

Možnosti uskladňovania toxických a rádioaktívnych odpadov v soľných ložiskách na Slovensku pomocou kombinácie vrtov a soľných kavern

Ján Pinka, Marian Marcin, Erika Škvareková a Marína Sidorová¹

Possibility of Radioactive and Toxic Waste Disposal in a Rock Salt Deposits in Slovakia Combining Wells and Cavities

Disposal of radioactive and toxic waste in rock salt can be performed in two ways – disposal in the salt mine repository or disposal in the deep wells connected with salt cavity. Presented article deals with the option of the disposal in a salt cavity at medium depths. The article also cover partially salt deposits in Slovakia and their potential suitability for waste disposal..

Key words: salt deposit, waste disposal, radioactive waste

Úvod

Rádioaktívnym odpadom je akýkoľvek materiál obsahujúci kontaminované rádionuklidy, pre ktorý už nie je plánované žiadne použitie. Hlavným zdrojom rádioaktívnych odpadov (RAO) sú jadrové reaktory a všetky zariadenia potrebné na ich prevádzku. Všetky rádionuklidy, ktoré sa pri technologických procesoch zadržia mimo pracovného okruhu, patria k nízko až stredne rádioaktívnym odpadom. Väčšina rádionuklidov však ostáva vo vyhorenom jadrovom palive a patrí k vysoko aktívnym odpadom. Za rádioaktívny odpad sa považujú tiež všetky zamorené a aktivované materiály, ktoré ostávajú v jadrovej elektrárni po ukončení jej prevádzky.

Nakladanie s rádioaktívnym odpadom musí zabezpečiť ochranu biosféry ekonomicky prijateľným spôsobom bez zanechania nežiaducich dôsledkov. Vzhľadom na to, že vyhorené jadrové palivo obsahuje rádionuklidy s veľmi dlhým polčasom premeny, je potrebné zabezpečiť ochranu najmenej na 10 000 rokov, čo je možné dvomi spôsobmi:

- využitím jadrových reakcií, ktoré premenia rádionuklidy s dlhým polčasom rozpadu na rádionuklidy s kratším polčasom premeny - transmutačné technológie,
- prirodzeným rozpadom rádioaktívnych prvkov v systéme, uložením bariér v dostatočnej hĺbke ktoré zaistia ich izolovanie od biosféry – teda v hlbinnom geologickom úložisku.

Takmer vo všetkých krajinách s rozvinutým jadrovým programom prebiehajú programy vývoja hlbinného geologického ukladania, aj keď v niektorých sa zvažujú tiež alternatívne metódy nakladania s vyhoreným jadrovým palivom a vysokoaktívnymi odpadmi. Bez ohľadu na skutočnosť, ktorá alternatíva sa zvolí na zneškodňovanie vysokoaktívnych odpadov, hlbinné geologické úložisko bude vždy nevyhnutne potrebné [2]. Jedným z možných úložísk pre ukladanie rádioaktívneho odpadu sú soľné formácie.

Rádioaktívny alebo iný toxický odpad je v ložisku soli možné uskladniť vo vyťaženej soľnej bani alebo vo vrtoch spojenými s kavernami. Náš výskum sa zaoberá možnosťou uskladnenia odpadu v soľných kavernách v strednej hĺbke (1500-2000 m). Realizácia tohto spôsobu uskladnenia vyžaduje používanie stlačeného plynu na zabezpečenie potrebného vnútorného tlaku v kavernách.

Teplo-generujúci odpad je možné uskladniť v hlbokých vrtoch, vrtoch kombinovaných so soľnými kavernami a teplo negenerujúci odpad v niekoľkých soľných kavernách.

Využitie hlbokých vrtov pre uskladňovanie odpadu v ložiskách soli

Pri uvedených možnostiach uskladnenia rádioaktívneho odpadu sú využívané vrty, ktoré umožňujú také rozloženie teplo generujúceho odpadu do ložiska soli, pri ktorom sa zabráni nárastu teploty do nebezpečných hodnôt. Rozdiely medzi hlbokými vrtmi spojenými s kavernami a vrtmi v soľnej bani sú nasledovné:

- hlboké vrty sú vrtané technológiou využívajúcou kvapalnú vrtnú výplach a vrty sú v soľnej bani na sucho - bez použitia kvapalného výplachu,

¹ prof. Ing. Ján Pinka, CSc., Ing. Marian Marcin, PhD., Ing. Erika Škvareková, PhD., Ing. Marína Sidorová, Katedra ropného inžinierstva, F BERG TU v Košiciach, Park Komenského 19, 04384 Košice (Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 19. 9. 2004)

- v hlbokých vrtoch je odpad uložený v cementovej zmesi alebo v kvapalnom výplachu, ktorý môže byť neskôr nahradený cementovou zmesou,
- pri vrtaní vrtoch vrtaných v soľnej bani sú vrty "suché" a počas ukladania odpadu, ako aj po jeho uložení do vrtu, je do vrtu dopravovaná drvená soľ,
- pri použití hlbokých vrtoch môže byť priemer vrtu niekoľko násobne väčší ako pri vrtoch vrtaných na "sucho" v soľnej bani, v ktorých je približne atmosferický tlak, čo limituje dosažiteľnú hĺbku asi na 1100 m.

Použitie kavern na uskladnenie odpadu

Kaverny vznikajú v ložisku soli cirkuláciou sladkej vody, ktorá sa rozpúšťaním soli mení na soľanku. Na vytvorenie kaverny požadovaného tvaru a veľkosti je potrebné podrobne zhodnotiť mechaniku soľného masívu a dodržiavať technologický postup, ktorý začína vytvorením dna kaverny. Vytvorenie dna kaverny, ktoré udáva priemer kaverny, je časovo náročný proces. Vertikálny postup pri vyluhovaní kaverny je oveľa rýchlejší. Počas vytvárania kaverny je potrebné zabrániť nekontrolovateľnému rozpúšťaniu nadložných vrstiev soli, pri ktorom sa môže vytvoriť tvar kaverny nevhodný na uskladňovanie odpadu. Za účelom kontroly tvaru kaverny počas vyluhovania je potrebné vykonať karotážne merania.

Počas uskladnenia odpadu do kaverny ju možno nechať úplne alebo čiastočne zaplnenú soľankou. Uskladnením odpadu do kaverny naplnenej soľankou rastie riziko zvýšenia jej priepustnosti vo vrchnej časti, čím sa znižuje schopnosť kaverny izolovať odpad v dlhom časovom horizonte. V niektorých štátoch je z uvedeného dôvodu zakázané ukladať chemický odpad do kaverny naplnenej soľankou. Dosažiteľná hĺbka čiastočne zaplnenej kaverny v ložisku soli, v ktorej je okrem soľanky vzduch, je limitovaná atmosferickým tlakom. Maximálna hĺbka kaverny je volená podľa času, ktorý je potrebný na zaplnenie kaverny odpadom.. Čiastočne zaplnenie kaverny vzduchom limituje maximálnu hĺbku uloženia kaverny na približne 1000 m. Počas celého obdobia zaplňovania kaverny musí kaverna zostať neporušená. Po uložení odpadu do kaverny, je kaverna utesnená, napríklad pomocou drvenej soli, cementačnou kašou alebo bitumenom.

Využitie hlbokých vrtoch s kavernami na uskladnenie odpadu

Na rozdiel od uloženia odpadu do priestoru soľnej bane poskytuje uloženie odpadu do hlbokého vrtu s kavernou nasledujúce výhody:

1. Hlboký vrt s kavernou v soľnom ložisku môže byť použitý na uskladnenie rádioaktívneho odpadu pri nákladoch na jeho vybudovanie viac-menej priamo úmerných množstvu rádioaktívneho odpadu. V prípade použitia soľných baní na uskladnenie odpadu je potrebné v prvej fáze vybudovať veľmi nákladné banské diela. Pre uskladnenie relatívneho malého množstva odpadu je tento spôsob ekonomicky nevýhodný.
2. Hlboké vrty poskytujú možnosť uloženia rádioaktívneho odpadu vo väčšej hĺbke ako soľné bane, a tak rádioaktívny odpad generujúci teplo je možné uložiť v oveľa väčšej vzdialenosti od biosféry. Technicky je možné dosiahnuť hĺbky okolo 2000 až 3000 m. Túto výhodu je možné využiť pri dodržaní špeciálnych podmienok uvedených ďalej aj pri využití technológie čiastočne odtážených kavern naplnených vzduchom.

Hĺbkový limit vytvorenia suchej (prázdnej) soľnej kaverny je určovaný nasledovnými fenoménmi:

- So zväčšujúcou sa hĺbkou sa v dôsledku zvyšujúceho rozdielu medzi tlakom v kaverne a tlakom v okolitom soľnom masíve zvyšuje rýchlosť konvergencie kavern (rýchlosť ich zmenšovania). Rýchlosť zmenšovania sa kavern závisí aj na zvyšujúcej sa teplote (geotermálnom gradiente). Pri uskladňovaní odpadu do kavern je ich zmenšovanie počas uskladňovania odpadu limitované na niekoľko % za rok [4].
- So zvyšujúcim sa rozdielom tlaku narastá aj pravdepodobnosť, že sa kaverna stane nestabilnou. Nestabilita kaverny môže nastať v tom prípade, ak napätie prítomné v soľnom masíve v okolí kaverny prevyšuje pevnosť soľného masívu. Za účelom uskladňovania odpadu v soľných kavernách musí byť kaverna z pohľadu mechaniky hornín stabilná.

V prípade použitia suchých kavern na uskladňovanie odpadu v hĺbkach väčších ako 1000 m je nevyhnutné znížiť rozdiel tlakov medzi soľným masívom a v kavernou. Jediným praktickým riešením uvedeného problému je použitie vyššieho tlaku plynu ako je tlak atmosferický, čo znamená, že kaverna bude pod stálym pretlakom plynu. Moonen [4] na základe analýzy výsledkov štúdia mechaniky soľného masívu spracoval možnosti uskladňovania odpadu v kavernách v stredných hĺbkach, pri ktorých predpokladal dobu uskladňovania odpadu 3 roky, počas ktorých sa kaverna úplne zaplní. Hraničné podmienky pri uvedenej štúdii boli nasledovné:

- vnútorný tlak v kaverne bol dostatočne vysoký, aby zaručoval stabilitu kaverny počas doby jej zaplňovania,
- rýchlosť uzatvárania kaverny bola nízka s maximálnou hornou hranicou 10% za rok.

Vykonaná analýza počítala s hodnotami vnútorného tlaku v kaverne - atmosferický (0 MPa), 4, 8, 12, 16 a 20 MPa, s nasledovnými výsledkami:

1. Kritérium stability kaverny určilo pre kavernu s atmosferickým tlakom hĺbku menej ako 1100 m, s vnútorným tlakom 4 a 8 MPa maximálnu hĺbku uloženia kaverny približne 1100 a 1350 m.
2. Kaverny s tlakom 12, 16 a 20 MPa boli na základe kritéria stability stabilné do hĺbok približne 1550, 1650 a 2000 m.

Ako je z uvedených výsledkov vidieť, pre vytvorenie stabilných kavern v hĺbkach nad 1500 m je v kaverne potrebný vnútorný pretlak minimálne 12 MPa.

Pre druhú skupinu vnútorného tlaku v kaverne bola vypočítaná rýchlosť zmenšovania sa kaviern (konvergencia) v závislosti na hĺbke. Hodnoty konvergenzie [%] za rok sú uvedené v tabuľke 1 [4].

Tab. 1: Hodnoty konvergenzie kaverny v závislosti na hĺbke jej uloženia a vnútorného tlaku
Tab. 1: The values of cavity convergence rate as a function of depth and internal pressure

Hĺbka [m]	Tlak [Mpa]		
	12	16	20
1500	1,2	0,4	0,1
1600	*	0,9	0,3
1700	*	*	0,6
1800	*	*	1,3
1900	*	*	2,8
2000	*	*	5,3

* - v danej hĺbke je pri uvedenom tlaku kaverna nestabilná

Zatláčanie odpadu do kavern a ich uzatváranie

Z dôvodu vyššieho tlaku v kaverne s pretlakom počas jej zaplňania odpadom sa operácie počas zatláčania líšia od operácií počas zatláčania do kaverny s atmosferickým tlakom. Najväčší problém pri zatláčaní odpadu spočíva vo vyriešení tlakového uzáveru na prechode medzi kavernou a spojovacím vrtom. Ako príklad riešenia uzáveru by mohli slúžiť uzávery používané v ropnom a plynárenskom priemysle, ktoré je potrebné upraviť pre použitie zatláčania rádioaktívneho odpadu tekutého alebo plastického skupenstva.

Po zaplnení kaverny odpadom je možné kavernu odizolovať aj bez „odpustenia“ tlaku z kaverny. Pri „odpustení“ tlaku z kaverny je dôležité plyn filtrovať, aby nedošlo ku kontaminácii životného prostredia rádioaktívnym plynom. Kaverna s plynom zvyšuje kvalitu izolácie odpadu v ložisku soli. Podľa niektorých autorov [4] je pre naplnenú kavernu napr. v hĺbke 800 m s atmosferickým tlakom v kaverne konvergencia veľmi malá a jej uzatvorenie môže trvať aj viac ako 50 rokov. Vo väčších hĺbkach je uzatváranie kaverny rýchlejšie a odpad je tak oveľa skôr izolovaný v prírodnom prostredí ložiska soli. Pri uzatváraní kaviern je veľmi dôležité pozorne ju sledovať z geotechnického pohľadu, aby nedošlo k zmene stabilnej kaverny na kavernu nestabilnú, pričom by mohli v okolí kaverny vzniknúť trhliny a narušila by sa prirodzená izolačná schopnosť soľného prostredia.

Ložiská soli na Slovensku

Na Slovensku sa soľné ložiskové formácie, ktoré by bolo po preskúmaní možno použiť na uskladnenie plyných a kvapalných médií alebo toxického a rádioaktívneho odpadu. Nachádzajú sa vo Východoslovenskej neogénnej panve. Hĺbkový interval uloženia soľnej formácie a mocnosť soľného súvrstvia sú uvedené v tabuľke 2 [3]. Ako je z tabuľky zrejmé, Východoslovenská neogénna panva obsahuje niekoľko soľných formácií s hrúbkami od 1 m až po vyše 200 m. Niektoré ložiská soli sú uložené relatívne blízko povrchu – lokality Zbudza 450 – 600 m, Michalovce 475 – 600 m a Prešov 510 – 600 m, pre potreby uskladňovania sú ale vhodnejšie lokality ako Klčovo Dlhé, kde je soľná formácia s hrúbkou až do 200 m v hĺbke nad 1000 m.

Tab. 2: Hĺbka a mocnosť soľnej formácie v jednotlivých vrtoch
Tab. 2: The depth and salt thickness in individual drilled wells

Názov vrtu	Hĺbkový interval soľnej formácie [m]	Mocnosť soľného súvrstvia [m]
Albínov 1	2400-2460	60
Albínov 2	2700-2701	1
Albínov 3	2590-2674	84
Albínov 4	2500-2550	50
Albínov 7	2490-2530	40
	3600-3750	150

Ďurkov 3	2240-2250	10
Hruškov 1	943-970	27
	2970-2990	20
Iňačovce 1	1425-1480	55
Klčovo Dlhé 1	1100-1300	200
Klčovo Dlhé 2	2200-2230	30
Klčovo Dlhé 3	600-700	100
Klčovo Dlhé 4	1100-1230	130
Ke. Pekľany 1	2140-2155	15
Lastomír 2	3100-3210	110
Ložin 1	3610-3775	165
Ložin 2	3475-3500	25
Michalovce 1	475-500	25
Prešov 1	510-600	90
Rakovec 2	1685-1720	35
Rakovec 3	1310-1375	65
Rakovec 4	1312-1330	18
Sečovce 2	2580-2625	45
Trhovište 26	3745-3840	95
Višňov 1	2550-2605	55
Vranov 1	2420-2620	200
Zbudza P-9	460-590	130
Zbudza P-10	460-590	130
Zbudza P-11	450-580	130
Zbudza P-12	450-580	130

Záver

Posúdenie stability vylúhovaných kavern bolo na Slovensku v minulosti vykonané len na soľnom ložisku Zbudza [1]. V budúcnosti je preto nevyhnutné vykonať podobné posúdenie stability pre kaverny v soľných ložiskách vo väčších hĺbkach ešte v prípravnom štádiu posúdenia vhodnosti jednotlivých ložiskových formácií na budovanie kavern pre uskladňovanie rádioaktívnych a toxických odpadov v ložiskách soli.

Tento príspevok vznikol v rámci riešenia grantu VEGA č. 1/9365/02.

Literatura - References

- [1] Ďurove, J., Maras, M., Vavrek, P., Daňko, J.: Parametryczna ocena stateczności komor lugowniczych, *Przegląd Gorniczy*, 1/2001, p. 26-28, ISSN 0033-26X
- [2] Mešter, M., Hvizdoš, M.: Trendy v nakladaní s rádioaktívnymi odpadmi., *The Effective Use of Physical Theories of Conversion of Energy 2003*, ZČU Plzeň, Czech Republic, 2003, pp. 46 - 51. ISBN 80-7082-959-1
- [3] Pinka, J., Bauer, V.: Uskladňovanie kvapalných a plyných médií v soľných ložiskových formáciách, *Zborník prednášok z X. Medzinárodnej vedecko-technickej konferencie Nové poznatky v oblasti vrtania, ťažby, dopravy a uskladňovania uhl'ovodíkov*, Podbanské 1999, s.155-157, ISBN 80-7099-439-8
- [4] Van Den Broek, W.G.M.T.: Feasibility of Radioactive Waste Disposal in a Salt Cavity at Medium Depth, *Proceedings of the Symposium on Waste Management at Tucson, Arizona, 1994, Volume I*.