fuel (Clab) is not sufficient. This could be the case, for example, if the operational time for the existing reactors is extended from the present dimensioning conditions of 40 years. Licensed multi-purpose canisters for transport and storage of spent fuel from BWR and PWR exist and systems for dry storage have been developed. One reason for selecting dry storage could be lower operational costs. However, it must be noted that dry storage is less suitable than conventional pools for some types of fuel, for example fuel with higher burn-up or MOX, due to the difficulty of shielding for neutron radiation. In addition, the limited cooling capacity of dry storage implies longer storage times in pools at the reactor before spent fuel can be transferred to dry storage.

The final solution for the storage of spent fuel is not extended wet or dry storage, even though the safe storage of spent fuel can continue for at least hundred years.

Innehållsförteckning

| | | |
|-----------------|--|----|
| 1 | Inledning | 7 |
| 1.1 | Bakgrund och syfte | 7 |
| 1.2 | Rapportens struktur | 7 |
| 2 | Teknisk beskrivning – torr lagring | 9 |
| 2.1 | Introduktion | 9 |
| 2.2 | Lagring i täta och strålskärnade behållare | 10 |
| | 2.2.1 Utomhuslagring | 10 |
| | 2.2.2 Lagring i enkla lagerbyggnader | 10 |
| | 2.2.3 Lagring i betongmoduler | 12 |
| 2.3 | Armerad betongbyggnad | 15 |
| 2.4 | Koncept för förlängd torr lagring | 18 |
| 2.5 | Säkerhetsfrågor | 18 |
| | 2.5.1 Temperaturbeständighet | 18 |
| | 2.5.2 Kriticitet | 19 |
| | 2.5.3 Strålskydds krav | 19 |
| | 2.5.4 Fysiskt skydd | 19 |
| | 2.5.5 Livslängd för torr lagring | 20 |
| 3 | Tänkbart alternativ för Sverige? | 21 |
| 3.1 | Lagringsbehov | 21 |
| 3.2 | Kostnader för lagring | 22 |
| 4 | Diskussion | 23 |
| 5 | Referenser | 25 |
| Bilaga 1 | Teknisk information – transport och lagringsbehållare | 27 |

1 Inledning

1.1 Bakgrund och syfte

Övervakad lagring ingår av tekniska skäl som ett nödvändigt steg i hanteringen av använt kärnbränsle. Under mellanlagringen minskar radioaktiviteten och därmed värmealstringen vilket underlättar den fortsatta hanteringen av bränslet. Bränslet förvaras alltid i ett första steg i bränslebassänger vid kärnkraftverket, men fortsatt mellanlagring kan ske centralt i väntan på upparbetning eller slutligt omhändertagande.

Flera olika system för övervakad lagring finns i drift, de kan delas in i våt respektive torr lagring. Vid våt lagring sker strålskärning och kylning med hjälp av vatten, och vid torr lagring svarar lagringsbehållaren eller lagringsutrymmet för strålskydd och kylning.

I Sverige mellanlagras det använda bränslet i Clab (Centralt mellanlager för använt kärnbränsle). Clab består av en mottagningsdel ovan jord och en förvaringsdel med vattenfyllda bassänger cirka 20 meter under markytan. Utomlands har flera alternativ för torr lagring utvecklats. Vid torr lagring placeras det använda bränslet, efter en tids våt lagring vid kärnkraftverken, i speciellt utformade behållare. Dessa behållare lagras utomhus eller i speciella lagerbyggnader vid kärnkraftverken alternativt transporteras till centrala mellanlager.

Syftet med denna rapport är att beskriva olika tekniker och anläggningar för torr lagring. I studien ingår även att göra en bedömning av fördelar och nackdelar av torr lagring som ett framtida alternativ till fortsatt lagring eller utvidgning av Clab.

1.2 Rapportens struktur

Denna rapport har strukturerats enligt följande:

I kapitel 2 ges en översikt av de olika tekniker som används internationellt för torr lagring av använt kärnbränsle. Här belyses även säkerhetsfrågor som måste beaktas vid val av lagringsmetod för använt bränsle. I bilaga 1 redovisas mer detaljerade tekniska beskrivningar av behållare och anläggningar.

I kapitel 3 diskuteras för vilka tänkbara alternativ som lagring i en torr anläggning skulle kunna bli aktuell i Sverige och vad detta skulle medföra.

2 Teknisk beskrivning – torr lagring

2.1 Introduktion

I länder som har kärnkraft skiljer sig hanteringen av använt kärnbränsle åt. Olika policy avseende uppbyggnad av använt kärnbränsle samt skilda planer för framtida slutlig förvaring av det radioaktiva avfallet medför olika behov av lagringskapacitet. I ett första steg förvaras dock alltid använt kärnbränsle i bränslebassänger på kärnkraftverken (NPP). För att öka lagringskapaciteten sker även torr lagring av använt kärnbränsle vid ett flertal kärnkraftverk runt om i världen. I många länder sker även övervakad lagring av använt kärnbränsle i centrala mellanlager.

I de länder där man valt att uppjobba det använda kärnbränslet (SF) mellanlagras det förglasade högaktiva avfallet (HLW) i torra anläggningar i anslutning till uppberedningsanläggningen i det egna landet alternativt i centrala mellanlager. Det uran och plutonium som avskilts kan efter rening och kemisk rening återanvändas som bränsleråvara.

Vid en internationell konferens i IAEA:s regi om förvaring av använt kärnbränsle konstaterades att oberoende av slutlig lösning för omhändertagande av det radioaktiva avfallet kommer det under de närmsta kommande tiotal åren finnas behov av mellanlagringskapacitet /IAEA 2003/. I nedanstående tabell ges exempel på existerande eller planerade mellanlager för torr lagring av använt kärnbränsle.

För torr lagring finns det två varianter, som båda används på flera håll i världen. I den ena placeras det använda bränslet i speciellt utformade behållare av metall eller betong, som lagras utomhus eller i speciella lagerbyggnader. Behållarna utgör strålskärm och förhindrar även spridning av radioaktiva ämnen.

I den andra varianten av torr lagring placerar man det användast i tunnväggiga, men gastäta metallbehållare. Den tunna metallbehållaren fungerar som barriär mot spridning av radioaktiva ämnen. Strålskärning och skydd mot yttre påverkan ges av den omgivande betongkonstruktionen och byggnaden.

I följande avsnitt ges exempel på torra lagringsmetoder och frågeställningar som måste beaktas vid val av lagringsmetod.

Tabell 2-1. Exempel på torr lagring av använt kärnbränsle i några olika länder.

| Land | Anläggning | Kommentar |
|-----------|----------------------|---|
| Belgien | Doel NPP | Torr lagring av SF som inte ska uppjobbas |
| Frankrike | Cascad (Cadache) | Förvaring av SF som inte ska uppjobbas direkt |
| Holland | Habog (Borsele) | Centralt mellanlager – förvaring av SF från forskningsreaktorer och HLW i en särskild byggnad invigdes 2003 |
| Litauen | Ignalina NPP | Förvaring av RBMK bränsle i CASTOR®- och CONSTOR®-behållare |
| Spanien | Trillo NPP | Torr lagring av SF i drift 2003 – Centralt mellanlager planeras till 2010 för SF och HLW |
| Schweiz | Swilag (Würenlingen) | Centralt mellanlager – förvaring av HLW och SF i CASTOR®-behållare i drift sen 2001 |
| Tyskland | Ahaus Gorleben | Centrala mellanlager – förvaring av HLW och SF i CASTOR®-behållare Ahaus i drift sen 1992 Gorleben i drift sen 1995 |

2.2 Lagring i täta och strålskärnade behållare

Ett antal behållare finns tillgängliga för transport och lagring av förglasat avfall och använt bränsle. Behållarnas design kan anpassas till olika slags bränsle, antal bränsleelement och utbränningsgrad. Vissa typer av behållare fungerar både som lagringsbehållare och transportbehållare, medan andra behållare fungerar endast som lagringsbehållare. Behållarna som ska fungera som transportbehållare har en mer robust konstruktion med bättre stötdämpning med mera. Fördelen med kombinerade lagrings och transportbehållare är att antalet hanteringssteg är mindre, vilket resulterar i lägre dos till personal och lägre hanteringskostnader (t ex inget behov av lastningsutrustning vid lageranläggning).

Tre huvudtyper av lagringsbehållare används vid torr lagring av använt bränsle: metallbehållare, behållare av metall och betong samt betongbehållare. Exempel på metallbehållare är TNTM och CASTOR[®] men även andra metallbehållare har utvecklats, till exempel i USA och Canada. CONSTOR[®] är en tjockväggig cylindrisk sandwich konstruktion som har utvecklats som ett alternativ till tjockväggiga metallbehållare. Behållaren består av en inre och yttre stålkonstruktion och mellanrummet är fyllt med betong som har bra avskärmningsegenskaper. Betongbehållare med en inre tät behållare har till exempel utvecklats i Japan. I tabell 2-2 ges exempel på några olika typer av behållare och mer detaljerad information redovisas i bilaga 1.

2.2.1 Utomhuslagring

Denna typ av lagring sker oftast i anslutning till själva kärnkraftverket. Efter uttag från reaktorn förvaras det använda bränslet först i bränslebassänger och efter avsvälvning i ett antal år överförs bränslet till speciella transport- och lagringsbehållare. En armerad betong platta brukar användas för uppställning av behållarna. Exempel på utomhuslagring av använt kärnbränsle vid två kärnkraftverk i USA och Kanada ges i figur 2-1 respektive figur 2-2.

2.2.2 Lagring i enkla lagerbyggnader

Det använda bränslet överförs efter lagring i bassänger vid kärnkraftverket till speciella transport- och lagringsbehållare. Därefter transporteras behållarna till en lagerbyggnad i anslutning till kärnkraftverket alternativt till en central lagerbyggnad. I dessa lagringsbyggnader sker kylningen av behållarna med hjälp av styrd ventilation. En schematisk beskrivning av denna typ av anläggningar ges i figur 2-3 och som ett exempel visas lagring av CASTOR[®]-behållare i en lagerbyggnad i Gorleben i Tyskland, se figur 2-4.

Tabell 2-2. Exempel på olika typer av behållare.

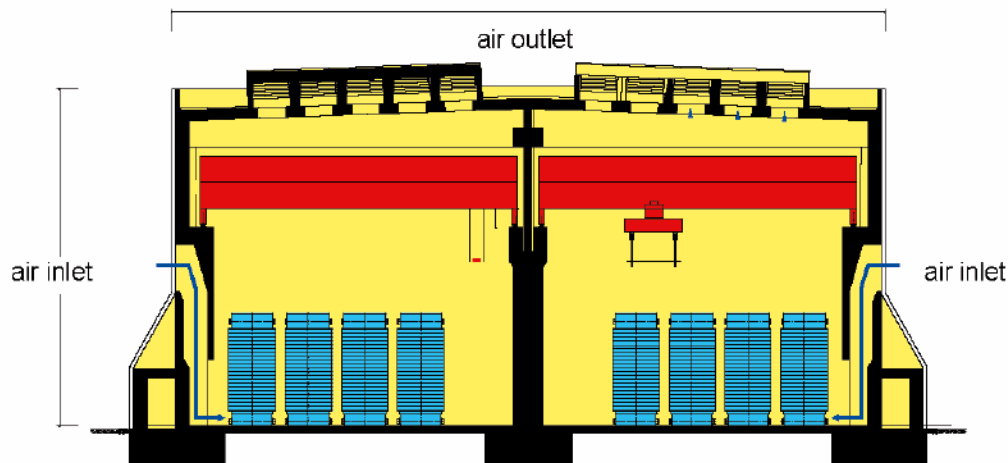
| Metallbehållare | Behållare av sandwich konstruktion | Betongbehållare |
|---|------------------------------------|---|
| TN-behållare (Trans Nuclear) | CONSTOR [®] | Japanska RC-behållare (Reinforced Concrete) |
| CASTOR [®] | DSC (Dry Storage Containers) | Japanska CFS behållare (Concrete Filled Steel) |
| MPC-behållare (Multi-Purpose Canister) | | |



Figur 2-1. Utomhuslagring vid ett kärnkraftverk.



Figur 2-2. Utomhuslagring vid NB Power Nuclear – Point Lepreau Generating Station, New Brunswick Kanada – "Solid Radioactive Waste Management Facility – Dry Fuel Canisters". Källa: NBPower Nuclear.



Figur 2-3. Schematisk figur av en ventilerad lagerbyggnad med förvaringsbehållare. Bild från /Vossnacke et al. 2003/. Källa: IAEA.



Figur 2-4. CASTOR® behållare lagrade vid Gorleben, Tyskland. Bild från /Vossnacke et al. 2003/. Källa: IAEA.

2.2.3 Lagring i betongmoduler

Ett alternativ till lagring i täta och strålskärnade behållare är lagring i täta behållare där omgivande betongmodul står för strålskärning. Nedan beskrivs två system som bygger på denna teknik

NUHOMS

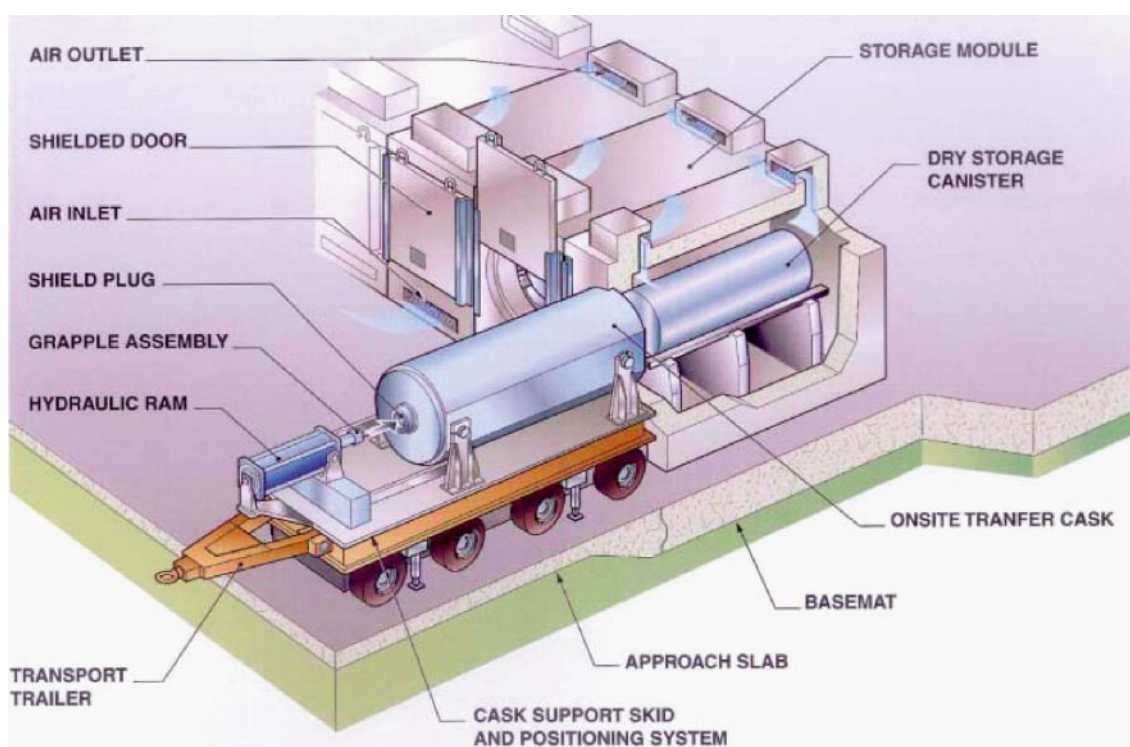
NUHOMS® systemet är ett integrerat transport- och lagringssystem. Efter avsvälning och avklingning i cirka fem år i bränslebassänger vid kärnkraftverket lagras det använda kärnbränslet i täta stålbehållare, NUHOMS® DSC (dry storage canister). För transport av stålbehållare över korta (inom anläggning) eller längre (utanför anläggning) sträckor har speciella strålskärmande transportförpackningar tagits fram.

Stålbehållarna lagras i NUHOMS® lagringsmoduler som ställs utomhus på en betongplatta. En fördel med NUHOMS® systemet är att lagring av bränsle kräver förhållandevis liten markyta jämfört med andra system. Detta är tack vare att modulerna kan ställas upp i dubbla rader där omgivande moduler bidrar till avskärmning av strålningen. Principen för NUHOMS® lagringssystem visas i figur 2-5.

NUHOMS® systemet använts för BWR- och PWR-bränsle i USA, RBMK bränsle i Ukraina samt VVER-bränsle i Armenien. Ett exempel på användandet av NUHOMS® system vid Susqehanna kraftverk i USA visas i figur 2-6.

MACSTOR – CANSTOR

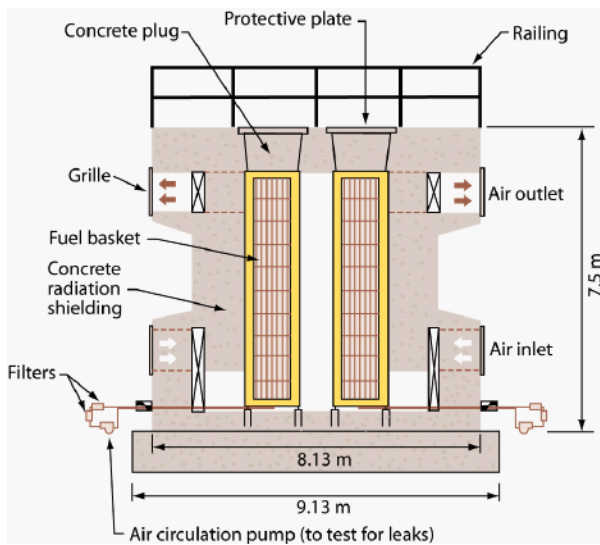
Ett liknande system som NUHOMS® används i Kanada för lagring av använt kärnbränsle. AECL har utvecklat MACSTOR® (Modular Air Cooled Canister Storage) för lagring av använt kärnbränsle i täta metallbehållare som omges av en betongkonstruktion. CANSTOR® är en tillämpning av detta system med moduler för Candu-bränsle från tungvattenreaktorer. Principen visas i figur 2-7 och som exempel en anläggning vid ett kärnkraftverk i Quebec i figur 2-8.



Figur 2-5. NUHOMS® system för lagring använt kärnbränsle. Bild från /Roland et al. 2003/.
Källa: IAEA.



Figur 2-6. NUHOMS® moduler vid Susquehanna kärnkraftverk i USA. Bild från /Roland et al. 2003/.
Källa: IAEA.



Figur 2-7. CANSTOR® moduler för lagring av använt kärnbränsle i Kanada. Bild avritad från /Hydro Quebec 2004/. Källa: AECL.



Figur 2-8. CANSTOR® moduler vid Gentilly-2, Quebec. Bild från /NWMO 2004/. Källa: Hydro Quebec.

2.3 Armerad betongbyggnad

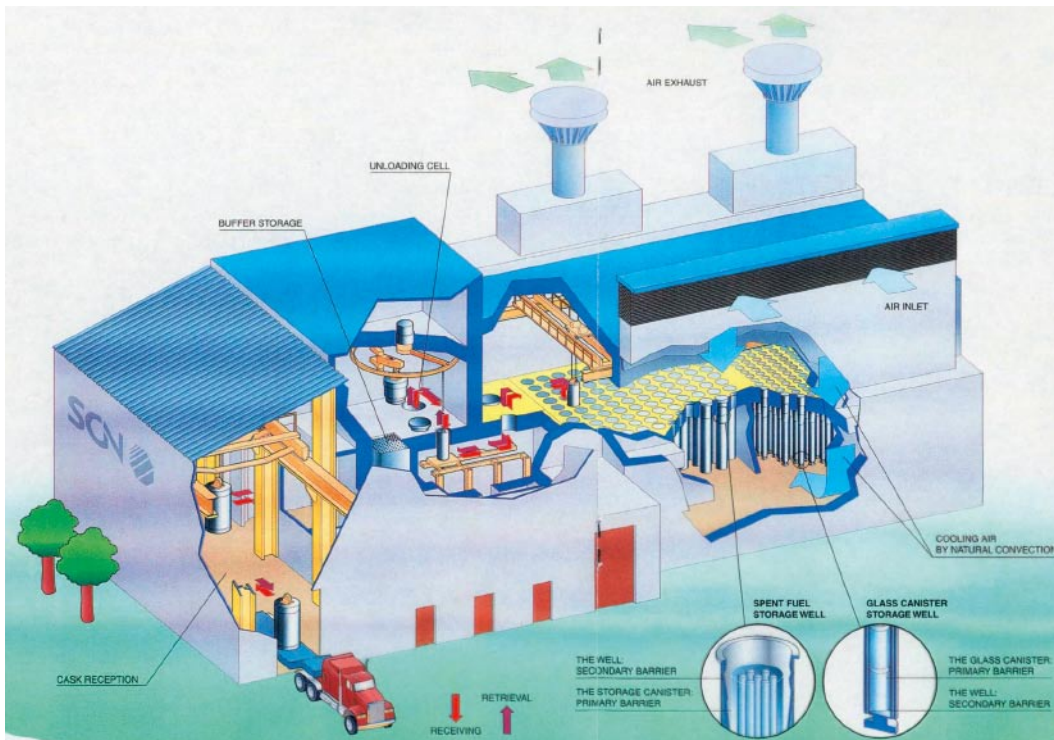
CASCAD

I Frankrike har CASCAD-anläggningar varit i drift sedan 1990 och i Holland togs en ny anläggning i drift hösten 2003, se figur 2-9 och figur 2-10. I detta koncept lagras det använda kärnbränslet alternativt det förglasade avfallet i gastäta behållarna under ett tjockt betonggolv. Avskärmningen mot strålning utgörs av själva betongbyggnaden (inklusive golvet) och omkringliggande mark. Kylluft cirkulerar i lagerutrymmet och varmluften släpps ut via skorsten.

Mångårig erfarenhet finns när det gäller lagring av förglasat avfall. I EVSE-anläggningen vid COGEMA-LaHague har varje brunn en ”liner”. Kylluft cirkuleras med självdrag i mellanrummet mellan brunnens vägg och liner. I andra anläggningar, till exempel TOR-anläggningen och AVM-anläggningen i Marcoule, kyls lagerutrymmet med aktivt (pumpad) luftcirkulation.

Modul betongkonstruktion

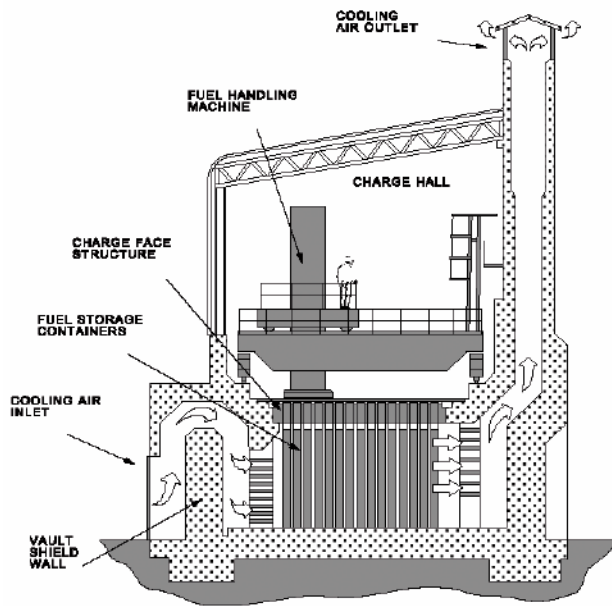
Lagerkonstruktionen ”Modular Vault Dry Store” är utformad ungefär som CASCAD men med flera små lagringsutrymmen, moduler, i anläggningen. Varje modul har egen ventilation och systemet grundas på lagring av MPC-behållare (multi-purpose canisters), metallbehållare för både transport och lagring. Detta är en utveckling av ett system för torr lagring som har varit i drift i > 30 år (Wylfa – Wales). Ett torrlager som består av flera moduler ”Mega Vault Dry Storage Facility” har planerats i Storbritannien. I denna anläggning kommer ventilationen att cirkulera passivt runt bränslebehållarna. Till skillnad från CASCAD-anläggningar så står varje behållare på en stöplatta på golvet i lagerutrymmet och inte i en tät ”brunn”. Principen för kylningen av bränsle i en ”Modular Vault Dry Store” visas i figur 2-11 och en schematisk figur över en ”Mega Vault Dry Storage Facility” visas i figur 2-12.



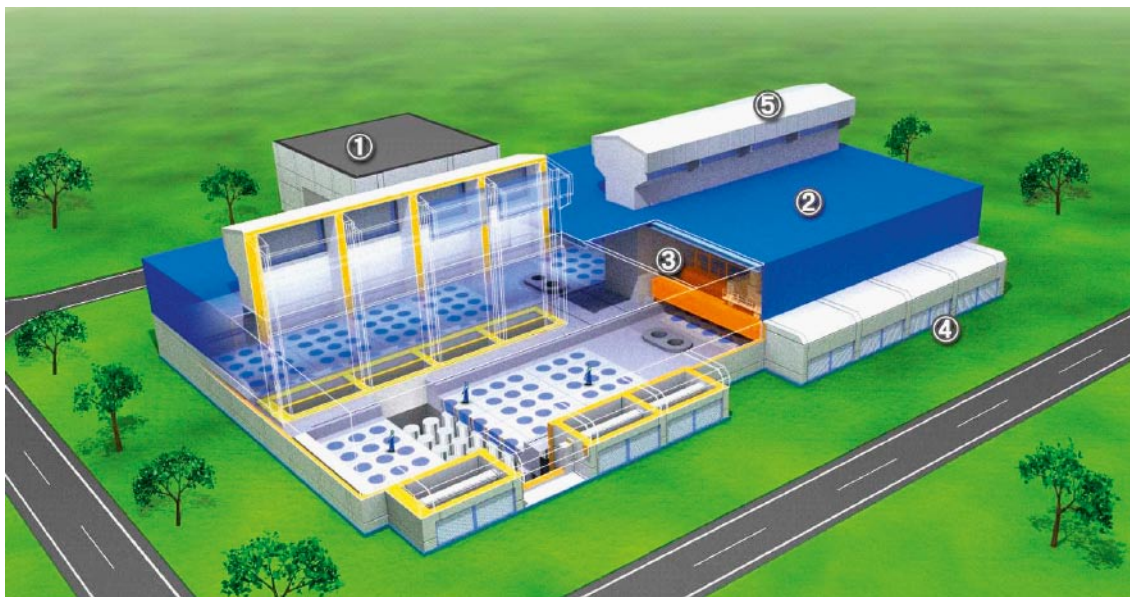
Figur 2-9. Schematisk bild av en CASCAD-anläggning för använt kärnbränsle och förglasat avfall. Bild från /Roland et al. 2003/. Källa: IAEA.



Figur 2-10. Byggnaden Habog i Holland baserad på CASCAD-konceptet. Bild från /Roland et al. 2003/. Källa: IAEA.



Figur 2-11. Lagerkonstruktionen "Modular Vault Dry Store". Bild från /Carter et al. 2003/. Källa: IAEA.



Figur 2-12. Torrlager bestående av flera moduler "Mega vault dry storage facility". Bild från /Carter et al. 2003/. Källa: IAEA.

2.4 Koncept för förlängd torr lagring

”Dry Rock Deposit” (DRD) är ett föreslaget koncept avsett för torr lagring av använt bränsle under flera tusen år. I DRD-konceptet placeras behållare med använt kärnbränsle i ett själv-dränerande bergtrum som byggs i en bergformation som skjuter upp över en omgivande dalsänka, se figur 2-13. Efter deponering stängs bergtrummet. Tanken är att inga insatser ska krävas för läns-pumpning eller kylning och att behovet av underhåll och övervakning därmed kan minimeras så att lagringen kan ske under lång tid. Höga temperaturer och närvaro av syre gör dock att det kan bli svårt att visa att behållarna förblir täta för längre tidsperioder.

2.5 Säkerhetsfrågor

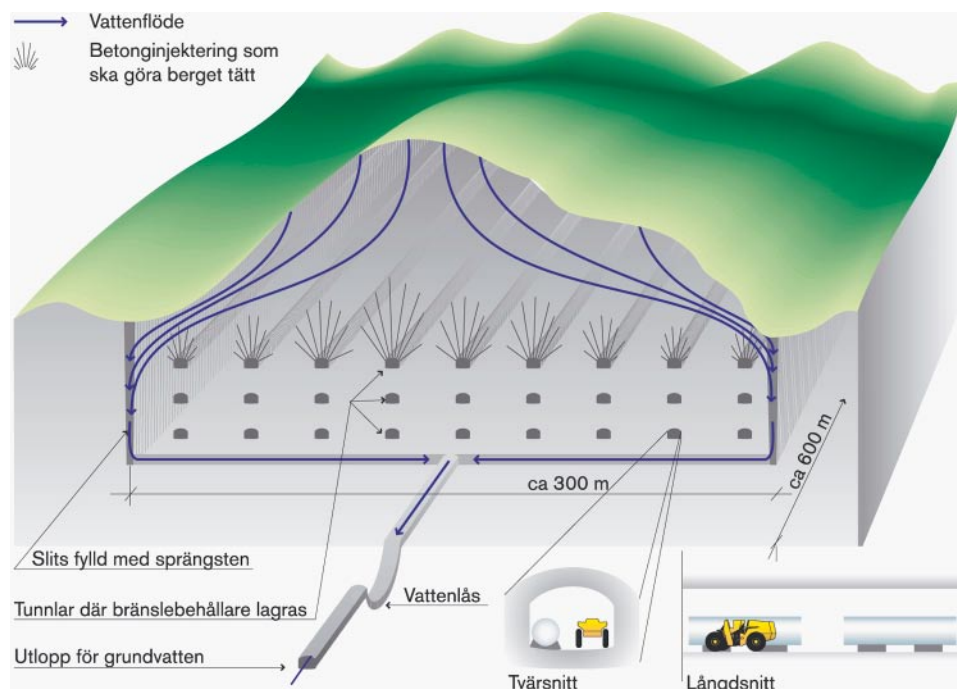
Designen av förvaringsbehållaren och andra skyddande konstruktioner ska försäkra säkerheten med avseende på strålskydd, kriticitet och inneslutning under de termiska förhållanden som kan förekomma under driften av ett torrlager.

Luftens låga värmeledningsförmåga gör att bränslets temperatur är betydligt högre vid torr lagring än vid våt. Den kontinuerliga driften omfattar endast ventilation och är enklare än vid våt lagring. Liksom vid våt lagring måste anläggningen övervakas och behållarna med jämna mellanrum kontrolleras.

2.5.1 Temperaturbeständighet

I en behållare för använt bränsle genereras värme av bränslet genom avklingning av radioaktiva isotoper. Bränsle lagras i behållarna antingen i luft eller i en atmosfär av inert gas exempelvis helium.

Behållarens förmåga att leda värme från bränslet till behållarens yta ökas genom användning av värmeledande material i behållaren, till exempel armeringsjärn i behållare med ett betongskikt i konstruktionen. Där isolerande material används för neutronsorption måste värmeledning



Figur 2-13. Konceptet – ”Dry Rock Deposit”.

genom det isolerande skiktet beaktas. Kylning av behållaren kan ökas genom användning av ytstrukturer för att öka behållarens yta, till exempel fenor. Oftast räcker passiv kylning genom naturlig konvektion, men ökad kylning genom pumpning av ventilationsluft i anläggningen kan också användas.

2.5.2 Kriticitet

För att förhindra oavsiktlig kedjereaktion – kriticitet – tas vid utformningen av behållarna hänsyn till det använda bränslets anrikningsgrad, utbränning och den tid som bränslet fått avklinga efter uttag från reaktorn. Andra betydelsefulla parametrar är typ av bränsle och antal bränsleelement. Den geometriska utformningen av behållarens inre samt innehåll av neutronabsorbenter till exempel bor minskar risken för kriticitet.

I många länder är det godkänt att tillgodoräkna sig utbränningen i reaktorn och den därmed minskande reaktiviteten hos bränslet vid lagring och transport för att öka kapaciteten i lagringssystemet.

2.5.3 Strålskydds krav

Så länge underhåll och drift sköts korrekt uppfylls strålskydds kraven för allmänheten och anläggningsarbetare med god marginal vid torr lagring av använt bränsle. Eftersom bränslet är inneslutet i en gastät behållare fungerar den som en barriär mot aktivitetsspridning av såväl gaser som partiklar. Vid torr lagring sker rutinkontroller för att försäkra att behållarna är gastäta. Ett exempel på kontrollsystem är mätning av trycket i det gasfyllda utrymmet mellan en metallbehållares två lock. Vid många anläggningar genomförs även kontroll av halten radioisotoper i kylluften från anläggningen för att kontrollera eventuella läckage /Lietava et al. 2003, IAEA 2003/.

Behållarens väggar och inre konstruktion utgör skydd mot direkt strålning. Avskärmning av gammastrålning sker i material med hög densitet (betong och stål/järn) och avskärmning av neutroner i material med högt väteinnehåll (plaster och vatten). Vid lagring i betongkonstruktioner tillkommer skärmning i betongväggar och betonggolv. Anläggningar som ligger under markytan eller i berggrum kan också tillgodoräkna sig markens eller bergets avskärmningsegenskaper.

2.5.4 Fysiskt skydd

Enligt gällande föreskrifter ska åtgärder vidtagas för att dels skydda kärntekniska anläggningar mot obehörigt intrång, sabotage eller annan sådan påverkan som kan medföra radiologisk olycka, dels för att förhindra obehörig befattning med kärnämne eller kärnavfall, så kallat fysiskt skydd. Allt kärnämne i Sverige bokförs och rapporteras till SKI och EU:s kontrollorgan. Detta görs för att man hela tiden ska veta var kärnämnet finns och hur mycket som finns, så kallad ”Safeguard”. Syftet är att förhindra att kärnämne används för otillåten framställning av kärnvapen.

Använt bränsle är av litet intresse för olovlig befattning eftersom fissilt material finns endast i låga halter samt att materialet är svårt att hantera. Fysisk skydd av bränslet mot sabotage utgörs främst av lagringsbehållarna och lagringsanläggningen. Höga krav ställs på lagringsbehållare som lagras utomhus. När behållarna lagras i en inomhusanläggning, kan behållaren vara mindre robust om byggnaden själv utgör fysisk skydd, till exempel vid lagring i betongbyggnader. Lagring under marknivå eller i berggrum förstärker det fysiska skyddet.

Fysiska barriärer och administrativa rutiner ger inte ett tillräckligt skydd vid torr lagring. Övervakning av anläggningen behövs också. Insatserna för att övervaka lagret bedöms vara i stort sett likvärdigt för de anläggningar för våt respektive torr lagring som finns i drift idag.

2.5.5 Livslängd för torr lagring

Livslängden på ett torr lager är beroende av att underhåll och drift av anläggningen sköts. Det finns torra lager som är licensierade för en drifttid på 50 år (t ex i Kanada) men livslängden uppskattas kunna uppgå till mer än 100 år.

För att undvika korrosion, byts luften i de gastäta behållarna ofta ut mot inert gas, till exempel helium. Den temperatur som de frilagda bränsleelementen uppnår är en viktig faktor för bränslekapslingens möjligheter att förbli intakt. /Chin och Gilbert 1989/ har beräknat bränslets förmåga att klara en 40-årig lagring i inert atmosfär vid olika temperaturer. Enligt resultaten är kapslingens integritet i farozonen om temperaturen överstiger 350–400 °C. I studien BEFAST III anges att temperaturen på bränsle som ska lagras torrt i inert atmosfär ej ska överstiga 410 °C (Tyskland) respektive 380 °C (USA). För torr lagring i luft anges temperaturer upp till 160 °C (Kanada).

Betongkonstruktioner representerar stora ekonomiska värden i ett samhälles infrastruktur (t ex broar, dammar och hamnar). Dessa betongkonstruktioner är dimensionerade för en lång livslängd, oftast mer än 100 år. I likhet med dessa betongkonstruktioner borde livslängder längre än 100 år kunna uppnås för välkonstruerade lagerbyggnader av betong.

3 Tänkbart alternativ för Sverige?

3.1 Lagringsbehov

I Sverige skulle lagring i en torr anläggning kunna bli aktuell om utrymmet i Clab inte räckte till för det använda kärnbränslet alternativt som ett mellanlager i anslutning till en framtida inkapslingsanläggning eller ett slutförvar.

Den nuvarande förvaringskapaciteten i Clab är 8 000 ton uran. Kapaciteten kan höjas till 10 000 ton uran i den befintliga anläggningen genom tätpackning av bränslet i bassängblock 2 på samma sätt som i bassängblock 1, det vill säga genom att sätta in förvaringskassetter med borplåtar som absorberar neutroner.

Mängden använt kärnbränsle för referensscenariot med 40 års drift av reaktorerna redovisas i tabell 3-1 /SKB 2006/. Kraftföretagen har dock en längre tid gjort bedömningen att drifttiden för reaktorerna kan komma uppgå till 60 år eller mer. Den förlängda drifttiden, men även pågående effektökningar gör att mängden använt kärnbränsle ökar och att en utbyggnad av Clab kan komma att krävas. Den totala mängden använt kärnbränsle som uppkommer vid 60 års drift har uppskattats till 12 000–13 000 ton uran /Pettersson och Grundfelt 2006/.

Nedan redovisas hur många lagringsbehållare av typ CONSTOR® med kapacitet för 32 PWR-element alternativt 69 BWR-element det skulle krävas för några olika lagringsalternativ. En CONSTOR®-behållare har en diameter om cirka 2,5 meter och är cirka 5 meter hög, en mer detaljerad beskrivning ges i bilaga 1.

Torrlager i stället för utbyggnad av Clab

Kapaciteten i bränslebassängerna höjs till 10 000 ton uran, men ingen utbyggnad sker av Clab. Det innebär att använt bränsle motsvarande 3 000 ton uran ska förvaras i ett torrlager. Det skulle då krävas knappt 250 CONSTOR®-behållare om man antar en fördelning på 75 % BWR-element och 25 % PWR-element. Detta kan jämföras med cirka 1 500 KBS-3 kapslar (innehållande 12 BWR-element alternativt 4 PWR-element).

En CONSTOR®-behållare upptar en golvyta om minst sex m². Detta innebär att det skulle krävas ett lagerutrymme motsvarande minst 1 500 m² kanske upptill 2 500 m² för att förvara dessa 250 CONSTOR®-behållare.

Förvaring enbart i torrlager

Om allt bränsle från 60 års drift motsvarande cirka 13 000 ton uran överförs till CONSTOR®-behållare, av samma typ som ovan, skulle det behövas drygt 1 000 behållare och ett lagerutrymme större än 6 000 m².

Tabell 3-1. Totala mängder använt kärnbränsle för referensscenariot /SKB 2006/.

| Reaktortyp | Bränsleinventarium (ton uran) | Antal bränsleelement |
|------------|-------------------------------|----------------------|
| BWR | 6 987 | 38 740 |
| PWR | 2 341 | 5 000 |
| Summa | 9 328 | 43 740 |

Mellanlagring vid kärnkraftverk

Det använda kärnbränslet skulle efter ett antals års lagring (ca 5 år) i bränslebassänger kunna överföras till behållare för torr lagring vid kärnkraftverket. I de Svenska reaktorerna byts cirka 20 % av härden ut årligen. De tre tryckkarreaktorerna (PWR) har lika stora härdar medan storleken på kokarreaktorerna (BWR) varierar, se tabell 3-2. Det skulle krävas cirka 10 CONSTOR®-behållare för att förvara innehållet i en större BWR härd och två behållare motsvarar det årliga uttaget från reaktorn.

3.2 Kostnader för lagring

I rapporten – Kostnader för kärnkraftens radioaktiva restprodukter /SKB 2006/ anges de nedlagda kostnaderna till och med år 2005 samt prognos för 2006 (löpande prisnivå) till för lagring av använt kärnbränsle i Clab till 4 937 MSEK. De framtida kostnaderna enligt referensscenariot med drift av reaktorerna i 40 år uppskattas till 4 270 MSEK. I denna kostnad ingår framtida investeringar (t ex nya förvaringskassetter och förstärkt fysiskt skydd), drift och underhåll samt rivning av anläggningen. Kostnaden för utbyggnad av ett nytt bassängblock kan uppskattas till cirka 800 MSEK (dagens prisnivå) baserat på investeringskostnaderna för bassängblock 2 /Holmberg 2006/.

Kostnaderna för lagring i ett torrlager är beroende av vilken lösning som väljs. Priset på CONSTOR®-behållare (för VVER 1000) har vid produktion i Tyskland och i prisnivå år 2001 angivits till 0.6 MUSD per behållare /Nuclear Disarmament Forum AG Zug – Switzerland 2002/. Skulle denna kostnad även vara representativ för behållare för BWR- och PWR-bränsle skulle det motsvara en investeringskostnad om cirka 4,2 MSEK (kurs 7 SEK/USD). Investeringskostnaden för enbart 250 behållare skulle då uppgå till dryga miljarden SEK. Till detta tillkommer kostnader för tillstånd, investeringar i lagerbyggnader och driftskostnader. Driftskostnaden för ett torrlager bedöms dock vara lägre än för lagring i bassäng på grund av enklare driftförhållanden och mindre underhåll.

Tabell 3-2. Antal bränsleelement i en reaktorhärd.

| Reaktortyp | Antal bränsleelement |
|----------------------|-----------------------------|
| BWR (B2,O1,O2) | 444–448 |
| BWR (F1,F2,F3,O3,R1) | 648–700 |
| PWR (R2,R3,R4) | 157 |

4 Diskussion

Runt om i världen finns ett ökat behov av lagring av använt kärnbränsle. Den befintliga lagringskapaciteten i bränslebassänger vid kärnkraftverken är begränsad och fler länder bestämmer sig för att inte upparbeta det använda bränslet. En fördröjning av programmen för slutligt omhändertagande av det radioaktiva avfallet medför även det ett större behov av lagringskapacitet. Vid en internationell konferens i IAEA:s regi om förvaring av använt kärnbränsle konstaterades att trenden i många länder går mot torr lagring av använt kärnbränsle i centrala mellanlager /IAEA 2003/.

Det finns flera utvecklade system för torr lagring av använt kärnbränsle från olika typer av reaktorer. För använt kärnbränsle från BWR- och PWR-reaktorer finns licensierade kombinationsbehållare för transport och lagring av och även utvecklade lagringssystem för torr lagring. I Sverige skulle torr lagring av använt kärnbränsle möjligtvis kunna vara ett alternativ vid en förlängd drifttid av kärnkraftverken, utöver de cirka 40 år som Clab för närvarande är dimensionerat för.

Anledningen för val av denna metod skulle i första hand vara lägre driftskostnader. Detta skulle dock medföra införandet av ytterligare ett hanteringssteg jämfört med nuvarande hantering, om inte lagringen skedde på respektive kärnkraftverk. Det bör även påpekas att torra lager har mindre flexibilitet när det gäller nya bränsletyper till exempel MOX och högre utbränningsgrader, vilket kan ge upphov till använt bränsle med höga neutronstrålningsnivåer. Vidare innebär kylkapacitetsbegränsningar vid torr lagring att dessa typer av använt kärnbränsle måste förvaras under långa tider i bränslebassänger innan de överförs till torr lagring.

Mångårig erfarenhet finns från våt lagring av använt kärnbränsle i bränslebassänger, men även från torr lagring främst av förglasat avfall. I såväl torr som våt lagring kan miljö-, säkerhets- och strålskydds krav uppfyllas så länge mänsklig övervakning och kontroll upprätthålls. Detta innebär att lagring troligen kan pågå i minst hundra år utan att säkerheten äventyras. I ett längre tidsperspektiv blir osäkerheterna större. Övervakad lagring är dock ingen slutförvaring, utan medför endast en fördröjning av att åstadkomma en lösning som uppfyller kraven på ett slutförvar.

5 Referenser

BEFAST III, 1996. "Extended storage of spent fuel. Final report of a co-ordinated research programme on the behaviour of spent fuel and storage facility components during long-term storage (BEFAST-III) 1991–1996." 1996-06-17.

Carter C, Doubt H, Teramura M, Yoshimura E, 2003. Multi-purpose canister storage of spent nuclear fuel in modular vault systems. Technology development. In: Storage of Spent Fuel from Power Reactors. Proceedings of IAEA conference, Vienna 2003.

Chin B A, Gilbert E R, 1989. "Prediction of maximum allowable temperatures for dry storage of Zircalloy-clad spent fuel in inert atmosphere", Nuclear Technol., Vol 85 April.

Hydro Quebec, 2004. Modification of radioactive waste storage facilities and refurbishment of Gentilly-2 nuclear power plant. Summary of the Environmental Impact Assessment. September 2004. Hydro Quebec.

IAEA, 2003. Storage of Spent Fuel from Power Reactors – International Conference held in Vienna, 2–6 June 2003 organized by the International Atomic Energy Agency in co-operation with the OECD Nuclear Energy Agency. October 2003 Vienna.

Holmberg P-A, 2006. Personlig kommunikation 2006-09-22. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Lietava P, Barták L, Cuba S, 2003. Current status of the spent fuel management from power reactors in the Czech Republic: Licensing and operational experience. Proceedings of IAEA conference, Vienna 2003.

Nuclear Disarmament Forum AG Zug – Switzerland, 2002. Interim spent fuel storage – Chapter 6. NDF 01.2002. March 2002.

NWMO, 2004. The Management of Canada's Nuclear Waste Legacy. Presentation given at the IYNC 2004 Technical Conference at Ginni Cheema, May 2004. Nuclear Waste Management Organisation, Canada.

OPG, 2004. Pickering Waste Management Facility. Ontario Power Generation Factsheet. <http://www.opg.com/ops/PickeringWMFFactSheet.pdf>

Petterson M, Grundfelt B, 2006. Förlängd lagring i Clab – beskrivning och uppdatering av kunskapsläget. SKB R-06-62. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Roland V, Chiguer M, Guénon Y, 2003. Dry storage technologies: Keys to choosing among metal casks, concrete shielded steel canister modules and vaults. In: Storage of Spent Fuel from Power Reactors. Proceedings of IAEA conference, Vienna 2003.

Shirai K, Wataru M, Takeda H, Saegusa T, 2003. Current status of R & D programme of spent fuel storage technology in CRIEPI. In: Storage of Spent Fuel from Power Reactors. Proceedings of IAEA conference, Vienna 2003.

SKB, 2006. Plan 2006. Kostnader för kärnkraftens radioaktiva restprodukter. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Verdier A, Roland V, Lebrun M, 2003. Interim storage and transport casks in Switzerland. Cogema logistics experience. In: Storage of Spent Fuel from Power Reactors. Proceedings of IAEA conference, Vienna 2003.

Vossnacke A, Hoffmann V, Nöring R, Sowa W, 2003. Management of spent fuel from power and research reactors using CASTOR® and CONSTOR® casks and licensing experience in Germany. In: Storage of Spent Fuel from Power Reactors. Proceedings of IAEA conference, Vienna 2003.

Teknisk information – transport och lagringsbehållare

I denna bilaga redovisas tekniska specifikationer för olika typer av transport och lagringsbehållare för använt kärnbränsle. Informationen utger sig inte för vara komplett utan är bara en sammanställning av framkommit material för nedanstående behållartyper.

Denna bilaga innehåller även produktinformation från leverantörer (Transnuclear och General Nuclear Systems Inc.) som hittats på Internet.

<http://www.transnuclear.com>

<http://www.gns.de>

Metallbehållare

Exempel på metallbehållare är TNTM och CASTOR[®] behållare. Även andra metallbehållare har utvecklats, till exempel i USA, Japan, Kanada. Metallbehållare kan lagras på olika sätt. Vissa behållare kan lagras stående i en lagerbyggnad. Andra behållare ska lagras in i en betongkonstruktion. Betongkonstruktionen kan vara ett enskilt betongskydd, en betongmodulkonstruktion (NUHOMS[®] och CANSTOR[®]) eller en lagerbyggnad där metallbehållarna lagras i ”brunnar” i en lagringskammare (CASCAD).

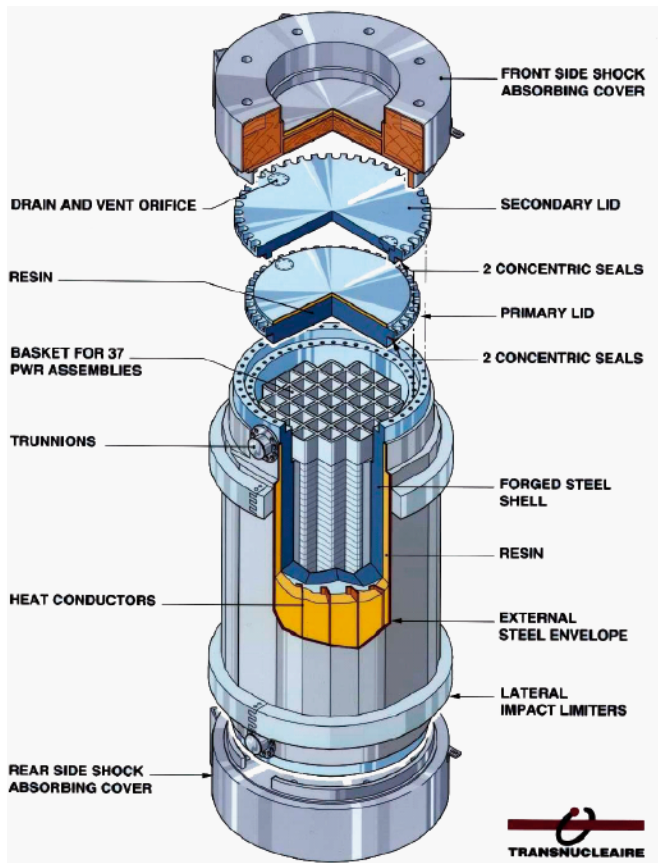
TNTM

Denna familj av lagringsbehållare används bland annat i USA, Schweiz, och Frankrike. COGEMA producerar behållarna. Behållarna fungerar både som lagrings- och transportbehållare. Behållarens design kan anpassas till olika behov, till exempel olika slags bränsle, antal element. Generellt klarar behållarna lagring av använt bränsle under en period av 40 år /Verdier et al. 2003, IAEA 2003/.

Behållaren består av en tjockväggig stålcyllinder med svetsad gjuten botten och två stycken gjutna lock som förseglats och bultats på plats. Stålcyllindern fungerar som avskärmning för gamma-strålning. Utanför den gjutna stålcyllindern finns ett lager plast (resin), för neutronavskärmning. Olika plaster kan användas, beroende på krav på temperatur, avskärmning med mera.

Storleken på behållarna är beroende av deras kapacitet. Innerkonstruktion (bränslekorgar) anpassas till bränsletyp och behållarens kapacitet, till exempel borinnehåll kan ändras med hänsyn till olika grader av urananrikning.

| Metallbehållare | Behållare av metall-betong sandwich konstruktion | Betongbehållare |
|--|--|---|
| TN TM -behållare (Trans Nuclear) | CONSTOR [®] | Japanska RC-behållare (Reinforced Concrete) |
| CASTOR [®] | DSC (Dry Storage Containers) | Japanska CFS behållare (Concrete Filled Steel) |
| MPC-behållare (Multi-Purpose Canister) | | |



Figur B1-1. TN™24 behållare för transport och lagring. Bild från /Verdier et al. 2003/. Källa: Transnuclear Inc./.



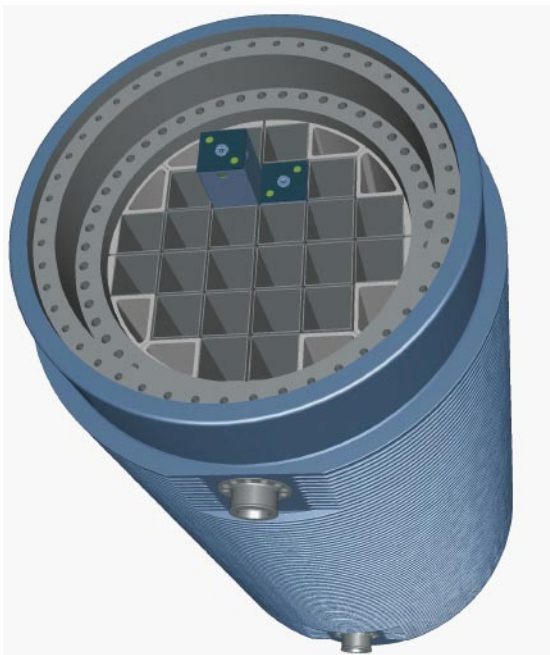
Figur B1-2. Två olika TN-behållare, TN™ 9/4 och TN™ 24BH-behållarna. Bild från /Roland et al. 2003/. Källa: IAEA.

CASTOR®

CASTOR® är en tjockväggig cylindrisk behållare tillverkad i gjutjärn. CASTOR® fungerar både som lagrings- och transportbehållare. Behållaren tillverkas med olika insatser för förglasat avfall, BWR-element och PWR-element. I figur B1-3 nedan visas en behållare avsedd för 24 PWR-element och i tabellen specifikationer.

CASTOR® V/21A

| | |
|------------------------|---------------------|
| Loading capacity | 24 PWR-FA* |
| Total heat output | Approx. 34 kW |
| Fuel enrichment (max.) | 5.0 wt. % U-235 |
| Burnup (max.) | 60 GWd/MTU |
| Total length | 4,886 mm |
| Outer diameter | 2,400 mm |
| Cavity height | 4,154 mm |
| Cavity diameter | 1,525 mm |
| Cask weight loaded | 106.0 metric tonnes |



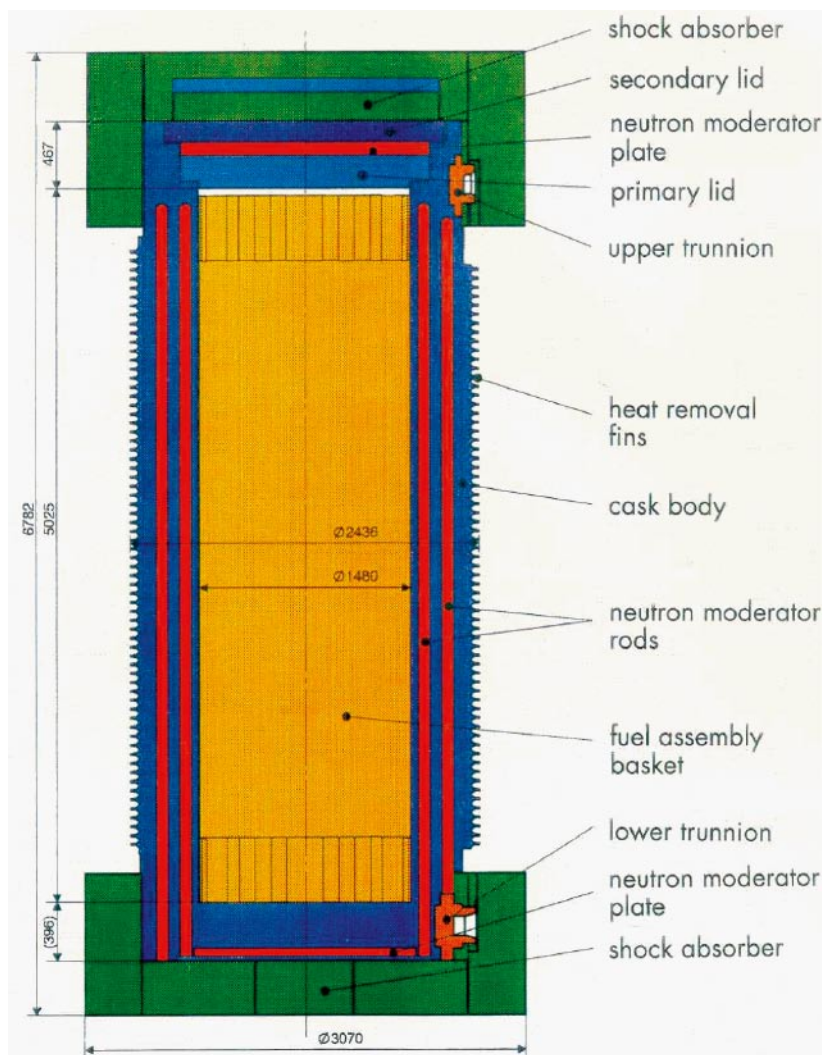
Figur B1-3. CASTOR® V/21A behållare avsedd för 24 PWR-element. Källa: GNS.

Metall-betong sandwichkonstruktion

CONSTOR®

CONSTOR® är en tjockväggig cylindrisk sandwichkonstruktion. Behållaren består av en inre och en yttre stålkonstruktion (cylindrar med gjuten botten). Armerad tung betong fyller mellanrummet. Betongen används för sina avskärmningsegenskaper (gamma och neutron) och behövs inte för behållarens mekaniska hållfasthet. Betongen är armerad för bättre värmeledning. Behållarens yta kan ha fenor för värmeavledning

Olika CONSTOR®-behållare finns för olika bränsleelement. CONSTOR®-behållare har tagits fram för PWR-element, BWR-element och RBMK-bränsle. Detaljerna för behållare med kapacitet för 32 PWR-element respektive 69 BWR-element visas i figur och tabell nedan. CONSTOR®-behållare för RBMK-bränsle innehåller 102-halva-bränsleelement och väger totalt 88 ton.



Figur B1-4. Konstruktion av en CONSTOR®-behållare. Bild från /Vossnacke et al. 2003/. Källa: IAEA.

CONSTOR® V/32 och V/69.

| | V/32 | V/69 |
|------------------------|---------------|-----------------------|
| Loading capacity | 32 PWR-FA* | 69 BWR-FA** |
| Total heat output | ≤ 32 kW | ≤ 32 kW |
| Fuel enrichment (max.) | 5 wt. % U-235 | 3.7 (5.0) wt. % U-235 |
| Burn-up (max.) | 60 GWd/MTU | 40 (60) GWd/MTU |
| Cooling time (min.) | 5 years | 5 years |
| Loading patterns | regional | uniform (regional) |
| Total length | 198 inch | 208 inch |
| Outer diameter | 96.5 inch | 96.5 inch |
| Cavity height | 169.5 inch | 178 inch |
| Cavity diameter | 69.0 inch | 69.0 inch |
| Cask weight loaded | ≤ 125 tons | ≤ 125 tons |

*Including control components / **Including channels.



Figur B1-5. CONSTOR® V/32 och V/69 avsedda för 32 PWR-element respektive 69 BWR-element.
Källa: GNS.

DSC (Dry Storage Containers)

Denna typ av behållare används i Kanada för lagring av Candu bränsleelement. Bränslet lagras i 10 år i bränslebassänger innan ilastning.

Varje behållare har väggar, topp och botten av 50 cm armerad betong. Behållaren har en inre och yttre fodring av stål. Behållarna har kapacitet för 384 använda Candu bränsleelement som lastas in i fyra olika bränslemoduler. Varje modul består av en korg som ligger horisontellt och atmosfären i behållaren är heliumgas. Behållaren är designad för 50-års livslängd.

DSC används bland annat av Ontario Power Generation (OPG) vid ”Darlington Dry Storage facility” och ”Pickering Waste Management Facility”.

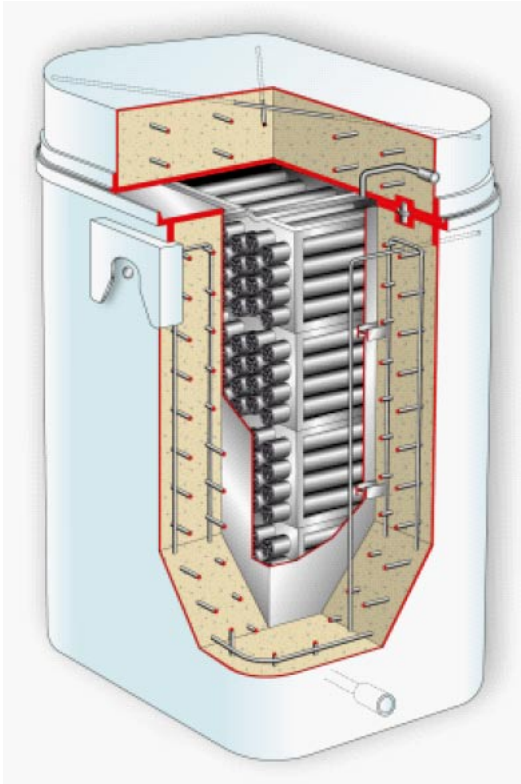
Betongbehållare

Betongbehållare omsluter oftast en tät inre metallbehållare som innehåller bränslet. Denna typ av behållare är designad för lagring i en enkel lagerbyggnad eller utomhus på en betongplatta. I denna typ av behållare ska luft cirkulera mellan betongkonstruktionen och den inre behållaren och leda bort värmen.

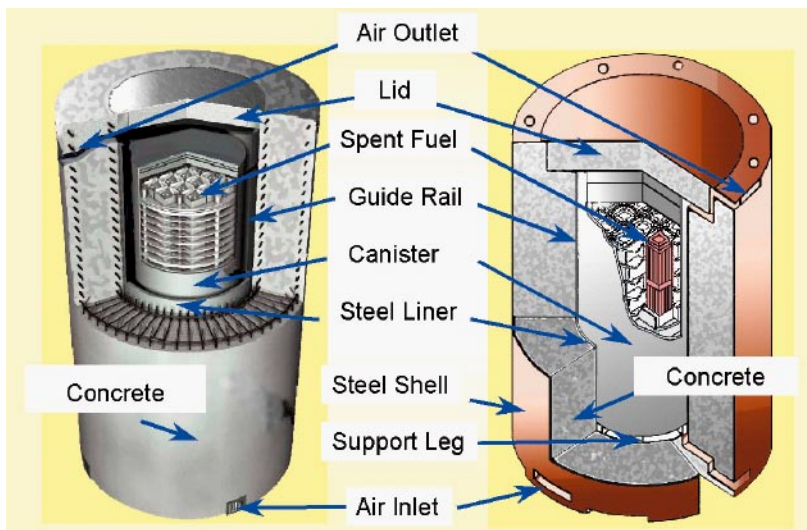
RC och CFS-behållare

Vid CRIEPI i Japan har två olika betongkonstruktioner utvecklats: en armerad betongbehållare, RC-behållaren (Reinforced Concrete) och CFS-behållaren (Concrete-Filled-Steel) som är en betong-stål sandwichkonstruktion. Det använda bränslet innesluts i en tät stålkanister. Ett luftintag finns i botten och luftutsläpp i toppen av betongkonstruktionen. Luften cirkuleras med självdrag. Behållarna har en designad livslängd mellan 40 och 60 år. Nedan redovisas dimensioner, temperaturdata och luftflöden vid tester av värmeavledning, samt en schematisk figur beskrivande de två betongkonstruktionerna.

| Construction | Length (m) | Diameter (m) outer inner | Weight (t) | Air (m/s) | Temp °C max normal) |
|---|------------|-----------------------------|------------|-----------|--|
| RC-casc Concrete around steel liner – guide rails for canister insertion. 1.7% reinforcement in concrete. High quality cement. Water cement ratio < 50%. | 5.79 | 3.94 1.85 | 150 | 0.29 | outlet air 92.5 concrete 74 canister surface 190 fuel cladding 318 |
| CFS-casc Steel liner and steel shell. Concrete fills space between shell and liner. | 6.12 | 3.8 1.84 | 154 | 0.29 | outlet air 81 concrete 72 canister surface 216 fuel cladding 315 |



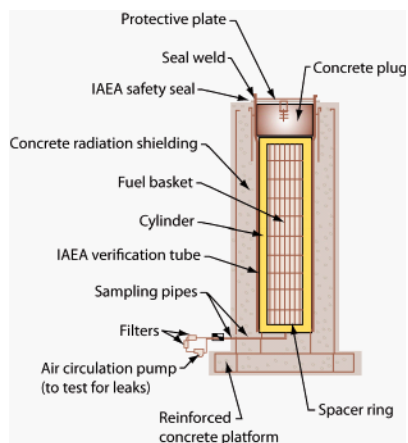
Figur B1-6. Konstruktion av "Dry Storage containers" (DSC). Bild från /OPG 2004/. Källa: Ontario Power Generation Inc.



Figur B1-7. Konstruktion av RC och CFS-behållare. Bild från /Shirai et al. 2003/. Källa: IAEA.

AECL Silos

Behållaren har utvecklats av AECL i Kanada och används bland annat vid anläggningarna Gentilly, Whiteshell, Douglas Point och Point Lepreau. Luftcirkulationen i AECL-silos är passiv – luftpumpar används endast för att kontrollera eventuella läckage. En schematisk beskrivning av en AECL Silo visas nedan.





Figur B1-8. AECL Silo för använt bränsle. Bild avritad från /Hydro Quebec 2004/. Källa: AECL.

Produktinformation

Transnuclear Inc. <http://www.transnuclear.com>

GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH <http://www.gns.de>



[AREVA](#) > [TRANSNUCLEAR Home](#) > [Product & Services](#) > [Metal Casks](#) > [Metal Cask-tn32](#)

TRANSNUCLEAR

ABOUT US
CLIENTS FIRST
PRODUCT & SERVICES
> NUHOMS®
> TN Metal Casks
> Nuclear Services

CAREERS
NEWS
QUALITY ASSURANCE

TN 32 Metal Cask

The TN-32 storage cask is a vertical storage system with self-contained steel and borated resin shielding; no concrete shielding is required. A bolted cover and double metal seal make for easy closure operations; no welding is required. Borated aluminum plates and stainless steel tubes form the basket assembly. Once loaded with fuel, the cask is drained, vacuum dried, and backfilled with helium to provide an inert environment for the fuel during storage. The TN-32 is available with either standard or single failure proof lifting trunnions.

Payload




| | |
|---------------------|---------------------------|
| PWR Fuel Assemblies | 32 |
| Maximum Burnup | 45 GWd/MTU |
| Minimum Decay Time | 7 Years |
| Maximum Enrichment | 4.05 w/o U ²³⁵ |
| Thermal | 32.7 kW |

Materials of Construction

| | |
|---|-------------------------------------|
| Shell and Cover Plates | 3.5% Ni Steel |
| Neutron Shielding | Borated Resin |
| Shield Shell, Trunnions, Outer Shell, Weather Cover | Carbon Steel |
| Basket Assembly | Stainless Steel Borated Aluminum |

Physical Data

| | |
|------------------|--------------------|
| Outside Diameter | 98" |
| Outside Height | 202" |
| Cavity Length | 163.25" or 164.37" |
| Weight, Empty | 182,000 lbs. |
| Weight, Loaded | 231,000 lbs. |



CONTACT | [SITEMAP](#) | [HELP](#) | [LEGAL INFO](#)
© TRANSNUCLEAR 2005

AREVA, LIVING BETTER THROUGH ADVANCED TECHNOLOGY

[Main subsidiary companies](#) ▼

<http://www.transnuclear.com/metalcask-tn32.htm>

2006-09-26



AREVA > TRANSNUCLEAR Home > Product & Services > Metal Casks > Metal Cask-tn68

- ABOUT US
- CLIENTS FIRST
- PRODUCT & SERVICES
 - > NUHOMS®
 - > TN Metal Casks
 - > Nuclear Services
- CAREERS
- NEWS
- QUALITY ASSURANCE



TN 68 Metal Cask

The TN-68 is the most modern bare fuel storage and transport cask in the industry. The TN-68 is a vertical storage system which is converted to a transport by the addition of impact limiters. The cask has self-contained steel and borated resin shielding; no concrete shielding is required. A bolted cover and double metal seal make for easy closure operations; no welding is required. Borated aluminum plates and stainless steel tubes form the basket assembly. Once loaded with fuel, the cask is drained, vacuum dried, and backfilled with helium to provide an inert environment for the fuel during storage. The TN-68 is handled by single failure proof trunnions.

Payload

| | |
|---------------------|--------------------------|
| BWR Fuel Assemblies | 68 |
| Maximum Burnup | 40 GWd/MTU |
| Minimum Decay Time | 10 Years |
| Maximum Enrichment | 3.7 w/o U ²³⁵ |
| Thermal | 21.1 kW |

Materials of Construction

| | |
|---|-------------------------------------|
| Shell and Cover Plates | 3.5% Ni Steel |
| Neutron Shielding | Borated Resin |
| Shield Shell, Trunnions, Outer Shell, Weather Cover | Carbon Steel |
| Basket Assembly | Stainless Steel Borated Aluminum |

Physical Data

| | |
|------------------|--------------|
| Outside Diameter | 98" |
| Outside Height | 215" |
| Cavity Length | 178" |
| Weight, Empty | 182,000 lbs. |
| Weight, Loaded | 230,000 lbs. |

Licenses

| | |
|-------------------|---------|
| General License | 72-1027 |
| Transport License | 71-9293 |





TRANSNUCLEAR

- ABOUT US
- CLIENTS FIRST
- PRODUCT & SERVICES
 - > NUHOMS®
 - > TN Metal Casks
 - > Nuclear Services
- CAREERS
- NEWS
- QUALITY ASSURANCE

AREVA > TRANSNUCLEAR Home > Product & Services > Nuhoms®



NUHOMS®

A tailor-made dry storage solution

Clear Advantages

- ▶ Stores more fuel than all other systems combined
- ▶ Highly robust concrete overpack
- ▶ Elegant and simple horizontal loading ([Loading Animation](#))
- ▶ Simplified interface with plant structures ([Animation 1](#)) ([Animation 2](#))
- ▶ Fast loading cycles and low occupational dose
- ▶ Easy retrieval for future transport
- ▶ Flexible technology for storage of fuel and other forms of high level waste



System Details

There are 3 highly integrated systems that make up NUHOMS®

- [Dry Shielded Canisters \(DSC\):](#)
- [Multi-Purpose Casks and Transfer Cask and Equipment:](#)
- [HSM \(Horizontal Storage Modules\):](#)

<http://www.transnuclear.com/nuhoms.htm>

2006-09-26



TRANSNUCLEAR

- ABOUT US
- CLIENTS FIRST
- PRODUCT & SERVICES
 - > NUHOMS®
 - > TN Metal Casks
 - > Nuclear Services

- CAREERS
- NEWS
- QUALITY ASSURANCE

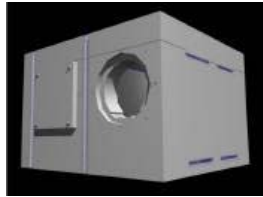


NUHOMS® Horizontal Storage Module (HSM)

HSMs are highly modular and expandable pre-cast concrete structures designed for the long-term storage of DSCs. The HSM surrounds the DSC with massive reinforced concrete which provides the spent fuel with the highest level of physical protection and radiological shielding. The HSM is ventilated allowing air to enter the module through the bottom vents, and flow around the DSC, and exit through the top vents. The completely passive cooling of the DSC is one of many safety features of the NUHOMS® system. The HSM is equipped with hardened stainless steel rails that provide the sliding surface for the DSC during loading and unloading operations. The simple and safe horizontal transfer is achieved without ever lifting the DSC. ([HSM Animation](#))

- ▶ Robust and capable of withstanding the most severe accident conditions.
- ▶ HSMs are closed packed for maximum shielding at the ISFSI.
- ▶ The massive HSMs are never moved during DSC transfer operation.
- ▶ Future unloading is done with out any crane lifts and independent of plant facilities.
- ▶ Flexible configuration which allows for increased concrete section thickness to enhance shielding.
- ▶ Prefabricated and delivered to the ISFSI. Not on site concrete construction with NUHOMS®.

NUHOMS® Standard HSM



The NUHOMS® Horizontal Storage Module (HSM) is the most widely used storage overpack in the United States. It offers unmatched safety, durability and stability for the dry storage of canisterized fuel.

NUHOMS® Advanced HSM



The NUHOMS® Advanced Horizontal Storage Module (AHSM) is the only general license overpack for high seismic regions, up to 1.5g horizontal acceleration

NUHOMS® HSM-H



The NUHOMS® H Horizontal Storage Module (HSM-H) offers high heat load capacity with enhanced shielding capability



Nuklear-Behälter-Produkte

CASTOR-Behälter



Design-Merkmale

Bestrahlte Brennelemente müssen nach der Entladung aus dem Reaktordruckbehälter zum Abklingen zunächst im Brennelementlagerbecken des Reaktorgebäudes gelagert werden. Nach einigen Jahren ist die Nachzerfallswärme so weit abgeklungen, dass die Brennelemente aus dem Becken in Transport- und Lagerbehälter geladen werden können.

Die weltweit am häufigsten dafür eingesetzten Behälter sind die CASTOR®-Behälter. CASTOR® ein international geschützter Markenname, steht für:

Cask for **S**torage and **T**ransport of radioaktive **M**aterials



Der Hauptbestandteil der schweren CASTOR®-Behälterkörper ist GGG 40, ein spezielles Gusseisen mit kugelförmig ausgebildetem Graphit. Dieser Spezialwerkstoff wird den besonderen Sicherheitsanforderungen in optimaler Weise gerecht dank seiner Duktilität.

Vier Anforderungen an die Behälter stehen im Vordergrund:

- sichere Umschließung des radioaktiven Inhalts,
- Abschirmung der Strahlung,
- Abführung der aus den radioaktiven Stoffen entwickelten Wärme,
- Gewährleistung der Unterkritikalität (Unmöglichkeit einer Kettenreaktion).

Aus diesem Grund wurden für die Behälterherstellung strikte Spezifikationen eingeführt, deren Einhaltung während der Herstellung und der Fertigstellung kontrolliert wird.

Das technische Behälterprinzip der Transport- und Lagerbehälter sieht so aus:

- Die Behälter sind mit zwei Deckeln verschlossen. Dieses "Doppeldeckelsystem" garantiert den sicheren Einschluss des radioaktiven Inventars.
- Die Dichtigkeit der Behälter ist ununterbrochen überwachbar.
- Spezial-Brennelementtraghörbe im Behälter sichern die Wärmeabfuhr von den Brennelementen an die Behälteroberfläche. Mit ihnen wird erreicht, dass die Brennelemente bei einer langfristigen Zwischenlagerung nicht beschädigt werden.
- Darüber hinaus sichern die Brennelementtraghörbe die Unterkritikalität der Spaltstoffe, die in den bestrahlten Brennelementen noch enthalten sind.
- Die Behälter sind so ausgelegt, dass sie selbst extremen Einwirkungen von außen, wie z. B. einem Flugzeugabsturz, standhalten. Der Nachweis dafür wurde in aufwändigen Versuchen und Berechnungen erbracht.



| |
|---------------------------|
| Nuklear-Behälter-Produkte |
| CASTOR®-Behälter |
| CONSTOR®-Behälter |
| POLLUX-Behälter |
| Nuklear-Behälter-Services |
| Nukleare Reststoffe |
| Brennstoffentsorgung |
| Anlagentechnik, Rückbau |
| Transporte |
| Genehmigungen |
| Zwischenlagerung |
| Endlagerung |

Info-Panel

- Abkürzungsverzeichnis**
- Kontakt**
- Seite drucken**



Sicherheit Referenzen



Sicher lagern

Weltweit eingelagerte GNS-Behälter :



| |
|-------------|
| Behälter |
| Tests |
| Zulassungen |
| Referenzen |

| Ort | Behältertype | Anzahl der eingelagerten Behälter (Stand Juli 2005) |
|--|---|---|
| US-Energieministerium "Department of Energy (DOE)", Idaho Falls, USA | CASTOR® V/21 | 1 |
| Kernkraftwerk Surry, Virginia/USA | CASTOR® V/21 CASTOR® X/33 | 25 1 |
| Transportbehälterlager Ahaus, Deutschland | CASTOR® THTR CASTOR® V/19 CASTOR® V/52 CASTOR® MTR 2 | 305 3 3 18 |
| Forschungszentrum Jülich, Deutschland | CASTOR® THTR | 132 |
| Transportbehälterlager Gorleben, Deutschland | CASTOR® IIa TS28V CASTOR® Ic CASTOR® V/19 CASTOR® HAW 20/28 CG | 1 1 1 3 51 |
| Kernkraftwerk Dukovany, Tschechische Republik | CASTOR® 440/84 | 56 |
| US-Energieministerium "Department of Energy (DOE)", Hanford, Washington, USA | CASTOR® GSF GNS-12 | 6 2 |
| Kernkraftwerk Greifswald, Deutschland | CASTOR® 440/84 CASTOR® KRB-MOX | 49 3 |
| Kernkraftwerk Rheinsberg, Deutschland | TLB Ic | 4 |
| Kernkraftwerk Koeberg, Republik Südafrika | CASTOR® X/28-F | 4 |
| Kernkraftwerk Ignalina, Litauen | CASTOR® RBMK CONSTOR® RBMK | 20 60 |
| Kernkraftwerk Neckarwestheim, Deutschland | CASTOR® V/19 | 15 |
| Kernkraftwerk Biblis, Deutschland | CASTOR® V/19 | 28 |
| Kernkraftwerk Philippsburg, Deutschland | CASTOR® V/19 CASTOR® V/52 | 8 3 |
| Kernkraftwerk Emsland, Deutschland | CASTOR® V/19 | 15 |
| ZWILAG, Schweiz | CASTOR® HAW 20/28 | 5 |
| Paul Scherrer Institut (PSI), Schweiz | CASTOR® Ic-Diorit | 1 |
| La Hague, Frankreich (zwecks Transport nach Gorleben) | CASTOR® HAW 20/28 CG | 11 |
| Forschungszentrum Rossendorf, Deutschland | CASTOR® MTR2 | 18 |
| Belgoprocess-Mol, Belgien | CASTOR® BR3 | 7 |
| Kernkraftwerk Krümmel, Deutschland | CASTOR®V/52 | 5 |
| GESAMT: | | 847 |

Info-Panel

- Abkürzungsverzeichnis
- Kontakt
- Seite drucken

- Referenzen
- Historisches
- Lagerprojekte**
- Transportprojekte
- Transferprojekte



Geschäftsfelder



Wir sorgen für Sicherheit – weltweit – mit CASTOR®-Behältern.

- über 1100 GNS Nuklear-Behälter bestellt
- über 920 GNS Nuklear-Behälter geliefert
- über 800 GNS Nuklear-Behälter eingelagert



GNS liefert bedarfsgerecht

Transport- und Zwischenlagerbehälter für abgebrannte Brennelemente aus

- LWR-Reaktoren der Typen DWR und SWR: CASTOR® V und CASTOR® X
- HTR-Reaktoren des Typs THTR/AVR: CASTOR® THTR/AVR
- WWER-Reaktoren, Typ 440: CASTOR® 440/84, CASTOR® 440/84 M, CONSTOR® WWER 440/84
- WWER-Reaktoren, Typ 1000: CASTOR® WWER 1000, CONSTOR® WWER 1000
- RBMK-Reaktoren: CASTOR® RBMK, CONSTOR® RBMK



Behälter für den Transport und die Zwischenlagerung verglaster hochaktiver Abfälle aus der Wiederaufarbeitung

- CASTOR® HAW 20/28 CG
- CASTOR® HAW 28M (für hohe Wärmeleistungen)



Behälter für den Transport, die Zwischen- und Endlagerung von LWR-Brennstoff

- POLLUX

Spezialbehälter für Brennelemente aus Forschungsreaktoren

- CASTOR® MTR 2
- GNS 16

Handhabungssysteme

- Schleusen- und Transfersysteme, Anschlagmittel
- Abfertigungswerkzeuge für Behälter
- Transportgestelle mit integrierten Stoßdämpfern und Haube
- Kontaminationsschutzhemden

| |
|---------------------------|
| Nuklear-Behälter-Produkte |
| CASTOR®-Behälter |
| CONSTOR®-Behälter |
| POLLUX-Behälter |
| Nuklear-Behälter-Services |
| Nukleare Reststoffe |
| Brennstoffentsorgung |
| Anlagentechnik, Rückbau |
| Transporte |
| Genehmigungen |
| Zwischenlagerung |
| Endlagerung |

Info-Panel

- Abkürzungsverzeichnis**
- Kontakt**
- Seite drucken**



Nuklear-Behälter-Produkte

CONSTOR-Behälter



Design-Merkmale

Der CONSTOR®-Behälter, eine Abwandlung der CASTOR®-Behälter-Technologie, ist ein Behälter aus Stahl und Schwerbeton für bestrahlte Brennelemente, der zwei Vorteile miteinander verbindet: Den Vorteil von Stahl, der sich in der Vergangenheit bestens bewährt hat, wie unsere Erfahrungen mit Metallbehältern zeigen, verbunden mit dem Vorteil von Schwerbeton zur



Abschirmung. Beim CONSTOR® handelt es sich ebenfalls um ein Mehrzweck-System für die sichere Zwischenlagerung und den Transport von bestrahlten Brennelementen oder hochaktiven Abfällen, das insbesondere bei etwas geringeren Wärmeleistungen des Inventars als im CASTOR® angewendet werden kann.

Der Name CONSTOR® setzt sich zusammen aus den englischen Begriffen **CON**crete **STOR**age Cask.

Der beschriebene Behälter wurde entwickelt, um einen hohen Sicherheitsstandard zu einem besonders wirtschaftlichen Preis anzubieten. Er kann darüber hinaus in allen Ländern hergestellt werden, welche die entsprechenden Industrieanlagen besitzen. Er besteht aus einem Stahl-Beton-Körper mit einem doppelten Verschluss-System. Dieser doppelwandige Behälter ist aus einem inneren und einem äußeren Stahlmantel gefertigt, die beide an ein Kopfstück angeschweißt werden. Der Raum zwischen den Stahlmängeln wird mit Schwerbeton gefüllt. Die beiden Verschluss-Deckel können entweder verschraubt oder verschweißt werden. Die Behälter vom Typ CONSTOR® wurden ebenso wie die CASTOR®-Behälter umfangreichen Tests (Falltests, Feuertests) unterzogen.






GNS hat insgesamt bereits 40 CONSTOR®-Behälter an das Kernkraftwerk Ignalina in Litauen ausgeliefert. Die guten Erfahrungen mit diesem Behältertyp führten bereits zu einem Folgeauftrag über 20 weitere Behälter.

2004 wurde ein Vertrag mit dem KKW Kozloduy über die Lieferung von 34 CONSTOR® 440/84-Behälter abgeschlossen.

| |
|---------------------------|
| Nuklear-Behälter-Produkte |
| CASTOR®-Behälter |
| CONSTOR®-Behälter |
| POLLUX-Behälter |
| Nuklear-Behälter-Services |
| Nukleare Reststoffe |
| Brennstoffentsorgung |
| Anlagentechnik, Rückbau |
| Transporte |
| Genehmigungen |
| Zwischenlagerung |
| Endlagerung |

Info-Panel

-  **Abkürzungsverzeichnis**
-  **Kontakt**
-  **Seite drucken**

