

Vplyv inžinierskogeologických pomerov na konštrukciu úložiska radioaktívnych odpadov

Jozef Kuzma¹ a Luboš Hruštinec

The Influence of Engineering-Geological Conditions on the Construction of the Radioactive Waste Dump

A secure stability and reliable serviceability of the radioactive dump is a difficult engineering problem. Due to the difficult geological formations determined mainly by a high compressibility, the low shear strength of soils, and the high ground water level, or a high upward hydrostatic pressure these demands will increase. An influence of the required reliability and the lifespan on the structure of these specific objects is considerable. In this contribution, we are trying to contribute to the problem of solving these difficulties and complicated problems.

Key words: deformation, geological construction, geotechnics, limiting state, subduction, stability, underground water, infiltration, radioactive waste, repository

Úvod

Zabezpečenie stability a spoľahlivej prevádzkovej schopnosti úložiska rádioaktívnych materiálov je náročný inžiniersky problém. V zložitých inžinierskogeologických podmienkach, ktoré sú determinované najmä veľkou stlačiteľnosťou, nízkou šmykovou pevnosťou zemín a vysokou úrovňou hladiny podzemnej vody, resp. veľkými vztlakovými silami pôsobiacimi v podloží sa tieto nároky ešte zvyšujú. Nemalý vplyv na konštrukčné usporiadanie týchto špecifických objektov má aj ich požadovaná spoľahlivosť a životnosť. Cieľom predloženého príspevku je poukázať a prispieť k riešeniu týchto zložitých a komplikovaných inžinierskych úloh. Problematika dlhodobého zabezpečenia spoľahlivého uloženia finálne spracovaných nízko a stredne aktívnych odpadov predstavuje zložitý interdisciplinárny problém. Významným faktorom ovplyvňujúcim komplexný prístup k riešeniu uvedeného problému je časové hľadisko, ktoré musí zohľadňovať jednotlivé etapy aktívnej prevádzky a projektovanej životnosti úložiska. Republikové úložisko rádioaktívnych odpadov (RÚ RaO) Mochovce je situované asi 750 m od bývalej obce Mochovce v údolí pravostranného prítoku Telinského potoka. Úložisko bolo vybudované v pomerne zložitých geologických a hydrogeologických pomeroch. Tvorí ho komplex stavieb a technologických zariadení. V rámci prevej etapy výstavby boli vybudované dva dvojradové úložiskové boxy s celkovou pôdorysnou plochou je cca 112 000 m². Celková situácia úložiska a príslušného územia je zobrazená na obr. 1.



Obr. 1. Pohľad na dispozičné umiestnenie Republikového úložiska radioaktívnych odpadov v Mochovciach.
Fig. 1. View on the disposition of the Republic radioactive waste dump in Mochovce.

¹ Doc. Ing. Jozef Kuzma, Ph.D., Ing. Luboš Hruštinec, Ph.D. Katedra geotechniky Stavebnej fakulty STU, 813 68 Bratislava, Radlinského 11, Tel.: + 421 2 59274 678, kuzma@svf.stuba.sk; hrustin@svf.stuba.sk
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 8. 1. 2007)

Takéto rozsiahle a z hľadiska bezpečnosti prevádzky veľmi náročné stavebné dielo ovplyvní počas svojej životnosti vo významnej miere okolité prírodné prostredie. Rozsiahla stavebná činnosť, aktívna prevádzka úložiska a realizácia konečného prekrytia významne ovplyvní rovnovážny stav horninového prostredia. Zmena rovnovážneho stavu spôsobí deformačné prejavy dotknutého územia, v ktorom je osadené množstvo stavebných objektov a funkčných (technologických) celkov. Poznanie veľkosti pretvorenia podlažia s výstavbou dotknutého územia bude mať rozhodujúci význam pre posúdenie stability územia a funkčnosti už vybudovaných, resp. navrhovaných drenážnych systémov, inžinierskych a technologických rozvodov. Príspevok sa zaoberá problematikou spoľahlivosti úložiska z hľadiska posúdenia podlažia podľa požiadaviek I. a II. skupiny medzných stavov, t.j. bezpečnosti a použiteľnosti stavebného diela. Samostatný komplex geotechnických problémov súvisí s návrhom konštrukcie konečného prekrytia úložiska, ktorej hlavnou funkciou je zabránenie infiltrácie vody do priestorov úložných boxov po ukončení aktívnej prevádzky, až do konca životnosti stavebného diela.

Morfologické, geologické a hydrogeologické pomery republikového úložiska

RÚ RaO sa nachádza v severnej časti Hronskej pahorkatiny. Jeho reliéf je mierne zvlnený, rozčlenený plytkými dolinami úvalinového charakteru s nestálym povrchovým vodným tokom. Úložisko leží v údolí pravostranného prítoku Telinského potoka. V priestore úložiska ležia priamo na vulkanitoch sedimenty stredného až vrchného sarmatu (vrábeľské súvrstvie). Tieto sú tvorené sivými piesčitými vápnitými ílmi s polohami prachovitého jemnozrnného piesku a ílovitého siltu. Tieto polohy tvoria vzájomne odizolované šošovky, ktoré sa v horizontálnom smere vyklíňujú už na krátke vzdialenosti. V severnej časti úložiska boli zistené sedimenty ivánskeho súvrstvia (spodný panón), ktoré tu dosahujú hrúbku 11,5 až 23,0 m. Sú zastúpené šedými až hnedými piesčitými ílmi s tenkými polohami prachovitých pieskov a s ojedinelými šošovkami štrkovitých pieskov. Kvartérne sedimenty sú zastúpené prevažne deluviálnymi splachovými piesčitými hlinami, ktorých hrúbka nepresahuje 3 až 4 m. Tieto tvorili výplň dnovej časti úvaliny a prilahlých svahov, ktoré boli v lokalite stavby pri budovaní tesniacej ílovej vane zväčša odstránené. Základová pôda priamo pod prvým dvojradom boxov je tvorená zvyškami kvartérnych sedimentov (hlín), najmä v strede objektov boxov a pod spodným dvojradom. Pod nimi sa nachádzajú sedimenty panónu (íly, piesky).

Hydrogeologické pomery podlažia RÚ RaO a jeho bezprostredného okolia sú z hľadiska bezpečnosti prevádzky úložiska jedným z rozhodujúcich faktorov. Možno konštatovať, že hydrogeologické pomery na stavenisku sú pomerne komplikované, čo vyplýva zo zložitosti geologického prostredia, v ktorom prebieha prúdenie podzemných vôd. Z realizovaných prieskumných prác vyplynula existencia niekoľkých súvislých zvodnených kolektorov podzemných vôd. Najvyšším, hlavným kolektorom (H) je kolektor s voľnou hladinou, ktorý reaguje pomerne citlivo na zrážky. Kolektory P1 a P2 predstavujú priepustnejšie, do značnej miery hydraulicky izolované piesčité polohy v hlbších zónach sarmatského podlažia. Podzemná voda má vztlakový charakter a jej piezometrická úroveň vystupuje 1 až 2 m nad voľnú hladinu kolektoru H. Jej infiltračná oblasť sa teda nachádza vo vyšších polohách, než je úroveň dna úložiska. Pôvodný hydrogeologický režim bol značne upravený stavebnou činnosťou. Zrážkové vody boli zachytené a odvedené vonkajšími rigolmi do priestoru pod úložiskom. Zrážkové vody v priestore areálu RÚ RaO sú sústredené pomocou vnútorných priekop do zberných nádrží. Vody presiaknuté do podlažia sú odvádzané z podzemných drénov a drenážnych štôlní. Kolektor H bol zrejme ovplyvnený zemnými stavebnými prácami v oblasti RÚ RaO v Mochovciach.

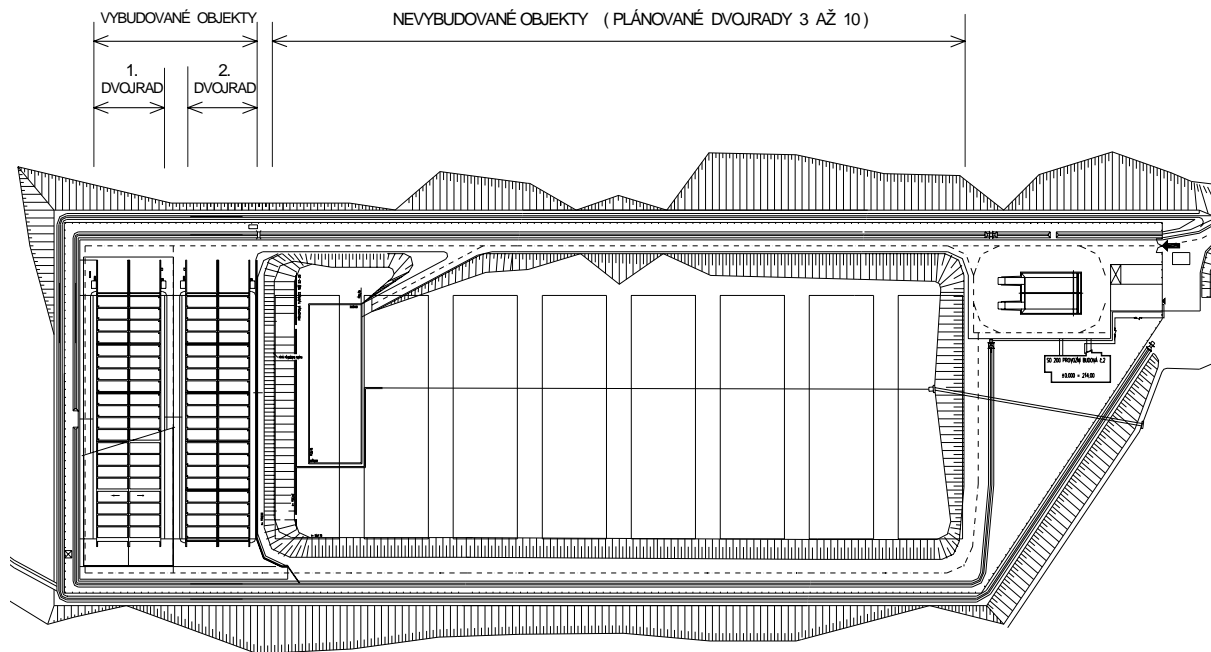
Z hľadiska posúdenia základových pomerov v zmysle STN 73 1001, je možné inžiniersko-geologické a hydrogeologické pomery záujmovej oblasti hodnotiť ako zložitú.

Konštrukčné usporiadanie republikového úložiska rádioaktívnych odpadov

Republikové úložisko rádioaktívnych odpadov je v súčasnosti tvorené dvom dvojradmi železobetónových úložných boxov. Štyri boxy sú zoskupené do jedného dilatačného bloku s pôdorysnými rozmermi 18,6 x 6,0 m a výškou 5,5 m, ktorý je založený na spoločnej základovej doske hrúbky 0,6 m. V jednom rade sa nachádza päť dilatačných blokov. Dilatačná škára medzi jednotlivými blokmi má projektovanú šírku 50 mm. Úložné boxy sú prekryté železobetónovými panelmi hrúbky 0,5 m. Na dne úložných boxov a pod základovou konštrukciou je vybudovaný systém dvoch drenáží (kontrolnej a sledovanej drenáže). Hlavnou úlohou drenážneho systému úložiska je zaistenie kontroly a bezpečného odvodu možných priesakov podzemných aj povrchových vôd kontaminovaných rádioaktívnymi látkami z vnútorného priestoru úložných boxov do podlažia, resp. z podlažia do priestoru úložných boxov. Bočné steny a dno monolitických železobetónových úložných boxov je chránené vrstvou ílovitých zemín. Pod nádržami je uložená 1 m hrubá vrstva zhutnených ílovitých zemín, zabezpečujúca vodonepriepustnosť podzákladia úložných boxov. Na nej je uložená 0,6 m hrubá vrstva piesčitého štrku. Bočné steny sú chránené zvislým ílovitým tesnením hrúbky 3,5 m, ktoré je previazané s horizontálnou tesniacou

vrstvou zeminy a vytvára s ňou jeden kompaktný celok, tzv. ílovitú tesniacu vaňu. Počas plnenia úložných boxov odpadom, je proti klimatickým účinkom dvojradow chránený prenosnou oceľovou halou.

Z hľadiska celkovej spoľahlivosti RÚ RaO je možné považovať objekty úložných boxov za najdôležitejšie, resp. rozhodujúce stavebné konštrukcie. Zároveň sú to konštrukcie, ktoré budú najviac namáhané silovými, deformačnými a radiačnými účinkami. Charakteristický pozdĺžny a priečny rez 1. a 2. dvojradow je uvedený na obr. 2 a 3.



Obr. 2. Celková situácia rozmiestnenia objektov Republikového úložiska rádioaktívnych odpadov v Mochovciach.
Fig. 2. Total situation of the arrangement of objects of The Republic radioactive waste dump in Mochovce.

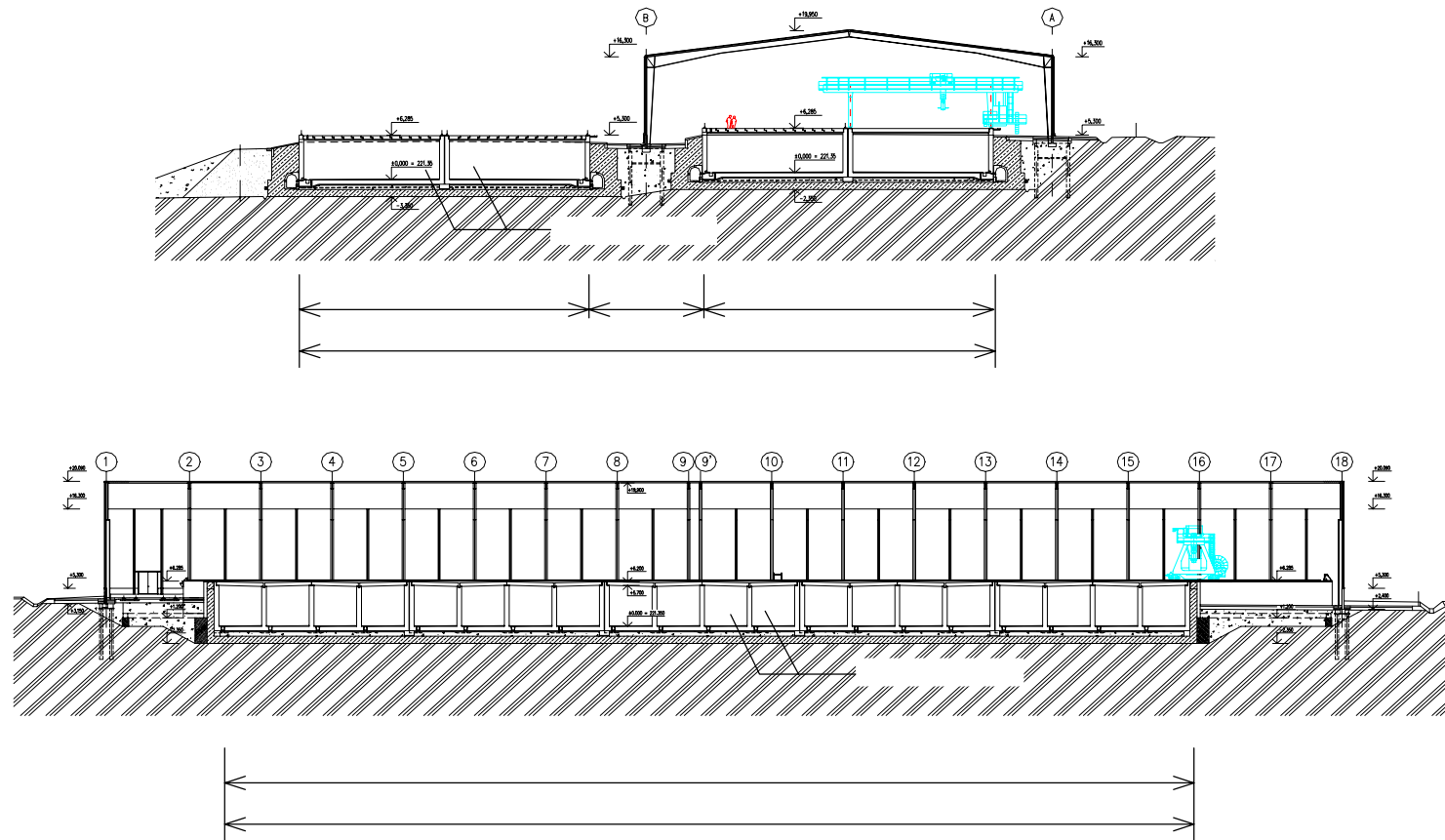
Posúdenie stability republikového úložiska RAO podľa medzných stavov

Pre celkové posúdenie bezpečnosti a použiteľnosti RÚ RaO je potrebné prešetriť komplex geotechnických problémov, ktoré sú predurčené náročnosťou stavebných konštrukcií úložiska a zložitou inžiniersko-geologických pomerov výstavbou dotknutého územia. Z hľadiska splnenia požiadaviek spoľahlivosti podľa I. a II. skupiny medzných stavov je možné rozdeliť riešenie problémov do nasledujúcich dvoch hlavných okruhov :

1. Stabilitné výpočty zamerané na posúdenie celkovej stability RÚ RaO a výstavbou dotknutého prírodného horninového prostredia v jednotlivých etapách výstavby, prevádzky a predpokladanej životnosti úložiska, vrátane podlažia úložných boxov.
2. Deformačné výpočty zamerané na posúdenie konečného a nerovnomerného sadnutia rozhodujúcich stavebných konštrukcií úložiska zohľadňujúci jednotlivé etapy výstavby, prevádzky a predpokladanej životnosti úložiska.

V rámci riešenia prvej skupiny problémov súvisiacich so zabezpečením stability a prevádzkovej schopnosti RÚ RaO v Mochovciach vo všetkých štádiách výstavby a po jej ukončení je potrebné vykonať sériu stabilitných výpočtov, ktorými sa preukáže :

- stabilita 1. a 2. dvojradow,
- stabilita okolitých svahov,
- únosnosť podlažia železobetónových boxov.



Obr. 3. Charakteristický pozdĺžny a priečny rez 1. a 2. dvojradom úložných boxov RÚ RaO v Mochovciach.
Fig. 3. Typical longitudinal section and cross-section of the first and second rank of boxes of The Republic radioactive waste dump in Mochovce.

Druhý okruh problémov súvisí so zabezpečením použiteľnosti a bezporuchovej prevádzky stavebných objektov a technologických celkov úložiska z hľadiska veľkosti konečného a nerovnomerného sadnutia úložných boxov. Zo stavebno-technického riešenia rozhodujúcich nosných konštrukcií, do ktorých patria aj nosné steny úložných boxov, vyplynula tiež požiadavka na posúdenie vodorovných posunov stien úložných boxov v miestach dilatčných škár, ktorých projektovaná šírka je 50 mm. S ohľadom na výšku steny úložných boxov, už pri relatívne malej hodnote nerovnomerného sadnutia, resp. náklonu tuhých železobetónových konštrukcií úložných boxov môže dôjsť k ich porušeniu a tým k strate projektovanej funkcie. Veľkosť sadnutia a nerovnomerného sadnutia podložía úložiska je potrebné poznať aj z dôvodu posúdenia funkčnosti drenážnych a tesniacich systémov, ktoré sú uložené v revíziách a kontrolných štôľňach obr. 4. V prípade drenážnych systémov je to hlavne zabezpečenie požadovaného sklonu potrebného pre gravitačný odtok priesakových vôd. Z konštrukčného riešenia úložiska je zrejma koncentrácia intenzity zaťaženia do geometrického stredu dvojradov úložných boxov, preto je veľmi dôležitý aj spôsob a systém ukladania železobetónových kontajnerov do úložiska, obr. 5.

Vplyvom nerovnomerného sadnutia podložía dôjde k vzniku lokálnych depresií v drenážnych systémoch, a preto ich hrúbka musí rešpektovať veľkosť nerovnomerného sadnutia podložía tak, aby bol trvale zabezpečený požadovaný sklon pre gravitačný odtok vody. Vznik lokálnych depresií by spôsobil zvýšené a trvalé hydraulické namáhanie jednotlivých tesniacich vrstiev úložiska, čím by došlo k ovplyvneniu fyzikálnych vlastností zemín tesniacej vrstvy, hlavne konzistenčného stavu a následne pevnostných a deformačných vlastností. Tieto zmeny budú mať za následok zvýšenie priepustnosti tesniacej vane, zvýšenie stlačiteľnosti a zníženie únosnosti podložía RÚ RaO. Z lokalizácie maximálnych napätí a pretvoreni pod pôsobiacim účinkom vonkajšieho a deformačného zaťaženia tiež vyplynú možné oblasti vzniku porúch, ktoré je potrebné zohľadniť pri návrhu konštrukcie jednotlivých vrstiev konečného prekrytia.

Najnáročnejšou a najdôležitejšou úlohou v procese riešenia uvedených problémov je transformácia skutočných materiálových vlastností prírodného horninového prostredia do idealizovaného výpočtového modelu, ktorý musí hodnoverne vystihovať skutočné správanie sa posudzovaných konštrukcií. Preto je potrebné uvedenej úlohe venovať náležitú pozornosť. Riešenu problematiku komplikuje veľká nehomogenita prírodného horninového prostredia ale hlavne skutočnosť, že materiálové vlastnosti hlavne jemnozrnných zemín podložía sú veľmi premenlivé v závislosti na čase a napätostom stave. Definovanie zložitých konštitučných vzťahov vo výpočtových modeloch, ktoré hodnoverne popisujú skutočné procesy v zemnom masíve pod vplyvom pôsobiacich účinkov zaťaženia je veľmi zložitá, časovo náročná a nákladná úloha.

Riešenu úlohu je možné do určitej miery zjednodušiť primeranou idealizáciou skutočných vlastností zemín pri rešpektovaní nevyhnutnej požiadavky zachovania fyzikálnej podstaty. Preto je potrebné určovať fyzikálne, pevnostné a deformačné vlastnosti zemín podložía a zabudovaných zemín do tesniacej vane na základe štandardných laboratórnych skúšok na neporušených a porušených vzorkách v zmysle platných STN.

Pre definovanie výpočtových modelov a okrajových podmienok jednotlivých úloh je potrebné definovať nasledujúce vstupné údaje:

- priestorové usporiadanie a geometrický tvar stavebných konštrukcií a výstavbou dotknutého územia,
- veľkosť a rozmiestnenie zaťaženia stáleho, náhodného, mimoriadneho, resp. ich kombinácie,
- fyzikálne, pevnostné a deformačné vlastnosti umelých stavebných materiálov (betónové a železobetónové konštrukcie),
- fyzikálne, pevnostné a deformačné vlastnosti prírodného horninového prostredia záujmového územia a zemín zabudovaných do RÚ RaO.

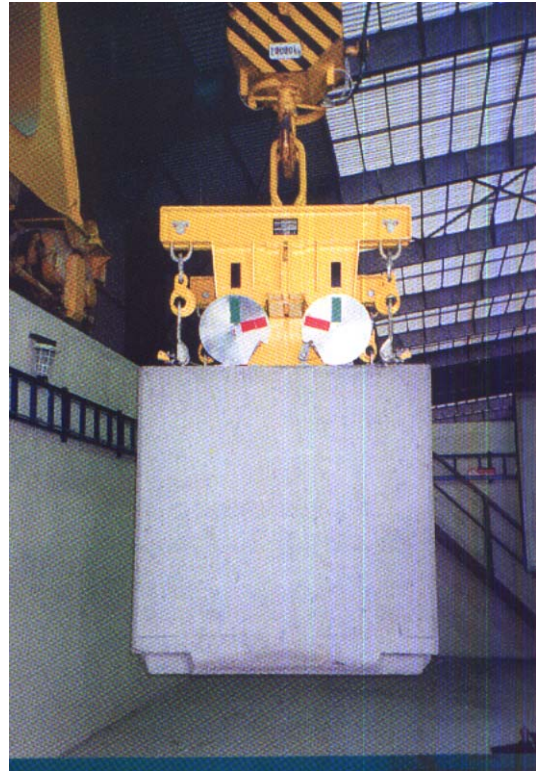
Z hľadiska posúdenia celkovej spoľahlivosti úložiska nie je možné pripustiť prekročenie medzného stavu únosnosti a pretvorenie ktoréhokolvek konštrukčného celku počas celej doby aktívnej prevádzky úložiska (organizovaného zaplňania úložných boxov vláknotbetónovými kontajnermi) a projektovanej, resp. skutočnej životnosti úložiska po zrealizovaní konečného prekrytia. Preto jednotlivé výpočty musia vystihovať všetky rozhodujúce zaťažovacie stavy, ktoré nastali a v budúcnosti môžu nastať. Veľkosť zaťaženia jednotlivých stavebných konštrukcií a podložía RÚ RaO a vplyvu zaťaženia na okolité prírodné horninové prostredie je z časového hľadiska veľmi premenlivá veličina. Bude závisieť hlavne od procesu výstavby hlavných stavebných konštrukcií úložiska, spracovaného harmonogramu organizovaného zaplňania úložných boxov vláknotbetónovými kontajnermi počas aktívnej prevádzky úložiska a etapy realizácie konštrukcie konečného prekrytia úložiska. Intenzita zaťaženia bude teda závisieť od postupného prírastku zaťaženia stáleho, dlhodobého a krátkodobého, náhodného aj mimoriadneho, resp. ich kombinácie.

Časový faktor pri riešení jednotlivých problémov je veľmi významný nakoľko predpokladanú životnosť RÚ RaO určil Úrad jadrového dozoru SR na základe dĺžky inštitucionálnej kontroly úložiska na dobu 300 rokov. S ním úzko súvisia konsolidačné procesy v podloží úložiska a postupná redistribúcia síl, ktorá bude prebiehať v závislosti od rýchlosti priťažovania základovej škáry (plnenia úložných boxov kontajnermi). Na základe výpočtov a prognóz je možné navrhnúť vhodný spôsob ukladania kontajnerov, čo priaznivo ovplyvní celkové priemerné sadnutie a nerovnomerné deformácie, ktoré sa budú vyvíjať v závislosti od času v

priebehu až niekoľko desiatok rokov. Stabilita republikového úložiska radioaktívnych odpadov musí byť zabezpečená s požadovanou spoľahlivosťou počas celej existencie jeho životnosti.



Obr. 4. Pohľad do kontrolnej a revíznej štólne.
Fig. 4. View on the control and inspection gallery.



Obr. 5. Ukladanie kontajnerov do úložiska.
Fig. 5. Depositing the boxes in the Republic radioactive waste dump.

Záver

Výstavba týchto špecifických objektov v ktorých sa budú ukladať slabo radioaktívne odpady je mimoriadne náročná inžinierska úloha s ktorou sme sa doposiaľ nestretli. Táto problematika nie je doposiaľ dostatočne pertraktovaná ani v zahraničnej literatúre. Preto postupy a riešenia, ktoré sme pri návrhu konštrukcie a posúdení stability republikového úložiska použili považujeme za originálne a je zrejme, že týmito náročnými otázkami je potrebné sa aj v budúcnosti zaoberať.

S ohľadom na náročnosť a požadovanú bezpečnosť skladovania rádioaktívnych materiálov v RÚ RaO Mochovce je potrebné pristupovať k riešeniu problému komplexne. Významným faktorom ovplyvňujúcim komplexný prístup k riešeniu uvedeného problému je časové hľadisko, ktoré musí zohľadňovať jednotlivé etapy aktívnej prevádzky a projektovanej životnosti úložiska. Pri formulovaní jednotlivých geotechnických problémov je potrebné prihliadať hlavne na posúdenie stavebného diela z hľadiska bezpečnosti a použiteľnosti stavebných konštrukcií a technologických celkov, t.j. ich posúdenie podľa I. a II. skupiny medzných stavov. Veľkú pozornosť je potrebné venovať aj definovaniu okrajových podmienok jednotlivých úloh s dôrazom na ich variabilitu v čase. Nutnou požiadavkou pre úspešné vyriešenie zložitého interdisciplinárneho problému je správne určenie interakcie prírodného horninového prostredia so stavebnou konštrukciou tak, aby bola zabezpečená ochrana životného a prírodného prostredia na požadovanej úrovni.

*Príspevok vznikol pri riešení grantovej úlohy
MŠ č. 1/2135/05*

Literatúra - References

- [1] Kuzma, J. a kol.: Expertízne posúdenie RÚ RaO v Mochovciach. *Bratislava, 1998.*
- [2] Predprevádzková bezpečnostná správa pre RÚ RaO Mochovce, *Mochovce, 1999.*
- [3] RÚ RaO Mochovce - Podrobný inžiniersko-geologický prieskum. *TerraTest, 1997.*
- [4] Firemné materiály Slovenských elektrární, a.s. o "RÚ RaO Mochovce".
- [5] STN 73 1001: Základová pôda pod plošnými základmi, *1987.*