

Technologické riešenia skladovania VJP vo svete

1. SÚČASNÉ TRENDY NAKLADANIA S VJP

Jadrový priemysel za posledné desaťročia nazhromaždil množstvo skúseností z prevádzky jadrových elektrární a taktiež aj množstvo vyhorelého paliva. V priebehu posledných 50 rokov bolo z veľkej časti VJP bezpečne skladované v mokrých medziskladoch. Nové výzvy na predĺženie životnosti existujúcich a nových skladovacích zariadení požadujú zabezpečiť bezpečné skladovanie na oveľa dlhšiu dobu než bola pôvodne plánovaná, t. j. na dobu 100 a viac rokov.

Mokrú skladovanie VJP sa považuje za vyspelú technológiu. Suché skladovanie sa intenzívne vyvíjalo najmä v posledných desaťročiach a v súčasnosti je považované za vyspelú technológiu skladovania VJP.

V súčasnosti existujú rôzne licencované skladovacie systémy, ktoré sa stále vo väčšej miere budujú na európskom ako aj americkom kontinente.












2. POPIS NAKLADANIA S VJP V NIEKTORÝCH VYBRANÝCH ČLENSKÝCH KRAJINÁCH EÚ A IAEA

Výber a zdôvodnenie výberu krajín

Pre výber desiatich krajín patriacich do EÚ resp. do IAEA boli pre rešerš s ohľadom na porovnanie s prijatou stratégiou nakladania s VJP v Slovenskej republike zvolené nasledujúce kritériá:

- hospodárska vyspelosť krajiny a jej veľkosť;
- veľkosť jadrového programu;
- skúsenosti s palivom typu VVER-440, resp. s iným LWR typom paliva.

Na základe uvedených kritérií bolo vybraných a popísaných 5 členských krajín Európskej Únie a ďalších 5 krajín, ktoré sú členmi IAEA. Krajiny sú uvedené a stručne popísané v nasledujúcej tabuľke. Krajiny, ktoré majú skúsenosti s palivom typu VVER-440, sú v tabuľke farebne zvýraznené.

EÚ			IAEA		
Bloky JE v prevádzke 65		Vyraďované bloky 7	Bloky JE v prevádzke 84		Vyraďované bloky 12
AR Mokrú skladovanie	FRANCÚZSKO  Prepracovanie	AFR Suchú skladovanie	AR Mokrú skladovanie	USA  Priame ukladanie	AFR Suchú skladovanie
Bloky JE v prevádzke 8		Vyraďované bloky 11	Bloky JE v prevádzke 35		Vyraďované bloky 4
AR Mokrú skladovanie	NEMECKO  Hlbinné úložisko	AFR Suchú skladovanie	AR Mokrú skladovanie	RUSKO  Prepracovanie/ Hlbinné úložisko	AFR Mokro-suchú skladovanie
Bloky JE v prevádzke 6		Vyraďované bloky 0	Bloky JE v prevádzke 15		Vyraďované bloky 0
AR Mokrú skladovanie	ČESKO  Hlbinné úložisko	AFR Suchú skladovanie	AR Mokrú skladovanie	UKRAJINA  Priame ukladanie	AFR Suchú skladovanie
Bloky JE v prevádzke 4			Vyraďované bloky 2		
AR Mokrú skladovanie	SLOVENSKO  Hlbinné úložisko			AFR Mokrú skladovanie	
Bloky JE v prevádzke 4		Vyraďované bloky 0	Bloky JE v prevádzke 2		Vyraďované bloky 4
AR Mokrú skladovanie	MAĎARSKO  Plánované hlbinné úložisko	AFR Suchú skladovanie	AR Mokrú skladovanie	BULHARSKO  Hlbinné úložisko	AFR Suchú skladovanie
Bloky JE v prevádzke 4		Vyraďované bloky 0	Bloky JE v prevádzke 1		Vyraďované bloky 0
AR Mokrú skladovanie	FÍNSKO  Priame ukladanie	AFR Mokrú skladovanie	AR Mokrú skladovanie	ARMÉNSKO  Priame ukladanie	AFR Suchú skladovanie

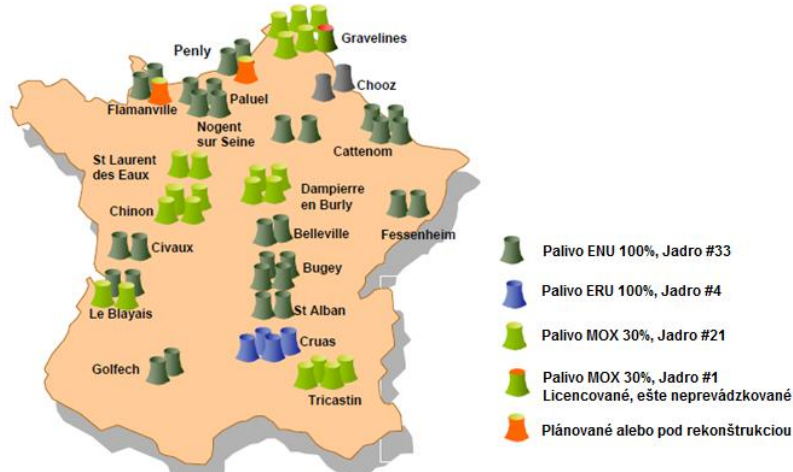
Tab. 1 Vybrané krajiny a ich stručný popis podľa zvolených kritérií

2.1 Popis nakladania s VJP vo vybraných členských krajinách EÚ

2.1.1 Francúzsko

2.1.1.1 Stručný popis jadrového programu

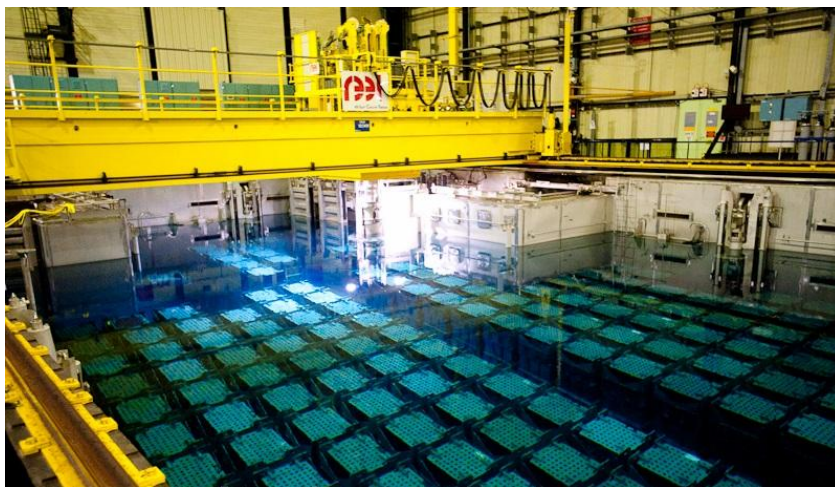
Francúzsko má 65 aktívnych reaktorov, pričom väčšina z nich je typu PWR s priemerným dodávaným elektrickým výkonom cca 1 190 MW. Výnimkou je jadrová elektrárňa Phénix, situovaná na juhovýchode krajiny, ktorá vlastní jeden reaktor typu FBR s kapacitou 233 MW.



Obr. 1 Jadrové zariadenia vo Francúzsku (AREVA, 2010)

2.1.1.2 Stručný popis nakladania s VJP

VJP po výbere z reaktorov je ochladzované minimálne tri roky v bazénoch naplnených vodou, ktoré sú umiestnené v reaktorových halách. Potom sa VJP transportuje železnicou a cestnou prepravou do prepracovateľského závodu v La Hague. Pred prepracovaním sa tu VJP opäť niekoľko rokov skladuje v masívnych chladiacich bazénoch. Po prepracovaní sa VJP rozdelí na tri hlavné produkty: urán, plutónium a vysoko rádioaktívne odpady. Vysoko rádioaktívne odpady sú umiestnené do suchého medziskladu v La Hague.

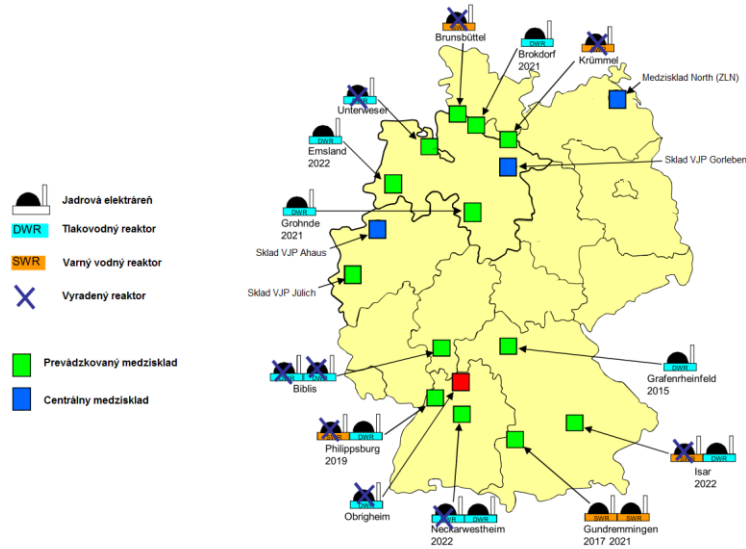


Obr. 2 Skladovacie bazény prepracovateľského závodu v La Hague (AREVA, 2011)

2.1.2 Nemecko

2.1.2.1 Stručný popis jadrového programu

Nemecko má v súčasnosti osem aktívnych jadrových reaktorov, pričom prevládajú reaktory typu PWR s priemerným elektrickým výkonom 1 390 MW. Disponuje aj štyrmi reaktormi typu BWR s priemerným elektrickým výkonom 840 MW. Je potrebné spomenúť jadrovú elektráreň Greifswald, ktorá transformovala jadrovú energiu na elektrickú medzi rokmi 1974-1990. Pracovala so štyrmi reaktormi VVER-440/V230 a jedným reaktorom VVER-440/V213.



Obr. 3 Jadrové zariadenia v Nemecku (Center, 2006)

2.1.2.2 Stručný popis nakladania s VJP

VJP sa po vybratí z jadrového reaktora, ponorí do prechodného skladu, ktorý predstavuje bazén naplnený vodou. Tu sa skladuje minimálne 3 roky. Palivové kazety sú v medziskladoch umiestnené do kontajnerov typov CASTOR (HAW28M a V/19 od GNS) alebo TN (85 a 24E od AREVA Transnuclear), pričom po celú dobu sú ochladzované okolitým vzduchom.



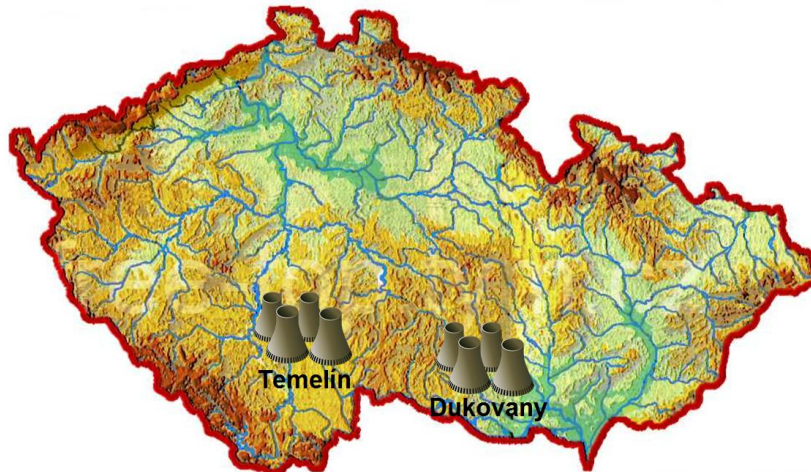
Obr. 4 Sklad VJP v Gorlebene (GNS, 2010)

2.1.3 Česko

2.1.3.1 Stručný popis jadrového programu

V Česku sa nachádzajú dva jadrové elektrárne:

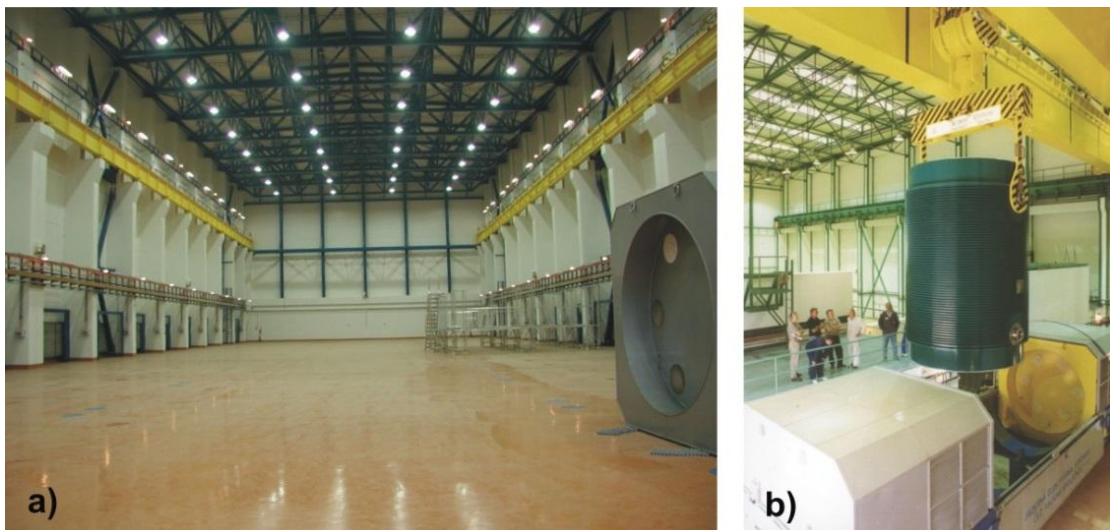
- JE Dukovany: sa nachádza na juhu republiky vedľa obce Dukovany a pracuje so štyrmi reaktormi typu VVER 440/V213 s kapacitou 500MW;
- JE Temelín: je situovaná na juhozápade krajiny vedľa obce Temelín, v dvoch blokoch (Temelín 1 a Temelín 2) je po jednom reaktore typu VVER 1000/V320 PW s kapacitou 1013MW.



Obr. 5 Jadrové zariadenia v Česku (ZTS VVÚ Košice a.s., 2014)

2.1.3.2 Stručný popis nakladania s VJP

Po výbere VJP z reaktora sa pod hladinou vody kanálom prevezie do bazény VJP, ktorý sa nachádza v reaktorovej hale vedľa reaktora. Tam sú palivové články uložené pod vodou niekoľko rokov (min. 3 roky) Potom sa články vložia do kovových transportno-skladovacích kontajnerov typu CASTOR (firmy GNS) a transportujú do suchého medziskladu VJP.



Obr. 6 Suchý medzisklad v JE Dukovany (ČEZ, 2012)

2.1.4 Maďarsko

2.1.4.1 Stručný popis jadrového programu

V Maďarsku sa nachádza jediná jadrová elektrárňa v meste Paks, nachádzajúca sa v župe Tolna približne v strede republiky. Má štyri aktívne bloky po jednom reaktore typu VVER 440/V213 s maximálnou kapacitou 500 MW. V budúcnosti sa plánuje výstavba dvoch ďalších blokov.



Obr. 7 Jadrové zariadenie v Maďarsku (ZTS VVÚ Košice a.s., 2014)

2.1.4.2 Stručný popis nakladania s VJP

Suchý medzisklad VJP bol uvedený do prevádzky v roku 1997 a je situovaný pri areáli jadrovej elektrárne Paks, pripojený k jej južnej strane. Po vyhorení sa VJP umiestni do bazéna vedľa reaktora, kde zotrvá minimálne 3 roky. Potom sa kazety prepravujú do suchého medziskladu, kde sú po vysušení umiestnené do hrubostenných hermeticky uzavretých oceľových puzdirov. Sálajúce teplo je odvádzané vetracím systémom. V Paksi je aplikovaný modulárny vertikálny systém suchého skladovania (MVDS od spoločnosti GEC ALSTHOM).



Obr. 8 Kompletné skladovacie zariadenie v JE Paks (RHK, 2009)

2.1.5 Fínsko

2.1.5.1 Stručný popis jadrového programu

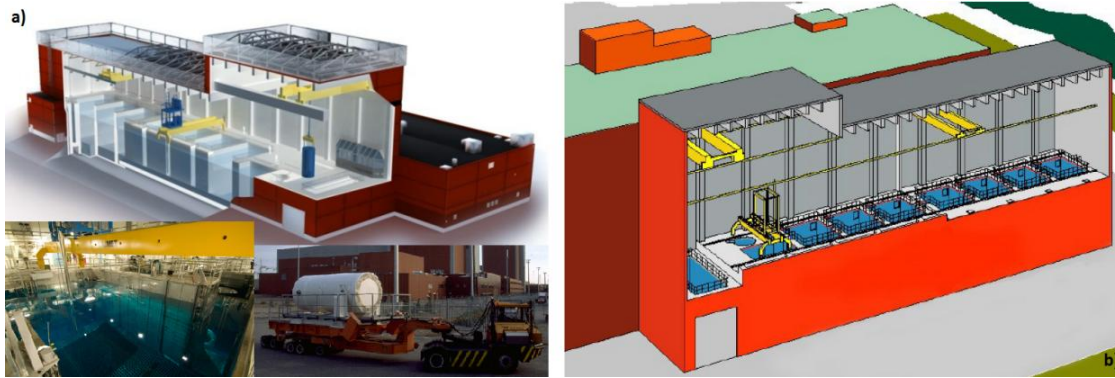
Fínsko má štyri aktívne reaktory, pričom dva sú typu VVER 440/V213 (dodávajú elektrický výkon 510 MW) a dva typu BWR s kapacitou 860 MW.



Obr. 9 Jadrové zariadenia vo Fínsku (POSIVA, 2012)

2.1.5.2 Stručný popis nakladania s VJP

Po výbere palivových kaziet z reaktora sa umiestnia do bazénov v reaktorovej hale, kde zotrávajú niekoľko rokov (minimálne 3 roky). Následne sa v transportných kontajneroch transportujú do medziskladu, kde sú uložené do vodou naplnených bazénov približne po dobu 40 rokov.



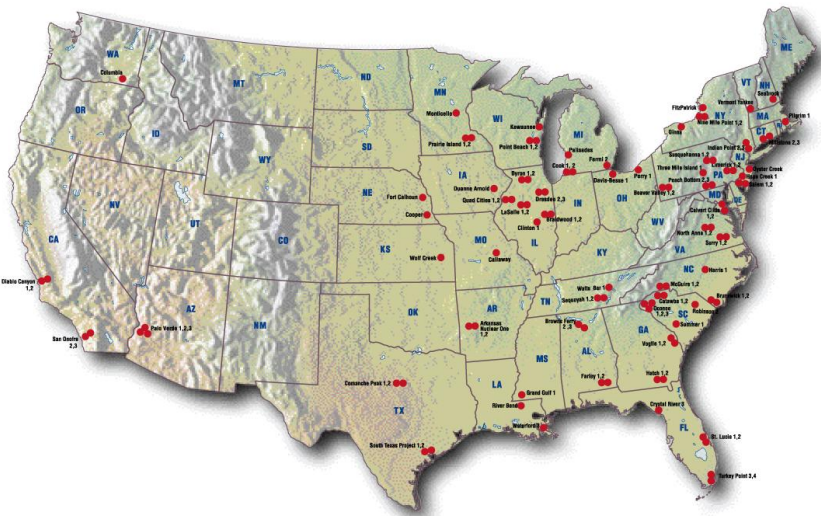
Obr. 10 Medzisklad v JE Olkiluoto (vľavo) a v JE Loviisa (vpravo) (POSIVA, 2013)

2.2 Popis nakladania s VJP vo vybraných členských krajinách IAEA

2.2.1 Spojené štáty americké

2.2.1.1. Stručný popis jadrového programu

Spojené štáty disponujú celkovo 84 aktívnymi reaktormi. Prevládajú reaktory typu PWR s priemerným elektrickým výkonom 1 050 MW, na druhom mieste sú reaktory typu BWR s priemerným elektrickým výkonom 957 MW a v JE Hope Creek v štáte New Jersey je prevádzkovaný jeden reaktor GE-5 s elektrickým výkonom 1059 MW.



Obr. 11 Jadrové zariadenia v USA (WNA, 2013)

2.2.1.2 Stručný popis nakladania s VJP

V Spojených štátoch sa VJP považuje za jadrový odpad. V súčasnosti takmer všetko VJP zostáva v areáli jadrovej elektrárne. Ak sa chladiace bazény JE úplne naplnia, najstaršie palivové kazety sa preložia do vzduchom chladených skladovacích kontajnerov, ktoré sú potom umiestnené na otvorenom priestranstve.

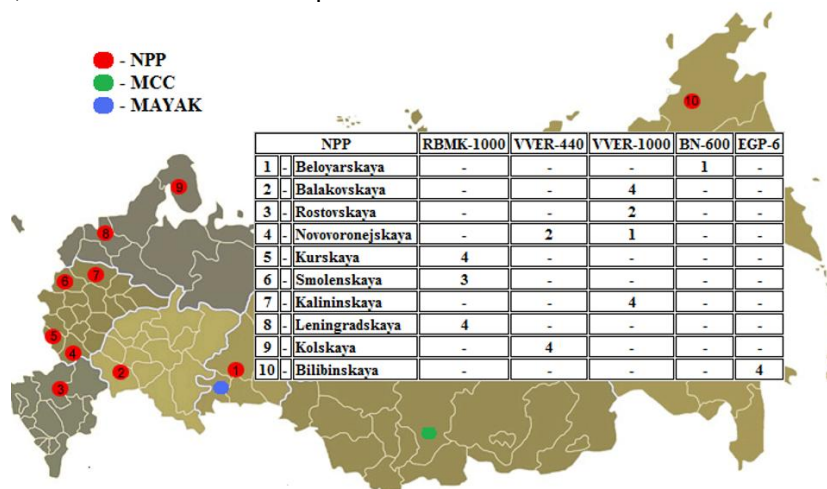


Obr. 12 Otvorený medzisklad v JE Vermont Yankee (Toby Talbot/AP/File, 2010)

2.2.2 Rusko

2.2.2.1 Stručný popis jadrového programu

Rusko má 35 aktívnych jadrových reaktorov, z ktorých 6 je typu VVER-440 (dva V230, dva V213 a dva V179). Ďalších 11 reaktorov je typu VVER-1000, a zvyšné reaktory sú typu RBMK-1000, BN-600 a GBWR-12 resp. označenia EGP-6.



Obr. 13 Jadrové zariadenia v Rusku (IAEA, 2006)

2.2.2.2 Stručný popis nakladania s VJP

Po vyhorení sa VJP umiestni do bazéna vedľa reaktora, kde zotrvá minimálne 3 roky. Následne sa VJP z reaktorov VVER-440, BN-350 a BN-600 transportuje do prepracovateľského závodu. Po prepracovaní sa získava urán používaný v tepelných neutrónových reaktoroch (VVER-440, VVER-1000, RBMK-1000) a plutónium, ktoré sa využíva v rýchlych neutrónových reaktoroch (BN-350, BN-600). Rádioaktívny odpad sa po kondíciovaní transportuje do hlbinného úložiska. Iný proces prebieha pri VJP z reaktorov

RBMK-1000, ktorý sa po minimálne 3 ročnom ochladzovaní v bazénoch pri reaktoroch prepravuje do medziskladov.



Obr. 14 Prepracovateľský závod RT-1 (Rosatom, 2009)

2.2.3 Ukrajina

2.2.3.1 Stručný popis jadrového programu

Ukrajina vlastní 15 aktívnych reaktorov s prevahou typu VVER-1000. JE Rivne na severozápade krajiny pracuje s dvoma reaktormi typu VVER-440 (jeden pracuje s kapacitou 361 MW a druhý 384 MW).



Obr. 15 Jadrové zariadenia na Ukrajine (INS, 1999)

2.2.3.2 Stručný popis nakladania s VJP

JE Zaporizhje je VJP minimálne 3 roky v bazénoch skladovania, odkiaľ, sú transportované do vetraných vertikálnych betónových skladovacích zásobníkov umiestnených na betónovom základe. VJP z VVER-440 produkované v JE Rivne sa transportuje do Ruska na prepracovanie. Palivové kazety z VVER-1000 z elektrární Chmelnycky, Rivne a Južná

Ukrajina sa skladujú v Rusku, čo Ukrajinu ročne stojí približne 100 miliónov dolárov. Z toho dôvodu sa pristúpilo na výstavbu centrálného suchého medziskladu v Černobyle.



Obr. 16 Medzisklad JE Zaporizhia (Energoatom, 2010)

2.2.4 Bulharsko

2.2.4.1 Stručný popis jadrového programu

V súčasnosti má Bulharsko jedinú pracujúcu jadrovú elektrárňu Kozloduy na severe krajiny s dvoma prevádzkovanými reaktormi typu VVER-1000. Vlastní aj štyri reaktory VVER-440, ktoré sú v súčasnosti mimo prevádzky.



Obr. 17 Jadrové zariadenie v Bulharsku (INS, 1999)

2.2.4.2 *Stručný popis nakladania s VJP*

V máji roku 2011 bol v JE Kozloduy otvorený suchý medzisklad VJP. Po vybratí VJP z bazéna skladovania na blokoch elektrárne (po minimálne 3 rokoch) sa transportuje do medziskladu, kde sa bude skladovať po dobu 50 rokov v kontajneroch typu CONSTOR.



Obr. 18 Kontajnery typu CONSTOR v medzisklade Kozloduy (IAE, 2005)

2.2.5 Arménsko

2.2.5.1 *Stručný popis jadrového programu*

Arménsko má jednu jadrovú elektrárňu Medzamor na západe s dvoma reaktormi typu VVER-440, z ktorých jeden bol odstavený ešte v roku 1989.



Obr. 19 Jadrové zariadenie v Arménsku (INS, 1999)

2.2.5.2 Stručný popis nakladania s VJP

V elektrárni Medzamor je v prevádzke suchý medzisklad VJP. Palivové kazety umiestnené v kovových hermetických kanistroch sa z chladiacich bazénov v reaktorovej hale transportujú do betónových skladovacích modulov.



Obr. 20 Systém NUHOMS v JE Medzamor (AREVA, 2011)

3. VŠEOBECNÝ POPIS TYPOV TECHNOLOGIE SUCHÉHO SKLADOVANIA VJP

V tejto kapitole sú popísané dostupné skladovacie a transportné obalové súbory rôzneho vyhotovenia určené pre suchý spôsob skladovania rozdelené podľa typu konštrukcie a účelu použitia. Všetky OS musia zabezpečiť dostatočnú fyzickú ochranu voči vonkajším vplyvom, biologickú ochranu voči ionizujúcemu žiareniu a odvod zvyškového tepla, ktorý je riešený zvyčajne pasívnym systémom, t. j. prirodzenou cirkuláciou okolitého vzduchu okolo povrchu kanistra, resp. kontajnera. V špecifických prípadoch podzemných OS je vzduch vedený systémom špeciálnych kanálov. V nasledujúcej tabuľke sú uvedené rôzne najčastejšie spôsoby suchého skladovania.

Typ	Prevod tepla	Obalový súbor	Tienenie	Použitie	Príklad
Kovový kontajner (sud)	Vedením cez stenu telesa	Systém dvojitého veka s kovovým tesnením a inertným plynom v sude	Kovová stena	Dvojúčelový OS	CASTOR, TN,

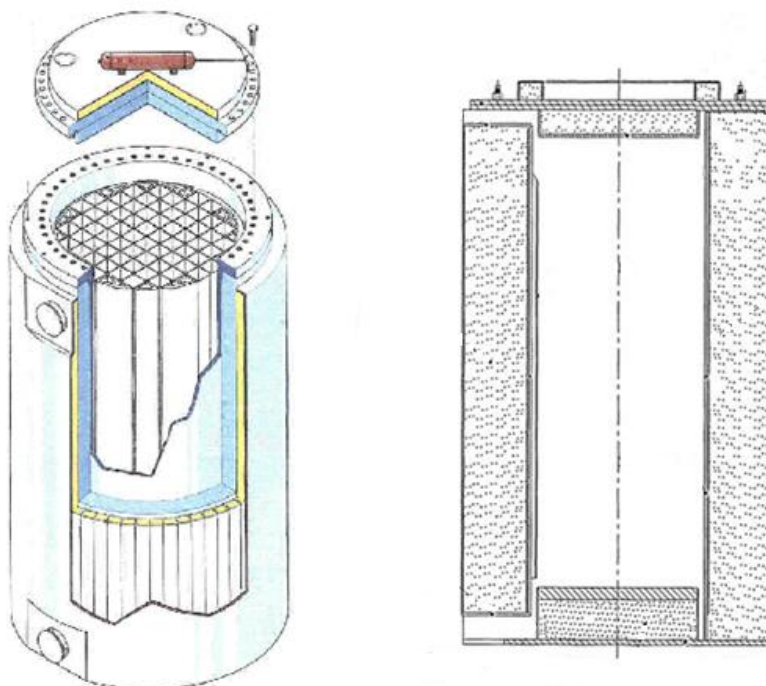
Betónový kontajner (silo)	Prúdením vzduchu okolo kanistra	Zváraný kanister, inertný plyn v kanistri	železobetón , betón s oceľovým opláštením	Vertikálne ukladanie PK	TSC, CONSTOR, HI-STORM, HI-STAR
Betónový modul	Prúdením vzduchu okolo kanistra	Utesnený kanister, inertný plyn v kanistri	Betónová stena	Vodorovné ukladanie PK	NUHOMS, MPC-UMS, MAGNASTOR
Trezor (vault)	Prúdenie vzduchu okolo puzdra	Puzdro, inertný plyn v puzdre	Betónová stena		MVDS, MACSTOR, CANSTOR
Tunel (kanál, šachta, vrt)	Vedenie cez zeminu	Kanister s inertným plynom	zemina	Podzemné uloženie	

Tab. 2 Typy suchých skladovacích súborov

Základné rozdiely voči vyhotoveniu obalových súborov v Európe a v Amerike sú v uvažovaní možnosti prepracovania paliva. Na základe konštrukcie týchto OS ich delíme na kontajnery:

- na báze kanistrov – obsahujú hermeticky uzavretý kanister, ktorý zabezpečuje tesnosť a odolnosť, a rovnako aj podkritickosť, (Holtec - MPC systémy, NAC - TSC systémy, TN - DSC systémy);
- na báze sudov (bez kanistra) – obsahujú otvorený palivový kôš, pričom hermetickú tesnosť zabezpečuje špeciálny systém viek kontajnera (GNS – CASTOR, CONSTOR).

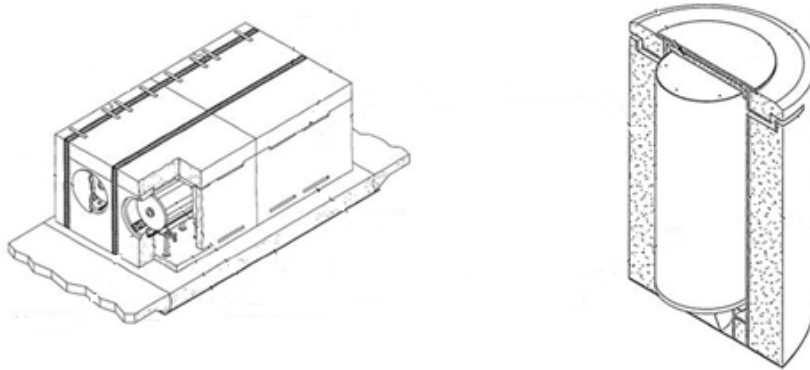
Na nasledujúcom obrázku je znázornený transportno-skladovací kontajner na báze sudov (AREVA TN) a skladovací kontajner na báze kanistrov (HOLTEC HI-STORM).



Obr. 21 Vertikálny skladovací kontajner so skrutkovaným vekom a so zváraným vekom

Systémy na báze zváraných kanistrov voči systémom na báze sudov nevyžadujú potrebu monitorovania tesnosti kanistra v priebehu skladovania. Avšak neumožňujú ľahký prístup ku kontrole palivových kaziet potrebný napríklad pre prípad skladovania pred prepracovaním paliva.

Konštrukčné vyhotovenia telies obalových súborov ako aj systémov ich uzatvárania sú rozmanité. Na nasledujúcom obrázku je zobrazený príklad skladovania kanistrov v horizontálnom skladovacom module so skrutkovaným vekom a vertikálnom skladovacom module so zváraným vekom.



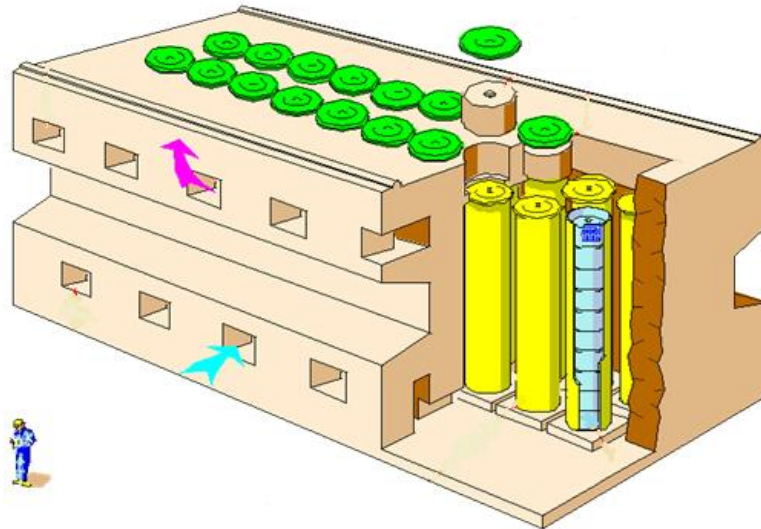
Obr. 22 Betónový skladovací modul so skrutkovaným a zváraným uzáverom

3.1 Najpoužívanejšie OS pre suché skladovanie VJP

V ďalšom texte sú popísané najpoužívanejšie v súčasnosti certifikované obalové súbory podľa výrobcu.

3.1.1 CANDU

MACSTOR – modulárny vzduchom chladený skladovací systém silového typu pre palivo reaktorov typu PHWR na prírodný urán. Je tvorený vystuženými železobetónovými modulmi vo dvoch vyhotoveniach – modul 200 a modul 400. Každý modul obsahuje 20 kovových puzdier, do ktorých je možné uložiť 10 zásobníkov s vyhoreným palivom. Materiál palivového koša je nehrdzavejúca oceľ. Projektovaná životnosť modulu je 50 až 100 rokov.



Obr. 23 Princíp systému MACSTOR 400 (CANDU, 2013)

3.1.2 Energy Solution

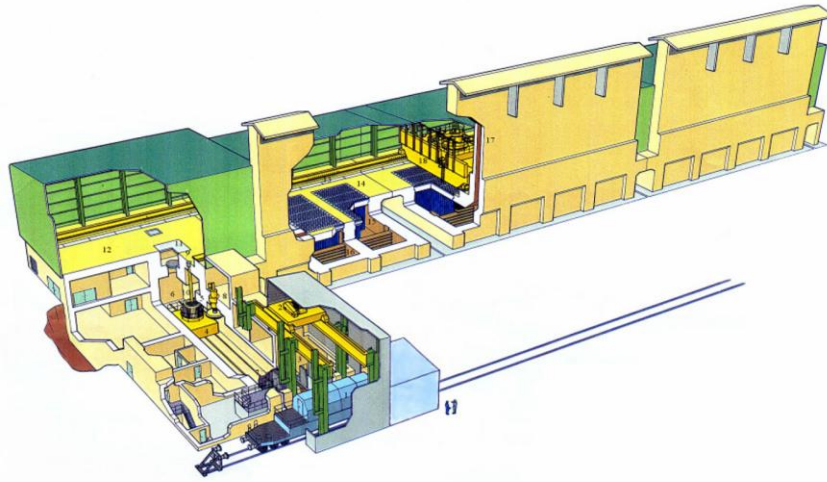
V roku 2006 spoločnosť kúpila BNG FuelSolutions a stala sa držiteľom licencie pre kanistre s označením VSC-24. Tieto sú používané v USA. Jedná sa o systém betónových kontajnerov pre 24 palivových súborov typu PWR. Základom je viacúčelový oceľový zvaraný kanister opatrený náterom CarboZinc uložený vo vertikálnom betónovom kontajneri. Chladenie prirodzeným prúdením vzduchu zabezpečujú štyri vstupné a štyri výstupné otvory. Kontajner poskytuje dostatočnú biologickú ochranu.



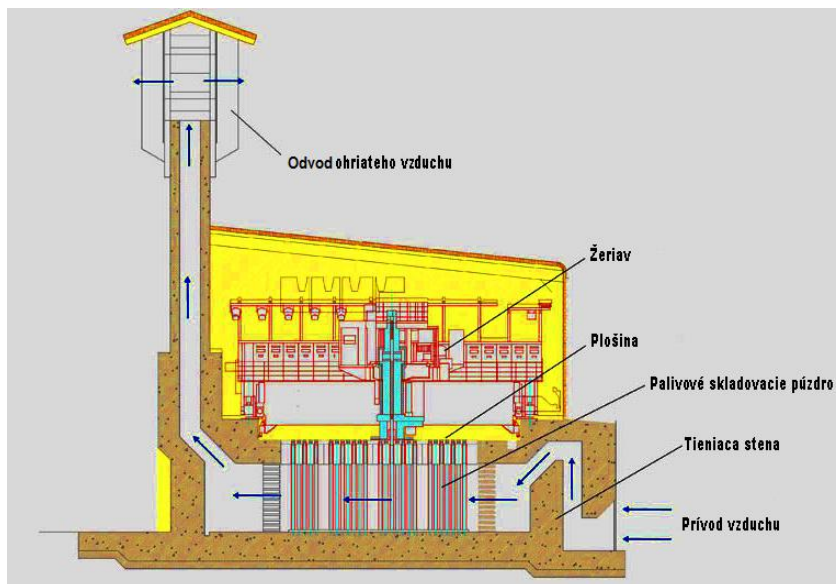
Obr. 24 VSC-VVER, Zaporožnaja – Ukrajina

3.1.3 GEC ALSTHOM – (v licencii Foster Wheeler Energy)

MVDS je systém vertikálneho suchého skladovania paliva v skladovacích hermetických puzdrách naplnených inertným alebo aktívnym plynom (héliom, dusíkom, oxidom uhličitým) pod tzv. modulárnou klenbou. Odvod tepla zabezpečuje prúd vzduchu vstupujúci prostredníctvom kanálu a ohriaty okolo kanistrov vystupuje výfukovým komínom. Biologickú ochranu zabezpečuje klenbovitá betónová konštrukcia.



Obr. 25 Princíp MVDS systému



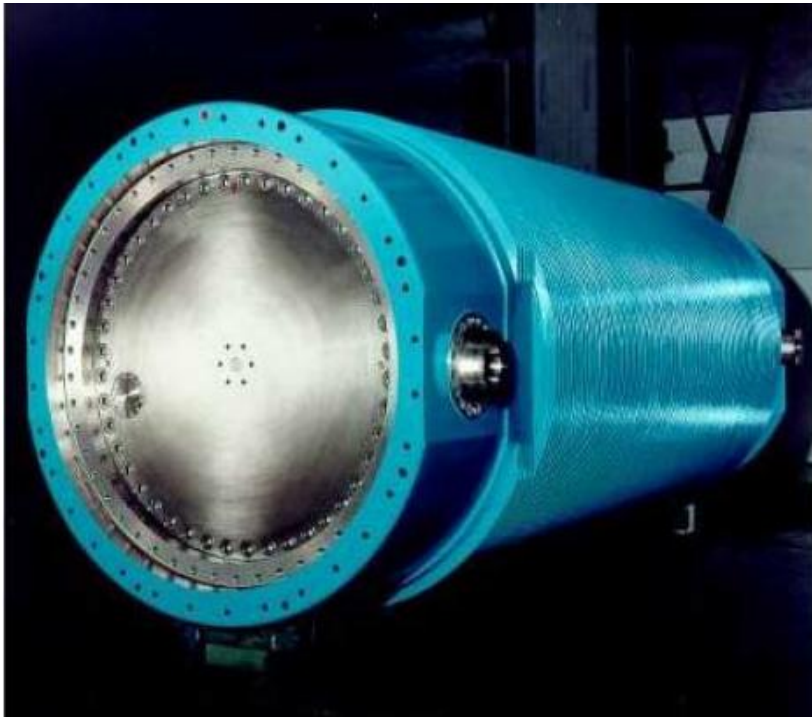
Obr. 26 MVDS, Paks (RHK, 2008)

Konštrukcia systému MVDS bola hneď od počiatku projektovaná tak aby zniesla tepelnú záťaž, ktorú vyprodukuje palivový článok hneď po odobratí z reaktora čo bolo v prípade reaktorov. Palivo môže byť umiestnené v systéme MVDS už po piatich rokoch chladnutia v mokrom sklade a je ho možné uskladniť aspoň na 100 rokov.

Palivové skladovacie puzdrá používané pre systém MVDS sú buď vo vyhotovení kontajnerov (FSC) pre uloženie viacerých palivových článkov (Veľká Británia, USA) alebo rúrok (FST) pre uloženie jednej palivovej kazety (Maďarsko). Sú to v podstate rúrky kruhového tvaru z uhlíkovej ocele, na ich oboch koncoch sú osadené prírubami ku ktorým sa pomocou O-krúžkov pripájajú horné a dolné veko. Na horné veko sa v prípade manipulácie pripieňuje ochranná zátka, ktorá sa pri skladovaní kontajnera nachádza v skladovacom module nad kanistrom.

3.1.4 General Nuclear Systems

CASTOR je dvojúčelový transportno-skladovací kovový kontajner. Hrubostenná nádoba je vyhotovená z tvárnej liatiny hrúbky 25 až 45 cm. Utesnený je dvojicou nerezových viek priskrutkovaných pomocou elastomerového a kovového tesnenia. Odtienenie zabezpečuje liatinová stena spoločne s polyetylénovými tyčami, ktoré sú vložené v stenách kontajnera. Vonkajší povrch je opatrený rebrami pre lepší prenos tepla. Vnútro obsahuje kôš pre uloženie PK. Je vyhotovený z bórovej nehrdzavejúcej ocele. Vnútorňý povrch je poniklovaný a vonkajší povrch je opatrený odolným epoxidovým náterom. Na manipuláciu sa používa štvorica čapov. Súčasťou kontajnera je systém snímania tlaku v medzipriestore – medzi primárnym a sekundárnym vekom (kontrola tesnosti).



Obr. 27 CASTOR® 440/84M (GNS, 2011)

CONSTOR je koncepciou založený na súčasnej dobe lacnejších transportno-skladovacích kontajnerov. Teleso sendvičového typu má vnútornú vrstvu z nehrdzavejúcej ocele, vonkajšiu z jemnozrnnej uhlíkovej ocele a medzipriestor je naplnený ťažkým betónom s názvom CONSTORIT (cement + kovový granulát). Palivový kôš je vyrobený z nehrdzavejúcej ocele a bórovaného hliníka. Uzatvárací systém pozostáva z dvojice viek z nehrdzavejúcej ocele a priestor medzi nimi je vyplnený héliom. Pre vysoké tepelné zaťaženie kontajnera a dostatočné vedenie tepla sú vo vrstve CONSTORIT vložené výstuhy pre vedenie tepla na vonkajší povrch kontajnera.



Obr. 28 CONSTOR® (GNS, 2011)



Obr. 29 CASTOR® v sklade Dukovany v Českej republike (CEZ, 2011)

3.1.5 NAC International

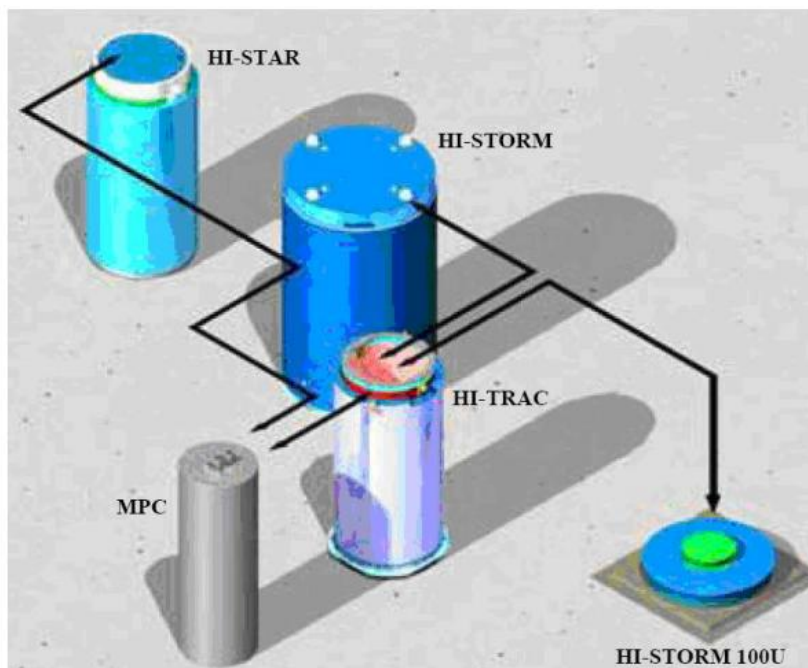
STC – kovový skladovací kontajner je vyrobený z mnohvrstvého plášťa, pričom vnútorná (hrubá 3,8 cm) a vonkajšia vrstva (hrúbky 6,7 cm) sú z nehrdzavejúcej ocele. Medzivrstva je tvorená chemickým olovom o hrúbke 8,1 cm. Vnútorný a vonkajší plášť sú navzájom spojené na svojich koncoch tesniacimi krúžkami a doskami z nerezovej ocele. Horný koniec sudu sa uzaviera pomocou rozoberateľného skrutkového spoja vekom.



Obr. 30 NAC MPC systém v YANKEE ISFSI (Hoedeman, 2008)

3.1.6 Holtec International

Obalové súbory sú založené na systéme viacúčelového kanistra označovanom MPC. Jedná sa o zvarovaný valcový kanister s košom, ktorý slúži na uloženie paliva. Pozostáva z plášt'a, základnej dosky, veka a uzatváracieho krúžku. Všetky komponenty MPC sú vyrobené zo zliatin hliníka (absorbátor neutrónov) a nehrdzavejúcej ocele.



Obr. 31 Holtec MPC systém (Holtec, 2011)

HI-STORM systém je skladovací betónový kontajner určený na skladovanie VJP uloženého vo viacúčelovom kanistri (MPC) vo vertikálnej polohe. Železobetónový obal zabezpečuje biologickú ochranu ako aj ochranu voči vonkajším vplyvom. Veko kontajnera obsahuje štyri výstupy chladiaceho vzduchu a teleso štyri vstupy v spodnej časti pre prirodzenú cirkuláciu chladiaceho vzduchu. Obalový súbor je možné ukladať na seizmicky odolnú betónovú skladovaciu plochu.



Obr. 32 HI-STORM 100 v ASCO NPP (Holtec, 2013)

HI-STAR – transportno-skladovací kontajner určený pre viacúčelový kanister (MPC). Jedná sa o hrubostennú valcovú kovanú nádobu so zváraným dnom. Vnútorne plochy sú majú špecifický tvar pre uloženie kanistra. Kontajner je naplnený héliom a uzavretý priskrutkovaným vekom.



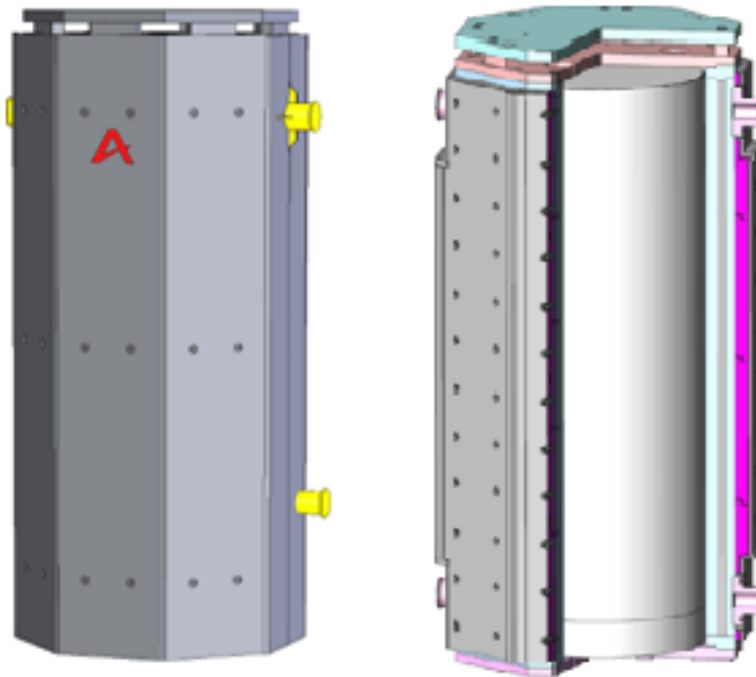
Obr. 33 HI-STAR, Dresden – Spojené štáty americké

3.1.7 Transnuclear Inc. (AREVA)

Kovové kontajnery označené skratkou TN (TN-24, TN-32, TN-40, TN-68) sú kovové transportno-skladovacie obalové súbory pre skladovanie PWR a BWR palivových kaziet. Sú konštruované na princípe dvojúčelových obalových súborov.

Teleso kontajnera pozostáva z nádoby so skrutkovaným vekom, palivovým košom, tieniacej vrstvy, čapov, monitorovania tlaku a ochranného krytu. Spodnú vrstvu telesa predstavuje zváraná oceľová konštrukcia, okolo nej je vonkajší obal z uhlíkovej ocele.

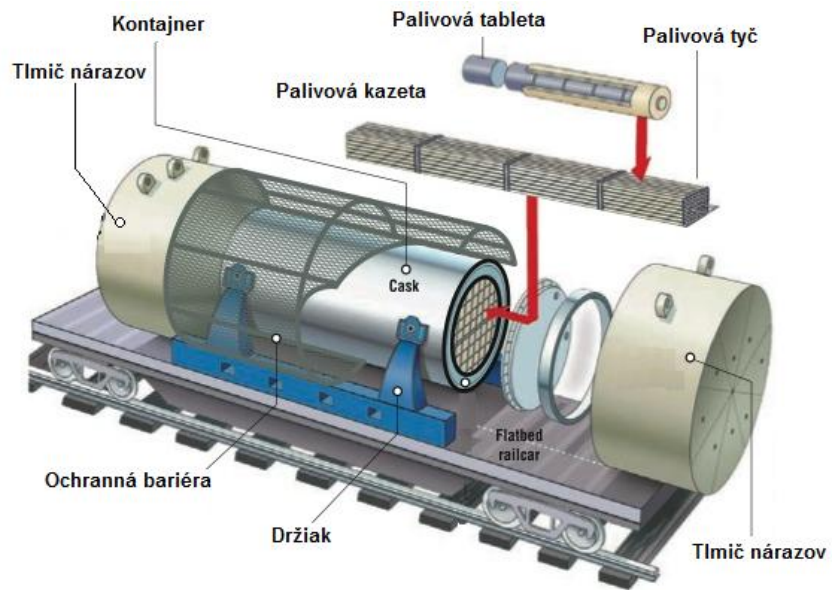
Od roku 2014 sa budú do Švajčiarska dodávať kovové skladovacie kontajnery pasívneho typu s vertikálnym skladovaním uzavretých zváraných kanistrov s názvom TN® NOVA. Jedná sa o nový patentovaný systém s kovovou maticou (kompozit s označením MMC) a tienením vyhotoveným z oceľových plechov a dosiek zo živice. V súčasnosti sú vo vývoji ďalší typ kovového kontajnera TN® DUO.



Obr. 34 TN® NOVA (AREVA, 2013)

NUHOMS skladovací systém je technológia suchého skladovania PWR, BWR a VVER typu paliva v betónových horizontálnych moduloch. Hlavnou zložkou je suchý tieniaci kanister (DSC) vyhotovený z nehrdzavejúcej ocele, s vnútorným košom, horizontálny skladovací modul (HSM), ktorý zabezpečuje fyzickú a biologickú ochranu a prepravný obal, ktorý slúži na prepravu DSC do HSM.

DSC pozostáva z puzdra s integrovanou spodnou krycou doskou, spodnej tieniacej zátky, vodiaceho krúžku, hornej tieniacej zátky, hornej krycej dosky a palivového koša, ktorý zabezpečuje podkritickosť a oporu pri nakládke palivových kaziet. HSM je železobetónová jednotka s otvormi umiestnenými v hornej a spodnej časti určenými pre prúdenie vzduchu.



Obr. 35 Schéma HSM systému (Transnuclear, 1998)