

KONTEJNERY PRO DLOUHODOBÉ ULOŽENÍ NÍZKOAKTIVNÍCH NUKLEÁRNÍCH ODPADŮ

Richard A. Bareš¹

František Tulach²

ABSTRAKT

In the paper „Containers for long-time of low level nuclear wastes store“ is described the development of containers for LLW made from epoxy polymer concrete realised by COMING Plus, point-stock company as ordered by Ministry of Industry of Czech Republic. It was developed as coherent series of containers compoundable mutually one inside each other. This arrangement enables - within given limits – practically unlimited combination of radiation shielding. Using up to date advance knowledge and technology (nanomaterials, C-fibres, vibrorheology etc.). simultaneously provided excellent mechanical and dynamic properties of developed polymer concrete, with the resistance to different chemical media and/or atmospheric surroundings The manufacture of containers is being prepared at present.

Spojením významné finanční podpory Ministerstva průmyslu České republiky se znalostmi a zkušenostmi kolektivu výzkumné a vývojové divize akciové společnosti COMING Plus byla v letech 2004 – 2006 vyvinuta soustava kontejnerů pro krátko- i dlouhodobé uložení a transport nízkoaktivních radioaktivních odpadů z moderního kompozitního materiálu – speciálního polym

¹ Richard A. Bareš, Prof.Ing.Dr.DrSc., R&D Manager of COMING Plus, Prague

² František Tulach, Nuclear Radiation Expert of COMING Plus, Prague

Úkol byl zřejmě motivován potřebou vyrovnat se s rostoucími nároky jak na ochranu životního prostředí v nejširším slova smyslu, tak na bezpečnost při manipulaci s nízkoaktivními radioaktivními odpady, tak konečně k dosažení nižších komplexních nákladů při nakládání s těmito odpady a při jejich ukládání. Nepochybně hrála roli i potřeba nahradit již několik desetiletí používané a ve světovém měřítku zastaralé dosavadní techniky s diskutabilním bezpečnostním potenciálem.

Díky vynikající spolupráci s domácími i zahraničními odborníky a institucemi a mnohým vynikajícím dílům pracovníků, zabývajících se celoživotně touto nebo příbuznou tematikou, zejména pak pracovníků českého Ústavu jaderného výzkumu v Řeži, se podařilo dospět k široce využitelným výsledkům

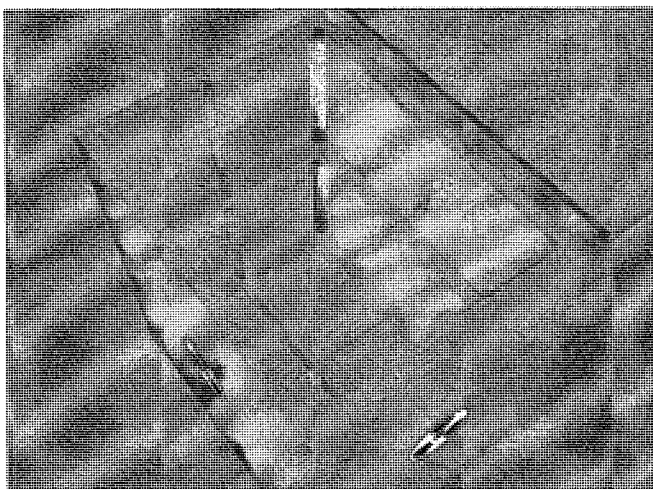
Byl formulován anorganicko-organický materiál – polymerbeton, který splňuje s velkou mírou bezpečnosti vlastnosti, požadované od něj pro užití v kontejnerech nejen z hlediska dlouhodobé stálosti počátečních vynikajících vlastností, ale i z hlediska ekonomické a reprodukovatelné výroby.

Tento materiál svými mechanickými vlastnostmi (např. pevnost v tahu za ohybu 48 MPa, v tlaku 75 MPa) předčí více než řádově mechanicko-fyzikální vlastnosti tradičních materiálů, ale stejně výkonný je i při posuzování stínících vlastností proti rozličným zdrojům ionizujícího záření. To obé umožnilo dimenzovat kontejnery s nebyvalými rozměry a s překvapivými tloušťkami stěn.

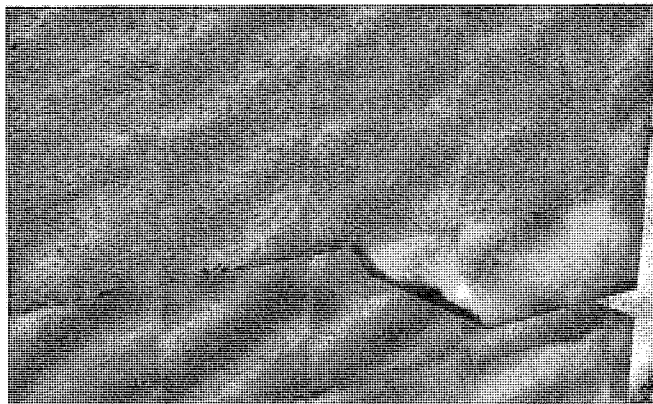
Formulovaný materiál byl v průběhu řešení úkolu podroben dlouhodobému působení různých vlivů včetně měnícího se atmosférického prostředí (od -20°C do 60°C , od 30 do 99% RV), ultrafialového záření i pronikavého ionizujícího záření, ale i mechanického namáhání, a výsledky prokázaly jeho neobyčejnou odolnost bez významných, nebo jakýchkoli pozorovatelných změn vlastností.

Formulovaný materiál odolává kromě těchto vlivů i celé řadě chemických látek, od alifatických uhlovodíků počínaje až k neoxidujícím kyselinám či zásadám a kontejnery tak umožňují skladování nejen radioaktivních látek, ale i různých chemických látek, včetně těžko nebo vůbec neodbouratelných toxických odpadů.

Polymerbetonové kontejnery byly navrženy namísto dosud užívaných kruhových sudů ve tvaru pravoúhlé krabice s takovými rozměry, aby dva kontejnery mohly být uloženy na jednu europaletu, tedy s půdorysnými rozměry 800 x 600 mm, a výškou 800 mm (Obr. 1). Na dolní ploše kontejneru jsou v rozích monolitické nožky o výšce 50 mm, umožňující jednak snadné vsunutí lyžin příslušného vysokozdvížného vozíku pro transport, jednak stabilitu a přesnost uložení při stohování kontejnerů. zasunutím nožek do odpovídajících prohlubní ve víku



Obr.1 Pohled do kontejneru s vyztužujícími žebry na vnitřních plochách



Obr.2 Nožky kontejneru, umožňující snadnou manipulaci paletovými nebo vysokozdviznými vozíky a zároveň zajišťující stabilitu při stohování po vsunutí do patřičných prohlubní ve víku

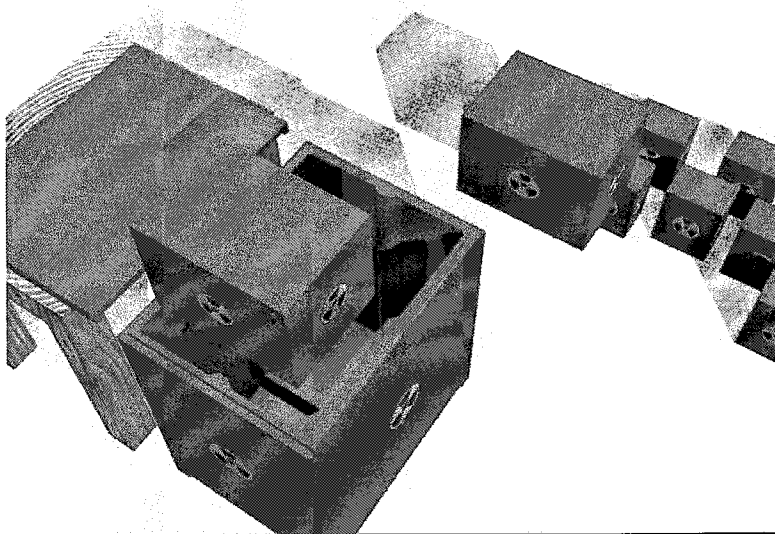
(obr.2).. Pro možnost transportu (zejména vertikálního) pomocí podsunutých lan je pro zajištění bezpečnosti (aby lana nemohla vyklouznout) dno kontejneru opatřeno stabilizujícími výstupky. Kontejnery jsou opatřeny výsuvným víkem, které se před trvalým uložením přilepí na polodrážku ke stěnám. Spoj je stejně pevný nebo pevnější než materiál kontejneru a stejně dokonale nepropustný.

Postupně vypracovaný sofistikovaný postup výroby kontejnerů ve vakuovaném prostoru do vnitřní formy typu ztraceného bednění s křížovými žebry z laminátu, vyztuženého kombinací uhlíkových a aramidových vláken, vynikajícím způsobem zvýšil tuhost a celkovou odolnost kontejneru dynamickému namáhání a současně vytvořil zcela hladký, dokonale omyvatelný vnitřní povrch. Tato laminátová vrstva se současně stala druhou nepropustnou bariérou (vedle

polymerbetonové stěny) proti úniku tekutých odpadů z kontejneru laminátová vrstva se současně stala druhou nepropustnou bariérou (vedle polymerbetonové stěny) proti úniku tekutých odpadů z kontejneru

Základní „velký“ kontejner s vnitřním využitelným objemem 265 dm^3 má tloušťku stěny 30 mm a výšku žeber též 30 mm. Vedle toho byl vyvinut „střední“ kontejner pro případy, kdy objem RAO je relativně malý a kdy je k dispozici jen ruční manipulační technika, s rozměry 310 x 420 x 320 mm s vnitřním využitelným objemem $33,5 \text{ dm}^3$ a tloušťkou stěny pouhých 12 mm. Do velkého kontejneru lze vložit 4 tyto střední kontejnery. Konečně pro tzv komorní potřebu zejména v nemocničních a podobných zařízeních byl vyvinut „malý“ kontejner, přenosný snadno i ženskou rukou, s rozměry 210 x 165 x 280 mm s vnitřním využitelným objemem 6 dm^3 a tloušťkou stěny rovněž 12 mm. Do velkého kontejneru lze

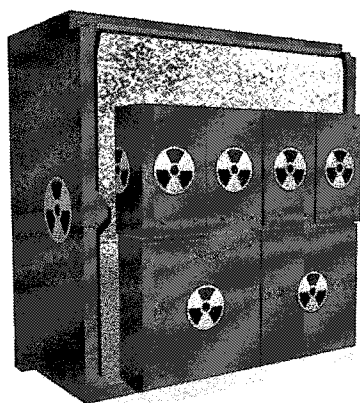
naskládat až 16 těchto malých kontejnerů a do středního kontejneru lze vložit 2 malé (obr. 3).



Obr. 3 Velký, střední a malý kontejner vzájemně skladebné po vzoru „matrjošky“ celkem ve 14 možných kombinacích

Výhod takového tvaru a uspořádání je mnoho. Především využitelný objem kontejneru (265 litrů) je jen o málo menší než vnější objem (384 litrů) a je mnohonásobně větší, než využitelný objem vnitřního sudu v dosavadním uspořádání (cca 100 litrů v závislosti na tloušťce

obetonování). Dále kontejnery v důsledku svého tvaru zaujmají cca o čtvrtinu menší úložnou plochu skladu i vozidla dopravce než kulaté sudy. Kontejnery je možné skladovat bez stabilitních problémů v šesti (případně i více) řadách nad sebou. Hmotnost kontejnerů přitom zůstává v přijatelných mezích pro snadný horizontální i vertikální transport (ve většině případů kolem 600 kg včetně náplně). V kontejnerech lze uložit i rozměrnější předměty. Kontejnery jsou zcela a trvale nepropustné, takže v nich lze skladovat i tekuté látky, případně podle předpisů odběratele zahuštěné vhodnými sorbenty. Tento tvar umožňuje snadno použít menších kontejnerů vkládaných do většího ke zvýšení stínění. Po vložení menších kontejnerů případně neskladných kovových a podobných předmětů ze zbylý prostor vyplňuje suchou cestou zásypem jemnozrnným barytem (obr.4). Tím se významně umocňuje hodnota stínění, aniž by se příliš zmenšoval využitelný vnitřní prostor kontejneru.



Obr. 4 „Průřez“ kontejnerem s vloženými malými kontejnery po zasypání sypkým baritem

Uvedené skutečnosti poskytly možnost zdvojení nebo ztrojnásobení skladby kontejnerů (po vzoru ruských matrjošek) k dosažení jinak nedosažitelných stínících účinků, ale též ke grandiozní úspoře úložného prostoru. Např. lze uložit do

malého kontejneru zářiče Co 60 s celkovou

aktivitou až 60 GBq a pokud se tento malý kontejner vloží do středního a ten do středu velkého kontejneru se zásypem okolí barytem, nebudou překročeny limity vyzařování na vnějším povrchu kontejneru. Uložení zářičů tohoto typu tradičním způsobem, to je do kovové nádoby (např. trubky), vložené do středu zabetonovaného plechového sudu, umožní - s ohledem na povolený limit vyzařování na povrchu sudu - vložení zářiče s maximální aktivitou do 3 GBq. Pro uložení zářičů Co 60 s celkovou aktivitou 60 GBq se tak v prvním případě obsadí v úložišti (nebo při dopravě) plocha $0,6 \times 0,8 = 0,48 \text{ m}^2$, zatímco při tradičním způsobu obsadí plochu $20 \times 0,6 \times 0,8 = 9,6 \text{ m}^2$, tedy 20 x větší, nehledě k tomu, že jednotlivé zářiče s aktivitou nad 3 GBq nelze tímto druhým způsobem uložit vůbec.

Dvě varianty účinnosti stínění - podle skladby materiálu - velkého a středního kontejneru a tři varianty stínění malého kontejneru umožňují zvolit, podle aktivity a druhu ukládaných resp. transportovaných RAO a podle pronikavosti záření uložených odpadů, lehčí nebo těžší (účinnější) stínění a tím cenově optimalizovat vlastní cenu kontejnerů.

Nezanedbatelným přínosem základního polymerbetonového kontejneru je velký vnitřní úložný prostor, který umožňuje ukládání i dlouhých kusů radioaktivních odpadů - úhlopříčka kontejneru měří 110 cm, stejně jako objemných kusů bez nutnosti jejich dělení.

Polymerbetonový kontejner či soustava kontejnerů různých rozměrů a složení polymerbetonu pro ukládání nízkoaktivních RAO, tak jak byl vyvinut a popsán, dovoluje jak vidno dosud nerealizovatelné kombinace potřebné účinnosti stínění, úložného prostoru a ceny.

Součinitel využitelnosti zaujatého **prostoru** pro polymerbetonový kontejner 600 x 800 mm s vnitřním objemem 265 dm^3 činí 0,690. Pro sud s průměrem 600 mm a výškou 800 mm, s objemem LLW 100 dm^3 , započte-li se i ztracený objem skladu mezi sudy, je součinitel využitelnosti zaujatého prostoru 0,277, takže PC kontejner využívá prostor skladu cca 2,5 x lépe než sud. Součinitel využití zaujaté **půdorysné plochy** je u kontejneru 5,52, zatímco u sudu 1,67, z čehož plyne, že PC kontejner využívá i skladovou plochu více než 2,5 x (2,65) lépe než sud. Při přepočtu uložených LLW odpadů **na 1 m^2** podlahové plochy v sudech a kontejnerech lze snadno zjistit, že v kontejnerech se uloží ve třech vrstvách $1656 \text{ dm}^3/\text{m}^2$, zatímco v sudech v pěti vrstvách (skladovací výška cca 270 cm) jen $1041 \text{ dm}^3/\text{m}^2$; tedy v kontejnerech se uloží 1,59 x více. Při ceně za standardní obalovou jednotku (sud) 18 294.- Kč by cena za kontejner byla 5/3 standardní ceny, tedy 30 490.- Kč. Z toho plyne, že stávající hodnota 183.-Kč/ dm^3 upraveného odpadu by snížila na 115,- Kč/ dm^3 , tedy cca o 37%., konkrétně o 70486,- Kč/ m^2 půdorysné plochy. K tomu přistupuje úspora za dopravu.

Cena kontejnerů, vyrobených z ušlechtilých materiálů, je – jak jinak – výrazně vyšší než cena dosud používaných sudových kontejnerů, vyrobených z nejušlechtlejších materiálů, černého plechu a cementového betonu. Bylo by ale zavádějící chybou posuzovat cenu jen podle vstupních materiálových nákladů. Je třeba při komplexní kalkulaci uvážit všechny další okolnosti spojené se sběrem, svozem a ukládáním RAO, stejně jako „výkonnost“ obou typů kontejnerů i jejich bezpečnost při předpokládaném několikastaletém horizontu.

Polymerbetonové kontejnery přinášejí řadu dalších podružných, nikoliv však nevýznamných výhod, které při komplexním hodnocení stojí za to si uvědomit.

Co přináší např. ve zdravotnictví:

Velké kontejnery umožní i dočasné uložení prádla včetně ložního po pacientech, kteří podstoupili terapii radionuklidy a prádlo není možno vzhledem k obsažené aktivitě prát s ostatním. Dobře omyvatelný povrch kontejneru umožňuje jeho deaktivaci i event. desinfekci. Na pracovištích paliativní terapie lze uložit dočasně do kontejneru objemové odpady a po vymření aktivity tyto zlikvidovat konvenčním způsobem.

V medicíně se používají převážně zářiče s relativně nízkou energií a tedy nízkou pronikavostí záření a s krátkými poločasy rozpadu (několik hodin až několik dní), jako I-131, I-123, Ga-67, In-111, Tc-99m, které je možno uchovávat v polymerbetonových kontejnerech až do doby snížení jejich aktivity na úroveň, kdy je lze uvolnit do životního prostředí.

Velký kontejner umožní v event. kombinaci s menšími kontejnery ukládání odpadů v nemocnicích bez potřeby ukládat RAO v tzv. vymírací místnosti a tím lépe využít prostor.

Dobře stíněné malé a střední kontejnery umožní nahradit dosavadní olověné a často pro manipulaci zbytečně těžké a drahé olověné schránky (které stály 30-40tis.Kč) na pracovištích, kde se používají radiofarmaka. Dobře omyvatelný povrch je činí vhodnými pro tyto aplikace. Krom nižší ceny je přínosem i jejich nižší hmotnost, usnadňující manipulaci. Jejich stavebnicové uspořádání umožňuje navíc lepší využití prostoru a dosažení účinnějšího stínění, je-li třeba.

Naprostá nepropustnost činí v kombinaci s použitím vhodného sorbentu velký kontejner použitelný pro uložení značně aktivních **tekutých** odpadů z radioterapeutických pracovišť.

Co přináší např. v průmyslu:

Řada RAO z oblasti průmyslu vykazuje značně vysokou aktivitu a pronikavé záření. Kombinace stínění velkého/malého/resp. středního kontejneru s event. stínícím zásypem umožňuje uložení značných aktivit, např. až cca 100 Gbq Co-60.

Pro zdroje s méně pronikavým zářením nebo nižší aktivitou lze zvolit ekonomicky optimální kontejner – levnější s nižší stínící schopností nebo dražší, který však přinese jiné

úspory např. cena uložení, dopravy atd.). Méně pronikavých zdrojů, jako je např. hojně používaný radionuklid Am-241 (s energií gama pouhých 59,6 keV a alfa zářením o energii cca 5,5 MeV), je možno bezpečně uložit v jednom velkém kontejneru až 16 (v malých kontejnerech) na rozdíl od dosavadní praxe, kdy lze do sudu uložit pouze 1 zdroj. Zářiče jsou v této koncepci uloženy odděleně a každý z nich je chráněn nepropustností malého i velkého kontejneru. V případě event. intruze nedojde k uvolnění celého obsahu do prostředí, ale pouze k event. uvolnění aktivity ze zasaženého malého kontejneru. I tak však poskytuje dvojitý obal dokonalejší ochranu – představuje vlastně další inženýrskou bariéru. Nevyluhovatelnost je pak zaručena vlastnostmi jak malého, tak i velkého kontejneru. Pro toto použití je třeba změnit stávající předpis pro ukládání; podmínkou k tomu je provedení bezpečnostní analýzy.

V jaderných elektrárnách umožní PC kontejner zejména lepší využití úložného prostoru. Vzhledem k velkým vnitřním rozměrům lze ukládat bez další manipulace např. rozměrné části potrubí z primárního okruhu reaktoru i další kusový odpad o rozměrech převyšujících rozměry vnitřního prostoru dosud používaných betonových sudů. Volitelné kombinace účinnosti stínění dovolují i zde ekonomickou optimalizaci. Při použití sorbentů pak lze po provedení potřebných analýz ukládat i odpady v kapalně formě, např. kaly, resp. ionexy.

Nepochybně by se našlo mnoho dalších možných použití formulovaného polymerbetonu v různých odvětvích hospodářství. Výhodou je, že lze z tohoto materiálu vyrobit element prakticky jakéhokoli tvaru, velikosti či hmotnosti podle konkrétní potřeby.

Shrnou-li se znovu, heslovitě, objektivní výhody a přednosti nově vyvinutého polymerbetonového kontejneru či systému kontejnerů lze konstatovat, že:

- přináší vyšší účinnost stínění nesrovnání s dosud používanými betonovými sudy
- poskytuje snazší a bezpečnější manipulaci díky nožkám kontejneru pro vysokozdvíhací vozík a úchytům pro lanovou zdvihací techniku
- umožňuje bezpečné stohování kontejnerů do výšky díky „zámkům“ na povrchu a dně kontejneru
- umožňuje optimalizovat potřebné stínění pro danou aplikaci při minimalizaci nákladů na uložení a transport RAO
- zajišťuje hospodárné využití obestavěného prostoru a skladovací plochy,
- snížením nákladů za uložení RAO se umožní zvláště medicínským pracovištím používání radionuklidů (respektive návrat k těmto diagnostickým technikám, které musely opustit z finančních důvodů)

- umožní použití (dočasné uložení radioaktivních odpadů) i uvnitř budov a přímo na pracovištích (v místnostech) s radionuklidy
- zabezpečí nepropustnost vůči vodě a odolnost vůči chemikáliím, čímž vytváří další inženýrskou bariéru
- poskytuje širokou variabilitu stínění změnou složení polymerbetonu při zachování obdobných mechanických vlastností
- poskytuje širokou variabilitu stínění využitím kombinace malých, středních a velkých kontejnerů
- vylučuje při ukládání RAO do kontejnerů mokré procesy (jako např. betonáž), k zaplnění zbývajících prostoru v kontejnerech se použije jemná sypká směs stínícího materiálu
- může přinést i při vysoké materiálové ceně polymerbetonu v některých případech vysoké úspory při komplexním ekonomickém hodnocení
- formulovaný materiál se vyznačuje vynikajícími fyzikálně-mechanickými vlastnostmi a nepodléhá v čase (měřeném na staletí) žádným rozkladným nebo destruuujícím pochodům.

Navíc nelze vyloučit, že formulovaný materiál se může stát základem i mimo oblast výroby kontejnerů a dlouhodobého ukládání RAO v řadě dalších oblastí pro výrobu jiných rozličných aplikací, stínících ionizující záření. Kromě toho, díky vysoké chemické odolnosti a naprosté a trvalé nepropustnosti najdou vyvinuté kontejnery nepochybně uplatnění i pro trvalé ukládání různých chemických, jinak těžko likvidovatelných odpadů.