

Etapa I a proiectului

- Analiza tehnologiilor de umplere, utilizate în camerele de depozitare a deșeurilor slab și mediu active, în cazul unor depozite similare cu DNDR și selectarea tehnologiei de umplere, aplicabile la DNDR Băița, Bihor.
- Experimente de laborator, privind comportarea materialelor de umplere în mediu saturat. Propuneri de variante de umplere a golurilor.
- Analiza comportării în timp, a sistemului de depozitare a coșurilor cu deșeurii radioactive, în condițiile modificării tehnologiei de umplere a spațiilor

În cadrul lucrărilor efectuate în această etapă s-a realizat o evaluare privind experiența și practicile actuale pentru depozitarea deșeurilor cu activitate joasă și medie din Uniunea Europeană. Accentul s-a pus pe operarea și gestionarea acestor depozite și pe modul evoluției lor în timp. În multe cazuri, depozitele au luat ființă inițial ca amenajări necesare pentru managementul deșeurilor de la centrele de cercetare particulare sau naționale, de la stațiile aferente ciclului combustibililor sau de generare de energie electrică. De-a lungul timpului, multe au fost adoptate ca depozite naționale chiar dacă de multe ori erau încă gestionate de către organizația inițială. Pe măsură ce au fost create organizații naționale de management al deșeurilor, responsabilitățile legate de proprietatea, investițiile, finanțarea, gestionarea și exploatarea acestor amenajări de asemenea au evoluat. Diferitele depozite analizate au demonstrat variante cu privire la natura și amploarea acestei evoluții în diferite țări.

Raportul este structurat pentru a oferi:

- O privire de ansamblu asupra principalelor cerințe tehnice pentru depozitele de deșeurii radioactive;
- O privire de ansamblu asupra diferitelor tipuri de depozite în funcțiune;
- Descrieri detaliate ale depozitelor care sunt similare cu depozitul de la Băița Bihor;
- Descrieri detaliate ale depozitelor care reprezintă „cele mai bune practici” din UE.

Raportul concluzionează că există o gamă largă de concepte de depozitare a deșeurilor cu activitate joasă și medie în curs de implementare în cadrul Uniunii Europene. Selecția acestor concepte este determinată de:

- Tipurile și volumele de deșeurii generate
- Strategia națională de management al deșeurilor radioactive
- Abordarea de reglementare pentru managementul deșeurilor în condiții de siguranță

Gradul de izolare a deșeurilor în depozit față de mediul înconjurător depinde de performanțele sistemului deșeu-depozit ca un tot unitar, luându-se în considerare coșul cu deșeurii, lucrările ingineresti în depozit și geologia amplasamentului. Aceste componente ale sistemului trebuie selectate și/sau proiectate în așa fel încât considerate ca un sistem global să asigure funcțiile de izolare cerute de securitatea radiologică a populației și mediului acum și în viitor la un nivel prestabilit.

Toate aceste componente au un rol specific, depinzând de metoda de depozitare și reprezintă, un sistem unic, capabil să întrunească principalul obiectiv al securității radiologice, care este de a preveni, întârzia și limita eliberarea de radionuclizi din deșeu în mediu, la un nivel la care efectele negative să rămână acceptabile. În plus, la componentele sistemului (naturale și

ingineresti), se implementează controlul instituțional și marcajele pasive, care pot contribui, cel puțin pentru un timp, la protecția contra intruziunii umane.

Totodată, un obiectiv important al proiectului, este modelarea eliberării radionuclizilor din galeriile de depozitare ale Pentru realizarea unei evaluări robuste privind implementarea barierelor ingineresti, au fost studiate practicile utilizate la depozite relativ similare (în formațiuni geologice), experimentele derulate pentru analiza eficienței acestora, experimente propuse in-situ și de laborator și modul de evaluare al comportării în timp.

În această etapă au fost evaluate două concepte diferite de modelare a termenului sursă. Primul concept se bazează pe abordări analitice înglobate în programe de calcul elaborate anterior de echipa de lucru. Aceste aproximații includ un grad înalt de conservatorism și reprezintă o limită superioară a eliberărilor radionuclizilor din galeriile de depozitare. La baza acestor aproximații se află conceptul cascadei de celule amestecate care se bazează pe ipoteze fundamentale utilizate curent în aceste cazuri. Al doilea concept dezvoltat în lucrare, pentru evaluarea termenului sursă, reprezintă o abordare complexă bazată pe rezolvarea numerică a ecuației de transport a radionuclizilor. Eliberarea din forma de deșeu include trei mecanisme: spălarea suprafeței, difuzia și disoluția (eliberare uniformă). Aceste mecanisme de eliberare, opțional, pot fi reprezentate analitic sau numeric. În simulările prezentate în lucrare s-a preferat modelarea numerică a mecanismelor de eliberare. Simulările bazate pe rezolvarea ecuației de transport s-au efectuat cu programul de calcul DUST-MS și s-au bazat pe o simulare mono-dimensională a galeriei de depozitare.

În vederea îmbunătățirii izolării deșeurilor și securității radiologice se propune așezarea primelor 3 rânduri de colete, umplerea spațiilor dintre ele și apoi așezarea următoarelor două rânduri, după care urmează închiderea galeriei de depozitare. Cofrajele metalice permanente, vor fi confecționate în două etape, respectiv, pentru primele trei rânduri și apoi, pentru ultimele două rânduri.

Ca metode de umplere a spațiilor dintre colete, se propun următoarele variante:

VARIANTA I MODIFICARE UMLERE GOLURI

I.1 Umplere cu materiale umede:

- I.1.1 Pastă de noroi bentonitic (bentonită + apă + ciment + nisip);
- I.1.2 Pastă de beton bentonitic (bentonită + apă + ciment);
- I.1.3 Pastă de beton alcalin (bentonită + apă + praf de piatră de var);

I.2 Umplere cu materiale uscate:

Se propune de asemenea, așezarea primelor 3 rânduri de colete, umplerea spațiilor dintre ele și apoi, așezarea următoarelor două rânduri, după care, urmează închiderea galeriei de depozitare.

Ca metode de umplere cu materiale uscate a spațiilor dintre colete, se propun următoarele trei subvariante, aferente celei de-a doua variante:

- I.2.1 Bentonită pulbere;
- I.2.2 Bentonită pulbere + nisip – în proporție de 50%, fiecare;
- I.2.3 Bentonită pulbere 30% + argila 20% + nisip 50%.

În toate subvariantele utilizate, este necesară folosirea unor echipamente mobile, pentru transferul de materiale umede, respectiv, a unui sistem pneumatic de transport a materialului uscat, prin furtune flexibile.

VARIANTA II CREȘTERE GRAD IZOLARE

În vederea creșterii gradului de izolare a coletelor cu deșeuri radioactive, a fost determinată, pe parcursul efectuării acestei faze, necesitatea evaluării utilizării unor materiale de izolare moderne, cum ar fi geomebranele și geocompozitele. Au fost identificate două variante de izolare și anume:

II.1 Montarea unui sistem multistrat, pe pereții și bolta fiecărei galerii de depozitare, care să izoleze coletele de deșeuri radioactive, similar soluției tehnice utilizate la Depozitul Richard, din Republica Cehă.

II.2 Acoperirea stivelor de butoaie, din fiecare galerie, cu un sistem multistrat, format dintr-un geocompozit bentonitic și o geomembrană.

Analiza posibilității aplicării acestor subvariante suplimentare, urmează să fie efectuată ulterior. Geocompozitele bentonitice (cunoscute în practica inginerescă, prin termenul englez Geosynthetic Clay Liner), se definesc ca produse prefabricate, ce asociază materialele geosintetice și bentonita, fiind utilizate în domeniul construcțiilor și al geotehnicii, pentru a realiza o barieră etanșă.

Acestea au apărut, ca urmare a necesității de a obține o barieră etanșă eficientă, utilizând un material ușor de pus în operă, omogen și rezistent la poansonare. Aceste produse, combină un material natural, bentonita, care prezintă o permeabilitate foarte scăzută datorată capacității ei de umflare, cu materialele geosintetice, care au rol de protecție și, eventual, și de etanșare.

Etapa II a proiectului

În vederea atingerii obiectivelor etapei au fost luate în considerare principiile esențiale care trebuie să stea la baza Strategiei de Închidere a DNDR în condiții de securitate nucleară rezumate mai jos.

O instalație de depozitare, după perioada de operare trebuie închisă, astfel încât să se asigure acele funcții de securitate care au fost identificate ca fiind importante în scenariul de securitate post-închidere. Planurile de închidere care includ tranziția de la managementul activ la cel inactiv al instalației vor fi definite și practicabile astfel încât închiderea să fie efectuată în condiții de siguranță, la termenul planificat.

Securitatea unei instalații de depozitare depinde de o serie de activități și caracteristici de proiectare care includ umplerea și etanșarea sau blocarea instalației de depozitare, la terminarea depozitării. Instalația de depozitare ar trebui să fie închisă, în conformitate cu cerințele de închidere specificate de organismul de reglementare, în autorizația instalației, cu luarea în considerare a oricărei modificări care poate apărea în momentul închiderii.

Umplerea și amplasarea etanșărilor sau blocărilor pot fi întârziate pe o perioadă după finalizarea depozitării deșeurilor, de exemplu, pentru a permite monitorarea în vederea evaluării aspectelor referitoare la securitatea după închidere sau pentru rațiuni legate de acceptanța publicului.

Toate resursele tehnice și financiare, necesare pentru închiderea în condiții de securitate nucleară, trebuie să fie asigurate corespunzător.

Principalele cerințe de performanță a umpluturii constau în, capacitatea de a preveni căile preferențiale de migrare a contaminanților pe direcțiile verticală și orizontală și asigurarea unui anumit suport pentru susținerea pereților galeriei (pe direcție verticală)

În cazul DNDR, un obiectiv important al proiectului este modelarea eliberării radionuclizilor din galeriile de depozitare a deșeurilor radioactive. Obiectivul major îl constituie evaluarea practicii curente de umplere a tunelurilor de acces și aeraj cu materiale corespunzătoare cerințelor de securitate, identificarea unor soluții eficiente de izolare sau de întârziere a migrării radionuclizilor, prin realizarea unei “confinări” globale suplimentare a deșeurilor radioactive condiționate, depozitate definitiv la DNDR Băița.

În cadrul fazei au fost elaborate de membrii Consorțiului subcapitolele prezentate în continuare, conform planificării.

Evaluarea tehnologiilor de închidere utilizate în alte țări, în cazul unor instalații similare. Variante fezabile preliminare în cazul DNDR.

În cadrul acestui subcapitol, au fost reevaluate fluxurile de deșeuri radioactive, estimate a fi depozitate la DNDR, realizându-se de asemenea și un inventar actualizat, cu prezentarea proprietăților fizico-chimice ale deșeurilor. Pentru realizarea unei analize unitare și robuste, au fost prezentate tehnologiile aplicate în managementul deșeurilor radioactive depozitate, în vederea demonstrării îndeplinirii criteriilor de acceptanță, conform limitelor autorizate (WAC).

Totodată a fost evaluat și cadrul natural de amplasare.

Politica adoptată în mare măsură, pentru depozitarea definitivă a deșeurilor radioactive, implică amplasarea acestora într-un depozit proiectat, care să nu-și piardă funcțiile de izolare, în cazul unui spectru mare de evenimente, și să împiedice evacuarea conținutului de radionuclizi în cantități care să afecteze umanitatea și biosfera.

Deoarece DNDR este considerat, conform documentelor AIEA, un depozit geologic, apare inherent problema analizei privind reversibilitatea deciziilor și recuperabilitatea deșeurilor, deși, până în prezent, nu s-au analizat aceste posibilități.

De menționat că, în același timp, caracteristicile depozitului au impus analiza DNDR din punct de vedere al securității nucleare, ca fiind un depozit de suprafață.

De asemenea, pentru facilitarea luării unor decizii tehnice fezabile privind conceptul de închidere al DNDR-Băița au fost realizate studii asupra conceptelor dezvoltate sau în curs de dezvoltare, pentru instalații europene cu caracteristici similare. Aceste studii s-au concentrat pe trei componente :

- Strategia generală: cu recuperare sau fără recuperarea deșeurilor;
- Abordare securitate nucleară, performanțe sistem de depozitare;
- Plan de închidere preconizat.

Raportul concluzionează că există o gamă largă de concepte de depozitare a deșeurilor cu activitate joasă și medie, în curs de implementare, în cadrul Uniunii Europene. Selecția acestor concepte este determinată de:

- Tipurile și volumele de deșeuri generate;

- Strategia națională de management al deșeurilor radioactive;
- Reglementări pentru managementul deșeurilor, în condiții de siguranță.

Există unele analogii potrivite pentru DNDR-Băița Bihor, în KLDRA-Himdalen-Norvegia și Bratsvi/Richard-Republica Cehă, care au fost descrise în detaliu. Aceste depozite, prezintă similarități, în ceea ce privește, inventarul deșeurilor și proveniența, concepte similare de depozitare în galerii de mină și concepte similare privind închiderea.

Propunerea tehnologiei de închidere a DNDR pe baza datelor experimentale preliminare obținute.

În cadrul acestui subcapitol, au fost analizate și evaluate materialele de umplere, precum și conceptele utilizate în instalații similare. Cerințele unui sistem de etanșare a depozitului presupun ca umplutura să prezinte anumite caracteristici fundamentale. Acestea includ recrearea echivalentului debitului inițial al apelor subterane și condițiilor geochimice/de transport, din amplasamentul depozitului. Pentru a îndeplini aceste cerințe, umplutura trebuie să fie capabilă să asigure ca argila expandabilă, utilizată ca material tampon, în contact cu coletele rezistente la coroziune, utilizate pentru a stoca deșeurile radioactive, să rămână plasată în locația inițială.

O concluzie generală este că funcția generală a umpluturii (presupusă a fi argilă, agregat sau un amestec de aceste materiale) ar putea fi realizată prin maximizarea densității uscate a materialului de umplură și prin minimizarea spațiilor goale din galeriile etanșate. Pentru a realiza acest lucru, a fost pus accentul pe dezvoltarea unei compactări îmbunătățite și a unor tehnici corespunzătoare de amplasare a umpluturii.

În vederea realizării scopului umpluturii, aceasta trebuie să fie stabilă chimic și mecanic pentru o perioadă îndelungată și nu trebuie să aibă sau să dezvolte proprietăți care ar putea degrada, în mod semnificativ, funcția altor bariere, în sistemul de depozitare. Acest aspect, a fost interpretat în sensul că umplutura trebuie să fie suficient de compactă pentru a păstra materialul tampon fixat în geometria proiectată, care să aibă o conductivitate hidraulică suficient de scăzută, pentru a împiedica deplasarea apelor contaminate.

Totodată, au fost analizate interacțiunile dintre bentonită și ciment. Interacțiunea dintre materialul tampon de bentonită și cantitatea mică de soluție alcalină din materialul degradat pe bază de ciment, utilizat în construcția și exploatarea depozitului, este considerată riscantă pe termen lung, pentru stabilitatea chimică a bentonitei. În acest raport, calculele modelelor de transport au fost efectuate pentru a pune în lumină, pe cât posibil, alterarea bentonitei din cauza cantității mici de soluție alcalină. În modelele de calcul unidimensional, celor mai multe dintre mineralele primare din bentonită, nu li s-a permis să reprecipite și să formeze structuri, cu alte smectite.

Pe baza acestor evaluări, a fost stabilită o soluție preliminară, privind conceptul de închidere al DNDR-Băița. Închiderea instalației se va face în concordanță cu un plan de închidere aprobat, care va include actualizarea evaluărilor de securitate și descrierea controalelor planificate pentru faza post-închidere, programul de monitorizare și supraveghere și sistemul de menținere a înregistrărilor.

Pe baza unei analize preliminare, a rezultat că materialul de umplere a galeriilor de accse este roca gazdă excavată anterior, prelucrată prin concasare, pentru a fi adusă la dimensiunile balastului pentru drumuri.

Urmează să fie etanșate la închiderea DNDR, următoarele galerii:

- galeria de acces, pe lungimea de cca. 240 m;
- galeria de aeraj, pe lungimea de cca. 340 m.

În cadrul acestui concept preliminar se propune umplerea pe tronsoane cu dimensiunea de 50 m. Se vor utiliza 4 tronsoane tip pentru umplerea galeriei de acces, de 240 m și 6 tronsoane tip pentru galeria de aeraj, de 340 m.

A. Principalele materiale utilizate și justificarea acestora

1. Conform analizei preliminare efectuate în cadrul prezentului proiect, umplutura din rocă gazdă naturală excavată, prezintă cele mai bune proprietăți de compatibilitate chimică, cu pereții galeriilor de depozitare. Rezistența mecanică a acestui material, pe termen lung, este superioară materialelor cimentoase. În consecință, se propune umplerea galeriilor menționate mai sus, cu rocă excavată anterior, prelucrată prin concasare, pentru a fi adusă la dimensiunile balastului pentru drumuri.
2. Stratul de etanșare, de cca. 3 m, format dintr-un amestec de bentonită expandabilă 30%, argilă neexpandabilă 20% și nisip 50%, asigură împiedicarea formării canalelor preferențiale și împiedică migrarea radionuclizilor, dar fără să afecteze celelalte materiale prin expandare excesivă.
3. Umplutura din șlam bentonitic, între stratul 2 și membrana de etanșare 4, are rolul de a asigura difuzia eventualelor radionuclizi, scăpați prin celelalte straturi.
4. Membrana de etanșare, cu grosimea de 1 m, din beton bentonitic, cu rol de retenție a eventualelor radionuclizi, scăpați prin penetrarea celorlalte bariere.
5. Membrana de etanșare din beton bentonitic, cu grosimea de 3 m, care delimitează zona de depozitare a galeriei.
6. Torcret de impermeabilizare, din beton cu Xipex, de 10 cm, aplicat pe toate suprafețele galeriei, cu excepția pardoselii.
7. Placa inferioară din beton bentonitic poros, de 10 cm grosime, pentru drenare prin difuzie controlată și retenție a eventualelor radionuclizi.

Pentru confirmarea soluțiilor tehnice propuse a fost inițiat un Program Experimental amplu care urmează să se desfășoare în perioada următoare.

B. Etanșarea și protecția anti-intruziune

Se vor prevedea dopurile de etanșare și anti-intruziune, prevăzute la faza de fezabilitate a proiectului pentru DNDR.

Se vor utiliza dopuri din beton hidrotehnic, impermeabile, cu grosimea de 15 m, la capetele exterioare ale galeriilor de acces și aeraj, precum și un dop, din același material, de 10 m grosime, la intersecția galeriei de aeraj, cu galeria de acces.

Analiza evoluției sistemelor de închidere ale DNDR în condiții limită.

Scenarii de evaluare preliminară a riscurilor

Dezvoltarea unui scenariu are drept scop obținerea unui model pe care să se poată urmări evoluția în timp, posibilă și plauzibilă. În urma analizei pe model trebuie să se obțină valorile unor indicatori de securitate, reprezentativi pentru scenariul în cauză (de exemplu, concentrații de substanță în anumite puncte din mediul înconjurător sau doze încasate de indivizi din vecinătatea depozitului) care vor indica nivelul de securitate al sistemului analizat.

Pe baza metodologiei stabilite în cadrul analizei preliminare de securitate, putem considera că sistemul de depozitare realizat în fostele galerii de exploatare a minereului de uraniu de la Băița Bihor este și va fi afectat de factori externi, interni și contaminanți, care pot fi încadrați în categoriile: caracteristici, evenimente și procese (*FEPs - Features, Events, Processes*). Factorii interni și contaminanții sunt legați de structura depozitului propriu-zis, încadrată în spațiul galeriilor, în timp ce factorii externi sunt legați de mediul exterior galeriilor depozitului. Într-o astfel de abordare, caracteristicile, evenimentele și procesele determinate de factorii externi, sunt cele care determină caracteristicile scenariului de referință.

În cazul depozitelor de deșeuri radioactive, sunt importante scenariile de evoluție pe termen lung, după închiderea definitivă a acestora. Ținând cont de caracteristicile specifice Depozitului Național de Deșeuri Radioactive Băița Bihor, care acceptă deșeuri slab și mediu active, în cadrul acestui proiect se consideră că o perioadă de 10.000 ani, după închiderea definitivă a depozitului, este de interes pentru evaluarea de securitate. În evaluarea de securitate, scenariul de referință pe termen lung a considerat ca moment zero al evaluării anul 1985, data primei amplasări de deșeuri la Băița Bihor. Această valoare se păstrează și în acest proiect.

Pentru a dezvolta un scenariu de referință corect pentru sistemul de depozitare analizat, se pornește de la trecerea în revistă a tuturor factorilor externi posibili și se stabilește care dintre aceștia sunt specifici sistemului respectiv.

Pentru dezvoltarea și justificarea scenariului de referință asociat evoluției Depozitului Național de Deșeuri Radioactive Băița Bihor, în care să se țină cont de modernizările efectuate până în prezent și de soluțiile de izolare a deșeurilor, împreună cu soluțiile de închidere propuse în cadrul proiectului de față, s-a folosit aceeași abordare metodologică din documentația de evaluare preliminară de securitate; pentru o analiză coerentă a situației depozitului s-au folosit elementele de bază din această documentație pentru care s-a actualizat informația, conform considerațiilor proiectului de față. Rezultatele aplicării acestei metodologii, sunt prezentate în lucrare.

În cadrul acestui proiect se propune schimbarea materialului tampon dintre butoaie, deoarece se consideră că bentonita, sub forma în care este pusă în operă, în acest moment (sub formă de bentonită pulbere), are o eficiență redusă, din punct de vedere al securității pe termen lung a sistemului de depozitare.

În prezent, cofrajele pierdute, folosite la fixarea bentonitei, sunt confecționate din lemn. Deoarece acestea, în timp, se vor degrada la contactul cu apa de infiltrație, se propune utilizarea cofrajelor reutilizabile, iar bentonita urmează să fie înlocuită cu beton bentonitic.

Modelul conceptual, se bazează pe descrierea următoarelor aspecte:

- caracteristicile, evenimentele și procesele (FEPs) asociate sistemului de depozitare;
- relația între caracteristici, evenimente și procese; și
- dimensiunea modelului, exprimată în termeni spațiali și temporali.

A fost realizată reprezentarea schematică a modelului conceptual pentru sub-sistemul Depozit, corespunzător galeriilor de depozitare fără material tampon (de umplere) și corespunzător galeriilor de depozitare cu material tampon, incluzând interacțiunile dintre componentele cheie ale modelului.

Datorită localizării depozitului în munte, apa din interiorul sistemului de depozitare provine numai de la infiltrațiile apei din precipitații. Conținutul de apă din depozit variază semnificativ, în funcție de poziția galeriilor, existând zone “umedă” și “uscate”, bine definite.

S-a presupus că, matricea de beton din interiorul fiecărui butoi poate prezenta crăpături, rezultate cel mai probabil, din contracțiile survenite, în procesul de turnare inițială a betonului în butoi și crăpături, dezvoltate ulterior.

După pierderea confinării, se poate considera că eliberările de radionuclizi din diferite tipuri de deșeuri pot fi descrise prin următoarele tipuri de modele conceptuale:

- Eliberarea întârziată prin fractură unică – Se consideră că radionuclizii sunt prezenți într-un container, înconjurat de un strat inelar de mortar inactiv.
- Eliberarea eterogenă – Se consideră că, radionuclizii sunt prezenți, sub formă de contaminare superficială pe materialele solide (de ex.: componente metalice mici, deșeuri din plastic, etc). Se consideră că fracturile apar, de-a lungul interfețelor dintre ciment și componentele deșeu.
- Eliberarea controlată de difuzie – În acest caz, se consideră că radionuclizii sunt amestecați strâns cu mortar astfel încât forma cimentată a deșeului asigură un grad de confinare.
- Eliberare eterogenă controlată prin difuzie – Este identică cu modelul eliberării eterogene, cu excepția faptului că, o parte din contaminare, se află în interiorul matricei componentelor din deșeu. Prin urmare, difuzia în interiorul componentelor din deșeu va acționa în sensul limitării ratei de eliberare advectivă a modelului eterogen.

Concluzii etapa II

Concluzia principală, care se desprinde din lucrările efectuate până în prezent, este aceea că s-a realizat evaluarea și caracterizarea următoarelor componente, necesare pentru formularea unui concept de închidere:

- Inventarul de radionuclizi și caracteristicile fizico-chimice;
- Cadrul geologic și hidrogeologic;
- Tehnologiile de tratare și depozitare;
- Sistemele de bariere ingineresti ;
- Conformitatea cu criteriile de acceptare;
- Tehnici de închidere și aspecte asociate, în cazul unor instalații similare.

Pe baza caracterizării acestor componente, s-a dezvoltat un concept preliminar, avându-se în vedere :

- Materiale de umplere și tehnologiile asociate;
- Interacțiuni între materialele de umplere și matricea de ciment utilizată la confinarea deșeurilor radioactive;
- Demararea unui program experimental in-situ și în laborator, pentru evaluarea performanțelor materialelor de umplere și de închidere a depozitului.

De asemenea, a fost realizată o analiză a factorilor externi, interni și contaminanți, care pot fi încadrați în categoriile: caracteristici, evenimente și procese stabilite în cadrul analizei de securitate, precum și o reevaluare a modelului conceptual și a elementelor constitutive, prin introducerea performanțelor materialelor tampon și de închidere propuse.

Pentru validarea soluției de închidere se va finaliza programul experimental descris în prezenta etapă, care va permite selectarea variantei optime finale, precum și analize asupra evoluției barierelor ingineresti si a materialelor si tehnologiilor de închidere.

În concluzie, obiectivele etapei au fost atinse în totalitate, fiind create premisele pentru elaborarea în continuare, a următoarei etape a proiectului și anume: **“Finalizarea planului de închidere a DNDR Băița-Bihor în condiții de securitate nucleară”**

Etapa III a proiectului

Închiderea DNDR Băița, Bihor poate fi considerată ca fiind ultima treaptă importantă de operare, în completarea sistemului de depozitare.

Această activitate este definită ca fiind o activitate sistematică care va fi făcută după încetarea operațiilor de amplasare a deșeurilor fiind efectuată cu intenția de a asigura configurația finală a sistemului de depozitare. Activitățile din faza de închidere trebuie să completeze proiectarea sistemului de depozitare deoarece întregul sistem are scopul de a izola constituenții periculoși (în special radionuclizii), pe o perioadă lungă de timp suficientă pentru ca riscurile pe care le reprezintă asupra umanității și ecosistemelor să fie acceptabilă. Închiderea depozitului implică luarea în considerare a unei combinații de factori științifici, tehnici, de reglementare și socio-economiци care trebuie integrați și optimizați pentru selectarea variantelor acceptabile din punctele de vedere ale tuturor părților interesate.

Sistemul de bariere ingineresti are un rol esențial în scenariul de securitate pentru depozitare. Chiar dacă roca gazdă oferă un potențial important de performanță, proiectarea corectă a sistemului de bariere ingineresti, care să îndeplinească multiple funcții de securitate este esențială.

1 Elaborarea tehnologiei conceptuale de închidere a DNDR pe baza tuturor datelor experimentale obținute

Activitățile legate de închiderea depozitului trebuie să fie dezvoltate astfel încât să respecte legislația națională și internațională.

Închiderea DNDR Băița, Bihor presupune proiectarea sistemului de închidere a tunelurilor de acces și de aeraj, precum și a sistemului de remediere a straturilor de rocă de deasupra zonei de depozitare.

Închiderea DNDR Băița, Bihor se va baza pe experiența de închidere a minelor din România. Există diferențe semnificative între închiderea minelor existente față de depozitul de deșeurii radioactive care influențează planul de închidere și unele aspecte ale tehnologiilor de închidere și anume:

Durata perioadei de control instituțional. La minele de extracție minereuri perioada de control postînchidere este în general de 30 de ani. În cazul depozitelor de deșeurii radioactive care conțin radionuclizi de viață relativ scurtă de până la 30 de ani, cum este cazul DNDR Băița, Bihor se consideră că dezintegrarea radioactivă până la un nivel acceptabil se realizează după 10 perioade de înjumătățire, rezultă că perioada de control instituțional activ și control pasiv trebuie să fie de 300 de ani.

Stabilitatea deșeurilor. Deșeurile radioactive sunt fixate într-o matrice de ciment care le transformă într-o formă solidă acceptabilă, pentru depozitare. Coletul cu deșeurii radioactive, format din containerul metalic umplut cu deșeurii radioactive imobilizate prin cimentare, este testat pentru a rezista la condițiile de manipulare, transport și depozitare.

Contaminare radioactivă. Spre deosebire de minele clasice, în cazul DNDR Băița, Bihor, câmpul de radiații, în special riscul asociat cu inventarul surselor radioactive epuizate, necesită măsuri de protecție și manipulare specifice acestor tipuri de deșeuri.

Principalele componente ale sistemului de închidere ale DNDR Băița, Bihor sunt următoarele: 1. Acoperișul format din straturile de rocă parțial alterate de activități miniere; 2. Umplutura tampon din galeriile de depozitare; 3. Pereții de separare ale galeriilor de depozitare față de tunelul de acces; 4. Umpluturile de tip sandviș a tunelurilor de acces și aeraj; 5. Dopurile de închidere a tunelurilor de acces și aeraj; 6. Sistemele de drenaj; 7. Marcajele pentru indicarea prezenței depozitului închis pentru generațiile viitoare; 8. Stratul impermeabil din ciment aditivat cu Xypex torcretat pe pereții tunelurilor de acces și de aeraj; 9. Stratul de ciment poros de pe pardoseala tunelurilor de acces și de aeraj.

În vederea închiderii depozitului DNDR Băița Bihor, refacerii cadrului natural în zona de intrare în galeria de acces 50 și asigurarea etanșării sistemului de depozitare au fost analizate și descrise în detaliu trei variante de soluții constructive privind amenajarea zonei degradate a acoperișului DNDR Băița Bihor, după cum urmează:

-Varianta 1 - Execuția unor lucrări de amenajare în terase și refacere a zonei excavate și a zonei de acces în galeria 50, pe o suprafață estimată de 13100 m²; **-Varianta 2** - Instalarea unei geogriile pe toată suprafața degradată, respectiv pentru refacerea zonei excavate și a zonei de acces în galeria 50, pe aceeași suprafață estimată (13100 m²); **-Varianta 3** - Execuția de lucrări de amenajare în terase și refacere a zonei excavate și a zonei de acces în galeria 50, pe o suprafață de 3600 m² și instalarea unei geogriile, pe restul suprafeței de 9500 m².

Fiecare dintre cele trei variante poate fi realizată în două subvariante de închidere a depozitului:

- **Subvarianta A** în care se prevede dezafectarea platformei de recepție, demolarea Clădirii administrative și a infrastructurii aferente și acoperirea acestei suprafețe în vederea reconstrucției cadrului ambiental, cu reformarea pantei naturale. - **Subvarianta B** în care se prevede amenajarea în Clădirea administrativă a unui Muzeu public de prezentare a evoluției DNDR Băița, Bihor, cu rolul de popularizare a performanțelor sistemului de depozitare, pentru creșterea încrederii publicului în securitatea sistemului de depozitare. Tot această clădire poate fi utilizată pentru a găzdui echipamentele de control instituțional a depozitului.

În urma analizei efectuate se recomandă să fie selectată **Varianta 3B**, din punct de vedere cost-beneficiu. În figurile 4.1-1 și 4.1-2 este prezentată soluția constructivă recomandată.



Figura 4.1-1

Amplasare și zone amenajate la DNDR, Băița, Bihor.

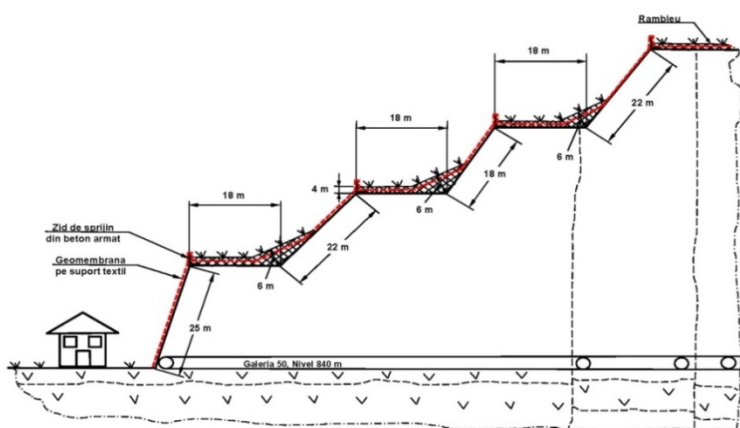


Figura 4.1-2

Secțiune structurală prin acoperișul DNDR, Băița, Bihor

Tunelurile de acces și aeraj se află într-o zonă în care infiltrațiile de apă meteorică sunt importante datorită reducerii stratului de rocă de deasupra. În vederea separării zonelor cu rate de infiltrații diferite s-a selectat umplerea acestor tuneluri cu o umplutură de tip sandviș. Această umplutură are rolul de a stabili zona de depozitare prin evitarea subducțiilor și evitarea formării de straturi de apă stagnantă în zona de depozitare. Această soluție tehnică a fost prezentată în etapa II. Suplimentar s-au prevăzut 2 tronsoane în care umplutura de rocă concasată a fost amestecată cu 30 % bentonită și 20 % argilă nexpandabilă pentru retenția suplimentară a radionuclizilor scăpați din galeriile de depozitare. Aceste tronsoane vor fi amplasate adiacent galeriilor de depozitare și constituie o îmbunătățire a sistemului de închidere.

În vederea determinării soluției de închidere a DNDR Băița Bihor, s-a efectuat caracterizarea parametrilor fizici ai bentonitei utilizate ca tampon la depozitarea deșeurilor, prin efectuarea unor măsurători experimentale, făcute de partenerul P1, IFIN HH. Pentru a analiza evoluția în timp a concentrațiilor de radionuclizi din depozit s-au realizat mai multe rulări ale codului AMBER 5.7.1 pe modelul matematic stabilit în Raportul Preliminar de Securitate. S-au modificat valorile parametrilor caracteristici bentonitei, care s-au determinat experimental. În urma rulărilor s-au

obținut patru cazuri de evaluare în care s-au urmărit izotopii radioactivi Co-60, Cs-137 și Am-241, deoarece aceștia reprezintă circa 90% din inventar.

S-au urmărit valorile concentrațiilor izotopilor menționați mai sus deoarece sunt relevante pentru evoluția depozitului propriu-zis (“*near field*”) fiind în contact direct cu deșeurile și cu materialul tampon (bentonita). Din analiza rezultatelor obținute s-a putut observa faptul că pentru, acesta manifestă o îmbunătățire a calității de reținere a radionuclizilor.

Concluzia generală a calculelor efectuate este aceea că bentonita caracterizată în urma măsurătorilor experimentale are un rol pozitiv în comportamentul general al depozitului, în perioada postînchidere, dozele de expunere calculate pentru indivizii din grupurile critice fiind mult sub valoarea limită admisă.

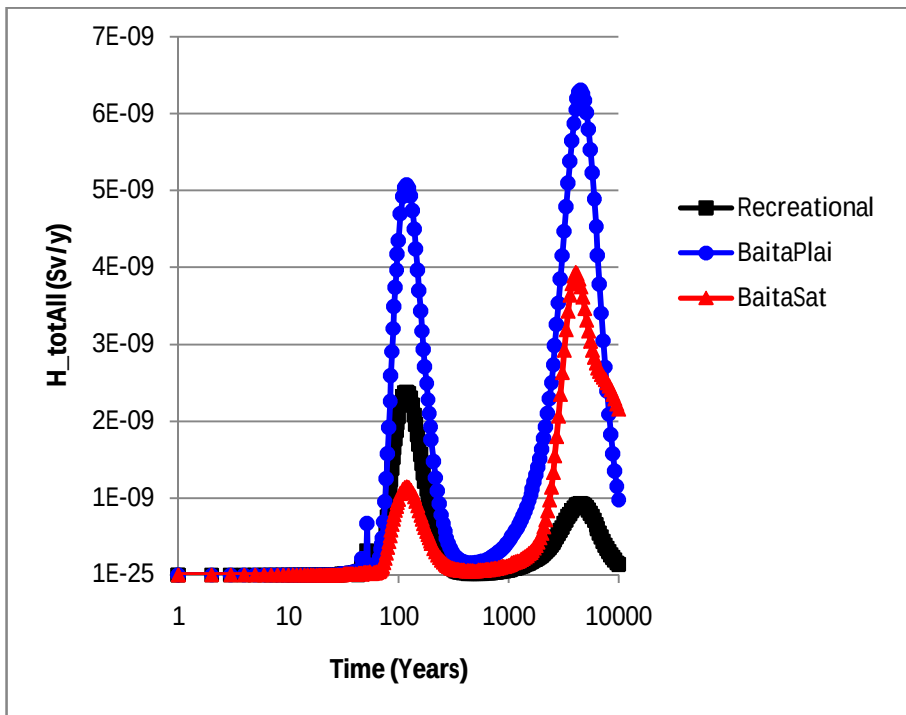


Figura 4.1-4

Dozele efective individuale anuale pentru cele trei grupuri critice considerate, însumată după toate căile de expunere și toți radionuclizii

2 Elaborarea variantei finale a tehnologiei conceptuale de închidere în cazul DNDR. Stabilirea parametrilor necesari în monitorizarea postînchidere.

Având în vedere faptul că în cadrul prezentului proiect, instituțiile implicate au conlucrat activ în stabilirea elementelor principale, precum și în mare parte a detaliilor Planului de închidere, bazate pe rezultatele experimentale, în această etapă s-a elaborat conținutul cadru al “Planului de închidere al Depozitului Național de Deșuri Radioactive de Joasă și Medie Activitate Băița, jud. Bihor (DNDR)” și transmiterea acestuia către CNCAN în vederea aprobării.

Pentru modurile posibile de evoluție a depozitului în faza postînchidere, depozitul trebuie să fie proiectat pentru o limită de doză efectivă pentru persoanele din populație de 1 mSv/an, cu o constrângere de doză efectivă de 0,3 mSv/an, luând în considerare toate căile posibile de expunere la radiații. În studiile de evaluare a securității trebuie să se ia în considerare și expunerile care rezultă în urma apariției evenimentelor cu probabilitate extrem de mică de apariție.

- Limita de doză efectivă utilizată pentru compararea cu criteriile de securitate în faza postînchidere trebuie evaluată prin referire la grupul critic. - Securitatea pe termen lung a depozitelor trebuie să fie realizată printr-o combinație favorabilă a caracteristicilor amplasamentului, caracteristicilor ingineresti ale conceptului depozitului, forme și conținutului deșeurilor, procedurilor de operare și controalelor instituționale. - Amplasamentul unui depozit trebuie monitorizat în perioada de după închidere atâta timp cât monitorizarea reprezintă un indicator de securitate, așa cum rezultă din analiza de securitate. - Izolarea efectivă și sigură a deșeurilor depinde de performanțele întregului sistem de depozitare. Contribuțiile diferitelor componente ale sistemului la securitatea depozitului sunt variabile și sunt în funcție de conceptul de depozitare, de caracteristicile amplasamentului și de perioada de închidere.- Cerințele de acceptare a deșeurilor și modelul barierelor ingineresti trebuie determinate pentru fiecare amplasament și concept de depozitare și trebuie stabilite pe baza evaluării de securitate specifice amplasamentului.

În conformitate cu practica în domeniu, fazele asociate cu ciclul duratei de viață a unui depozit sunt următoarele:

- Faza preoperațională, ce include următoarele activități: studierea amplasamentului, proiectarea, amplasarea și construcția depozitului; - Faza de operare, ce include următoarele activități: operarea și închiderea depozitului; - Faza postînchidere, ce include următoarele activități: controlul instituțional activ și controlul pasiv al depozitului.

Referitor la confirmarea matricii de imobilizare a deșeurilor, au fost realizate teste de compresiune pentru următoarele sisteme: ciment – tuf vulcanic - apă (1:0.1:0.5); -ciment – bentonita - apă (1:0.1:0.5); pasta de ciment (ca sistem de referință).

Probele au fost ținute în condiții de laborator, precum și în condiții reale de depozitare, în zonele cele mai defavorabile în ceea ce privesc condițiile de umiditate obținându-se rezultatele relevante. Pentru a implementa un sistem cu o stabilitate și eficiență sporite, au fost avute în vedere o serie de materiale de umplere în vederea realizării care să dovedească/infirme oportunitatea utilizării ca material de umplere tampon: Beton alcalin (BA) cu 30% ciment, 15% var nestins, 25% argila, 30 % apă; Beton bentonitic (BB) cu 30% ciment, 10% bentonita, 30% argila, 30% apă; Noroi bentonitic (NB) cu ciment 8,25%, bentonita 8,25%, argila 16,5%, apă 66%, soda calcinată 1%; Nisip + bentonita (nb) în proporții egale; Nisip + bentonita + argila (nba): 50% nisip, 30% bentonita, 20% argila;

Pentru probele STDR, BA și BB au fost realizate teste de compresiune, pentru STDR, BA, BB și NB au fost realizate teste de permeabilitate, în timp ce probele BA, BB și NB au fost testate din punct de vedere al leaching-ului. S-a constatat că probele BA și BB prezintă rezistențe crescute la compresiune în condiții simulate, fapt care poate fi explicat prin faptul că argilele, în prezența umidității acționează în sensul saturării matricii și absorbției apei din porii liberi, conducând la o matrice stabilă în scurt timp. Acest fapt, în mod evident, contribuie la rezistența sporită un timp mai lung și reducerea fisurilor. În același timp, proba STDR a demonstrat fiabilitate în condiții reale de depozitare. Toate valorile obținute se încadrează în limitele prevăzute pentru depozitare fără deteriorare, ținând seama că rezistența la compresiune pentru materialele de condiționare și de realizare a barierelor ingineresti trebuie să fie mai mari de 5 MPa.

Coroziunea coletelor în mediile tampon simulate

În vederea studierii coroziunii în timp a coletelor de deșeuri în contact cu materialele tampon au fost realizate teste folosindu-se butoaie metalice în miniatură (cu dimensiunile: 72 mm diametru x 110 mm înălțime) care imită coletul cu deșeuri; acestea sunt umplute cu materialul de condiționare a deșeurilor utilizat în prezent (fig. 4.2-1). Butoaiele de testare au fost înglobate

până la 3/4 din înălțimea butoiului în materialele tampon de umplere menționate mai sus (STDR, BA, BB și NB). Probele au fost amplasate în galeria experimentală de la DNDR, urmând să fie analizate în continuare din 6 în 6 luni. După primele 6 luni, probele constituite din butoaie metalice test, înglobat în NB, s-au distrus complet. Noroiul bentonitic s-a sfărâmat și s-a desprins de butoiul metalic. Butoiul era corodat pe toată suprafața care a fost în contact cu noroiul bentonitic. Celelalte probe nu au suferit modificări vizibile (fig. 4.2-2 ÷ 4.2.4).



Figura 4.2-1

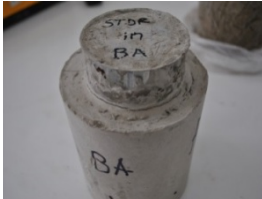


Figura 4.2-2



Figura 4.2-3



Figura 4.2-4

Teste de permeabilitate pe materialele de umplere

Pentru determinarea permeabilității apei sub presiune prin probe de beton, a fost turnată câte o probă în forma de cub cu latura de 100 mm din reteta STDR, BA (beton alcalin) și BB (beton bentonitic).

Probele STDR și BA au fost supuse încercării de permeabilitate după 36 de zile de la turnare, timp în care au fost păstrate în baia termostată, în apă la 20⁰ C. Incercarea de permeabilitate s-a efectuat la presiunea de 30 bari, timp de 545 ore. Trecerea apei prin probe s-a oprit complet după aprox. 300 de ore. Prin proba STDR au trecut doar câteva picături de apă și din această cauză nu a fost posibilă calcularea coeficientului de permeabilitate. Prin proba BA au trecut 20 mL de apă, coeficientul de permeabilitate fiind $3,4 \times 10^{-11}$ cm/s. Proba BB a fost supusă încercării de determinare a permeabilității după 112 zile de la turnare, fiind păstrată tot acest timp în baia termostată, în apă la 20⁰ C. Incercarea de permeabilitate s-a efectuat cu presiunea apei de 30 bari, timp de 1152 ore. După acest interval de timp s-au recoltat 51 mL de apă. Coeficientul de permeabilitate Darcy al probei este $2,6 \times 10^{-11}$ cm/s.

Având în vedere rezultatele obținute, se poate trage concluzia că cele trei amestecuri de materiale studiate au proprietăți de încetinire a eventualei migrări a radionuclizilor depozitați, în cazul în care se produce o deteriorare a matricii de condiționare.

Teste de lixiviere („leaching”) pe materialele tampon de umplere

Pentru testele preliminare de leaching probele de analizat au fost preparate după cum urmează: în butoaiile metalice test a fost introdus un marker colorat. După 28 de zile de la preparare, probele au fost amplasate în amestecurile stabilite anterior: BA, BB și NB (pentru simularea condițiilor reale de depozitare). După alte 7 zile, probele au fost imersate complet în apă (cu același pH ca și cel al apei colectate prin sistemul de drenaj al depozitului). Un set de probe a fost amplasat in-situ și un alt set în laborator. S-a constatat că valorile pH-ului și ale conductivității sunt mai mari pentru probele BA datorită prezenței varului nestins. Până acum (testele vor fi continuate în următoarele luni), după aprox. 12 luni, nu a fost pusă în evidență migrarea trasorului, nici în probele din laborator. Acest fapt duce la concluzia că în condiții saturate, matricea de condiționare și materialele de umplere studiate prezintă proprietăți de retenție bune. Creșterea pH-ului și conductivității sunt mai accentuate în proba BA datorită prezenței varului nestins.

Un alt aspect abordat în cadrul prezentei etape se referă la monitorizarea radiologică și chimică a amplasamentului, inclusiv monitorizarea emisiilor de radon în vederea evaluării impactului asupra mediului. Sunt prezentate elementele principale ale programului de monitorizare; în cazul în care în timp acestea sunt confirmate ca fiind complete se va considera că acesta poate fi

aplicat și în faza de închidere, postînchidere și control instituțional activ (cu excepția măsurătorilor din zona de depozitare).

Tinând cont de cele prezentate și de faptul că depozitul este situat într-o fostă mină de uraniu, măsurarea concentrației de Radon în galeriile depozitului DNDR este importantă pentru protecția personalului operator expus profesional. În vederea protecției personalului depozitul a fost proiectat și executat cu o instalație de ventilație, care are ca scop menținerea concentrației de Radon, în timpul executării operațiilor de depozitare a coștelor cu deseuri radioactive, sub limitele impuse de normele în vigoare (Norma CNCAN de Securitate Radiologica privind Radioprotecția operațională în mineritul și prepararea minereurilor de uraniu și toriu, NMR 01).

Au fost de asemenea stabilite bazele teoretice ale metodologiei de evaluare a retenției radionuclizilor în sistemele de condiționare și depozitare: Capacitatea de retenție a unui material absorbant pentru un anumit radionuclid este caracterizată de obicei prin constanta de distribuție K_d . Constanta de distribuție reprezintă raportul dintre numărul de ioni reținuți pe unitatea de material absorbant și numărul de ioni rămași în unitatea de volum în condițiile stabilirii echilibrului între cele două faze: $K_d = \frac{V}{m} \cdot \frac{C_2}{C_1}$ unde : (1)

C_1 = concentrația ionului în soluție, rămasă după echilibru; $C_2 = C_0 - C_1$, concentrația adsorbită pe materialul solid la echilibru; C_0 = concentrația ionului în soluția inițială.

Ecuatia (1) este valabilă în condițiile unei variații complet reversibile. În realitate, se constată că procesul reversibil, de desorbție, nu este total și este foarte lent. Gradul de retenție al unui radionuclid de către un material cu proprietăți schimbătoare de ioni depinde de numeroși factori, printre care: Forma chimică a radionuclidului; Compoziția mineralogică; Caracteristicile fizico-chimice ale materialului absorbant; Caracteristicile fizico-chimice ale soluției purtătoare.

Ca urmare a proceselor de sorbție și desorbție, viteza de migrare a unui radionuclid este mult mai mică decât cea a apei purtătoare. Eficienței barierelor sistemului de depozitare care include și sistemul de închidere se verifică prin intermediul sistemului de monitorizare descris în etapa II care cuprinde 20 de puncte de prelevare a probelor din zona supravegheată a DNDR. S-a propus ca în perioada de control instituțional activ postînchidere să fie în funcțiune numai 7 puncte cheie de control a parametrilor de caracterizare stabiliți.

3 Analiza evoluției sistemelor de închidere ale DNDR în condiții limită. Scenarii finale de evaluare a riscurilor.

Măsurile prezentate în strategia de închidere sunt în concordanță cu prevederile din domeniul mineritului, singurele riscuri majore fiind reprezentate de migrarea radionuclizilor depozitați înainte de timpul stabilit de 300 de ani pentru controlul instituțional și intruziunea umană neautorizată în depozit prin deteriorarea sistemelor de închidere practicate. Analiza riscurilor și evaluarea evoluției sistemelor de închidere s-a realizat din două perspective:

1. Un studiu HAZOP (Hazard and Operability Study) a fost realizat pentru închiderea depozitului pentru a aborda toate riscurile și pericolele într-o manieră sistematică.
2. Riscurile de mediu asociate închiderii depozitului.

1. Studiu HAZOP. Operațiunea de închidere prezintă în durata de viață a unui depozit riscul cel mai important deoarece este estimată necesitatea mișcării de volume mari de pământ și piatră. Aceste riscuri pot fi atenuate prin îmbunătățirea stării drumului de acces și dezvoltarea unor proceduri de operare sigure și eficiente pentru faza de închidere.

Au fost selectate o serie de cazuri pentru a investiga incertitudinea în conceptualizarea și parametrizarea modelului de evaluare a performanței, pentru analiza modelului de sensibilitate

(utilizat pentru a ajuta la evaluarea funcțiilor de siguranță postînchidere a diferitelor bariere), și pentru a examina siguranța complementară și indicatorii de performanță. Rezultatele acestor studii au arătat că:

- umplutura de bentonită acționează ca o barieră fizică și chimică pe termen lung pentru migrarea contaminanților.
- pereții de beton și podeaua sistemului de drenaj activ furnizează un beneficiu limitat (mai puțin de un factor de doi), privind siguranța pe termen lung. Presupunând că betonul rămâne funcțional în canalizarea activă pe durata controlului instituțional activ, aceasta nu are nici un efect semnificativ asupra dozei în comparație cu cazul când este degradat în timp.
- geosfera are funcție de siguranță pe termen lung pentru a atenua eliberarea radionuclizilor în biosferă.
- efectul ratelor de scurgere de la galeriile superioare cu privire la nivelul dozelor a fost de asemenea estimat. Creșterea ratei de scurgere în instalațiile de depozitare duce la migrarea radionuclizilor preferențial în jos, prin zona nesaturată. Acest lucru mărește timpul de deplasare a radionuclizilor, provocând dezintegrarea radionuclizilor cu durată relativă scurtă de viață precum Cs-137.

Luarea în considerare a indicatorilor de performanță și siguranță complementari, cum ar fi dozele asupra florei și faunei, precum și concentrațiile de mediu, demonstrează că impactul calculat asociat cu scenariul de proiectare de referință postînchidere este acceptabil și, de obicei, dozele sunt cu cel puțin două ordine de magnitudine sub nivelul de "comparație" relevant.

2. Riscurile de mediu

În ceea ce privește calitatea factorilor de mediu, poluarea și degradarea uneori iremediabilă a acestora în urma activităților miniere reprezintă argumente solide pentru aplicarea unor standarde și politici corecte de refacere ecologică. În mod consecvent, față de impactul prezent al exploatării miniere de uraniu, se însumează un potențial impact al depozitării deșeurilor radioactive. În consecință, în evaluarea riscurilor au fost avute în vedere ambele activități și impactul cumulat al acestora.

Obiectivele propuse în cadrul acestei etape au fost următoarele:

- realizarea unei analize a evoluției în timp a calității mediului, respectiv determinarea nivelului de degradare sau ameliorare a calității acestuia;
- evaluarea impactului asupra mediului datorat activităților desfășurate în perioada de operare, pentru stabilirea unei baze de cunoaștere necesară abordării ulterioare a aspectelor de închidere;
- identificarea și clasificarea impacturilor asociate închiderii miniere a depozitului;
- stabilirea priorităților de închidere, prin identificarea, analiza și evaluarea riscurilor existente în perimetrul studiat,
- abordarea riscurilor din perimetrul studiat din perspectiva riscurilor naturale, a celor antropice, precum și dintr-o perspectivă mai complexă, de interacțiune a acestora – NATECH (Hazarduri și riscuri tehnologice induse de dezastre naturale),- elaborarea unui model conceptual de închidere, pe baza riscurilor și impacturilor identificate anterior.

O strategie eficientă de abordare a calității factorilor de mediu și identificarea priorităților locale, regionale și naționale este evaluarea impactului și a riscului. S-a folosit metoda integrată de evaluare calitativă a impactului și riscului de mediu, aceasta fiind noua tendință de combinare a celor două proceduri de evaluare risc - impact de mediu. Aceasta ține cont de aspectele de mediu (impact și risc), de relația cauză – efect, precum și de sursele generatoare de impacturi asupra mediului și consecințele acestora, mai ales dacă sunt caracterizate de o probabilitate mare de manifestare. Impactul indus asupra fiecărei componente de mediu evaluate este dat de raportul dintre unitățile de importanță obținute de fiecare componentă de mediu și calitatea componentei de mediu. Fiecărui impact de mediu calculat funcție de un anumit indicator de calitate îi corespunde un risc de mediu, care poate fi calculat fie pentru fiecare impact indus în mediu și

ulterior ca o medie a valorilor obținute, fie direct, considerând valoarea medie a impactului indus asupra componentei respective de mediu.

O analiză preliminară, pe baza datelor din teren, a riscurilor naturale se referă la alunecările de teren. În timpul lucrărilor miniere relieful a suferit multiple transformări ce au determinat o fragilitate a acestuia și posibilitatea producerii unor procese geomorfologice precum: surpări, alunecări de teren, ravenație. S-a folosit metodologia pentru evaluarea riscului de producere a alunecărilor de teren. La evaluarea potențialului de producere a alunecărilor de teren, ca urmare a lucrărilor de acoperire a zonei de deasupra galeriei de acces și a hălzilor de steril (prezente atât la marginea platformei supraterane, cât și la capatul galeriei de aeraj 53), s-au luat în considerare mai multe criterii; criteriile s-au stabilit pe baza unor factori care, acționând singular sau în interdependență, pot influența decisiv stabilitatea versanților.

În zona de referință pentru sistemul de închidere, situată deasupra porțiunii de intrare în galeria de acces, se poate considera ca probabilitatea de producere a alunecărilor (P) și coeficientul de risc corespunzător (K) este redus, restul zonelor adiacente depozitului fiind încadrate în probabilitatea de producere a alunecărilor redusă. Particularitățile reliefului montan și vulnerabilitatea dată de activitățile miniere au determinat producerea eroziunii solului pe suprafețe însemnate. Influențată în mod direct de acțiunea apei și a vântului, eroziunea solului este o formă de degradare a solului. Analizând harta susceptibilității la eroziune a solului din zona de studiu s-a constatat că cele mai mari cantități de sol erodat se află în zona de exploatare minieră și pe versanții cu pante accentuate.

Din punct de vedere al managementului riscurilor, faza de închidere trebuie tratată cu aceeași rigoare ca toate celelalte etape din ciclul de viață al depozitului. În toate aceste etape, riscurile majore trebuie abordate astfel încât să se reducă la minim sau chiar să se elimine amenințările la adresa desfășurării normale a activităților aferente fiecărei etape.

Este binecunoscut faptul că nu există risc 0, de aceea trebuie urmărită atingerea unei valori cât mai mici, acceptabilă pentru mediu și populație.

Primul pas în estimarea Factorului Risc de Închidere constă în clasificarea riscurilor majore ale închiderii și defalcarea acestora în subcategorii mai mici, care să permită obținerea unei imagini detaliate a riscurilor în cazul închiderii miniere. Se pornește de la conceptul de risc, respectiv de la identificarea tipologiei asociate închiderii, pentru a se putea ajunge la luarea unei decizii privind modelul optim de închidere.. Factorul de risc pentru componenta de mediu, calculat preliminar pentru sistemele de închidere de la DNDR Băița Bihor a rezultat ca fiind situat în jurul valorii de 600, fiind încadrat în mod conservativ în clasa de risc moderată. În funcție de stabilirea detaliilor tehnice de închidere, este posibil ca acesta să sufere modificări pozitive. Valorile obținute ilustrează faptul că aspectele referitoare la închiderea depozitului sunt relativ scăzute, dar trebuie abordate într-o manieră responsabilă.

Riscurile asupra sănătății și securității populației locale și a zonelor din jur solicită o atenție deosebită în faza de închidere. Riscul financiar este relativ redus deoarece există premisele de asigurare a fondurilor necesare ținând seama de importanța obiectivului. Riscurile privind modul final de utilizare a terenurilor sunt cele mai mici, reflectând valoarea terenului și posibilitatea practic nulă a utilizării acestuia în scopuri productive, după faza de închidere.

Rezultatele obținute în cadrul prezentei etape reflectă problemele de mediu și securitate radiologică caracteristice perimetrului studiat și aspectele specifice de închidere de care s-au ținut seama la elaborarea Planului de Închidere a DNDR Băița, Bihor. Închiderea este o etapă inevitabilă în ciclul de viață al unei instalații radiologice, iar planificarea din timp a acestei etape contribuie la succesul final al acesteia. Având în vedere faptul că DNDR Băița, Bihor este

amplasat într-o zonă contaminată cu radionuclizi naturali, măsurile de închidere sunt similare cu cele de închidere a minelor de acest tip. Suplimentar, datorită prezenței radionuclizilor artificiali, proveniți din deșeurile radioactive instituționale cu mobilitate mai mare, sunt necesare măsuri sporite de izolare acestor radionuclizi, prin proiectarea de bariere ingineresti corespunzătoare.

Prezenta lucrare tratează impactul posibil al activităților depozitului asupra mediului, concentrându-se pe etapa de închidere minieră, ca parte a ciclului de viață al unei exploatare miniere cu destinația de depozit final de deșeurii radioactive conținând radionuclizi de joasă și medie activitate de viață relative scurtă. Aspectele de securitate nucleară sunt tratate din punct de vedere al unui depozit amplasat într-o cavitate geologică, aplicându-se DNDR-05. Sunt abordate aspectele esențiale ale procesului propus de închidere și sunt descrise activitățile necesare pentru aducerea sistemului la o stare de echilibru.

Concluzia principală a acestei etape este că programul experimental a confirmat soluțiile tehnice de umplere a golurilor dintre coletele de deșeurii. Prin identificarea tuturor componentelor sistemului de închidere și evidențierea componentelor critice s-a creat baza pentru întocmirea Planului de închidere a DNDR Băița Bihor, utilizându-se și datele obținute în cadrul programului experimental, conform planului de realizare al acestui proiect.

Prin elaborarea acestei etape, s-au creat premisele elaborării următoarei etape „Propunerea unui sistem de închidere a DNDR Băița, Bihor”, în care urmează să fie incluse performanțele confirmate ale celorlalte componente identificate ale sistemului de închidere, incluzându-se și eventualele observații ale CNCAN asupra conținutului cadru al proiectului de închidere.

Rezultatele inovative ale activităților efectuate în cadrul acestei etape a proiectului au fost diseminate prin prezentarea în cadrul unor conferințe internaționale de prestigiu, fiind publicate în Proceeding-urile editate în anul 2014. Articolul „Starea prezentă a planului de închidere a DNDR Baita, Bihor”, prezentată în sesiunea 106, cu nr. 14023 la conferința Waste Management 2014, Phoenix, Arizona, SUA, a evidențiat caracterizarea componentelor de închidere aferente planului de închidere a DNDR. Articolul “Cercetări privind dezvoltarea planului de închidere a DNDR Baita, Bihor, referitor monitorizare coroziune”, prezentat la conferința European Federation of Corrosion 2014, Pisa, Italia, a evidențiat aspectele legate de efectele coroziunii asupra componentelor sistemului de închidere a depozitului. Totodată rezultatele activităților desfășurate în cadrul etapei au fost utilizate la elaborarea primelor 5 capitole din “Raportul Final de Securitate Radiologică pentru Depozitul Național de Deșeurii Radioactive de Joasă și Medie Activitate, DNDR Băița-Bihor”, transmise până în prezent către CNCAN spre evaluare.

Etapa IV a proiectului

Instalația de depozitare trebuie să fie închisă în așa fel încât, să asigure funcțiile de securitate care au fost stabilite în scenariul de securitate, pentru perioada de post-închidere. Planul de închidere, inclusiv tranziția de la faza de operare la cea de închidere, trebuie să fie bine definite și practicabile, pentru ca închiderea să poată fi efectuată în siguranță, în perioada corespunzătoare proiectată.

În cazul DNDR Băița, Bihor, au fost abordate atât criteriile de performanță cât și cele de reglementare, obținându-se astfel o evaluare credibilă a sistemului de depozitare.

Criteriile de proiectare și evaluarea barierelor ingineresti sunt principalele componente ale modelelor de analiză a performanțelor și se referă la detalii de proiectare pentru:

- rata de infiltrație a apelor în depozit;
- gradul de compactare a straturilor de containere cu deșeuri radioactive;
- gradul de compactare a materialelor tampon.

În Raportul Preliminar de Securitate (RPS) din 2006 au fost confirmate performanțele depozitului prezentându-se totodată o serie de recomandări pentru sporirea performanțelor sistemului de depozitare, recomandări luate în considerare în prezenta etapă.

Componentele sistemului de închidere

Componentele sistemului de închidere sunt următoarele:

1. Acoperișul format din straturile superioare de rocă degradate parțial de activități miniere;
2. Umpluturile de tip sandviș a tunelurilor de acces și aeraj;
3. Dopurile de închidere a tunelurilor de acces și aeraj;
4. Marcajele pentru indicarea prezenței depozitului închis pentru generațiile viitoare.

Componentele sistemului de închidere, clasificate în componente primare și secundare, sunt utilizate pentru minimalizarea căilor potențiale de migrare a radionuclizilor.

Componentele primare au rolul de minimaliza căile de migrare, respectiv intrarea și ieșirea apei din galerii. În această categorie sunt încadrate următoarele componente: matricea de condiționare a deșeurilor, pulberea de bentonită, cu rol de tampon între coletele cu deșeuri radioactive și pereții galeriilor de depozitare. Umpluturile de tip sandviș a tunelurilor de acces și aeraj sunt de asemenea considerate componente primare. Componentele secundare au rolul de a proteja componentele primare contra degradării și avarierii. Din această categorie fac parte pereții de închidere a galeriilor de depozitare, precum și acoperișul reabilitat. Umplutura este permeabilă pentru apa infiltrată, ceea ce va împiedica formarea straturilor stagnante de apă. Fiecare tronson al umpluturii va avea aproximativ 50 m și va fi prevăzut, la capătul dinspre poarta de acces, cu un strat de amestec impermeabil de 3 m, format din 50% rocă concasată, 30% betonită și 20% argilă neexpandabilă.

În această etapă se propune creșterea rezistenței membranei de beton bentonitic prin armare și creșterea impermeabilizării prin prevederea torcretării suprafeței exterioare a membranei cu ciment aditivat cu Xypex. Spațiul dintre membrană și stratul de etanșare, va fi umplut cu șlam (noroi) bentonitic, cu rol de impermeabilizare și stabilizare a umpluturii din

tronson (vezi Figura 1).

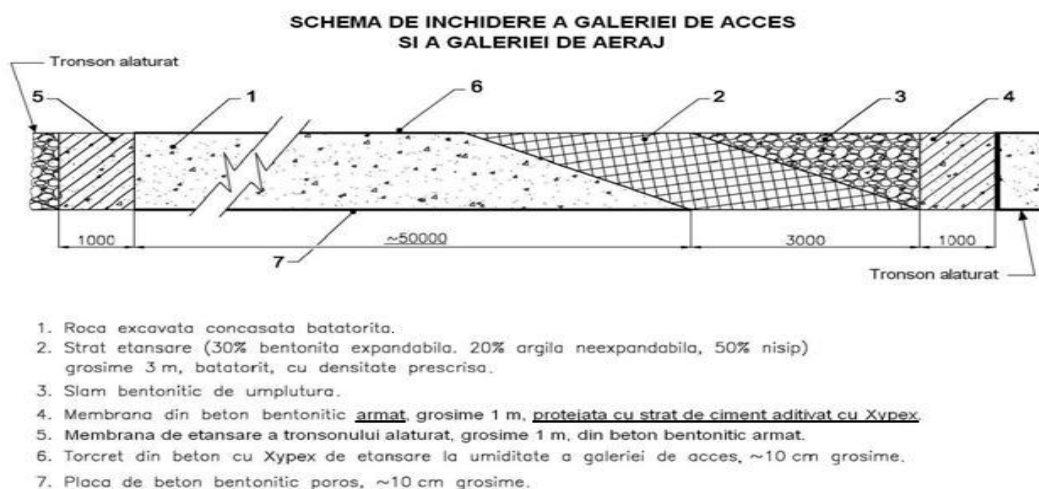


Figura 1. Tronson tip 1 de închidere a tunelurilor de acces și aeraj

Suplimentar, se vor prevedea 2 tronsoane similare, de tip 2 de circa 50 m, în care va fi amestecată 50% rocă concasată cu 50% argilă neexpandabilă. Aceste tronsoane suplimentare, vor fi adiacente zonei de depozitare pe cele două tuneluri, respectiv, de acces și de aeraj. **Îmbunătățirile aduse tronsoanelor de tip 1 se vor aplica și în cazul tronsoanelor de tip 2.**

Propunerea sistemului de închidere a Depozitului Național de Deșeuri Radioactive Băița, Bihor

După perioada de pre-închidere de 10 ani, se prevede închiderea definitivă a DNDR Băița, Bihor, prin efectuarea următoarelor activități:

- 1 - Închiderea galeriei 50, pe porțiunea de 240 m neutilizată pentru depozitare, prin tasarea materialelor de umplere, pe tronsoane de 50 m, separate prin straturi impermeabile, susținute prin membrane din beton bentonitic armat prevăzut cu strat de impermeabilizare din ciment aditivat cu Xypex aplicat prin torcretare, cu rol de susținere și etanșare.
- 2 - Simultan, poate începe închiderea galeriei 53, de aeraj, conform aceleași metodologii. Înainte de începerea închiderii acestei galerii, se va construi un dop de beton de 10 m, la limita intersecției cu galeria 50;
- 3 - Construcția dopurilor cu lungimea de 15 m, pentru etanșarea depozitului și prevenirea intruziunilor, la începutul galeriilor 50 și 53, după finalizarea activității de umplere a galeriilor;
- 4 - Amenajarea zonei degradate a acoperișului DNDR Băița, Bihor prin execuția de lucrări de amenajare în terase și refacere a zonei excavate și a zonei de acces în galeria 50, pe o suprafață de 3600 m² și instalarea unei geogrile, pe restul suprafeței de 9500 m².

După finalizarea închiderii galeriilor, se vor efectua următoarele activități:

- 1 - Amenajarea în Clădirea administrativă, a unui Muzeu public de prezentare a evoluției DNDR Băița, Bihor, cu rolul de popularizare a performanțelor sistemului de depozitare, pentru creșterea încrederii publicului în securitatea zonei de depozitare;
- 2 - Continuarea supravegherii mediului, conform planului aprobat de CNCAN, pe o perioadă de 100 de ani, respectiv, asigurarea controlului instituțional activ, pe această perioadă;
- 3 - Control instituțional pasiv, pe o durată de 200 de ani, prin menținerea sistemului de avertizare a perimetrului de control instituțional.
- 4 - Redarea în circuitul economic de utilizare nerestrictivă a terenului, după perioada totală de control instituțional, de 300 de ani.

Pentru analiza eficienței sistemului de bariere ingineresti și naturale de la Depozitul Național de Deșeuri Radioactive Băița, Bihor s-au avut în vedere o serie de experimente cu scopul obținerii de informații privind evoluția în timp a acestora, determinarea/evaluarea timpilor de migrare a radionuclizilor depozitați prin cele trei medii care constituie barierele ingineresti (Figura 2): matricea de condiționare, materialul de umplere (face obiectul prezentei etape) și mediul geologic, precum și a factorilor de sorbție/retenție a acestora pe aceleași bariere. Prin această analiză se poate evalua impactul în timp a sistemului de depozitare asupra mediului și se poate interveni, în sensul optimizării tehnologiilor, metodelor sau materialelor utilizate în prezent, dacă situația o impune.

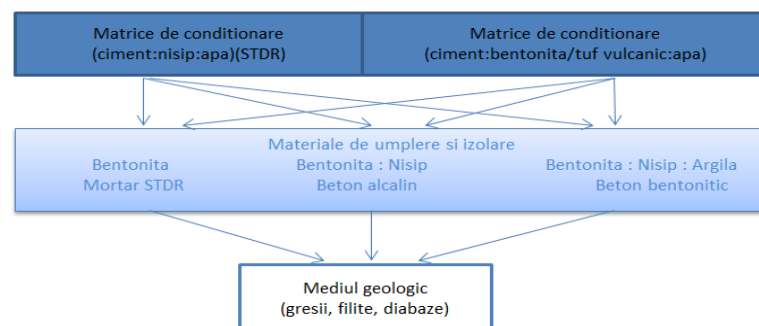


Figura 2. Sistemul de bariere ingineresti

Au fost analizate materialele și tehnologiile actuale de depozitare, precum și alternative ale acestora, pentru cele două componente asupra cărora se poate acționa în sensul îmbunătățirii performanțelor: matricea de confinare și materialele de umplere (tampon) a spațiilor libere dintre colete.

Au fost efectuate studii asupra:

- a) 3 materiale/mixturi de umplere uscate (bentonita (A1), bentonita mixată cu nisip (A2) și bentonita mixată cu nisip și argilă (A3));

- b) 3 materiale/mixturi de umplere solide (matricea de mortar utilizată în prezent, o formulă de beton alcalin și o formulă de beton bentonitic);

Pentru determinarea umidității au fost realizate trei montaje experimentale care au fost păstrate in-situ în cadrul depozitului, în condiții reale de umiditate și temperatură.

Montajele experimentale au fost realizate astfel încât să fie simulat modul de depozitare, în sensul că au fost turnate probe în butoiașe din tablă (cu $h = 112$ mm și diametrul de 75 mm), utilizându-se rețeta folosită la înglobarea deșeurilor radioactive (mortar de ciment). Acestea au fost stivuite pe generatoare în trei montaje, spațiile libere fiind umplute cu cele trei amestecuri sus menționate: A1, A2 și A3.

Determinarea umidității bentonitei utilizate la DNDR Băița, Bihor, în condiții reale de utilizare

Au fost prelevate de la DNDR, Băița – Bihor patru probe de bentonită, din galeriile 50, 27/1, 27/2 și din locul de depozitare în saci al bentonitei.

O cantitate de 100 g de bentonită din fiecare probă a fost uscată în etuvă la 100°C , până la masa constantă, și a fost determinată umiditatea fiecărei probe, obținându-se următoarele rezultate: Galeria 50 – 21%, 27/1 – 16.4%, 27/2 – 16.4% și bentonita din depozit – 11.9% umiditate.

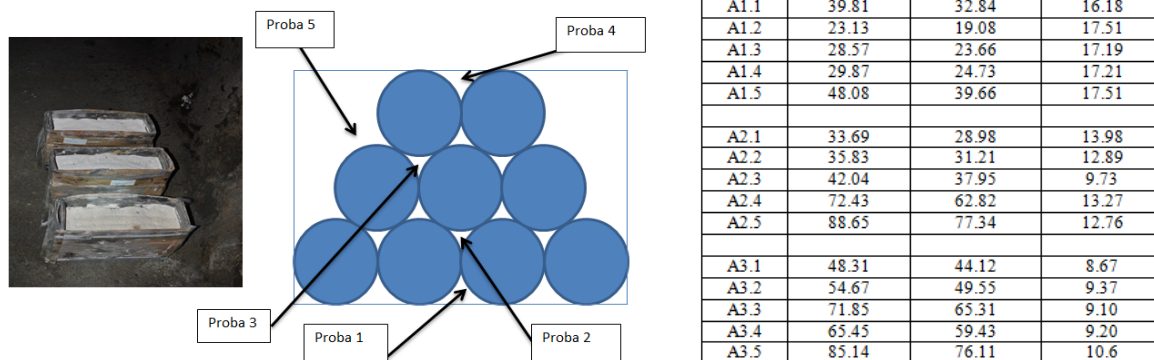


Figura 3. Montaj experimental pentru determinarea gradului de umiditate în condiții reale și rezultatele obținute

Montajele au fost păstrate timp de 12 luni în galeria experimentală de la DNDR Băița, Bihor. Cel mai mare grad de umiditate s-a înregistrat în montajul experimental A1, în care materialul de umplere este bentonita, iar cel mai scăzut în montajul experimental A3 în care materialul de umplere este bentonită+nisip+argilă.

Teste de sorbție pentru cele trei tipuri de materiale testate A1, A2 și A3 în vederea stabilirii gradului de retenție, pentru cei doi radionuclizi considerați relevanți din punct de vedere al inventarului radioactiv conținut în depozit – Cs-137 și Co-60.

Ca urmare a programului de cercetare efectuat s-au obținut următoarele rezultate:

S-a aplicat metodologia de determinare a capacității de sorbție (R_s) și desorbție (R_d) a schimbătorilor de ioni naturali indigeni (bentonite și amestecuri pe bază de bentonite luate în considerare în acest proiect). Pentru aceleași condiții de lucru timpul de echilibru pentru radionuclizii studiați a variat între 48–72 ore. În tabelul 1 s-au prezentat valorile constantelor de distribuție K_d obținute pentru cele 3 amestecuri A1, A2 și A3.

Tabel 1 Valorile constantelor de distribuție K_d obținute pentru A1, A2 și A3

Aditivi/schimbători	Granulometrie (mm)	K_d (ml/g)	
		¹³⁷ Cs	⁶⁰ Co
Bentonită (A1)	0,2	1362,2	272,80
Bentonită : nisip-1:1 (A2)	0,2 - 3	913,22	201,11
Bentonită : nisip : argilă-3:5:2 (A3)	0,2 - 3	1105,2	233,70

Un rezultat important al acestor cercetări l-a constituit punerea în evidență a vitezelor proceselor de desorbție foarte lente, ceea ce înseamnă că procesele de sorbție pe materialele studiate, având comportări de schimbătorii de ioni naturali sunt aproape ireversibile.

Din datele experimentale se observă o foarte bună comportare a celor trei tipuri de material analizate în sensul că retenția este practic totală după 40 de zile. Pe baza experimentelor efectuate, pentru analiza evoluției în timp a concentrațiilor în aceste compartimente, s-au realizat calcule cu codul AMBER, pe modelul matematic stabilit în RPS 2006, în care s-au modificat valorile parametrilor materialelor de umplere propuse A1, A2 și A3. În urma rulărilor s-au obținut patru cazuri în care s-a urmărit comportarea izotopilor radioactivi Co-60, Cs-137, din punct de vedere al migrării prin sistemul de depozitare.

S-au urmărit valorile concentrațiilor izotopilor menționați mai sus în compartimentele sistemului de depozitare, deoarece sunt relevante în contextul acestui studiu pentru evoluția depozitului propriu-zis, fiind în contact direct cu deșeurile și cu materialele tampon (bentonită pulbere, bentonită pulbere: nisip, bentonită pulbere: nisip: argilă).

Cazurile obținute au fost: **Cazul de referință**, în care s-au păstrat valorile datelor de intrare din modelul realizat în evaluarea preliminară de securitate, cu excepția perioadei operaționale care s-a extins până în anul 2040; **Cazul A1**, în care s-au înlocuit în fișierul AMBER valorile parametrilor caracteristici materialului de umplere “bentonită pulbere”; **Cazul**

A2, în care s-au înlocuit în fișierul AMBER valorile parametrilor caracteristici materialului de umplere “bentonită pulbere:nisip”; **Cazul A3**, în care s-au înlocuit în fișierul AMBER valorile parametrilor caracteristici materialului de umplere “bentonită pulbere:nisip:argilă”. S-au obținut rezultatele prezentate grafic în Figura 4.

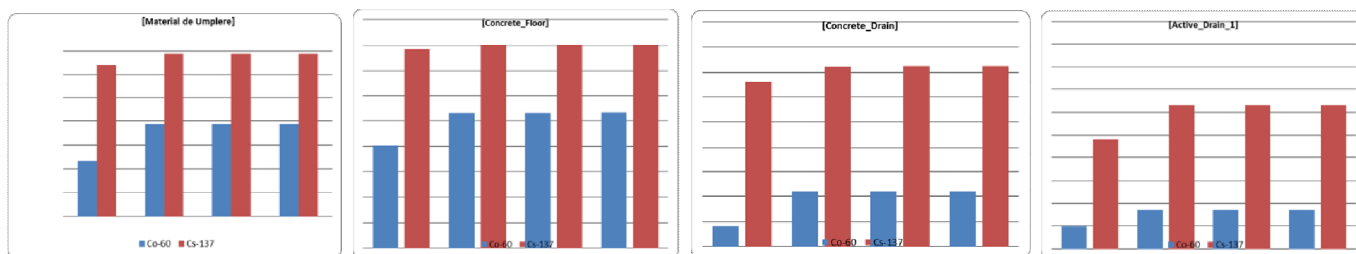


Figura 4. Concentrația maximă [Bq/m³] în compartimentul [Bentonite], în compartimentul [Concrete_Floor], în compartimentul [Concrete_Drain] și în compartimentul [Active_Drain_1]

Din analiza rezultatelor obținute s-a putut observa că materialele de umplere propuse au un comportament similar din punct de vedere al capacității de reținere a radionuclizilor în compartimentele analizate, determinând reținerea acestora în zona câmpului apropiat și întârziind migrarea spre mediul exterior.

Se poate observa o creștere a concentrației izotopilor urmăriți în compartimentele analizate, față de cazul de referință, ceea ce demonstrează capacitatea de reținere a materialelor de umplere. Explicația constă în faptul că valorile coeficienților de distribuție, k_d , pentru elementele Co-60 și Cs-137 sunt cu mult mai mari decât cele folosite în cazul de referință.

Impactul final al contribuției materialelor de umplere s-a observat în valoarea indicatorului de securitate reprezentat de doza totală efectivă individuală anuală însumată după toate căile de expunere și toți radionuclizii, pentru cele trei grupuri critice definite în vecinătatea depozitului DNDR Băița, Bihor (Figura 5).

Grupurile critice sunt selectate pe baza aprecierii celor mai probabile obiceiuri și ocupații ale grupurilor de populații care pot fi expuse încorporării contaminanților prin intermediul biosferei. Grupurile critice considerate sunt următoarele:

- *Recreațional*, care este posibil să fie expus: iradierii externe de la regolit și cursurile de apă contaminate, inhalării prafului contaminat și ingerării accidentale de sol contaminat;
- *Băița Plai*, care poate fi expus: iradierii externe de la solul și apa contaminate, inhalării prafului contaminat și ingerării accidentale de sol contaminat;

- *Băița Sat*, care este similar în activități și obiceiuri grupului „Băița Plai”, exceptând faptul că grupul este situat mai departe de depozit, în comuna Băița Sat.

În figura 5 este prezentată evoluția acestor doze totale efective individuale anuale însumate după toate căile de expunere și toți radionuclizii, pentru cele trei cazuri analizate A1, A2 și A3.

Se poate observa că există două momente de timp în evoluția post-închidere a depozitului în care doza efectivă încasată de un membru al grupurilor critice atinge valori de vârf (*peak*):

- la mai puțin de 100 ani și, respectiv 4582 de ani de la momentul considerat zero (anul 1985) pentru grupurile critice "Recreațional" și "Băița Plai";
- la mai puțin de 100 ani și, respectiv 4076 de ani de la momentul considerat zero (anul 1985) pentru grupul critic "Băița Sat".

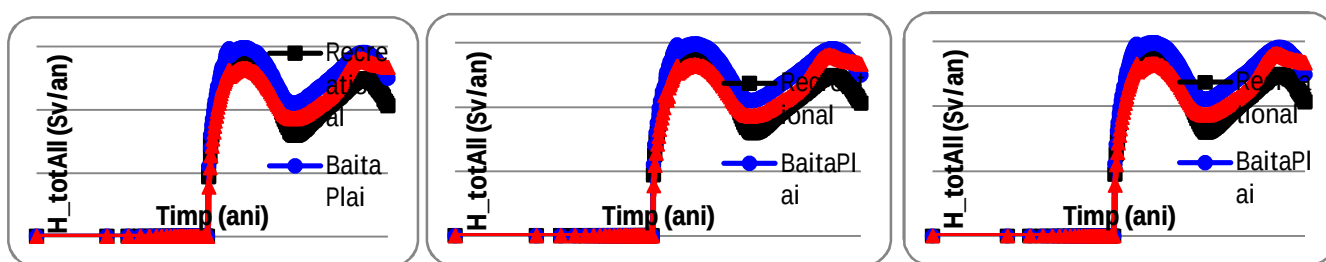


Figura 5. Dozele efective individuale anuale pentru cele trei grupuri critice considerate, însumată după toate căile de expunere și toți radionuclizii pentru Cazurile A1, A2 și A3

Din studiul valorilor de doză prezentate în lucrarea de față, se constată o scădere a acestora față de cazul de referință, în care materialul de umplere modelat a fost unul ipotetic, caracteristicile acestuia fiind parametrizate pe baza datelor din literatura de specialitate.

Din datele experimentale obținute pe parcursul derulării proiectului au rezultat unele din valorile necesare în vederea analizei calitative a modului de comportare al barierelor ingineresti în timp.

Astfel au fost determinați prin calcul anii necesari ajungerii frontului radioactiv la distanțe de 10, 100, 500 și 1000 m de depozit, în două variante: la viteze de curgere a apei subterane de 10^{-3} m/zi și la viteze de 1 m/zi. În Tabelul 2 și Figura 6 sunt prezentate, în cazul cel mai defavorabil (viteza frontului de apă este de 1 m/zi), valorile timpilor necesari ca frontul radioactiv să ajungă la anumite distanțe de depozit.

Tabel 2. Calculul timpului necesar (ani) ca frontul radioactiv să ajungă la anumite distanțe de depozit, considerându-se viteza de 1 m/zi pentru A1, A2 și A3

Radionuclid	Viteza de curgere a apei subterane (u)- 1m/zi			
	10 m	100 m	500 m	1000 m
Co-60 Matrice conditionare	$7,9 \cdot 10^4$	$7,9 \cdot 10^5$	$3,95 \cdot 10^6$	$7,9 \cdot 10^6$
Co-60 (A1)	$7,5 \cdot 10^3$	$7,5 \cdot 10^4$	$3,75 \cdot 10^5$	$7,5 \cdot 10^5$
Co-60 (A2)	$8,2 \cdot 10^3$	$8,2 \cdot 10^4$	$4,1 \cdot 10^5$	$8,2 \cdot 10^5$
Co-60 (A3)	$3,6 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^6$
Co-60 – Roca gazda	$3,4 \cdot 10^5$	$3,4 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^7$	$3,4 \cdot 10^7$
Total A1	$4,2 \cdot 10^5$	$4,2 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^7$	$4,2 \cdot 10^7$
Total A2	$4,3 \cdot 10^5$	$4,3 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^7$	$4,3 \cdot 10^7$
Total A3	$4,5 \cdot 10^5$	$4,5 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^7$	$4,5 \cdot 10^7$
Cs-137 Matrice conditionare	$2 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$
Cs-137 (A1)	$1,8 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^6$	$0,9 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^7$
Cs-137 (A2)	$1,7 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^6$	$0,85 \cdot 10^7$	$1,7 \cdot 10^7$
Cs-137 (A3)	$1,7 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^6$	$0,85 \cdot 10^7$	$1,7 \cdot 10^7$
Cs-137 – Roca gazda	$5,4 \cdot 10^5$	$5,4 \cdot 10^6$	$2,7 \cdot 10^7$	$5,4 \cdot 10^7$
Total A1	$7,4 \cdot 10^5$	$7,4 \cdot 10^6$	$3,7 \cdot 10^7$	$7,4 \cdot 10^7$
Total A2	$7,3 \cdot 10^5$	$7,3 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^7$	$7,3 \cdot 10^7$
Total A3	$7,3 \cdot 10^5$	$7,3 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^7$	$7,3 \cdot 10^7$

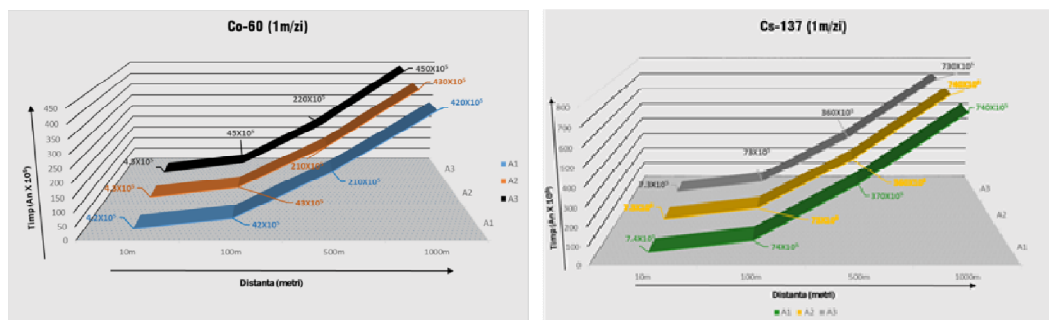


Figura 6 . Timpul necesar (ani) ca frontul radioactiv să ajungă la anumite distanțe de depozit, considerându-se viteza de 1 m/zi pentru Co-60 și Cs-137

Prin urmare, se poate concluziona ca utilizarea bentonitei și a amestecurilor pe bază de bentonită, nisip și argilă ca material de umplere a spațiilor libere dintre colete este o alternativă viabilă având în vedere rezultatele obținute din punct de vedere al capacității de sorbție și retenție precum și a gradului de umiditate în condiții reale de depozitare și în condiții de laborator; de asemenea, ea poate fi pusă în operă în condiții tehnice relativ simple, corespunzătoare pentru DNDR Băița, Bihor.

Etapă V a proiectului :

În cadrul prezentei etape de încheiere a proiectului, s-au confirmat soluțiile tehnice aplicate până în prezent la DNDR Băița, Bihor, la care urmează să se efectueze îmbunătățiri operaționale, recomandate în cadrul etapelor prezentului proiect. La elaborarea etapei s-au avut în vedere recomandările Agenției Internaționale pentru Energie Atomică (AIEA), care au constituit reperele de bază ale proiectului.

Închiderea Depozitului Național de Deșeuri Radioactive (DNDR) Băița, Bihor, poate fi considerată ca fiind ultima treaptă importantă de operare, în completarea sistemului de depozitare. Nivelurile de securitate de referință, se aplică unui număr mare de instalații de depozitare deșeuri radioactive și deci, trebuie să fie aplicate într-o proporție corespunzătoare, ținând seama de dimensiunea riscului potențial al deșeurilor depozitate. Trebuie să se aplice o abordare gradată, specifică unei anumite instalații, astfel încât, prevederile făcute și mijloacele de implementare să fie corespunzătoare riscurilor identificate prin autorizare.

Aceste recomandări au constituit obiectivele principale ale prezentului proiect, toate activitățile fiind subordonate acestor obiective majore.

Scenariul de securitate pentru o instalație de depozitare aflată în mediul său geologic, prezintă probleme specifice, în comparație cu scenariul de securitate pentru alte tipuri de instalații nucleare și anume:

- se referă la securitatea post-închidere, în contextul securității operaționale;
- se stabilește în perioada în care se dezvoltă conceptul de depozitare și instalația se construiește și funcționează;
- are ca principal obiectiv rezolvarea incertitudinilor în special pe termen lung, ceea ce nu are un echivalent în cazul altor instalații nucleare; se referă adesea la un anumit stadiu de dezvoltare a instalației.

Scenariul de securitate poate de asemenea, să evolueze pe baza experienței câștigate în timpul construcției și operării depozitului, cât și din implementarea procesului de optimizare. Acesta este și cazul prezentului proiect de optimizare a barierelor ingineresti, din cadrul proiectului de închidere a DNDR Băița, Bihor. Scenariul de securitate, trebuie să identifice incertitudinile cheie care ar putea influența securitatea și activitățile necesare care să le gestioneze, în special, în cadrul programelor de cercetare-dezvoltare.

Calcululele post-închidere au ilustrat că funcțiile de securitate pe termen lung ale depozitului și geosferei și anume, de izolare a deșeurilor față de mediul accesibil și de atenuare a eliberării radionuclizilor în biosferă, în special pentru radionuclizii de viață scurtă (de ex., Co-60) și cei puternic absorbiți (de ex., Am-241), sunt menținute pe toată perioada de control instituțional, de 300 de ani. Calcululele arată că unele componente ale depozitului (în particular, matricea deșeurilor) pot reduce dozele cu maxim 1-2 ordine de mărime, iar geosfera reduce dozele cu maxim 2-3 ordine de mărime, pentru Scenariul de Referință Post-închidere.

Bariera de bentonită introdusă după 1996 reduce dozele cu un ordin de mărime în perioada de control instituțional.

Sistemul de barieră ingineresti din cadrul depozitului este structurat în: matricea de confinare a deșeurilor radioactive, materialele și tehnologia utilizate pentru umplerea spațiilor libere (cu bentonită) dintre colete și dintre colete și pereții galeriilor de depozitare, și mediul geologic de amplasare al depozitului.

În cadrul prezentei etape, au fost evidențiate barierele majore care asigură securitatea DNDR Băița, Bihor și anume, coletul care conține matricea deșeurilor și roca gazdă, care este bariera naturală cea mai importantă în cazul DNDR Băița, Bihor. În consecință, în lucrare au fost analizate în detaliu, comportările pe termen lung ale acestor bariere, ținând seama de datele

experimentale obținute de partenerul IFIN-HH din cadrul acestui proiect, cât și de experiența internațională din domeniul depozitării deșeurilor radioactive.

Programul Experimental desfășurat în cadrul acestui proiect, se înscrie în contextul programelor de cercetare coordonată efectuate în cadrul proiectelor AIEA și a demonstrat eficiența matricii deșeurilor ca barieră primară, cât și a rocii gazdă ca barieră naturală, prin măsurători de coeficienți de distribuție și de lixiviere. A rezultat că matricile de confinare a deșeurilor radioactive utilizate la DNDR Băița, Bihor, asigură izolarea radionuclizilor prin reducerea dozelor cu circa 2 ordine de mărime, iar a rocii gazdă, prin reducerea dozelor cu 3 ordine de mărime, conform Scenariului de Referință Post-închidere, confirmându-se astfel calculele efectuate anterior.

S-a efectuat o analiză asupra durabilității componentelor sistemului de închidere, care va completa sistemul de izolare pe termen lung a radionuclizilor la DNDR Băița, Bihor.

Rezultatele obținute/evaluările preliminare conduc la concluzia că matricile obținute/testate au parametri similari mortarului pe fluxul tehnologic de condiționare a deșeurilor radioactive, situându-se în limitele admise pentru matricea de condiționare a deșeurilor radioactive. Acest fapt ne conduce la concluzia că și comportarea pe termen lung va fi similară, deci nu vor induce influențe asupra sistemului de depozitare analizat. Materialele, atât cele utilizate în prezent, în condiționarea deșeurilor radioactive, cât și cele ce urmează a fi introduse, sunt în fapt forme de betoane de ciment, deoarece liantul utilizat este în fiecare caz, cimentul. Cimentul reprezintă partea activă a sistemului, iar nisipul (agregat) reprezintă partea inertă.

Valorile ridicate obținute la caracterizarea fizico-mecanică a matricilor studiate, demonstrează faptul că:

- Deși creșterile importante ale rezistenței betonului de ciment au loc în primele 28 de zile, odată cu vârsta, are loc o creștere practic nelimitată, dar valorile de creștere sunt semnificativ mai mici;

- Raportul apă-ciment utilizat este optim; între valori ale raportului apă-ciment de 0,38–0,4 scăderea este liniară, deci scăderea este direct proporțională cu creșterea acestui raport.

- Matricile analizate nu conțin sau au un conținut scăzut de pori grosieri, ca urmare a raportului apă-ciment optim. Acest lucru este demonstrat de faptul că în spațiul dintre granulele de agregat se formează soluția de pastă de ciment în apă.

- Rezistența betonului de ciment este direct proporțională cu rezistența la compresiune a cimentului, în consecință, dozajul de ciment are o importanță majoră. Creșterea rezistențelor are loc odată cu creșterea dozajului de ciment.

- Fenomenul de microfisurare este foarte redus, datorită tot raportului ridicat apă-ciment utilizat. La aceste valori, avem o microfisurare mică, întru-cât cantitatea de apă care se pierde este mică și deci și fenomenul de contracție este redus (La întărire, pasta de ciment manifestă contracții care la rândul lor, dau naștere la eforturi.

- Umiditatea sistemului de depozitare contribuie pozitiv la rezistența betonului de ciment, datorită faptului că scade microfisurarea.

Din analiza rezultatelor obtinute, atât în laborator, cât și pe probele depozitate in-situ, pentru materialele de umplere analizate, pot fi desprinse următoarele concluzii :

- Umiditatea materialelor uscate este foarte redusă, fiind considerate optime pentru a fi utilizate ca materiale de umplutură;

- Utilizarea bentonitei și a amestecurilor uscate, alcătuite din bentonită, nisip și argilă, ca material de umplere a spațiilor libere dintre colete, este o alternativă viabilă, având în vedere rezultatele obținute din punct de vedere al capacității de sorbție și retenție a radionuclizilor relevanți.

Evoluția DNDR Băița, Bihor

În perioada post-închidere, aceste componente vor fi supuse unor procese inevitabile de degradare, datorită condițiilor locale existente la DNDR Băița, Bihor. Prezența infiltrațiilor de ape și a temperaturii constante de cca. 13°C, fac posibilă și dezvoltarea unor specii de microorganisme, care pot influența performanțele componentelor sistemului de depozitare.

Din planul general al DNDR Băița, Bihor, privind situația actuală a gradului de ocupare al galeriilor de depozitare, a rezultat că în prezent, în depozit se găsesc 8944 butoaie cu deșeuri, amplasate în 8 din cele 11 galerii destinate pentru depozitare. Butoaiele confecționate din oțel carbon în care se depozitează deșeurile, sunt fie de 400 L, fie de 200 L. Din galeriile destinate pentru depozitare, 5 dintre ele sunt deja închise, o galerie este închisă parțial, 2 galerii sunt utilizate în prezent pentru depozitare, iar 3 galerii sunt neutilizate încă. Depozitul urmează să fie închis în 2040, prin închiderea părții din galeria 50 utilizată pentru acces și a galeriei 53, de aeraj. Sistemul de drenaj va rămâne în funcțiune până în faza finală a închiderii, după care va fi blocat, odată cu construcția dopului de închidere a galeriei de acces, de 15 m. Închiderea este necesară pentru prevenirea evacuării apei contaminate din galeriile de depozitare, către rezervorul de colectare și ulterior, în biosferă. Monitorarea radioactivității mediului, va continua pe o perioadă de cca. 100 de ani după închiderea depozitului.

În scenariul de bază privind evaluarea de securitate post-închidere a DNDR Băița, Bihor, se estimează evoluția prezentată în cele ce urmează. Curând după amplasarea în galerii, oțelul butoaielor începe să se corodeze, astfel încât, la scara câtorva ani, butoaiele își pierd capacitatea de etanșare și apa poate intra în contact cu deșeurile. Cimentul este fragil așa încât, fluxul de apă urmează să inițieze microfisuri. Cu timpul, fisurile vor crește și cimentul se va degrada chimic, ca rezultat al reacției dintre ciment și apa meteorică care nu este în echilibru chimic cu acesta.

În cazul galeriilor fără umplutură tampon din bentonită, radionuclizii vor migra, prin advecție, dispersie și difuzie, în apa meteorică care se va infiltra în galerii. Această apă va fi colectată în sistemul de drenaj sau, se va infiltra în geosfera înconjurătoare. După o perioadă de timp, sistemul de drenaj se va bloca treptat, datorită degradării depozitului.

În cazul galeriilor cu umplutură de bentonită, radionuclizii migrează (prin advecție, dispersie și difuzie) prin tamponul de bentonită, cu o viteză de migrare specifică unor radionuclizi, care sunt sorbiți în bentonită. Totuși, vor apărea diverse procese care vor crește viteza de migrare în depozit, cum ar fi, migrarea bentonitei tampon necompactate din galeriile cu bentonită, datorită tasării și spălării cu apă meteorică de infiltrații și, prin formarea de

complexanți organici, datorită degradării cofrajului din lemn. Apa meteorică de infiltrație antrenează bentonita, fie în sistemul de drenaj al depozitului, fie în geosferă. Drenajul comun cu galeriile fără bentonită, se consideră că se va degrada puțin mai repede, datorită probabil, colmatării cu bentonită.

Calcululele radiologice post-închidere au ilustrat că funcțiile de securitate pe termen lung ale depozitului și geosferei și anume, de izolare a deșeurilor față de mediul accesibil și de atenuare a eliberării radionuclizilor în biosferă, în special pentru radionuclizii de viață scurtă (de ex. Co-60) și cei puternic absorbiți (de ex. Am-241), sunt menținute pe toată perioada de control instituțional, de 300 de ani.

Evaluarea durabilității sistemului de închidere a tunelurilor de acces și aeraj

La DNDR Băița, Bihor, amenajat în galerii de mină abandonate, bariera primară (matricea în care au fost imobilizate deșeurile radioactive) constituie bariera inginerescă principală contra migrării radionuclizilor. Roca gazdă (formațiune cristalină, dură și impermeabilă) constituie o barieră naturală deosebit de importantă pentru izolarea deșeurilor radioactive. Tunelurile de acces și aeraj, se află într-o zonă în care infiltrațiile de apă meteorică sunt importante, datorită perturbărilor induse de activitățile miniere din zonă.

Soluția tehnică selectată, pentru asigurarea separării zonelor cu viteze diferite de infiltrații, constă în prevederea unor umpluturi tip sandviș. Aceste umpluturi au rolul de stabilizare a zonei de depozitare, prin împiedicarea subducțiilor, întârzierea infiltrațiilor apei în galeriile de depozitare, cât și evitarea formării de apă stagnantă în zona de depozitare.

Tunelurile vor fi închise cu tronsoane de umplutură, constituită în special, din rocă locală concasată și bătătorită (care se va comporta aproape identic cu roca gazdă). Capacitățile de sorbție ale umpluturii, determinate experimental, au valori similare cu cele determinate în cazuri asemănătoare din alte țări.

Rolul de separare a zonelor cu umidități diferite va fi menținut cel puțin pe durata de control instituțional, de 300 de ani, ținând seama de caracteristicile de izolare ale stratului de impermeabilizare, grosime de 3 m, având în compoziție argilă și bentonită. În schimb, rolul de împiedicare a migrării radionuclizilor este nesemnificativ, ținând seama de direcția gravitațională preferențială, atât din galeriile de depozitare, cât și din tunelurile de acces și aeraj.

Evaluarea durabilității dopurilor de închidere și etansare

Dopurile din beton vor fi construite în zonele de intrare ale fiecărui tunel, de acces și aeraj, pentru descurajarea intruziunilor. Duratele de păstrare a integrității acestor componente, se vor încadra în domeniul duratelor de funcționare a celorlalte componente din beton, din depozitul DNDR Băița, Bihor. Spre deosebire de cazul matricilor din beton ale coletelor cu deșeuri, care au suprafețe mari de contact cu apa, în cazul dopurilor masive din beton, suprafețele de contact apă/beton vor fi mult mai mici. Rezultă că aceste dopuri vor continua să-și păstreze funcția de blocare a migrării radionuclizilor pe direcția orizontală, mult timp după degradarea matricilor din

beton ale coletelor cu deșeuri radioactive. Totodată, masivitatea mediului alcalin indus de dopul de beton, împiedică migrarea multor radionuclizi scăpați din galeriile de depozitare și care ar putea fi antrenati în afara depozitului. Principala direcție de migrare a radionuclizilor care au părăsit matricea degradată, va fi direcția verticală. Migrarea pe direcția orizontală se poate face prin sistemul de drenaj al galeriilor de depozitare, contribuția dopurilor ar fi în acest caz, nesemnificativă.

În concluzie, dopurile de beton au în primul rând, rolul de stopare a intruziunilor, rolurile de stabilizare și de blocare a migrării radionuclizilor fiind minore, în perioada de control instituțional post-închidere, de 300 de ani.

Evaluarea durabilității acoperișului

Straturile de rocă dură, de deasupra galeriilor de depozitare aferente DNDR Băița, Bihor, constituie acoperișul depozitului. Pentru păstrarea integrității ariei superficiale corespunzătoare zonei de depozitare, s-a selectat soluția tehnică de amenajare în terase și refacerea zonei excavate corespunzătoare tunelului de acces, pe o suprafață de 3600 m² și instalarea unei geogrilă, pe o suprafață de 9500 m². Prin reconstrucția zonei, se asigură panta naturală de 20% cu sol vegetativ, pentru reducerea vitezei de infiltrare a apei prin evapotranspirație și scurgerea gravitațională de-a lungul pantei. Impermeabilizarea se asigură prin așezarea unei geomembrane (5 mm grosime), pe suportul textil. Această geomembrană se va așeza pe un strat de pietriș compactat, cu grosimea de 0,5 m, cu rol de suport pentru geomembrană. Terasale vor fi rambleiate prin așezarea unui strat de umplutură din rocă concasată, pentru formarea pantei naturale. Umplutura va fi protejată contra alunecării, prin intermediul unui zid de sprijin, executat la marginea fiecărei terase.

Materialele principale utilizate pentru reconstrucția zonei sunt naturale respectiv, rocă concasată, pietriș, nisip, argilă, cunoscute pentru proprietățile de durabilitate. Geomembrana, fabricată din polietilenă de densitate mare, constituie un material sintetic având durabilitate foarte mare, de ordinul sutelor de ani, până la o mie de ani. Geogriile, de asemenea confecționate din materiale plastice sintetice cu mare durabilitate (fibre de poliester), garantează stabilizarea solului, inclusiv dezvoltarea vegetației, care asigură îndepărtarea unei cantități importante de apă de pe suprafețele respective, prin absorbția ei. Prin respectarea pantelor naturale, cu ocazia reconstrucției zonei afectate de lucrările miniere, se consideră că durabilitatea acoperișului va crește simțitor, ceea ce indică posibilitatea ca zona să-și păstreze funcția de limitare a infiltrațiilor spre galeriile DNDR Băița, Bihor, cel puțin pe toată durata de control instituțional. De altfel, cel puțin 100 de ani după închiderea depozitului, în perioada de control instituțional activ, va exista posibilitatea de control și de remediere, în cazul în care ar apărea defecțiuni imprevizibile ale acoperișului.

Evaluarea marcajelor de avertizare a zonei depozitului

Marcajele sunt sisteme pasive care trebuie să avertizeze prezența unei construcții umane periculoase pentru populație și să asigure protecția generațiilor viitoare de riscul intruziunii

accidentale în depozit. Pentru selectarea variantei de amenajare a unui muzeu de specialitate în clădirea administrativă actuală, a apărut posibilitatea ca, cel puțin 30 de ani după închiderea DNDR Băița, Bihor, să existe posibilitatea de control permanent al zonei de depozitare. În continuare, se va institui un control periodic, prin care se va verifica integritatea sistemelor de avertizare și se va asigura astfel, întreținerea acestora. Această perioadă de 70-100 de ani, va încheia perioada de control instituțional activ.

După această perioadă, urmează perioada de control pasiv, în care, durabilitatea sistemelor de avertizare devine esențială. Un rol important în asigurarea integrității sistemelor de marcaj, îl va avea sistemul de înregistrare și păstrare a informațiilor privind depozitarea deșeurilor la DNDR Băița, Bihor. Totodată, este posibil să se dezvolte în viitor, sisteme de avertizare mai performante, în concordanță cu evoluția unor sisteme tehnologice și informaționale îmbunătățite.

În concluzie, prin setul de măsuri de avertizare și supraveghere pe termen lung, prevăzut la DNDR Băița, Bihor, se așteaptă ca sistemele de marcaj să-și păstreze integritatea, pe toată durata de control instituțional, de 300 de ani.

Matricile de condiționare

În cadrul lucrărilor efectuate în fazele anterioare au fost derulate activități experimentale și analizate sistemele de bariere inginerești implementate în prezent la DNDR Băița, Bihor (fig. 2-1). Pe baza studiului documentar au fost analizate matrici optimizate pentru condiționarea deșeurilor radioactive precum și diferite materiale de umplere, în vederea efectuării unei analize concrete privind posibilitățile de optimizare a caracteristicilor acestora din punct de vedere al obiectivului prioritar și anume asigurarea funcțiilor de securitate radiologică pe termen lung a instalației de depozitare.

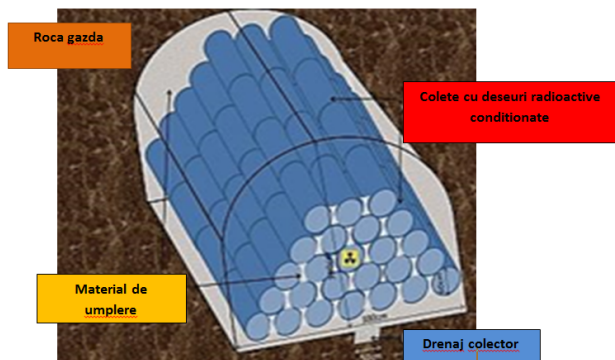


Figura 2-1: Elementele sistemului de bariere inginerești în faza operațională

Au fost luate în considerare noile tipuri de matrici de condiționare analizate sau în curs de analiză pentru: (a) condiționarea concentratului radioactiv rezultat în urma tratării efluentului

radioactiv apos prin metode combinate de filtrare, ultrafiltrare și osmoză inversă; (b) condiționarea aluminiului provenit din dezafectarea Reactorului Nuclear VVR-S și (c) condiționarea grafitului radioactiv provenit din coloana termică a Reactorului Nuclear VVR-S.

Condiționarea deșeurilor radioactive instituționale în vederea depozitării la DNDR Băița, Bihor se realizează prin cimentare, utilizându-se de cca. 30 de ani o rețetă validată prin diferite studii și tehnologii omologate (pentru cele două tipuri de colete autorizate pentru depozitare (fig. 2-2) – de 220 L și de 420 L). Condiționarea se realizează prin înglobarea deșeurilor radioactive în coletul de 100 L care este apoi la rândul său înglobat în coletul de 220 L (procesul este similar și pentru coletul de 420 L în care este înglobat un colet de 220 L).

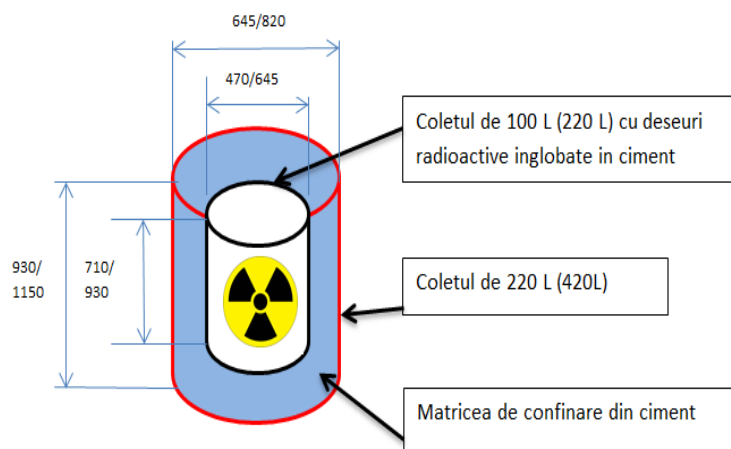


Figura 2-2: Componente ale coletului de depozitare

Evaluări privind matricea de condiționare a concentratului radioactiv

În urma procesului de tratare a efluentului radioactiv lichid primar (săruri, agenți de complexare, deșeuri radioactive rezultate din producția de combinații marcate, deșeuri rezultate în urma dezafectării reactorului VVR-S) rezultă un concentrat radioactiv cu o compoziție chimică complexă. Acest concentrat trebuie înglobat într-o matrice pe bază de ciment Portland, stabilă fizico-chimic și mecanic care să îndeplinească criteriile de acceptare ale Depozitului Național de Deșeuri Radioactive – Băița, Bihor și cerințele de securitate radiologică în condițiile stocării intermediare și depozitării definitive.

Deșeurile radioactive lichide (DRL) din STDR se consideră ca soluții apoase, întrucât constituie mai mult de 99% din DRL. Radionuclizii și impuritățile se găsesc în efluenții radioactivi apoși (ERA) sub formă de:

- Particule în suspensie sau produși petrolieri emulsifianți (dimens. particule între $10^{-7} \text{ m} \div 10^{-6} \text{ m}$)
- Particule coloidale sau micelii (dimens. particule între $10^{-8} \div 10^{-7} \text{ m}$)
- Substanțe organice dizolvate și/sau surfactanți (dimens. particule între $10^{-9} \div 10^{-8} \text{ m}$)
- Ioni (dimensiune particule între $10^{-10} \div 10^{-9} \text{ m}$)

Scopul procesului de tratare a deșeurilor radioactive lichide este micșorarea volumului de ERA, trecerea lor într-o formă stabilă atât fizic cât și chimic și obținerea de colete cu deșeuri radioactive pentru depozitare definitivă.

Matricile selectate sunt compoziții de ciment și mortar ca probe de referință și matrici de ciment preparate cu componenți inactivi ce simulează concentratul radioactiv.

S-a demonstrat eficiența acestor matrici care pot fi utilizate la DNDR Băița, Bihor.

Factorii care pot afecta stabilitatea sistemului de închidere

Sistemul de închidere este format din două componente majore:

- Lucrări de amenajare/acoperire a zonelor situate imediat deasupra galeriei de acces;
- Dopurile și tronsoanele din interiorul depozitului.

Factorii analizați sunt: intruziune umană accidentală sau deliberată, fenomenul de îngheț-dezgheț și seismicitatea.

Conform zonării seismice a teritoriului României, perimetrul aferent zonei Băița-Bihor este încadrat în gradul VI de intensitate seismică. Adâncimea de îngheț se consideră a fi de 1,00 m.

Din analizele și evaluările specialiștilor rezultă că seismicitatea amplasamentului este puțin influențată de zona seismică Vrancea precum și de o slabă activitate seismică locală.

Depozitul propriu-zis este amplasat sub un pachet de roci de cca. 160-180 m, în consecință nu există posibilitatea apariției fenomenelor de îngheț-dezgheț.

Evaluarea anti-intruziune

Analiza anti-intruziune a sistemului de închidere propus s-a axat pe următoarele scenarii:

- Realizarea unui foraj sau a unei galerii de prospectare în zona depozitului ;
- Intruziune accidentală sau deliberată a unui individ sau grup de indivizi.

Ambele scenarii sunt luate în calcul strict după perioada de operare și cea de control instituțional.

Datorită poziționării zăcămintelor de molibden (la mare adâncime sub depozit), este puțin probabil că vreă galerie și/sau foraje utilizate pentru accesul la zăcămintele de molibden să treacă prin depozit. Totuși este posibil ca o galerie să intercepteze frontul de contaminanți eliberat din depozit. În cadrul Analizei Preliminare de Securitate pentru DNDR au fost calculate debitele de doză efective individuale atât pentru faza operațională cât și pentru faza de control instituțional, demonstrându-se eficiența sistemului de depozitare.

CONCLUZII

Începând cu anul 1985, când a fost pus în funcțiune depozitul și s-a realizat depozitarea primelor colete cu deșeuri radioactive conditionate și până în anul 1996, nu s-a practicat umplerea spațiilor libere. Practic, singurele bariere au fost considerate matricea de condiționare și roca gazdă. Odată cu dezvoltarea la nivel național și internațional a legislației în domeniu, s-au demarat analize de securitate pe termen lung, analize care au evidențiat necesitatea implementării

de măsuri ingineresti suplimentare. Acestea s-au studiat și aplicat asupra tuturor sistemelor de depozitare, astfel:

- au fost dezvoltate colete mai robuste cu ecrane suplimentare cu grosimi mai mari și fabricate din materiale mai rezistente;
- a fost optimizată rețeta matricii de ciment (pentru înglobarea deșeurilor radioactive) și a început derularea de cercetări pentru identificarea unor matrici stabile, în vederea utilizării în procesul de condiționare a deșeurilor radioactive “exotice” – aluminiul metalic activat și grafit;
- au fost realizate o serie de lucrări de modernizare a întregului sistem de depozitare: refacerea în totalitate a sistemelor electrice, de ventilație și de drenaj, impermeabilizarea pereților galeriei de acces, prin armare și torcretare;
- a fost realizată o analiză preliminară de securitate a depozitului, la cca. 20 de ani de la punerea în funcțiune, care a demonstrat viabilitatea acestuia și a făcut o serie de recomandări, în vederea asigurării unei securități sporite. Printre aceste recomandări a fost și analiza materialului de umplere, închiderea galeriilor cu tronsoane, etc.

În cadrul fazelor de proiect, au fost derulate experimentele realizate în vederea optimizării matricilor de condiționare, cât și studii și lucrările experimentale realizate pe diverse tipuri de materiale de umplere. Totodată, s-a analizat și evaluarea eficacității sistemului de bariere, din punct de vedere al stabilității structurale și al îndeplinirii funcțiilor de securitate – retenția și întârzierea migrării radionuclizilor depozitați pe o perioadă de timp stabilă, dincolo de care efectele radioactive sunt ne semnificative.

Pe baza rezultatelor finale, putem desprinde următoarele concluzii :

- Sistemele de bariere ingineresti dezvoltate și implementate în faza operațională, sunt adecvate scopului propus și anume, de confinare și izolare a deșeurilor radioactive;
- Mediul gazdă este adecvat, gradul de fisurare al acestuia ca urmare a exploatării minereului fiind relativ scăzut, fapt demonstrat de volumul foarte redus de apă infiltrat;
- Rezultatele obținute pe materialele de umplere analizate, conduc la concluzia că, pot fi utilizate cu succes în cadrul sistemului de depozitare;
- Tronsoanele, dopurile de închidere și terasele propuse în faza de închidere a depozitului, asigură securitatea pe termen lung a sistemului.

În concluzie, obiectivele etapei și implicit, ale proiectului, au fost atinse în totalitate, fiind create premisele pentru elaborarea strategiei de închidere și a Planului conceptual de Închidere a Depozitului Național de Deșeuri Radioactive de Joasă și Medie Activitate Băița-Bihor.

Pe baza lucrărilor și rezultatelor obținute în prezentul proiect, a fost realizat și depus la CNCAN, Raportul Final de Securitate al DNDR Băița-Bihor. De asemenea, rezultatele vor fi utilizate în elaborarea documentației finale a Planului Conceptual de Închidere, în vederea îndeplinirii cerințelor din legislația în vigoare și alinierii la recomandările internaționale.

Etapa V a proiectului :

EVALUAREA PERFORMATELOR SISTEMULUI DE BARIERE INGINEREȘTI, INCLUSIV DE ÎNCHIDERE, PROPUȘ LA DNDR BĂIȚA, BIHOR

- **Evaluarea durabilității barierelor ingineresti, inclusiv de închidere propuse în varianta optimă**
- **Caracterizarea componentelor sistemelor de bariere ingineresti, inclusiv de închidere din punctul de vedere al întârzierii migrării radionuclizilor**

În cadrul prezentei etape de încheiere a proiectului, s-au confirmat soluțiile tehnice aplicate până în prezent la DNDR Băița, Bihor, la care urmează să se efectueze îmbunătățiri operaționale, recomandate în cadrul etapelor prezentului proiect. La elaborarea etapei s-au avut în vedere recomandările Agenției Internaționale pentru Energie Atomică (AIEA), care au constituit reperele de bază ale proiectului.

Închiderea Depozitului Național de Deșeuri Radioactive (DNDR) Băița, Bihor, poate fi considerată ca fiind ultima treaptă importantă de operare, în completarea sistemului de depozitare. Nivelurile de securitate de referință, se aplică unui număr mare de instalații de depozitare deșeuri radioactive și deci, trebuie să fie aplicate într-o proporție corespunzătoare, ținând seama de dimensiunea riscului potențial al deșeurilor depozitate. Trebuie să se aplice o abordare gradată, specifică unei anumite instalații, astfel încât, prevederile făcute și mijloacele de implementare să fie corespunzătoare riscurilor identificate prin autorizare.

Aceste recomandări au constituit obiectivele principale ale prezentului proiect, toate activitățile fiind subordonate acestor obiective majore.

Scenariul de securitate pentru o instalație de depozitare aflată în mediul său geologic, prezintă probleme specifice, în comparație cu scenariul de securitate pentru alte tipuri de instalații nucleare și anume:

- se referă la securitatea post-închidere, în contextul securității operaționale;
- se stabilește în perioada în care se dezvoltă conceptul de depozitare și instalația se construiește și funcționează;
- are ca principal obiectiv rezolvarea incertitudinilor în special pe termen lung, ceea ce nu are un echivalent în cazul altor instalații nucleare; se referă adesea la un anumit stadiu de dezvoltare a instalației.

Scenariul de securitate poate de asemenea, să evolueze pe baza experienței câștigate în timpul construcției și operării depozitului, cât și din implementarea procesului de optimizare. Acesta este și cazul prezentului proiect de optimizare a barierelor ingineresti, din cadrul proiectului de închidere a DNDR Băița, Bihor. Scenariul de securitate, trebuie să identifice incertitudinile cheie care ar putea influența securitatea și activitățile necesare care să le gestioneze, în special, în cadrul programelor de cercetare-dezvoltare.

Calculul post-închidere au ilustrat că funcțiile de securitate pe termen lung ale depozitului și geosferei și anume, de izolare a deșeurilor față de mediul accesibil și de atenuare a eliberării radionuclizilor în biosferă, în special pentru radionuclizii de viață scurtă (de ex., Co-60) și cei puternic absorbiți (de ex., Am-241), sunt menținute pe toată perioada de control instituțional, de 300 de ani. Calculul arată că unele componente ale depozitului (în particular, matricea deșeurilor) pot reduce dozele cu maxim 1-2 ordine de mărime, iar geosfera reduce dozele cu maxim 2-3 ordine de mărime, pentru Scenariul de Referință Post-închidere.

Bariera de bentonită introdusă după 1996 reduce dozele cu un ordin de mărime în perioada de control instituțional.

Sistemul de bariere ingineresti din cadrul depozitului este structurat în: matricea de confinare a deșeurilor radioactive, materialele și tehnologia utilizate pentru umplerea spațiilor libere (cu bentonită) dintre colete și dintre colete și pereții galeriilor de depozitare, și mediul geologic de amplasare al depozitului.

În cadrul prezentei etape, au fost evidențiate barierele majore care asigură securitatea DNDR Băița, Bihor și anume, coletul care conține matricea deșeurilor și roca gazdă, care este bariera naturală cea mai importantă în cazul DNDR Băița, Bihor. În consecință, în lucrare au fost analizate în detaliu, comportările pe termen lung ale acestor bariere, ținând seama de datele experimentale obținute de partenerul IFIN-HH din cadrul acestui proiect, cât și de experiența internațională din domeniul depozitării deșeurilor radioactive.

Programul Experimental desfășurat în cadrul acestui proiect, se înscrie în contextul programelor de cercetare coordonată efectuate în cadrul proiectelor AIEA și a demonstrat eficiența matricii deșeurilor ca barieră primară, cât și a rocii gazdă ca barieră naturală, prin măsurători de coeficienți de distribuție și de lixiviere. A rezultat că matricile de confinare a deșeurilor radioactive utilizate la DNDR Băița, Bihor, asigură izolarea radionuclizilor prin reducerea dozelor cu circa 2 ordine de mărime, iar a rocii gazdă, prin reducerea dozelor cu 3 ordine de mărime, conform Scenariului de Referință Post-închidere, confirmându-se astfel calculele efectuate anterior.

S-a efectuat o analiză asupra durabilității componentelor sistemului de închidere, care va completa sistemul de izolare pe termen lung a radionuclizilor la DNDR Băița, Bihor.

Rezultatele obținute/evaluările preliminare conduc la concluzia că matricile obținute/testate au parametri similari mortarului pe fluxul tehnologic de condiționare a deșeurilor radioactive, situându-se în limitele admise pentru matricea de condiționare a deșeurilor radioactive. Acest fapt ne conduce la concluzia că și comportarea pe termen lung va fi similară, deci nu vor induce influențe asupra sistemului de depozitare analizat. Materialele, atât cele utilizate în prezent, în condiționarea deșeurilor radioactive, cât și cele ce urmează a fi introduse, sunt în fapt forme de betoane de ciment, deoarece liantul utilizat este în fiecare caz, cimentul. Cimentul reprezintă partea activă a sistemului, iar nisipul (agregat) reprezintă partea inertă.

Valorile ridicate obținute la caracterizarea fizico-mecanică a matricilor studiate, demonstrează faptul că:

- Deși creșterile importante ale rezistenței betonului de ciment au loc în primele 28 de zile, odată cu vârsta, are loc o creștere practic nelimitată, dar valorile de creștere sunt semnificativ mai mici;

- Raportul apă-ciment utilizat este optim; între valori ale raportului apă-ciment de 0,38–0,4 scăderea este liniară, deci scăderea este direct proporțională cu creșterea acestui raport.

- Matricile analizate nu conțin sau au un conținut scăzut de pori grosieri, ca urmare a raportului apă-ciment optim. Acest lucru este demonstrat de faptul că în spațiul dintre granulele de agregat se formează soluția de pastă de ciment în apă.

- Rezistența betonului de ciment este direct proporțională cu rezistența la compresiune a cimentului, în consecință, dozajul de ciment are o importanță majoră. Creșterea rezistențelor are loc odată cu creșterea dozajului de ciment.

- Fenomenul de microfisurare este foarte redus, datorită tot raportului ridicat apă-ciment utilizat. La aceste valori, avem o microfisurare mică, întru-cât cantitatea de apă care se pierde este mică și deci și fenomenul de contracție este redus (La întărire, pasta de ciment manifestă contracții care la rândul lor, dau naștere la eforturi.

- Umiditatea sistemului de depozitare contribuie pozitiv la rezistența betonului de ciment, datorită faptului că scade microfisurarea.

Din analiza rezultatelor obținute, atât în laborator, cât și pe probele depozitate in-situ, pentru materialele de umplere analizate, pot fi desprinse următoarele concluzii :

- Umiditatea materialelor uscate este foarte redusă, fiind considerate optime pentru a fi utilizate ca materiale de umplură;

- Utilizarea bentonitei și a amestecurilor uscate, alcătuite din bentonită, nisip și argilă, ca material de umplere a spațiilor libere dintre colete, este o alternativă viabilă, având în vedere rezultatele obținute din punct de vedere al capacității de sorbție și retenție a radionuclizilor relevanți.

Evoluția DNDR Băița, Bihor

În perioada post-închidere, aceste componente vor fi supuse unor procese inevitabile de degradare, datorită condițiilor locale existente la DNDR Băița, Bihor. Prezența infiltrațiilor de ape și a temperaturii constante de cca. 13°C, fac posibilă și dezvoltarea unor specii de microorganisme, care pot influența performanțele componentelor sistemului de depozitare.

Deșeurile cu activitate joasă și medie, cu radionuclizi care se dezintegrează într-o perioadă relativ scurtă, de la câteva zeci, până la câteva sute de ani, pot fi depozitați definitiv în depozite de suprafață. De regulă, deșeurile industriale și deșeurile de la decontaminări, sunt contaminate cu cantități mici de radionuclizi de viață lungă.

Evaluările de securitate, pot determina criteriile de acceptare care limitează concentrațiile și inventarul de radionuclizi specifici, care pot fi depozitați. În special, adesea sunt limitate cantități de radionuclizi de viață lungă.

Din planul general al DNDR Băița, Bihor, privind situația actuală a gradului de ocupare al galeriilor de depozitare, a rezultat că în prezent, în depozit se găsesc 8944 butoaie cu deșeuri, amplasate în 8 din cele 11 galerii destinate pentru depozitare. Butoaiele confecționate din oțel carbon în care se depozitează deșeurile, sunt fie de 400 L, fie de 200 L. Din galeriile destinate pentru depozitare, 5 dintre ele sunt deja închise, o galerie este închisă parțial, 2 galerii sunt utilizate în prezent pentru depozitare, iar 3 galerii sunt neutilizate încă. Depozitul urmează să fie închis în 2040, prin închiderea părții din galeria 50 utilizată pentru acces și a galeriei 53, de aeraj. Sistemul de drenaj va rămâne în funcțiune până în faza finală a închiderii, după care va fi blocat, odată cu construcția dopului de închidere a galeriei de acces, de 15 m. Închiderea este necesară pentru prevenirea evacuării apei contaminate din galeriile de depozitare, către rezervorul de

colectare și ulterior, în biosferă. Monitorarea radioactivității mediului, va continua pe o perioadă de cca. 100 de ani după închiderea depozitului.

În scenariul de bază privind evaluarea de securitate post-închidere a DNDR Băița, Bihor, se estimează evoluția prezentată în cele ce urmează. Curând după amplasarea în galerii, oțelul butoaielor începe să se corodeze, astfel încât, la scara câtorva ani, butoaiile își pierd capacitatea de etanșare și apa poate intra în contact cu deșeurile. Cementul este fragil așa încât, fluxul de apă urmează să inițieze microfisuri. Cu timpul, fisurile vor crește și cimentul se va degrada chimic, ca rezultat al reacției dintre ciment și apa meteorică care nu este în echilibru chimic cu acesta.

În cazul galeriilor fără umplutură tampon din bentonită, radionuclizii vor migra, prin advecție, dispersie și difuzie, în apa meteorică care se va infiltra în galerii. Această apă va fi colectată în sistemul de drenaj sau, se va infiltra în geosfera înconjurătoare. După o perioadă de timp, sistemul de drenaj se va bloca treptat, datorită degradării depozitului.

În cazul galeriilor cu umplutură de bentonită, radionuclizii migrează (prin advecție, dispersie și difuzie) prin tamponul de bentonită, cu o viteză de migrare specifică unor radionuclizi, care sunt sorbiți în bentonită. Totuși, vor apărea diverse procese care vor crește viteza de migrare în depozit, cum ar fi, migrarea bentonitei tampon necompactate din galeriile cu bentonită, datorită tasării și spălării cu apă meteorică de infiltrații și, prin formarea de complexanți organici, datorită degradării cofrajului din lemn. Apa meteorică de infiltrație antrenează bentonita, fie în sistemul de drenaj al depozitului, fie în geosferă. Drenajul comun cu galeriile fără bentonită, se consideră că se va degrada puțin mai repede, datorită probabil, colmatării cu bentonită.

Calcululele radiologice post-închidere au ilustrat că funcțiile de securitate pe termen lung ale depozitului și geosferei și anume, de izolare a deșeurilor față de mediul accesibil și de atenuare a eliberării radionuclizilor în biosferă, în special pentru radionuclizii de viață scurtă (de ex. Co-60) și cei puternic absorbiți (de ex. Am-241), sunt menținute pe toată perioada de control instituțional, de 300 de ani.

Evaluarea durabilității sistemului de închidere a tunelurilor de acces și aeraj

La DNDR Băița, Bihor, amenajat în galerii de mină abandonate, bariera primară (matricea în care au fost imobilizate deșeurile radioactive) constituie bariera inginerescă principală contra migrării radionuclizilor. Roca gazdă (formațiune cristalină, dură și impermeabilă) constituie o barieră naturală deosebit de importantă pentru izolarea deșeurilor radioactive. Tunelurile de acces și aeraj, se află într-o zonă în care infiltrațiile de apă meteorică sunt importante, datorită perturbărilor induse de activitățile miniere din zonă.

Soluția tehnică selectată, pentru asigurarea separării zonelor cu viteze diferite de infiltrații, constă în prevederea unor umpluturi tip sandviș. Aceste umpluturi au rolul de stabilizare a zonei de depozitare, prin împiedicarea subducțiilor, întârzierea infiltrațiilor apei în galeriile de depozitare, cât și evitarea formării de apă stagnantă în zona de depozitare.

Tunelurile vor fi închise cu tronsoane de umplutură, constituită în special, din rocă locală concasată și bătătorită (care se va comporta aproape identic cu roca gazdă). Capacitățile de sorbție ale umpluturii, determinate experimental, au valori similare cu cele determinate în cazuri asemănătoare din alte țări.

Rolul de separare a zonelor cu umidități diferite va fi menținut cel puțin pe durata de control instituțional, de 300 de ani, ținând seama de caracteristicile de izolare ale stratului de impermeabilizare, grosime de 3 m, având în compoziție argilă și bentonită. În schimb, rolul de împiedicare a migrării radionuclizilor este nesemnificativ, ținând seama de direcția gravitațională preferențială, atât din galeriile de depozitare, cât și din tunelurile de acces și aeraj.

Evaluarea durabilității dopurilor de închidere și etansare

Dopurile din beton vor fi construite în zonele de intrare ale fiecărui tunel, de acces și aeraj, pentru descurajarea intruziunilor. Duratele de păstrare a integrității acestor componente, se vor încadra în domeniul duratelor de funcționare a celorlalte componente din beton, din depozitul DNDR Băița, Bihor. Spre deosebire de cazul matricilor din beton ale coletelor cu deșeuri, care au suprafețe mari de contact cu apa, în cazul dopurilor masive din beton, suprafețele de contact apă/beton vor fi mult mai mici. Rezultă că aceste dopuri vor continua să-și păstreze funcția de blocare a migrării radionuclizilor pe direcția orizontală, mult timp după degradarea matricilor din beton ale coletelor cu deșeuri radioactive. Totodată, masivitatea mediului alcalin indus de dopul de beton, împiedică migrarea multor radionuclizi scăpați din galeriile de depozitare și care ar putea fi antrenați în afara depozitului. Principala direcție de migrare a radionuclizilor care au părăsit matricea degradată, va fi direcția verticală. Migrarea pe direcția orizontală se poate face prin sistemul de drenaj al galeriilor de depozitare, contribuția dopurilor ar fi în acest caz, nesemnificativă.

În concluzie, dopurile de beton au în primul rând, rolul de stopare a intruziunilor, rolurile de stabilizare și de blocare a migrării radionuclizilor fiind minore, în perioada de control instituțional post-închidere, de 300 de ani.

Evaluarea durabilității acoperișului

Straturile de rocă dură, de deasupra galeriilor de depozitare aferente DNDR Băița, Bihor, constituie acoperișul depozitului. Pentru păstrarea integrității ariei superficiale corespunzătoare zonei de depozitare, s-a selectat soluția tehnică de amenajare în terase și refacerea zonei excavate corespunzătoare tunelului de acces, pe o suprafață de 3600 m² și instalarea unei geogrilă, pe o suprafață de 9500 m². Prin reconstrucția zonei, se asigură panta naturală de 20% cu sol vegetativ, pentru reducerea vitezei de infiltrare a apei prin evapotranspirație și scurgerea gravitațională de-a lungul pantei. Impermeabilizarea se asigură prin așezarea unei geomembrane (5 mm grosime), pe suportul textil. Această geomembrană se va așeza pe un strat de pietriș compactat, cu grosimea de 0,5 m, cu rol de suport pentru geomembrană. Terasele vor fi rambleiate prin așezarea unui strat de umplutură din rocă concasată, pentru formarea pantei naturale. Umplutura va fi protejată contra alunecării, prin intermediul unui zid de sprijin, executat la marginea fiecărei terase.

Materialele principale utilizate pentru reconstrucția zonei sunt naturale respectiv, rocă concasată, pietriș, nisip, argilă, cunoscute pentru proprietățile de durabilitate. Geomembrana, fabricată din polietilenă de densitate mare, constituie un material sintetic având durabilitate foarte mare, de ordinul sutelor de ani, până la o mie de ani. Geogriile, de asemenea confecționate din materiale plastice sintetice cu mare durabilitate (fibre de poliester), garantează stabilizarea solului, inclusiv dezvoltarea vegetației, care asigură îndepărtarea unei cantități importante de apă de pe suprafețele respective, prin absorbția ei. Prin respectarea pantelor naturale, cu ocazia reconstrucției zonei afectate de lucrările miniere, se consideră că durabilitatea acoperișului va crește simțitor, ceea ce indică posibilitatea ca zona să-și păstreze funcția de limitare a infiltrațiilor spre galeriile DNDR Băița, Bihor, cel puțin pe toată durata de control instituțional. De altfel, cel puțin 100 de ani după închiderea depozitului, în perioada de control instituțional activ, va exista posibilitatea de control și de remediere, în cazul în care ar apărea defecțiuni imprevizibile ale acoperișului.

Evaluarea marcajelor de avertizare a zonei depozitului

Marcajele sunt sisteme pasive care trebuie să avertizeze prezența unei construcții umane periculoase pentru populație și să asigure protecția generațiilor viitoare de riscul intruziunii accidentale în depozit. Pentru selectarea variantei de amenajare a unui muzeu de specialitate în clădirea administrativă actuală, a apărut posibilitatea ca, cel puțin 30 de ani după închiderea DNDR Băița, Bihor, să existe posibilitatea de control permanent al zonei de depozitare. În continuare, se va institui un control periodic, prin care se va verifica integritatea sistemelor de avertizare și se va asigura astfel, întreținerea acestora. Această perioadă de 70-100 de ani, va încheia perioada de control instituțional activ.

După această perioadă, urmează perioada de control pasiv, în care, durabilitatea sistemelor de avertizare devine esențială. Un rol important în asigurarea integrității sistemelor de marcaj, îl va avea sistemul de înregistrare și păstrare a informațiilor privind depozitarea deșeurilor la DNDR Băița, Bihor. Totodată, este posibil să se dezvolte în viitor, sisteme de avertizare mai performante, în concordanță cu evoluția unor sisteme tehnologice și informaționale îmbunătățite.

În concluzie, prin setul de măsuri de avertizare și supraveghere pe termen lung, prevăzut la DNDR Băița, Bihor, se așteaptă ca sistemele de marcaj să-și păstreze integritatea, pe toată durata de control instituțional, de 300 de ani.

Matricile de condiționare

În cadrul lucrărilor efectuate în fazele anterioare au fost derulate activități experimentale și analizate sistemele de bariere inginerești implementate în prezent la DNDR Băița, Bihor (fig. 2-1). Pe baza studiului documentar au fost analizate matrici optimizate pentru condiționarea

deșeurilor radioactive precum și diferite materiale de umplere, în vederea efectuării unei analize concrete privind posibilitățile de optimizare a caracteristicilor acestora din punct de vedere al obiectivului prioritar și anume asigurarea funcțiilor de securitate radiologică pe termen lung a instalației de depozitare.

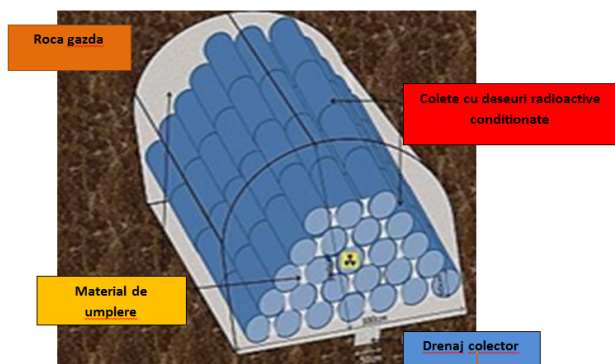


Figura 2-1: Elementele sistemului de bariere ingierești în faza operațională

Au fost luate în considerare noile tipuri de matrici de condiționare analizate sau în curs de analiză pentru: (a) condiționarea concentratului radioactiv rezultat în urma tratării efluentului radioactiv apos prin metode combinate de filtrare, ultrafiltrare și osmoză inversă; (b) condiționarea aluminiului provenit din dezafectarea Reactorului Nuclear VVR-S și (c) condiționarea grafitului radioactiv provenit din coloana termică a Reactorului Nuclear VVR-S.

Condiționarea deșeurilor radioactive instituționale în vederea depozitării la DNDR Băița, Bihor se realizează prin cimentare, utilizându-se de cca. 30 de ani o rețetă validată prin diferite studii și tehnologii omologate (pentru cele două tipuri de colete autorizate pentru depozitare (fig. 2-2) – de 220 L și de 420 L). Condiționarea se realizează prin înglobarea deșeurilor radioactive în coletul de 100 L care este apoi la rândul său înglobat în coletul de 220 L (procesul este similar și pentru coletul de 420 L în care este înglobat un colet de 220 L).

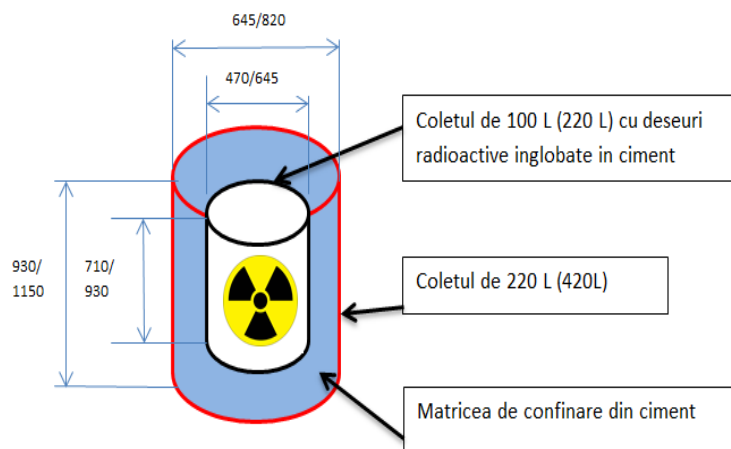


Figura 2-2: Componente ale coletului de depozitare

Evaluări privind matricea de condiționare a concentratului radioactiv

În urma procesului de tratare a efluentului radioactiv lichid primar (săruri, agenți de complexare, deșeuri radioactive rezultate din producția de combinații marcate, deșeuri rezultate în urma dezafectării reactorului VVR-S) rezultă un concentrat radioactiv cu o compoziție chimică complexă. Acest concentrat trebuie înglobat într-o matrice pe bază de ciment Portland, stabilă fizico-chimic și mecanic care să îndeplinească criteriile de acceptare ale Depozitului Național de Deșeuri Radioactive – Băița, Bihor și cerințele de securitate radiologică în condițiile stocării intermediare și depozitării definitive.

Deșeurile radioactive lichide (DRL) din STDR se consideră ca soluții apoase, întrucât constituie mai mult de 99% din DRL. Radionuclizii și impuritățile se găsesc în efluenții radioactivi apoși (ERA) sub formă de:

- Particule în suspensie sau produși petrolieri emulsifianți (dimens. particule între $10^{-7} \text{ m} \div 10^{-6} \text{ m}$)
- Particule coloidale sau micelii (dimens. particule între $10^{-8} \div 10^{-7} \text{ m}$)
- Substanțe organice dizolvate și/sau surfactanți (dimens. particule între $10^{-9} \div 10^{-8} \text{ m}$)
- Ioni (dimensiune particule între $10^{-10} \div 10^{-9} \text{ m}$)

Scopul procesului de tratare a deșeurilor radioactive lichide este micșorarea volumului de ERA, trecerea lor într-o formă stabilă atât fizic cât și chimic și obținerea de colete cu deșeuri radioactive pentru depozitare definitivă.

Matricile selectate sunt compoziții de ciment și mortar ca probe de referință și matrici de ciment preparate cu componenți inactivi ce simulează concentratul radioactiv.

S-a demonstrat eficiența acestor matrici care pot fi utilizate la DNDR Băița, Bihor.

Factorii care pot afecta stabilitatea sistemului de închidere

Sistemul de închidere este format din două componente majore:

- Lucrări de amenajare/acoperire a zonelor situate imediat deasupra galeriei de acces;
- Dopurile și tronsoanele din interiorul depozitului.

Factorii analizați sunt: intruziune umană accidentală sau deliberată, fenomenul de îngheț-dezgheț și seismicitatea.

Conform zonării seismice a teritoriului României, perimetrul aferent zonei Băița-Bihor este încadrat în gradul VI de intensitate seismică. Adâncimea de îngheț se consideră a fi de 1,00 m.

Din analizele și evaluările specialiștilor rezultă că seismicitatea amplasamentului este puțin influențată de zona seismică Vrancea precum și de o slabă activitate seismică locală.

Depozitul propriu-zis este amplasat sub un pachet de roci de cca. 160-180 m, în consecință nu există posibilitatea apariției fenomenelor de îngheț-dezgheț.

Evaluarea anti-intruziune

Analiza anti-intruziune a sistemului de închidere propus s-a axat pe următoarele scenarii:

- Realizarea unui foraj sau a unei galerii de prospectare în zona depozitului ;

- Intruziune accidentală sau deliberată a unui individ sau grup de indivizi.

Ambele scenarii sunt luate în calcul strict după perioada de operare și cea de control instituțional.

Datorită poziționării zăcămintelor de molibden (la mare adâncime sub depozit), este puțin probabil că vreo galerie și/sau foraje utilizate pentru accesul la zăcămintele de molibden să treacă prin depozit. Totuși este posibil ca o galerie să intercepteze frontul de contaminanți eliberat din depozit. În cadrul Analizei Preliminare de Securitate pentru DNDR au fost calculate debitele de doză efective individuale atât pentru faza operațională cât și pentru faza de control instituțional, demonstrându-se eficiența sistemului de depozitare.

CONCLUZII

Începând cu anul 1985, când a fost pus în funcțiune depozitul și s-a realizat depozitarea primelor colete cu deșeuri radioactive conditionate și până în anul 1996, nu s-a practicat umplerea spațiilor libere. Practic, singurele bariere au fost considerate matricea de condiționare și roca gazdă. Odată cu dezvoltarea la nivel național și internațional a legislației în domeniu, s-au demarat analize de securitate pe termen lung, analize care au evidențiat necesitatea implementării de măsuri ingineresti suplimentare. Acestea s-au studiat și aplicat asupra tuturor sistemelor de depozitare, astfel:

- au fost dezvoltate colete mai robuste cu ecrane suplimentare cu grosimi mai mari și fabricate din materiale mai rezistente;
- a fost optimizată rețeta matricii de ciment (pentru înglobarea deșeurilor radioactive) și a început derularea de cercetări pentru identificarea unor matrici stabile, în vederea utilizării în procesul de condiționare a deșeurilor radioactive “exotice” – aluminiul metalic activat și grafit;
- au fost realizate o serie de lucrări de modernizare a întregului sistem de depozitare: refacerea în totalitate a sistemelor electrice, de ventilație și de drenaj, impermeabilizarea pereților galeriei de acces, prin armare și torcretare;
- a fost realizată o analiză preliminară de securitate a depozitului, la cca. 20 de ani de la punerea în funcțiune, care a demonstrat viabilitatea acestuia și a făcut o serie de recomandări, în vederea asigurării unei securități sporite. Printre aceste recomandări a fost și analiza materialului de umplere, închiderea galeriilor cu tronsoane, etc.

În cadrul fazelor de proiect, au fost derulate experimentele realizate în vederea optimizării matricilor de condiționare, cât și studii și lucrările experimentale realizate pe diverse tipuri de materiale de umplere. Totodată, s-a analizat și evaluarea eficacității sistemului de bariere, din punct de vedere al stabilității structurale și al îndeplinirii funcțiilor de securitate – retenția și întârzierea migrării radionuclizilor depozitați pe o perioadă de timp stabilită, dincolo de care efectele radioactive sunt ne semnificative.

Pe baza rezultatelor finale, putem desprinde următoarele concluzii :

- Sistemele de bariere ingineresti dezvoltate și implementate în faza operațională, sunt adecvate scopului propus și anume, de confinare și izolare a deșeurilor radioactive;
- Mediul gazdă este adecvat, gradul de fisurare al acestuia ca urmare a exploatării minereului fiind relativ scăzut, fapt demonstrat de volumul foarte redus de apă infiltrat;

- Rezultatele obținute pe materialele de umplere analizate, conduc la concluzia că, pot fi utilizate cu succes în cadrul sistemului de depozitare;

- Tronsoanele, dopurile de închidere și terasele propuse în faza de închidere a depozitului, asigură securitatea pe termen lung a sistemului.

În concluzie, obiectivele etapei și implicit, ale proiectului, au fost atinse în totalitate, fiind create premisele pentru elaborarea strategiei de închidere și a Planului conceptual de Închidere a Depozitului Național de Deșeuri Radioactive de Joasă și Medie Activitate Băița-Bihor.

Pe baza lucrărilor și rezultatelor obținute în prezentul proiect, a fost realizat și depus la CNCAN, Raportul Final de Securitate al DNDR Băița-Bihor. De asemenea, rezultatele vor fi utilizate în elaborarea documentației finale a Planului Conceptual de Închidere, în vederea îndeplinirii cerințelor din legislația în vigoare și alinierii la recomandările internaționale.