



Stasys Motiejūnas
**RADIOAKTYVIŲJŲ ATLIEKŲ DĒJIMAS I
ATLIEKYNUS**



Šiame leidinyje pateikti radioaktyviųjų atliekų, susidarantių branduolinėse elektrinėse ar pramonės įmonėse, medicinos ir mokslo įstaigose, galutinio sutvarkymo – dėjimo į atliekynus būdai. Leidinys skirtas plačiajai visuomenei, tačiau gali būti naudingas ir dėstytojams, aplinkos apsaugą studijuojantiems studentams, mokytojams.

Radioaktyviųjų atliekų dėjimas į atliekynus

Autorius: Stasys Motiejūnas

Dizainas: UAB „Dizaino meistrai“

Spausdino: BALTO print, UAB

Leidinio apimtis: 2 sp. l.

Tiražas: 200 egz.

Išleista: 2015, Vilnius

© Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo agentūra

Turinys

Ižanga	6
Svarbiausios sąvokos	7
Radioaktyviosios atliekos, jų klasifikavimas ir tvarkymo principai	8
Atliekų dėjimo į atliekynus būdų apžvalga	10
Paviršiniai atliekynai	11
Sąvartynai ir tranšėjos	12
Požeminės ertmės	13
Rūšiai	14
Gręžiniai	16
Paviršinių atliekynų uždarymas ir priežiūra uždarius	17
Atliekų dėjimas į giluminius atliekynus	20
Giluminiai atliekynai	21
Alternatyvūs atliekų šalinimo būdai	22
Galimybė įrengti giluminį atliekyną Lietuvoje	23
Galimybė kelių šalių atliekas sudėti bendrai įrengtame atliekyne	25
Atliekų kiekio mažinimas	26
Pabaiga	27
Literatūra	28

Įpusėjo šeštas dešimtmetis, kai žmonės naudojami branduolinių jėgainių energija. Tolesnę branduolinės energetikos plėtrą ir raidą bene labiausiai stabdo iki galo neišspręstos problemos, kylančios tvarkant branduolines atliekas. Juk didžioji dalis šiandien neigiamai vertinančių branduolinę energetiką sakosi pakeisiantys savo nuomonę, kai bus įgyvendintas ilgalaikis ir saugus panaudoto kuro bei radioaktyviųjų atliekų tvarkymo sprendimas.

Antra vertus, labiausiai radioaktyviųjų atliekų tvarkymo pažangai trukdo nepakankamas visuomenės informuotumas ir išprusimas. Visuomenės apklausos rodo, kad Europos, taip pat ir Lietuvos, žmonių žinios apie radioaktyvias atliekas ir jų keliamas grėsmes yra itin skurdžios. Nors ilgą laiką Lietuva pirmavo pasaulyje pagal branduolinės energijos panaudojimą, tačiau Lietuvos gyventojai apie branduolines atliekas žino bene mažiausiai Europoje – tik apie 18% Lietuvos gyventojų mano, kad yra pakankamai gerai informuoti apie radioaktyviųjų atliekų tvarkymą [1]. Net 35% žmonių nežino, kad yra ne vienas, bet keli radioaktyviųjų atliekų tipai, smarkiai besiskiriantys savo pavojingumu, todėl dažniausiai nepagrįstai mano, kad visos radioaktyviosios atliekos yra labai pavojingos.

Naujausiais Eurobarometro duomenimis [1] net 93% Europos Sąjungos gyventojų norėtų, kad jau dabar būtų taikomi ilgalaikiai radioaktyviųjų atliekų tvarkymo būdai, tačiau tik 43% jų mano, kad geriausias būdas yra atliekas dėti žemės gelmėse. Lietuvoje taip manančių mažuma – daugiau nei 60% žmonių mano, kad atliekos turėtų būti laikinai saugomos („sandėliuojamos“), laukiant galutinio sprendimo dėl jų sudėjimo į atliekynus. Tuo tarpu net 97% Švedijos ir Suomijos bei 83% Ispanijos gyventojų yra įsitikinę, kad sprendimas dėl radioaktyviųjų atliekų dėjimo į atliekynus turi būti surastas jau dabar, nepaliekant problemų ateities kartoms.

Ši knygelė – tai dar vienas bandymas praplėsti žinias apie radioaktyvias atliekas ir jų dėjimą į atliekynus – vienintelį saugų ir darnų šalinimo būdą. Juk atominės elektrinės atliekomis privalome pasirūpinti mes – karta, turėjusi naudoti iš elektrinės. Atliekos turi būti sutvarkytos taip, kad nekeltų pavojaus nei žmonėms, nei aplinkai ne tik dabar, bet ir po daugelio metų.

Svarbiausios sąvokos

Kai kurios radioaktyviųjų atliekų tvarkymo srityje naudojamos sąvokos yra labai savitos, turinčios tik šiai sričiai būdingą prasmę. Todėl dažnai visuomenė klaidingai suvokia problemų esmę. Čia pateiktos sąvokų, kurių prasmė nėra savaime suprantama, apibrėžtys. Dalies nėra netgi „Jonizuojančiosios spinduliuotės ir radiacinės saugos terminų žodyne“ [2].

Radioaktyviosios atliekos – naudotos ir netinkamos naudoti radioaktyviosios medžiagos, kurių aktyvumas viršija nustatytus lygius [3]. Lietuvoje radioaktyviosioms atliekoms priskiriamas panaudotas branduolinis kuras ir kitos pakartotinai naudoti neskirtos radionuklidais užterštos ar turinčios jų savo sudėtyje medžiagos, kurių radionuklidų koncentracija arba aktyvumas viršija nebekontroliuojamuosius radioaktyvumo lygius [4]. Toliau vietoje „radioaktyviosios atliekos“ dažniausiai rašoma tik „atliekos“.

Radioaktyviųjų atliekų tvarkymas – veikla, apimanti pradinį, pagrindinį ir galutinį radioaktyviųjų atliekų apdorojimą, vežimą, saugojimą, dėjimą į atliekyną, atliekyno uždarymą ir uždaryto atliekyno priežiūrą [4].

Radioaktyviųjų atliekų apdorojimas – procesas, kurio metu keičiamos radioaktyviųjų atliekų savybės (mažinamas tūris, šalinami radionuklidai, keičiama sudėtis), siekiant saugiai ir pigiau jas tvarkyti [4].

Radioaktyviųjų atliekų saugojimas (angl. „storage“, pranc. „stockage“, rus. „хранение“) – radioaktyviųjų šaltinių, panaudoto branduolinio kuro ar radioaktyviųjų atliekų laikymas sandariame įrenginyje, ketinant atliekas iš šio įrenginio išimti [3]. Kadangi „saugojimas“ visada suprantamas tik kaip laikina priemonė, tai terminas „laikinas saugojimas“ yra nenaudotinas.

Radioaktyviųjų atliekų dėjimas į atliekynus (angl. „disposal“, pranc. „stockage final“, rus. „захоронивание“) – radioaktyviųjų atliekų patalpinimas tam tinkamame įrenginyje (atliekynes), neketinant jų iš ten išimti [3, 4].

Radioaktyviųjų atliekų saugykla (angl. „storage facility“, rus. „хранилище“) radioaktyviųjų atliekų tvarkymo įrenginys radioaktyviosioms atliekoms laikinai saugoti [4].

Radioaktyviųjų atliekų atliekynas (angl. „repository“, rus. „могильник“) – radioaktyviųjų atliekų tvarkymo įrenginys, į kurį dedamos radioaktyviosios atliekos neketinant jų išimti [4].

Radioaktyviųjų atliekų atliekyno uždarymas – organizaciniai ir techniniai veiksmai atliekynes, baigus į jį dėti radioaktyvias atliekas (pasibaigus eksploatavimo laikui) ir nebenaudojant susijusių struktūrų [3]. Uždarymas apima inžinerines priemones, skirtas ilgalaikiai saugai užtikrinti (atliekyno uždengimas, tunelių ir ertmių užsandarinimas).

Priimtino kriterijai – kriterijai, pagal kuriuos nustatoma, ar radioaktyviųjų atliekų pakuotės tinkamos saugoti ir dėti į atliekyną [4].

Tenka pastebėti, kad visuomenė itin dažnai painioja „dėjimo į atliekyną“ ir „saugojimo“ bei „atliekynų“ ir „saugyklų“ sąvokas. Saugyklos yra skirtos atliekas saugiai laikyti tam tikrą laiką (dažniausiai ne ilgiau 50–60 metų), o atliekynuose sauga turi būti užtikrinama neribotą laiką. Jei branduolinės eros pradžioje atliekos buvo laidojamos tiesiogine prasme – užkasamos žemės duobėse (1 pav.), tai šiandien atliekos laikomos sudėtinguose inžineriniuose statiniuose.



1 pav. Branduolinės eros pradžioje radioaktyviosios atliekos buvo laidojamos tiesiogine prasme – užkasamos žemėje

Radioaktyviosios atliekos, jų klasifikavimas ir tvarkymo principai

Branduolinė energetika neįmanoma be radioaktyviųjų atliekų. Kiek jų pagamina branduolinės energetikos objektai? Iš viso pasaulyje per vienerius metus branduolinėse elektrinėse susidaro apie 200 tūkst. m³ mažo ir vidutinio aktyvumo ir apie 10 tūkst. m³ didelio aktyvumo (įskaitant panaudotą kurą) atliekų. Įprastinis 1000 MW galios lengvojo vandens reaktorius (jo pagaminamos elektros pakanka milijoniniam miestui) per vienerius metus pagamina apie 300 m³ mažo ir vidutinio aktyvumo ir apie 30 tonų didelio aktyvumo radioaktyviųjų atliekų. Palyginimui, tokios pačios galios anglimi kūrenamoje elektrinėje susidarys apie 300 tūkst. tonų šlako ir pelenų.

Radioaktyviosios atliekos susidaro visose branduolinio kuro ciklo stadijose. Atliekų atsiranda jau kasant urano rūdą. Norint aprūpinti kuru minėtą 1000 MW galios reaktorių, per metus reikia iškasti 40–50 tūkst. tonų urano rūdos. Išgaunant uraną, apie 96% iškastos rūdos tampa atliekomis. Praturtinant uraną – koncentruojant 235U – lieka daug taip vadinamo nuskurdinto urano (jame 235U yra santykinai mažiau, negu iš rūdos išgaunamame gamtiniame urane). Gaminant kurą minėtam reaktoriui, per metus susidaro apie 200 tonų nuskurdinto urano.

Didžiausio aktyvumo atliekos susidaro eksploatuojant reaktorių – gaminant elektros energiją. Per metus minėtas reaktorius sunaudoja apie 25–30 tonų branduolinio kuro, t.y. per metus pagamina 25–30 tonų panaudoto kuro. 99% bendro atliekų aktyvumo pasilieka panaudotame kure. Kita dalis – mažo ir vidutinio aktyvumo atliekose.

Perdirbant panaudotą kurą, uranas ir plutonis atskiriami nuo kitų elementų. Apie 4% panaudoto kuro masės sudaro branduolinės reakcijos produktai, kurie patenka į atliekas: susidaro didelio aktyvumo atliekos (jos paprastai įstiklinamos) ir daug mažo bei vidutinio aktyvumo skystų ir kietų radioaktyviųjų atliekų.

Išmontuojant branduolinius reaktorių, susidaro labai įvairios atliekos – veikiant elektrinei, reaktoriaus korpusas, vamzdynai, pastatai ir įranga užsiteršia radionuklidais. Atliekų kiekiai priklauso nuo reaktoriaus tipo.

Nedideli radioaktyviųjų atliekų kiekiai susidaro medicinoje, pramonėje ir atliekant mokslo tyrimus. Didelio aktyvumo uždareji jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai dažnai tebenaudojami vėžiniams susirgimams gydyti. Šaltiniai naudojami defektoskopuose, dūmų jutikliuose ir kituose įrengimuose. Panaudoti jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai ir radioaktyviosios medžiagos virsta atliekomis.

Radiologinį pavojų kelia organizmų išorinė apšvita ir vidinė apšvita prarijus ar įkvėpus radioaktyviųjų medžiagų. Todėl, siekiant pašalinti atliekų keliamus pavojus žmonėms, gyvūnams ir aplinkai, jos turi būti dedamos į atliekynus. Ne visos atliekos yra vienodai pavojingos. Nedidelė atliekų ar panaudotų šaltinių dalis, kuriuose yra labai maži radionuklidų kiekiai, gali būti šalinami nesukeliant pavojaus įprastiniuose pramoninių ar buitinių atliekų sąvartynuose. Pavojingesnės atliekos yra dedamos į specialius įrenginius – atliekynus. Kuo atliekos pavojingesnės, tuo jos dedamos giliau, o atliekyno konstrukcija patikimesnė. Tvarkant ir dedant radioaktyvias atliekas į atliekynus, turi būti laikomasi šių pamatinių principų [4, 5]:

- Būtina siekti, kad radioaktyviųjų atliekų susidarytų kiek įmanoma mažiau. Atliekos turi būti rūšiuojamos ir tvarkomos atsižvelgiant į jų pobūdį.
- Visose atliekų tvarkymo stadijose nuo jų keliamų radiologinių, cheminių ir kitų pavojų turi būti pakankamai apsaugotas kiekvienas asmuo ir aplinka.
- Atliekų tvarkymo įrenginių sauga turi būti garantuojama tiek visą jų veikimo laikotarpį, tiek ir pasibaigus jų veikimui.
- Ateities kartos turi būti apsaugotos ne blogiau, negu dabartinės; ateities kartoms neturi likti nepelnytotos radioaktyviųjų atliekų tvarkymo naštos.
- Apie planuojamų radioaktyviųjų atliekų tvarkymo įrenginių saugą turi būti informuota visuomenė ir kaimyninės šalys, esančios arti planuojamų įrenginių.

Atliekos klasifikuojamos atsižvelgiant į pavojingumą – pagal skleidžiamos jonizuojančiosios spinduliuotės intensyvumą (dozės galią) ir atliekų aktyvumą bei ilgaamžiškumą. Radionuklidų pusėjimo trukmės (laikas per kurį aktyvumas sumažėja du kartus) yra labai skirtingos: vieno radionuklidų ši trukmė sudaro tik sekundes ar sekundės dalis, o kitų – tūkstančius metų. Priklausomai nuo atliekose esančių radionuklidų ilgaamžiškumo, vienos atliekos bus pavojingos tūstančius metų, o kitos tampa nepavojingos per kelias dienas ar metus. Atliekų klasifikavimas leidžia ne tik tinkamai pasirinkti apdorojimo būdus ir priemones, bet ir dėjimo į atliekyną būdą. Nagrinėjant atliekynų ilgalaikę saugą yra itin svarbu žinoti radionuklidų, turinčių ilgą pusėjimo trukmę, aktyvumus. Pasaulyje nėra vieningos atliekų klasifikavimo sistemos – įvairiose šalyse ji šiek tiek skiriasi. Lietuvoje atliekos klasifikuojamos pagal dozės galią atliekų paviršiuje [6]. Išskiriamos šios atliekų kategorijos: labai mažai radioaktyvios atliekos, mažai radioaktyvios atliekos, vidutiniškai radioaktyvios atliekos, labai radioaktyvios atliekos, panaudotas branduolinis kuras ir panaudoti uždareji šaltiniai. Be to, atsižvelgiama į alfa radionuklidų aktyvumus bei ilgaamžiškumą. Trumpaamžėmis atliekomis laikomos tokios atliekos, kuriose nėra reikšmingų kiekių radionuklidų su ilgesne pusėjimo trukme negu 137C (šiek tiek daugiau negu 30 m.). Labai radioaktyviomis atliekomis laikomos tokios atliekos, kurias būtina ne tik ekranuoti, bet ir aušinti (šiluma išsiskiria vykstant branduolių virsmams – radioaktyviajam skilimui). Jos susidaro perdirbant panaudotą branduolinį kurą. Jeigu

kuro neketinama perdirbti (išskirti uraną ir plutonį), tai jis irgi priskiriamas labai radioaktyvioms atliekoms. Šios kategorijos atliekų negalima dėti į žemės paviršiuje ar arti jo įrengtus atliekynus; būtini giluminiai, keleto šimtų metrų gylyje įrengti atliekynai. Veikiant reaktoriams tokių atliekų susidaro labai mažai, tačiau jose susikonzentruoja didžioji dalis radionuklidų – branduolinės reakcijos produktų.

Radioaktyviosios atliekos paprastai tvarkomos vadovaujantis praktiniu principu „koncentruok ir sulauk, ne-leisk išplisti“ (angl. „concentrate and contain“). Įvairiais būdais mažinant atliekų tūrį, jose esantys radionuklidai koncentruojami ir laikomi izoliuoti, kad nepasklistų ir nepadarytų žalos žmonėms bei aplinkai. Šis būdas taikomas tiek kietoms, tiek skystoms atliekoms, kartais ir dujinėms. Skystos atliekos visų pirma sukietinamos [7], o radionuklidų turinčios dujos filtruojamos arba valomos sorbentais. Apdorotos atliekos paprastai dedamos į atliekynus. Čia jos laikomos izoliuotos neketinant jų išimti ir prižiūrimos, kol didžioji radionuklidų dalis suskils (pavirs stabiliais branduoliais) ir nebekels pavojaus.

Kartais, kai atliekas koncentruoti neįmanoma ar netikslinga, vadovujamasi principu „atskiesk ir paskleisk“ (angl. „dilute and disperse“) – praskiestos atliekos paskleidžiamos aplinkoje. Šiuo atveju turi būti įsitikinta, kad tai nesudarys žmoniems ir aplinkai pavojingos radionuklidų sankaupos, kad nebus pažeisti radiacinės saugos reikalavimai. Šis būdas gana dažnai taikomas dujinėms atliekoms, o kai kada ir skystoms bei kietoms. Branduoliniuose reaktoriuose pasigaminusios inertinės radioaktyvios dujos paprastai išleidžiamos pro tam tikslui įrengtus kaminus; reikalingi pakankamai aukšti kaminai, kad dujiniai branduolinės reakcijos produktai atsiskiestų prieš pasiekdami žemės paviršių.

Išlankymo būdas (angl. „delay and decay“) taikomas tvarkant atliekas, kuriose nėra ilgaamžių radionuklidų. Atliekos saugomos tol, kol trumpaamžiai radionuklidai suskils ir atliekos bus nepavojingos. Paprastai pakanka atliekas išlaikyti 10 pusėjimo trukmių. Per tą laiką aktyvumas sumažėja apie 1000 kartų. Pavyzdžiui, medicinoje itin dažnai naudojama 131I pusėjimo trukmė 8 dienos. Pakaks 80 dienų, kad šio šaltinio aktyvumas sumažėtų 1000 kartų. Koks atliekų tvarkymo metodas būtų pasirinktas, visais atvejais turi būti įsitikinta saugumu.

Atliekų dėjimo į atliekynus būdų apžvalga

Pasaulyje pirmą kartą radioaktyviosios atliekos buvo sudėtos į atliekyną 1944 metais Oak Ridge, Jungtinėse Amerikos Valstijose. Pirmasis atliekynas buvo paprasčiausia duobė, užpildyta neapdorotomis atliekomis. Branduolinės eros pradžioje su atliekomis buvo panašiai elgiamasi ir kituose branduoliniuose centruose [8]. Nuo to laiko buvo sukaupta didelė atliekų dėjimo į atliekynus patirtis – pasiūlyta ir įgyvendinta daug įvairių būdų. Tai ir kietų atliekų dėjimas žemės duobėse ar nebenaudojamų kasyklų šachtose, ir jų talpinimas į žemės paviršiuje specialiai įrengtus inžinerinius įrenginius ar giluminiuose žemės kloduose (geologiniuose atliekynuose). Kelis dešimtmečius, iki 1983 metų priimto moratoriumo, kietos atliekos buvo skandinamos į vandenynų gelmes. Nuo 1994 metų skandinti atliekas vandenynuose ir jūrose draudžia tarptautinė Londono konvencija. Skystos atliekos dažniausiai buvo laikomos tvenkiniuose; čia kartkartėmis įvykdavo avarijos, kurių metu atliekos užteršdavo nemažus plotus. Rusijoje skystos atliekos ilgą laiką buvo sušvirkščiamos į įvairaus gylio gręžinius.

Dabar, nustojus atliekas skandinti, nagrinėjami tik jų dėjimo įvairiuose atliekynuose variantai. Atliekyno įren-

gimo gylį ir sudėtingumą lemia atliekų pavojingumas – kuo atliekos pavojingesnės, tuo jos dedamos giliau, o atliekynų konstrukcija patikimesnė. Atliekynai turi įvairaus sudėtingumo inžinerinius ir kitokius barjerus, apsaugančius nuo radionuklidų migracijos aplinkoje. Atliekos dedamos į atliekynus tik visapusiškai įsitikinus sauga.

Radioaktyviųjų atliekų atliekynai yra grupuojami pagal gylį – išskiriami paviršiniai ir giluminiai (dar vadinami geologiniais) atliekynai. Paviršiniai atliekynai įrengiami ant žemės paviršiaus ar kelių dešimčių metrų gylyje. Pasaulyje yra virš šimto tokių atliekynų. Jie yra skirti trumpaamžėms mažo ir vidutinio aktyvumo atliekoms.

Giluminiai atliekynai paprastai įrengiami kelių šimtų metrų gylyje, stabiliose geologinėse formacijose. Žemės uolienos ilgą laiką apsaugo biosferą nuo atliekų poveikio. Tokie atliekynai yra skirti panaudotam kurui ir labai aktyvioms atliekoms dėti. Giluminių atliekynų koncepcijose, be kitų poveikių, paprastai atsižvelgiama ir į šiluminį atliekų poveikį – labai aktyviomis atliekomis paprastai laikomos tokios, kurių išskiriamos šilumos galia daugiau negu 2 kW/m³.

Dar išskiriama atliekynų vidutiniame gylyje (nuo kelių dešimčių iki kelių šimtų metrų) grupė [9]. Jai priskiriami atliekynai nedaug skiriasi nuo giluminių ir būna skirti mažai bei vidutiniškai aktyvioms ilgaamžėms atliekoms (pavyzdžiui, turinčioms radžio, urano, radioaktyviosios anglies) dėti. Prancūzija planuoja jau 2019 metais įrengti vidutinio gylio atliekyną ir pradėti jame dėti reaktoriuose panaudotą radioaktyvų grafitą bei kitas ilgaamžes atliekas.

Konkrečiau atliekyno tipo ir koncepcijos pasirinkimas tiesiogiai priklauso nuo šalies specifinių reikmių (atliekų kiekis, jų ypatybės) bei gamtinių (geologinių, hidrologinių ir pan.) sąlygų. Atliekynai projektuojami taip, kad radionuklidų patekimas į aplinką (biosferą) būtų kuo mažesnis ir kad atliekynus eksploatuojančių darbuotojų bei gyventojų apšvita būtų minimali, kad atliekyno priežiūros poreikis jį uždarius taip pat būtų minimalus. Siekiant šių tikslų, techninės priemonės (patikimos pakuotes ir inžineriniai barjerai) derinamos su vietovės ypatumais. Atliekyno įrengimo, eksploatavimo, uždarymo ir priežiūros kaina taip pat yra vienas lemiančių veiksnių.

Modernios giluminių ir paviršinių atliekynų koncepcijos yra grindžiamos daugiabarjeriškumo principu. Dedamos atliekos apgaubiamos keletu vienas kitą papildančių ar dalinai pakeičiančių barjerų – grėsmės nebūtų netgi viename barjerų atsiradus defektų. Tinkamai įrengti barjerai ne tik neleidžia atliekoms pasklisti aplinkoje, jie taip pat gana patikimai saugo uždarytą atliekyną nuo pažeidimų.

Paviršiniai atliekynai

Egzistuoja mažai ir vidutiniškai aktyviųjų atliekų dėjimo į atliekynus būdų įvairovė – nuo paprasto atliekų kaupo ar duobės iki sudėtingos konstrukcijos požeminio atliekyno. Pagal sandarą visus mažai ir vidutiniškai aktyviųjų atliekų atliekynus galima suskirstyti į kelis tipus. Apytiksliai 20% jų neturi inžinerinių barjerų, 60% yra inžinerinės struktūros, įrengtos žemės paviršiuje ar nedideliame (apie dešimt metrų) gylyje, 10% – požeminiai tuneliai, šachtos ar ertmės, 4% sudaro giluminiai atliekynai [8]. Pastebima bendra tendencija, kad laikui bėgant vis labiau pasitikima daugiabarjerėmis inžinerinėmis sistemomis, bet ne vienu, dažniausiai gamtiniu, barjeru [8]. Sudėtingesni atliekynai dažnai turi ilgaamžius gelžbetonio barjerus, kurie daug geriau negu gamtinė aplinka

apsaugo radioaktyviausias atliekas. Todėl juose galima saugiai dėti didesnio aktyvumo atliekas.

Į kokius veiksnius tenka atsižvelgti, rengiant atliekyno koncepciją ir projektą? Kokios grėsmės kyla atliekas sudėjus paviršiniame atliekyne? Visų pirma – pavojus, kad ilgalaikėje perspektyvoje irstant barjerams į atliekas prasiskverbs vanduo ir išplaus radionuklidus. Su vandens srautu ištirpę radionuklidai pasklis geosferoje ir biosferoje, užters vandens telkinius ir maisto produktus. Atlikti vertinimai ir ilgametės stebėsenos rezultatai patvirtina, kad geriausia patirtimi paremti techniniai sprendimai yra patikimi ir praktiškai panaikina šią grėsmę. Parenkant medžiagas atliekynui užsandarinti, paprastai atsižvelgiama į medžiagos ilgaamžiškumą ir suderinamumą su dedamomis atliekomis, gamtine aplinka ir kitomis atliekyne naudojamomis medžiagomis. Parenkant medžiagas siekiama, kad jos tarnautų 300–500 metų. Vertinamas cheminis ir mikrobiologinis medžiagų atsparumas, išplovimas, korozijos ir erozijos intensyvumas [10]. Vienomis patikimiausių medžiagų laikomos betonas ir sutankintas, vandeniui mažai laidus, natūralus ar specialiai apdorotas molis. Abi šios medžiagos gali labai ilgai tarnauti, neprarasdamos savo funkcinių savybių.

Kita grėsmė – pavojus, kad negiliai sudėjus atliekas, atliekyno konstrukcijas ir pačias atliekas pažeis erozija. Žemės paviršių mechanškai veikia vėjas, kritulių vandens srautas, šaltis, kiti biogeniniai ir antropogeniniai veiksniai. Nors mūsų klimato sąlygomis žemės paviršiaus erozija paprastai vyksta labai lėtai (miške erozija paprastai lėčiausia – mažiau negu 1 mm per metus), tačiau erozijos pavojus ir yra vienas svarbiausių veiksnių, kodėl ilgaamžių radionuklidų turinčias atliekas būtina dėti giliau. Pavyzdžiui, atliekynas su sudėtomis atliekomis galėtų būti suardytas ir atšalus klimatui bei susiformavus ledynui. Tačiau klimatas kinta ir ledynai formuojasi labai lėtai, o per tą laiką visi radionuklidai (išskyrus kelis itin ilgaamžius) suskils.

Iš kitų grėsmių reikia paminėti pavojų, kad atliekyną ir jame esančias atliekas nesąmoningai ar sąmoningai gali pažeisti žmogus. Labai sunku garantuoti, kad praėjus šimtmečiams kitos kartos (o gal ir kitos tautos), užmiršę mūsų paliktas atliekas, nenuspręš atliekyno vietoje statyti miestą, gamyklą ar nutiesti kelią. Dėl to netgi ir moderniai įrengtuose paviršiniuose atliekynuose galima saugiai dėti tik riboto aktyvumo atliekas. Atsižvelgiant į žmogaus poveikio riziką, tokiuose atliekynuose tenka ypač riboti radionuklidų su didesne pusėjimo trukme aktyvumus.

Sąvartynai ir tranšėjos

Daugelyje šalių radioaktyviosios atliekos buvo ir tebėra dedamos paprastuose žemės paviršiuje įrengtuose sąvartynuose. Jungtinės Amerikos Valstijos turi labai ilgą radioaktyviųjų atliekų šalinimo komerciniuose sąvartynuose patirtį. Kai kurių atliekynų aplinkoje buvo aptikta pasklidusių radionuklidų, radioaktyviųjų atliekų šalinimas juose sustabdytas. Tačiau kitų sąvartynų (pavyzdžiui, Richland) stebėseną neparodė jokių problemų. Sukaupia patirtis leidžia tvirtinti, kad kai kuriais atvejais radioaktyviosioms atliekoms pakanka visiškai paprasto sąvartyno. Nors toks sprendimas ypač pasiteisina sauso klimato sąlygomis, tačiau panašūs pavyzdžiai gali būti sėkmingai pritaikyti ir mūsų klimatui – jau kelis dešimtmečius Švedijoje labai mažai radioaktyvios atliekos dedamos specialiai įrengtuose sąvartynuose (2 pav.). Neapdorotos atliekos, sukrautos į dėžes ar surištos į polietileno ryšulius, kraunamos išlygintoje aikštelėje, tarpai užpilami smėliu ir suformuojamas vandeniui nelaidus apdangalas. Apdangalui dažniausiai naudojamos plastiko ar geosintetinės membranos ir molis. Nuo



2 pav. Švedijos labai mažai radioaktyviųjų atliekų paviršinis atliekynas

sąvartynų, skirtų įprastinėms atliekoms šalinti, jie skiriasi tik tuo, kad juose laikomasi radiacinės saugos reikalavimų, kontroliuojamas dedamų atliekų aktyvumas, eksploataavimo metu ir uždarius atliekyną atliekama aplinkos stebėseną. Tai nesudėtingas, ekonomiškai ir pakankamai saugus atliekų tvarkymo būdas. Panašų atliekyną planuojama įrengti šalia išmontuojamos Ignalinos atominės elektrinės, jame bus dedamos labai mažai radioaktyvios atliekos.

Nuo sąvartynų mažai tesiskiria tranšėjiniai atliekynai. Tai paprasti, dažniausiai inžinerinių barjerų neturintys paviršiniai atliekynai – vandeniui nelaidžiam molingame grunte iškastos tranšėjos. Tokių atliekynų pavyzdžiai yra Barnwell (JAV) arba Vaalputs (Pietų Afrikos Respublika). Atliekų pakuotės (statinės, dėžės arba konteineriai) kraunamos tranšėjose į rietuves (3 pav.). Visi likę tarpai tarp pakuočių užpilami sausu gruntu, smėliu ar kita inertine medžiaga. Tranšėjos su atliekomis uždengiamos keliais sutankinto molio ir kitokio grunto sluoksniais. Tobuliausias yra virš gruntinio vandens lygio įrengtos tranšėjos.



3 pav. Atliekos dedamos Vaalputs tranšėjiniame atliekyne Pietų Afrikos Respublikoje

Požeminės ertmės

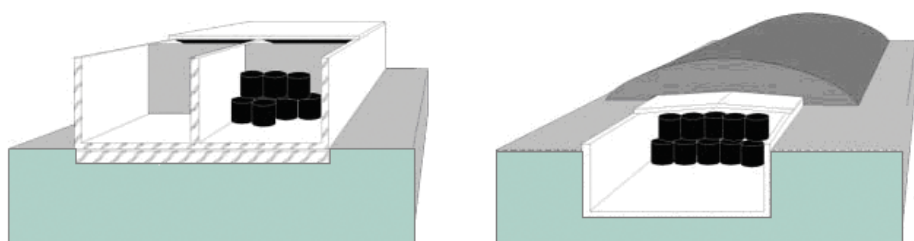
Daugelyje šalių (Čekijoje, Vokietijoje, Rumunijoje) atliekos buvo dedamos nebenaudojamuose naudingų iškasenų kasyklų tuneliuose ir šachtose. Pavyzdžiui, Čekijoje atliekoms dėti buvo pritaikyta nebenaudojama klinčių kasykla. Švedijoje ir Suomijoje atliekoms dėti buvo specialiai įrengti požeminiai tuneliai. Švedijoje atliekyno

tuneliai iškirsti kristalinio pamato uolienoje (granite), apie 70 m gylyje po Baltijos jūra. Į juos kraunami betono konteineriai su cementuotomis atliekomis. Tarpai tarp konteinerių ir tunelio sienų bus užpildyti bentonitu*.

Rūšiai

Atliekoms dėti skirti paviršiniai inžineriniai įrenginiai paprastai pasižymi sudėtinga sandara. Dažniausiai jie būna rūšių pavidalo. Rūšiai gali būti įrengti ant žemės paviršiaus, dalinai ar visiškai įgilinti (4 pav.). Palyginus su tranšėjomis, šie atliekynai pasižymi sudėtingesne saugos sistema – paprastai taikoma daugelio barjerų koncepcija ir atsižvelgiama į vietovės sąlygas (geologinę sandarą, hidrologinius ypatumus ir pan.). Virš rūšių įrengiamas patikimas apdangalas, priemonės vandens stebėsenai. Dažniausiai dedamos tik galutinai apdorotos, sukietintos ir į tinkamas pakuotes patalpintos atliekos [7].

Stačiakampio gretasienio formos rūšiai, kuriuos sudaro gelžbetonio grindys, sienos ir lubos, yra įrengti La Man-



4 pav. Įprastus gelžbetoninius sandėlius primenančių rūšių, įrengtų virš žemės paviršiaus, ir požemių rūšių schematinis vaizdas

che ir L'Aube (Prancūzija), El Cabril (Ispanija), Trombay (Indija), Rokkasho (Japonija) ir kituose atliekynuose. Rūšiai paprastai įrengiami virš gruntinio vandens aukščiausio galimo pakilimo lygio. Be to, atliekos turi būti patikimai apsaugotos nuo lietaus vandens infiltracijos. Paprastai dedamos statinės arba gelžbetonio konteineriai su atliekomis. Tarpai tarp pakuočių dažniausiai užpildomi skystu betonu, o kai kada – smėliu. Užpildo pasirinkimą lemia konkrečios šalies reikalavimai. Betono užpildas neabejotinai yra daug patikimesnis, geriau izoliuoja atliekas. Jis naudojamas Prancūzijos, Japonijos ir daugelyje kitų atliekynų. Tačiau kai kurie paviršiniai atliekynai (pavyzdžiui, El Cabril Ispanijoje) yra įrengti taip, kad prireikus atliekų pakuotes būtų galima nesunkiai išimti iš atliekyno. Tais atvejais užpildui naudojamas smėlis. Nors smėlis nesudaro kliūčių drėgmei patekti į atliekų pakuotes, tačiau, pasižymėdamas sorbcinėmis savybėmis, sulėtina radionuklidų migraciją iš atliekyno.

Kadangi rūsiuose dedamos tiek mažai, tiek ir vidutiniškai aktyvios atliekos, svarbu, kad darbuotojai nepatirtų didelės apšvitos. Darbuotojų apšvitos dozėms sumažinti atliekynuose įrengiama distancinė cranų valdymo

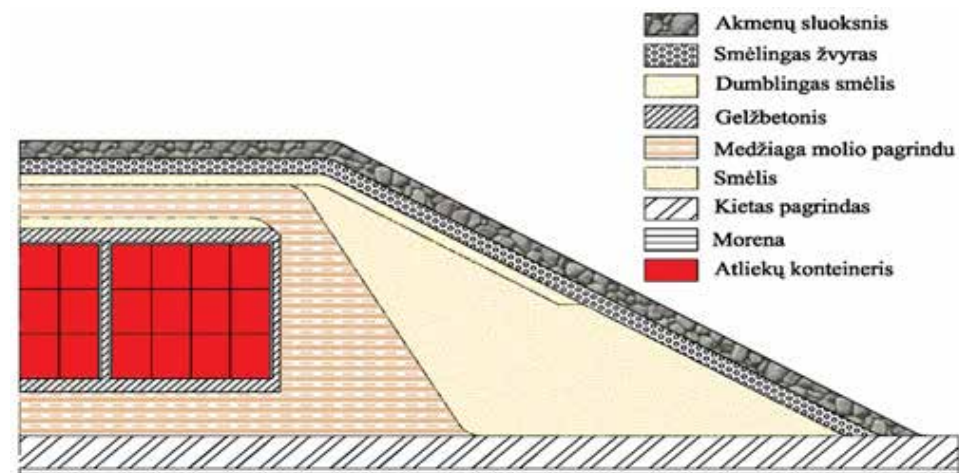
* Bentonitas – molis, kuriame gausu smektitais vadinamų mineralų. Pastarieji pasižymi rinklumu – sudrėkus jų tūris kelis kartus padidėja [11]. Bentonitas itin blogai praleidžia vandenį, todėl labai dažnai naudojamas atliekynų barjerams suformuoti. Bentonito pavadinimas kilęs nuo Fort Benton miesto Montanos valstijoje (JAV), kur buvo aptikti dideli šio molio klodai.

įranga ir taikomos kitokios apsaugos priemonės. Kad dozės būtų mažesnės, La Manche atliekynė Prancūzijoje statinės su labiau radioaktyviomis atliekomis yra sukrautos apatiniuose sluoksniuose, o statinės su mažiau aktyviomis – ant jų.

Lietuvoje pasiūlyta įrengti modulinį atliekyną, susidedantį iš atskirų gelžbetonio rūšių, įrengtų virš gruntinio vandens slūgsojimo lygio (5 pav.). Į rūšius bus kraunamos sukietintų atliekų pakuotės. Pakuotes dengs betono sluoksnis. Rūšius su atliekomis sups vandeniui nelaidus sutankintas molis. Virš jo bus suformuota daugiasluoksnė, nelaidi vandeniui ir atspari atmosferos poveikiui dangą. Paviršius bus apželdintas – augmenija geriausiai saugo „pilkapį“ nuo erozijos ir kitų nepalankių gamtos ar žmogaus lemtų veiksnių [12].

Pasiūlyta [12] šioje koncepcijoje atsisakyti paviršinio akmenų sluoksnio. Akmenys nėra būdingi Lietuvos kraštovaizdžiui – tai viena iš priežasčių riedulių dangą pakeisti daugiametčių žolinių augalų dangą. Akmenys Lietuvoje yra vertinga statybinė medžiaga, todėl jų naudojimas paviršiu formuoti didintų atliekyno pažeidimo tikimybę. Augalų šaknys gerai sutvirtina šlaitus ir apsaugo juos nuo vėjo bei vandens sukeltos dirvožemio erozijos. Lietuvoje žole apželdinti šlaitai yra įprasti, gerai dera kraštovaizdyje.

Atliekyno saugos koncepcija pagrįsta daugelio barjerų panaudojimu. Radionuklidams migruoti į aplinką neleis keli gamtiniai ir dirbtiniai barjerai: atliekų sukietinimo medžiaga (betonas) [7], tarpų tarp pakuočių užpildas, betono rūšiai, vandeniui nelaidaus molio sluoksnis bei rūšius supantis natūralus gruntas (5 pav.). Visos šios medžiagos yra labai atsparios mūsų klimato sąlygoms, todėl keletą šimtmečių patikimai saugos aplinką nuo taršos.



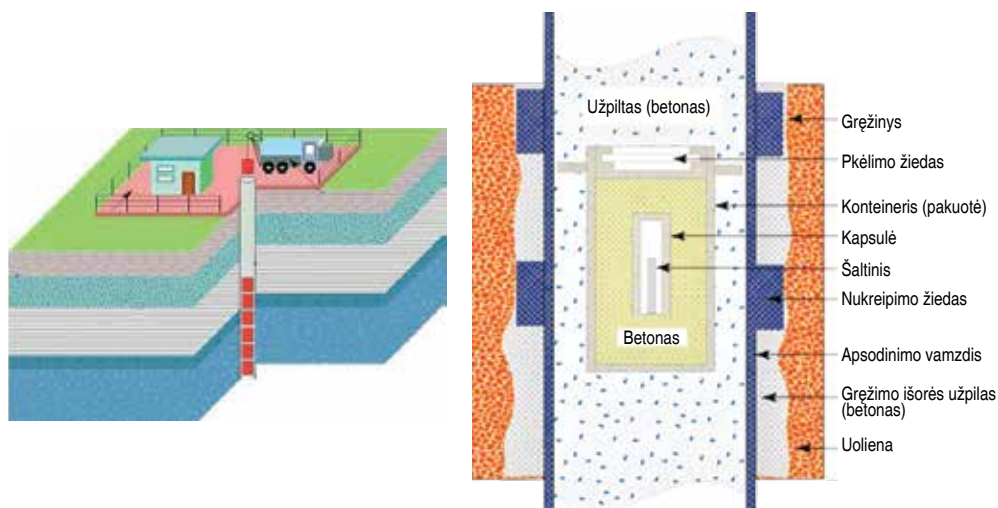
5 pav. Uždaryto „piliakalnio“ pavidalo atliekyno su inžineriniais barjerais skersinis pjūvis [13]

Gręžiniai

Įvairaus gylio ir skersmens gręžiniai gali būti naudojami didesnio aktyvumo atliekoms sudėti, ypač jeigu atliekų tūris nedidelis. Daugelyje šalių panaudoti uždarieji šaltiniai dedami gręžiniuose. Vertinimai rodo, kad gręžiniams parinkus radionuklidų migravimui nepalankią geologinę terpę (pavyzdžiui, vandeniui nelaidų molį), juose galima saugiai dėti atliekas netgi neįrengus papildomų inžinerinių barjerų [14].

Panaudoti šaltiniai su trumpaamžiais radionuklidais dedami sekliuose gręžiniuose, o ilgaamžiai – giliuose. Seklūs gręžiniai būna iki 30–40 m gylio ir 1–3 m skersmens. Į tokius gręžinius nuleidžiami konteineriai su panaudotais uždariaisiais šaltiniais. Gręžiniai užsandarinami moliu ir betonu. Tarybų Sąjungoje buvo taikomas standartinis gręžinių projektą – šaltiniai buvo nuleidžiami į 4 m gylio gręžinius ir užsandarinami. Gręžiniuose buvo 20 cm skersmens spiralės formos plieniniai vamzdžiai, į kuriuos buvo patogiu mesti šaltinius iš transportavimo konteinerių.

Ypatingo dėmesio susilaukė mažo skersmens gręžinių pritaikymas panaudotiems šaltiniams dėti (6 pav.). Tarptautinė atominės energijos agentūra, bendradarbiaudama su Pietų Afrikos Respublikos Branduolinės energetikos bendrove NESCSA, parengė taip vadinamą BOSS (angl. BOREHOLE DISPOSAL OF SEALED SOURCES) koncepciją. Pagal ją siūloma šaltinius dėti nedidelio skersmens (~26 cm) 80 m gylio gręžiniuose, kurie gali būti tiek vandens neprisotintoje, tiek ir prisotintoje zonoje [15, 16].



6 pav. Panaudotų uždarytųjų šaltinių dėjimas „BOSS“ sistemos gręžinyje: pakuotės su panaudotais šaltiniais ir artimosios aplinkos komponentai [17]

Pagal minėtą koncepciją uždarieji šaltiniai talpinami į 3 mm storio nerūdijančio plieno kapsules, kurios patikimai užvirinamos. Šios kapsulės dedamos į 6 mm storio nerūdijančio plieno konteinerius ir iš viršaus užliejamos betonu (6 pav.). Užvirinti konteineriai nuleidžiami į specialios konstrukcijos gręžinį ir užliejami betonu.

Pati atliekų pakuotė turi tris saugos barjerus. Pirmas iš vidaus – cilindro formos kapsulė su šaltiniu viduje ir užvirintu dangteliu. Konteinerio betonas yra antras barjeras. Trečias – konteinerio sienelės. Ketvirtas artimos aplinkos barjeras yra gręžinio užpilas – betonas, kuris supa atliekų pakuotes. Gręžinys paprastai apsodinamas plieniniu arba didelio tankio polietileno vamzdžiu. Į tarpą tarp apsodinimo vamzdžio ir aplinkinio grunto įpumpuojamas betono skiedinys. Apsodinimo vamzdis nėra laikomas ilgalaikiu saugos barjeru. Jis leidžia lengvai nuleisti atliekų pakuotes ir išlaiko gręžinio sienelės.

Viršutinė atliekų pakuotė turėtų būti giliau nei 30 m nuo žemės paviršiaus. Kai visos atliekų pakuotės yra gręžinyje, gręžinio apsodinimo vamzdis, esantis tarp aukščiausiai esančios pakuotės ir žemės paviršiaus, pašalinamas. Virš paskutinės atliekų pakuotės įrengiama plieninė pasvira nukreipimo plokštė, kuri apsaugo nuo netyčinio įgręžimo į atliekų šalinimo zoną. Pašalinto apsodinimo vamzdžio ertmė užpildoma betonu. Paskutiniai gręžinio 2 metrai užpildomi aplinkiniu gruntu arba sutrupinta uoliena. Taip padaryti rekomenduojama tam, kad saugumo sumetimais tiksli gręžinio padėtis nebūtų žinoma.

Sandarumo bandymai parodė, kad kapsulė ir konteineris gerai sulaiko radionuklidus [15, 16]. Atliekyno saugos vertinimai parodė, kad iš specialaus, korozijai atsparaus plieno pagamintos kapsulės ir konteineriai dėl korozijos prakiurs ne anksčiau kaip po kelių šimtų tūkstančių metų. Todėl ši sistema yra tinkama netgi ilgalaikiams nuklidams sudėti. Kitas rizikos veiksnys – žmogaus padaryti ar kitokio pobūdžio pažeidimai. Kadangi didžiausias su statinių statyba susijęs pažeidimų gylis yra apie 20 m, „BOSS“ koncepcijose numatoma pakuotes dėti giliau nei 30 m. Nors gilesni nei 30 m kasiniai gali būti reikalingi statant aukštuminius statinius, bet mažai tikėtina, kad jie galėtų būti statomi toli nuo didžiųjų centrų. Jei vietovė parinkta vengiant mineralinių išteklių plotų, jos paviršius yra lygus, tai kasyba ir tunelių įrengimas irgi yra labai mažai tikėtini. Todėl lieka vienas pažeidimų rizikos atvejis – giliųjų gręžinių gręžimas. „BOSS“ sistemos privalumas yra mažas gręžinio „pėdsakas“ žemės paviršiuje – mažą tikimybę, kad į tą pačią vietą bus išgręžtas kitas gręžinys. Be to, šiai grėsmei panaikinti virš pakuočių zonos įrengiama pasvira plieninė plokštė. Taigi didelis šio sprendimo privalumas yra tas, kad gręžinio pažeidimo tikimybė yra labai maža. Jis labai gerai tinka šalims, turinčioms nedidelį kiekį panaudotų uždarytųjų šaltinių ir neturinčioms kitokių radioaktyviųjų atliekų.

Paviršinių atliekynų uždarymas ir priežiūra uždarius

Atliekyną užpildžius atliekomis, sudėjus visas numatytas atliekas ar kai pasiekiamas atliekynui nustatyta aktyvumo riba, prasideda nauja stadija – atliekyno uždarymas. Virš rūšių su atliekomis ar tiesiog virš sukrautų atliekų pakuočių, jeigu nėra rūšių, įrengiama ilgalaikė apsauginė danga ir atliekamos kitos priemonės ilgalaikiai saugai užtikrinti. Žemės paviršiuje įrengti pagalbiniai atliekyno pastatai turėtų būti nugriauti, nereikalingos konstrukcijos ir sistemos sunaikinamos, kad nekeltų papildomo žmonių susidomėjimo ir jų neskatintų užimti šiuos pastatus bei teritoriją.

Atliekyno apdangalas projektuojamas taip, kad atliekų kelias funkcijas: apdangalas turi ekranuoti jonizuojančiąją spinduliuotę, apsaugoti atliekas ir atliekyno konstrukcijas nuo vertikaliai įsiskverbiančio kritulių vandens, apsaugoti atliekyną nuo žmonių, gyvūnų ar augalų lemtų pažeidimų, apsaugoti atliekas ir atliekyną nuo erozijos ir temperatūros svyravimų poveikio, neleisti radioaktyvioms dujoms (tričiui, radonui, jeigu tokios išsiskiria) prasiskverbti į aplinkos orą. Apdangalo daugiafunkciškumas pasiekiamas derinant kelias skirtingas dangas,

Įrengiant daugiasluoksnius apdangalus. Jų konstrukcija priklauso nuo sudėtų atliekų pobūdžio ir aktyvumo. Labai dažnai apdangalo įrengimas yra minimali priemonė uždaryti radioaktyviųjų atliekų atliekyną ir apsaugoti aplinką nuo galimos taršos.

Atliekynų apdangalams derinamos skirtingų savybių dangos [18]:

- vandeniui nelaidus barjeras, įrengtas naudojant vandeniui nelaidžias medžiagas – sutankintą molį, plastiko membraną (HDPE ar PVC), bitumo sluoksnį, geosintetines molio dangas;
- vandeniui laidus kapiliarinis barjeras, susidedantis iš dviejų skirtingo laidumo grunto sluoksnių (pavyzdžiui, žvyro ir smėlio);
- biologinis barjeras, saugantis nuo gyvūnų ir iš dalies nuo augalų šaknų patekimo į atliekas (pavyzdžiui, akmenų sluoksnis);
- antierozinis sluoksnis (akmenų sluoksnis žemės paviršiuje arba augalinė danga).

Be to, drėgno klimato sąlygomis reikalingas drenažinis sluoksnis, gerinantis paviršinio vandens nutekėjimą. Įrengus drenažo sistemą, sumažėja vandens prasiskverbimo per vandeniui nelaidų barjerą tikimybė.

Andujar urano gamyklos (Ispanijoje) atliekų apdangalą sudaro šie skirtingi sluoksniai: augmenija ir susmulkinti akmenys dirvožemio paviršiuje skirti apsaugai nuo erozijos, dirvožemis, smėlio sluoksnis vandens drenažui, akmenų sluoksnis nuo biologinio įsiskverbimo ir molio sluoksnis nuo vandens prasiskverbimo [19].

Paviršinis augalinis sluoksnis vaidina svarbų vaidmenį formuojantis kritulių vandens srautams, apsaugo atliekyną nuo erozijos ir mažina šalčio poveikį. Vandens tekėjimas gali sukelti apdangalo eroziją ir suirimą, o augalija lėtina šį procesą. Žole apželdintose vietose mažesnis grunto įšalo gylis, dėl to lėtesnė įšalo ir atlydžio sukelta šlaitų erozija bei pavojus, kad įšalas suardys gilesnius barjerus. Augalai išgarina daug vandens, tuo sumažindami į žemę įsigeriančio vandens kiekį. Optimaliai parinkus dirvožemio tipą, storį, šlaito nuolydį ir augalų rūšinę sudėtį, galima padidinti vandens garavimo intensyvumą. Sauso klimato sąlygomis vien tik augalinis sluoksnis yra pakankamas barjeras, apsaugantis nuo intensyvaus paviršinio nuotėkio, erozijos ir infiltracijos į sudėtas atliekas. Drėgno klimato sąlygomis augalai gali pašalinti iki 80%, o sauso 90–100% drėgmės, įsigėrusios į žemę [20]. Tai nebrangi, tačiau efektyvi priemonė (ypač teisingai parinkus augalų rūšis).

Dirvožemis ir po juo esantis žemės sluoksnis turi būti pakankamai stori, kad akumuliuotų pakankamą drėgmės, kurią vėliau išgarintų augalai, kiekį ir apsaugotų giliau esančius vandens barjerus nuo įšalo ar peržiūvimo. Šio sluoksnio storis priklauso nuo klimato, grunto ir konstrukcinių ypatumų (paprastai pakanka 60–90 cm storio sluoksnio) [20, 21].

Neigiamiems klimato poveikiams – užsitęsusioms sausroms, šalčiui ar drėgmės pertekliui – atspariausi vietiniai natūraliai augantys augalai. Idealiu atveju augmenija turi susidėti iš optimalaus vietinių rūšių augalų, atsparių ir gerai prisitaikiusių prie galimų cikliško klimato pokyčių, mišinio. Augmenija turi būti atspari katastrofiniams gamtos reiškiniams – gaisrams, sausroms ir pan. Tai gali būti žoliniai augalai ar krūmai. Visų rūšių augalų šaknys gali įsiskverbti į atliekas. Tačiau jeigu visa drėgmė būtų pašalinta (išgarinta ar nutekėtų šlaitu), šaknys nesiskverbėtų gilyn į sausą gruntą.

Miškas būtų pigesnė antierozinė priemonė už daugiamečių žolių pievą, kurią reikėtų kasmet šienauti. Tačiau medžiai netinka atliekyno dangai ir šlaitams apželdinti. Vėjas, virpindamas ir lankstydamas medžius, augančius šlaituose, vibruoja grunto sluoksnius ir sukelia jų persislinkimą. Medžių lapijos nuo saulės užstojami šlaitai nepasidengia velėna, todėl vyksta paviršinė erozija [22]. Be to, medžiai paprastai turi gilią šaknų sistemą, jų šaknys gali pažeisti atliekyno dangą. Augalai, turintys gilią šaknų sistemą, turi būti šalinami atliekyno priežiūros metu.

Drenažo sluoksnis po augaliniu reikalingas tais atvejais, kai apdangale gali susidaryti stovinčio vandens perteklius. Drenažo sluoksnis įrengiamas tam, kad nesusidarytų didelis vandens slėgis. Storas įsotintas sluoksnis skatintų vandens prasiskverbimą pro barjerus.

Vandeniui laidus barjeras (kitais – kapiliarinis barjeras) susideda iš dviejų vandeniui laidžių grunto sluoksnių, kurių vandens laidumas skiriasi apie 1000 kartų, pavyzdžiui, stambus žvyras, slūgsantis po smulkiu smėliu ar kita smulkiagrūde medžiaga. Sluoksnių sandūroje susidaro kapiliarų trūkis ir vanduo pradeda tekėti smulkiagrūde frakcija horizontalia kryptimi, kai apatinis sluoksnis nėra prisotintas. Kapiliarinės jėgos neleidžia vandeniui kirsti sluoksnių sandūrą ir esant smėlio – žvyro skiriamosios ribos nuolydžiui – vanduo nuteka šlaito kryptimi. Tokiu būdu nesusidaro didelis vandens slėgis ir sumažėja vertikali vandens infiltracija.

Vandeniui nelaidžiam barjerui dažniausiai naudojamas molis, turintis hidraulinį laidumą nuo 10-11 iki 10-7 m/s. Per sutankinto molio barjerą vanduo per metus prasiskverbia vos kelis centimetrus. Nesant tinkamo vietinio molio, gali būti naudojamas komercinis bentonitas. Molio barjeras gali irti dėl keleto priežasčių: erozijos, skeldėjimo išdžiūvus, augalų šaknų pažeidimų. Sintetinės medžiagos pasižymi ypatingai mažu laidumu ir jas sulydžius ar suklijavus gaunama vientisa vandeniui nelaidi danga. Tačiau sintetinės membranos yra naudojamos rečiau, nes šios medžiagos žinomos tik porą dešimtmečių ir trūksta duomenų, patvirtinančių atsparumą įvairiems poveikiams.

Planuojant atliekynus, pasirenkant inžinerinių barjerų medžiagas ir sandarą, itin svarbu numatyti, kad barjerai funkcionuotų pakankamai ilgai – tol, kol sudėtų atliekų aktyvumas sumažės iki nepavojingo lygio. Pirmenybė teikiama pasyvioms saugos sistemoms – atliekynai projektuojami taip, kad juos uždarius reikėtų kuo mažiau aktyvios priežiūros [23]. Taikant pasyvias sistemas, ne tik priežiūros našta nepaliekama būsimoms kartoms, bet ir pasiekiamas aukštesnis saugos lygis – grėsmė būtų minimali netgi dėl vienokių ar kitokių priežasčių neprižiūrint ar apleidus atliekyną.

Uždaryti atliekynai paprastai ir toliau prižiūrimi, kol atliekų aktyvumas natūraliai sumažės iki nepavojingo lygio. Uždarytame atliekynuose ribojamas žmonių buvimas ir alternatyvus žemės naudojimas. Paviršinių atliekynų priežiūra dažniausiai planuojama 300 metų. Atliekynų priežiūra skirstoma į aktyvios ir pasyvios priežiūros laikotarpius. Aktyvios priežiūros metu užtikrinama atliekyno apsauga, vykdoma jo stebėseną ir šalinami pastebėti defektai.

Pasyvios priežiūros metu toliau saugoma informacija apie atliekyną ir jame sudėtas atliekas. Atliekyno teritorija turi likti aptverta, žemės naudojimo planuose turi išlikti nepakeista teritorijos naudojimo paskirtis – šioje vietoje neturi būti gyvenama, tiesiami keliai ar vykdomos statybos, žemės ūkio ir panašūs darbai.

Labai svarbu, kad atliekyną eksploatuojanti organizacija ar priežiūros institucija išsaugotų informaciją apie sudėtas atliekas. Per visą atliekyno priežiūros laikotarpį turi būti išsaugoti įrašai apie atliekynuose sudėtas atliekų pakuotes (atliekų tūris, masė, atliekų tipas ir prigimtis bei radionuklidų aktyvumai). Taip pat informacija apie atliekyno vietą, jo struktūrą, konkrečių pakuočių patalpavimo vietas, duomenys apie konkrečias pakuotes, kaip buvo uždarytas atliekynas.

Kadangi duomenis teks saugoti labai ilgai, būtina tai daryti bent dvejose skirtingose vietose, pavyzdžiui, atliekyną eksploatavusioje organizacijoje ir branduolinės saugos priežiūros institucijoje. Labai svarbu tinkamai pasirinkti informacijos saugojimo būdą – elektroninio archyvo taikymą apsunkina greitas skaitmeninės technikos ir programinės įrangos modernėjimas – sunku tikėtis, kad praėjus porai dešimtmečių bus techniškai įmanoma atkurti dabartinius įrašus.

Pasibaigus aktyvios ir pasyvios priežiūros laikotarpiams, atliekyno teritorijos statusas turėtų keistis – atsižvelgus į atliekų likutinį aktyvumą ir kitus veiksnius, turėtų būti priimamas sprendimas dėl tolimesnių kontrolės priemonių reikmės.

Atliekų dėjimas į giluminius atliekynus

Panaudotas branduolinis kuras – tai pati pavojingiausia atliekų rūšis. Net 99% branduoliniame reaktoriuje susidariusių radionuklidų bendro kiekio pasilieka panaudotame kure. Daugelis panaudotame kure esančių radionuklidų spinduliuoja alfa daleles ir pasižymi ilga pusėjimo trukme – pavyzdžiui, plutonio ²³⁹Pu pusėjimo trukmė 24000 metų. Todėl turi praeiti keli šimtai tūkstančių metų, kad panaudotas branduolinis kuras taptų nepavojingas. Intensyviai vykstant branduolių virsmams, panaudotas kuras ne tik skleidžia jonizuojančiąją spinduliuotę, bet ir išskiria šilumą. Dėl to pirmuosius 3–5 metus panaudotas kuras turi būti laikomas vandenyje.

Įprastiniame 1000 MW galios lengvojo vandens reaktoriuje per metus susidaro apie 25-30 tonų panaudoto kuro. Vien tik Europos Sąjungos šalių atominės elektrinės jo per metus pagamina apie 3600 tonų. Ką daryti su panaudotu kuru – tai bene didžiausia branduolinėje energetikoje kol kas galutinai neišspręsta problema. Jau kelis dešimtmečius pasaulio mokslininkai sutelkę pastangas ieško šios problemos sprendimo būdų. Realiausias sprendimas – sudėti giluminiuose, apie 500 m gylyje įrengtuose atliekynuose.

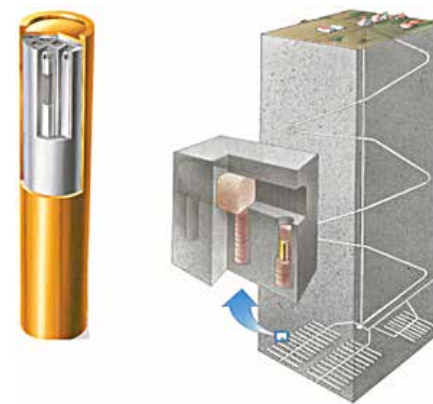
Požiūris į panaudotą kurą ir jo tvarkymo strategija priklauso nuo konkrečios šalies ypatumų. Prancūzijoje, Japonijoje, Rusijoje, Didžiojoje Britanijoje, Indijoje panaudotas kuras yra perdirbamas. Čia jis laikomas ne atliekomis, bet vertę turinčia žaliava. Perdirbant panaudotą kurą, iš jo išskiriamas uranas ir plutonis. Šios medžiagos yra pakartotinai naudojamos branduoliniuose reaktoriuose. Tokia panaudoto kuro tvarkymo eiga vadinama uždaru kuro ciklu. Perdirbant panaudotą branduolinį kurą, susidaro ilgaamžės labai radioaktyvios atliekos. Jos paprastai įstiklinamos [7] ir tvarkomos bei dedamos į atliekynus panašiai kaip ir panaudotas kuras. Kitos šalys dėl ekonominių, aplinkosaugos ir kitokių priežasčių taiko atvirą kuro ciklą. Jos kuro perdirbti neketina, todėl čia jis laikomas atliekomis ir bus dedamas į atliekyną neperdirbtas. Tenka pastebėti, kad panaudoto kuro perdirbimas, nors ir leidžia ženkliai sumažinti labai didelio aktyvumo atliekų kiekį, tačiau visiškai nepašalina giluminių atliekynų reikmės.

Giluminiai atliekynai

Atliekų dėjimas giluminiuose atliekynuose yra intensyviausiai nagrinėjamas atsikratymo panaudotu kuru ir ilgą laiką amžėmis atliekomis būdas. Jis yra labiausiai priimtinas todėl, kad atliekos atliekynuose izoliuojamos nuo žmonių ir biosferos pakankamai ilgą laikotarpį, kad joks įmanomas radionuklidų nutekėjimas nesukeltų reikšmingo poveikio. Šiuo metu pripažįstama, kad panaudoto kuro ir kitų ilgą laiką amžių didelio aktyvumo radioaktyviųjų atliekų dėjimas žemės gelmėse yra vienintelis aplinkosaugos požiūriu darnus ir saugus sprendimas, kol kas neturintis alternatyvų. Sudėjus atliekas giluminiame atliekynuose, ateities kartos nepaveldės nepelnytų radioaktyviųjų atliekų tvarkymo naštos. Giluminiame atliekynuose minėtos atliekos bus daug mažiau pažeidžiamos, negu laikomos nuolatos prižiūrimose antžeminėse saugyklose. Todėl išaugusi pasaulinio terorizmo grėsmė yra vienas veiksnių, verčiančių sparčiau ieškoti saugių sprendimų.

Giluminis atliekų dėjimas yra grindžiamas stabilios geologinės aplinkos panaudojimu. Ilgaamžėms atliekomis dėti tinka tik senos, per milijonus metų mažai pakitusios, giliai slūgsančios geologinės formacijos, kurių savybės galima patikimai įvertinti. Tenka pastebėti, kad Žemėje nėra daug terpių, kurių stabilumu kelis šimtus tūkstančių metų galima neabejoti. Geologinė aplinka sudaro visiškai pasyvią sistemą atliekomis dėti, kuriai nereikalingas tolesnis žmogaus dalyvavimas užtikrinant saugą. Uždarytas atliekynas su sudėtomis atliekomis gali būti apleistas, nes nėra būtinumo prižiūrėti atliekyną ar atlikti aplinkos stebėseną. Tokiose sistemose sauga yra pagrįsta daugeliu barjerų: tiek dirbtinių (inžinerinių), tiek gamtinių. Tačiau vienas svarbiausių barjerų yra geologinis.

Giluminiai atliekynai projektuojami taip, kad visam laikui izoliuotų atliekas nuo biosferos. Radioaktyviosios atliekos apgaubiamos keletu vienas kitą sustiprinančių ir papildančių pasyvių barjerų (6 pav.). Dirbtiniai barjerai taikomi prie atliekyno geologinės aplinkos sąlygų. Atliekyno sauga išliktų pakankama, net jeigu viename iš barjerų atsirastų defektų arba jis neatliktų numatytų funkcijų.



7 pav. Švedijos ir Suomijos panaudoto kuro atliekynų koncepcija [24]: panaudotas kuras talpinamas į 5 cm storio vario konteinerius, šie – į granite įrengtus tunelius, o likę tarpai užsandarinami bentonitu

Atliekyno planą ir konstrukciją lemia ne tik dedamų atliekų, bet ir geologinės aplinkos savybės. Pavyzdžiui, kristalinio pamato uolienos yra plyšiuotos, todėl jose vandens srautai didesni negu molio formacijose – saugai užtikrinti reikia patvaresnių konteinerių. Todėl panaudotam branduoliniam kuru dėti kristalinio pamato uolienos

nose siūloma naudoti varinius konteinerius, pasižyminčius labai dideliu atsparumu korozijai [24]. Panaudoto branduolinio kuro konteineriai šachtomis ar tuneliais būtų nuleidžiami į 400–500 m gylyje išgręžtus 150–500 m ilgio tunelius (7 pav.). Visi tarpai tarp kuro konteinerių ir uolienu būtų užpildomi specialiu vandeniu nelaidžiu moliu (bentonitu). Atliekyno dydžiui įtakos turi atliekų sudėtis, jų išskiriama šiluma.

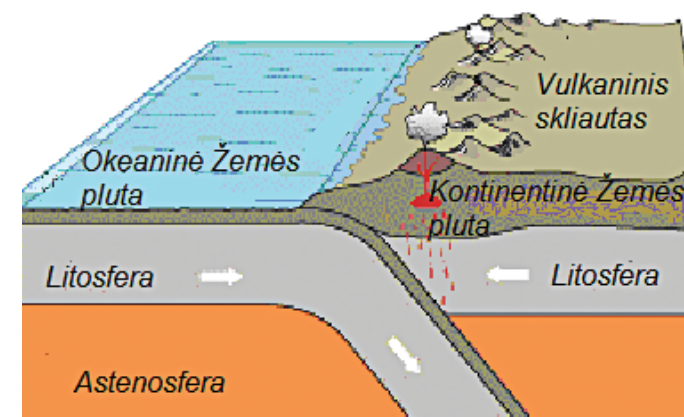
Šiuo metu pasaulyje tėra vienintelis giluminis atliekynas – Jungtinėse Amerikos Valstijose ilgaamžės transurininės atliekos dedamos eksperimentiniame atliekyne, įrengtame apie 650 m gylyje akmens druskos kloduose Chihuahuan dykumoje. Sprendimas statyti šį atliekyną buvo priimtas dar 1979 metais, tačiau atliekos pradėtos dėti tik 2001 metais [25]. Panaudotas branduolinis kuras kol kas niekur nededamas į atliekynus. Suomija ir Švedija jau atliko geologinius tyrimus, pasirinko vietas giluminiams atliekynams ir toliau intensyviai įgyvendina jų projektus. Suomija planuoja pradėti juos eksploatuoti 2020 metais, Švedija – 2023 metais. Nedaug atsilieka ir Prancūzija – joje pradėti dėti perdirbtą panaudotą kurą į atliekyną planuojama 2025 metais. Europos Sąjunga intensyviai remia šią viziją ir skatina kuo greičiau pradėti dėti panaudotą kurą ir kitas didelio aktyvumo atliekas į giluminius atliekynus [26]. Tenka pripažinti, kad žmonės gana kontraversiškai (dažniausiai – neigiamai) vertina planus dėti atliekas į atliekynus. Visuomenės nepritarimas yra viena svarbiausių daugumos atliekynų projektų vėlavimo priežasčių.

Alternatyvūs atliekų šalinimo būdai

Egzistuoja nemažai kitokių pasiūlymų, kaip atsikratyti radioaktyviosiomis atliekomis. Daug vilčių teikia ilgaamžių radionuklidų transmutacijos (pavertimo trumpaamžiais veikiant elementariosiomis dalelėmis), kurias intensyviai tyrinėja daugelio šalių mokslininkai. Taikant transmutacijas, įmanoma sumažinti ilgaamžių atliekų pobūdį ir kiekį. Kaip ir panaudoto kuro perdirbimas, transmutacijos negali visiškai pakeisti atliekų dėjimo į atliekynus.

Praeityje buvo galvojama ir apie kitus atliekų šalinimo būdus, pavyzdžiui, paleidimą į kosminę erdvę. Tačiau tai ne tik labai brangu, bet ir nesaugu; prisiminkime liūdnas erdvėlaivių avarijas. Prieš kelis dešimtmečius daugelis šalių radioaktyviąsias atliekas skandindavo vandenynų gelmėse, tačiau dabar tai draudžia tarptautiniai susitarimai. Nagrinėtos ir atliekų dėjimo kontinentiniuose ledynuose ar daugiamečio įšalo zonoje galimybės, bet buvo nuspręsta, kad tai nėra saugu. Iš tebenagrinėjamų panaudoto kuro galutinio sutvarkymo būdų, alternatyvių jo dėjimui žemės gelmėse, paminėtini subdukcinis dėjimas ir dėjimas po jūros dugnu.

Subdukcija – tai toks geologinis procesas, kai viena Žemės litosferos plokštė nyra po kita litosferos plokštė. Paprastai šis procesas pasireiškia vandenyninės ir žemyninės tektoninių plokščių sandūroje. Sunkesnė, iš didesnio tankio uolienu sudaryta vandenyninė plokštė nyra gilyn 2–8 cm per metus, formuodama gilų povandeninį lovį (įdubą), o dar giliau – nirimo arba subdukcijos zoną (8 pav.). Atliekas siūloma dėti gilyn grimztančioje žemės litosferos plokštėje [27]. Šioje zonoje dėl trinties plokščių pakraščiai trupa ir lydosi, kol grimztančioji plokštė visiškai išsilydo ir yra absorbuojama magmos. Kartu su tektonine plokšte nugrimzdusios sudėtos atliekos būtų absorbuotos Žemės mantijos (magmos) ir išsilydžiusios pasklistų milžiniškame jos tūryje. Žemės plokštės nepertraukiamai atsinaujina ties viena nuo kitos tolstančiomis plokštėmis. Čia atsirandantį plyšį užpildo į viršų besiveržianti karšta magma, kuri vėsdama tampa plokštės dalimi. Magmoje ištirpusios ir labai atsiskiedusios atliekos su cirkuliuojančios magmos srautais iškiltų į paviršių ties besiformuojančiais gūbriais ar ugnikalniais.



8 pav. Subdukcijos zonos susidarymas [27]

Tačiau Žemės gelmėse vykstantys procesai yra labai lėti. Atliekos turėtų ilgai cirkuliuoti Žemės magmoje, kol pasiektų žemės paviršių. Prireiktų keleto milijonų metų, kol atliekų likučiai patektų į biosferą. Per tą laiką radionuklidų aktyvumai sumažėtų iki visiškai nereikšmingo lygio. Tokios grimztančios litosferos plokštės yra lengviausiai pasiekiamos vandenyno dugne, geologiškai aktyviame regione.

Dar vienas perspektyvus radioaktyviųjų atliekų galutinio sutvarkymo būdas yra jų dėjimas po vandenyno dugnu [28]. Jis skiriasi nuo tarptautinės konvencijos draudžiamo atliekų skandinimo. Kaip ir dedant žemės gelmėse, šioje koncepcijoje siūloma daugiabarjerė apsaugos sistema. Barjerus sudarytų atliekų terpė (pavyzdžiui, stiklas), korozijai atspari pakuotė ir geologinė aplinka. Suirus pakuotėms, radionuklidus sulaikytų giliau vandenės nuosėdinės uolienos. Smulkiagrūdės nuosėdinės uolienos pasižymi gebėjimu sorbuoti daugumą radionuklidų ir tokiu būdu sulėtinti jų migravimą. Radionuklidų pernaša būtų labai lėta ir dėl to, kad po vandenyno dugnu gruntinio vandens tėkmė yra ypatingai lėta, nes nėra vandens slėgio skirtumų. Atliekas siūloma dėti 4 km gylyje, vietose, kur smulkiagrūdžių nuosėdų sluoksnis yra storas, nesukietėjęs ir vienalytis. Atliekų konteinerius patalpinus į nuosėdų sluoksnį, šis turėtų išlikti kuo mažiau pažeistas, kad gebėtų ilgai izoliuoti atliekas. Atliekų dėjimo vietose neturi pasireikšti erozija. Jos turi būti toli nuo tektoninių plokščių sandūrų, ties kuriomis pasireiškia seisminiai ir vulkaniniai procesai, dėl kurių atliekos galėtų iškilti į paviršių.

Galimybė įrengti giluminį atliekyną Lietuvoje

Užbaigus eksploatuoti Ignalinos atominę elektrinę, joje bus apytiksliai 22 000 panaudotų branduolinio kuro rinklių. Kiekvienoje rinklėje yra 111 kg urano [29]. Nuo Ignalinos atominės elektrinės eksploatavimo pradžios iki 1999 metų visas panaudotas kuras buvo laikomas reaktorių patalpose įrengtuose vandens baseinuose. Nuo 1999 metų panaudotas kuras iš šių baseinų kraunamas į plieninius ar gelžbetoninius konteinerius. Juose panaudotas kuras gali būti saugiai laikomas 50–60 metų. Per tą laiką turi būti priimti sprendimai dėl panaudoto kuro dėjimo į atliekyną ar tolesnio tvarkymo. Išmontavus branduolinius reaktorius dar bus nedidelis kiekis ilgaamžių atliekų (pavyzdžiui, reaktorių valdymo strypai) ir beveik 4000 m³ panaudoto grafito, kuriame gausu

radioaktyviosios anglies ¹⁴C (pusėjimo trukmė 5730 metų) bei kitų ilgaamžių radionuklidų. Visas šias atliekas taip pat teks dėti žemės gelmėse.

Jeigu nepavyks pratęsti panaudoto kuro saugojimo kontaineriuose laiko, apie 2060 metus turės būti įrengtas giluminis atliekynas ir jame pradėtas dėti panaudotas kuras. Kad iki to laiko būtų įrengtas ir licencijuotas atliekynas, iki 2037 metų turėtų būti parinkta jo vieta ir pradėta atliekyno statyba [29]. Kadangi vietos parinkimas ir ištyrimas geriausiu atveju trunka apie 10 metų, norint laiku įrengti giluminį atliekyną, jo vietos paieška turėtų prasidėti po 8-10 metų. Iki tada būtina parinkti atliekynui tinkamą geologinę formaciją ir parengti panaudoto kuro bei ilgaamžių atliekų dėjimo į giluminį atliekyną strategiją.

Lietuvoje aptinkamos kelios atliekoms dėti perspektyvios geologinės terpės: kristalinio pamato uolienos, įvairūs moliai bei anhidritas [30]. Pasaulyje iš visų geologinių terpių bene geriausiai ištirtas kristalinio pamato tinkamas panaudotam kurui dėti. Lietuvoje kristalinį pamatą dengia nuosėdinės uolienos, kurių storis kinta nuo 200–300 m Pietryčių Lietuvoje iki 2000 m Baltijos pajūryje. Giluminiam atliekynui tinkamiausias kristalinio pamato gylis yra Pietryčių Lietuvoje. Čia esama gana didelių kristalinio pamato blokų, mažai paveiktų tektoninių procesų. Buvo įrodyta [30], kad, taikant šiuolaikines technologijas, juose įmanoma sudėti panaudotą kurą ir kitas ilgaamžes didelio aktyvumo radioaktyviasias atliekas. Visam Ignalinos atominės elektrinės panaudotam branduoliniam kurui sudėti skirto atliekyno tuneliai užimtų apie 0,4 km² plotą (kitose šalyse planuojamų giluminių atliekynų dydis svyruoja nuo kelių iki dvidešimties kvadratinų kilometrų ploto). Taikant Švedijoje sukurtą giluminio atliekyno koncepciją (7 pav.) bei kainų skaičiavimo metodiką buvo įvertinta, kad Ignalinos atominės elektrinės panaudoto kuro ir kitų ilgaamžių atliekų sudėjimas į giluminį atliekyną kainuotų 1,5–2,6 milijardus eurų [29]. Būtina pastebėti, kad jeigu bus pastatyta ir eksploatuojama nauja atominė elektrinė, prisidės ir joje panaudotas kuras. Padidėjus panaudoto kuro kiekiui, dėjimas į atliekyną santykinai atpigty.

Molis yra kur kas mažiau laidus vandeniui ir geriau sulaiko radionuklidus negu kristalinio pamato uolienos. Todėl molingos uolienos irgi yra perspektyvi terpė atliekoms dėti. Lietuvoje perspektyviausi molii klodai aptinkami Pietvakarių Lietuvoje (Pietinėje Žemaitijoje ir Suvalkijoje) ir Šiaurės Rytų Lietuvoje– Ignalinos atominės elektrinės regione [31]. Nors moliai pasižyminti labai geromis izoliacinėmis ir sorbcinėmis savybėmis, tačiau jie ne tokie tvirti ir mažiau stabilūs už kristalinio pamato uolienas. Todėl molio formacijose įrengti atliekyną būtų sudėtingiau. Tačiau atliekų dėjimo molyje koncepcijose vietoje brangių vario konteinerių siūlomi pigesni plieniniai. Dėl to yra pagrindo manyti, kad molyje atliekyną įrengti kainuotų šiek tiek pigiau.

Galimybė kelių šalių atliekas sudėti bendrai įrengtame atliekynė

Giluminio atliekyno įrengimo kaina susideda iš kelių dalių. Kai kurios jų (pavyzdžiui, vietos atliekynui parinkimas ir jos ištyrimas) nepriklauso ar mažai priklauso nuo atliekyno dydžio ir jame dedamų atliekų kiekio. Dėl to viename atliekynė dėti didesnį atliekų kiekį yra santykinai pigiau – akivaizdus kelių šalių pajėgų ir išteklių kooperavimo privalumas. Finansuojant Europos Sąjungai, buvo atliktas Europos šalių, turinčių nedideles branduolinės energetikos programas (Belgija, Bulgarija, Čekija, Vengrija, Italija, Lietuva, Olandija, Rumunija, Slovakija, Slovėnija, Šveicarija), panaudoto kuro dėjimo į atliekyną galimybės vertinimas [32]. Bendra giluminių atliekynų, įrengtų visose minėtose šalyse, kaina apytiksliai siektų 14 milijardų eurų, o visų šių šalių panaudoto kuro ir kitų ilgaamžių atliekų sudėjimas viename bendrame giluminiame atliekynė kainuotų 5–6,5 milijardus eurų ir taip pavyktų sutaupyti 7–9 milijardus eurų.

Plėtojant minėtos studijos idėjas, 2009 metais buvo pasiūlytas Europos atliekyno vystymo organizacijos steigimo planas. Per dvejus metus turėtų būti įsteigta minėta organizacija, kuri rūpintųsi bendro Europos šalių, turinčių nedaug panaudoto kuro ar kitų ilgaamžių atliekų, giluminio atliekyno įkūrimu. Numatoma, kad ši organizacija per 10 veiklos metų suras, ištyrinės ir patvirtins bendro Europos giluminio atliekyno vietą. Jo vieta būtų parenkama vadovaujantis savanoriškumo principu – visais atvejais būtų būtinas tiek savivaldybės, tiek ir konkrečios valstybės vyriausybės pritarimas. Pradinėje programos įgyvendinimo fazėje šiam modeliui pritarė tiek branduolines elektrines turinčios (Olandija, Slovėnija, Slovakija, Rumunija, Italija ir Lietuva), tiek ir tokių elektrinių neturinčios, bet turinčios kitokios kilmės ilgaamžių atliekų šalys (Airija, Austrija, Estija, Latvija, Lenkija). Bendro daugelio šalių atliekyno idėją aktyviai remia ir skatina Tarptautinė atominės energijos agentūra (TATENA) [33, 34].

Dešimties metų gali nepakakti šiam sudėtingam tikslui pasiekti. Akivaizdu, kad šiame kelyje sunkumų yra labai daug. Pavyzdžiui, Lietuvos įstatymai neleidžia įvežti radioaktyviųjų atliekų iš kitų šalių. Todėl Lietuvoje būtų neįmanoma įrengti bendrą atliekyną. Kadangi panašių nuostatų laikosi ir kitos šalys, tai daugelio šalių atliekyno idėja tampa sunkiai įgyvendinama, bent jau artimiausiu metu.

Atliekų kiekio mažinimas

Radioaktyviųjų atliekų tvarkymas ir dėjimas į atliekynus yra labai brangūs procesai [29, 35]. Todėl visada apsimoka investuoti į pažangesnes technologijas ir kitas priemones, leidžiančias sumažinti radioaktyviųjų atliekų kiekį. Tai ne tik paprasčiausia galimybė sumažinti išlaidas, bet ir radioaktyviųjų atliekų daromą poveikį aplinkai.

Pats efektyviausias atliekų kiekio mažinimo būdas yra tinkamas naujų branduolinių įrenginių planavimas ir projektavimas. Nors ir ne taip efektyviai, sumažinti atliekų kiekius įmanoma ir vėlesnėse fazėse. Tai galima padaryti pertvarkant gamybos procesą arba organizacinėmis priemonėmis: taikyti pažangią atliekų tvarkymo politiką ir ekonomines priemones, kelti darbuotojų kvalifikaciją bei iš anksto planuoti branduolinės energetikos įrenginių eksploatavimo nutraukimo procesą.

Atliekų kiekis labiausiai priklauso nuo branduolinio reaktoriaus tipo, galios, elektrinės projekto ypatumų, eksploatavimo trukmės bei atliekų tvarkymo strategijos. Pavyzdžiui, vakarietiškuose suslėgto vandens (PWR) reaktoriuose susidaro kelis kartus mažiau panaudotų radioaktyviųjų jonų kaitos dervų, negu analogiškuose panašios galios Rusijoje suprojektuotuose VVER reaktoriuose [36]. CANDU reaktoriuje susidaro labai daug atliekų, turinčių tricio.

Didžioji dalis branduoliniuose objektuose susidarančių skystų atliekų nėra radioaktyvios. Todėl, jeigu radionuklidų kiekis neviršija nustatytų švarumo lygių, atliekos šalinamos sąvartynuose kartu su kitomis neradioaktyviomis atliekomis arba, neviršijant nustatytų apribojimų, išleidžiamos į aplinką. [36].

Itin efektyvus būdas atliekų kiekiui sumažinti yra pakartotinis įrengimų ir medžiagų naudojimas. Skysčiai branduolinėse elektrinėse gali būti naudojami kelis kartus – elektrinės reikmėms pakartotinai naudojamas išvalytas skalbyklos vanduo, boro rūgštis, dezaktyvavimo tirpalai ir regeneruotos jonų kaitų dervos [37]. Rekomenduojama tokia įranga ir medžiagos, kurias galima naudoti kelis kartus. Pavyzdžiui, vietoje vienkartinį apsauginių drabužių rekomenduojama naudoti valomus arba skalbiamus daugkartinius. Radionuklidais užterštoje zonoje reikėtų vengti naudoti medieną, ją keisti lengvai dezaktyvuojamais metalais ir plastikais.

Atliekų kiekį galima sumažinti ir be didesnių investicijų. Radiologinės kontrolės zonos atominėse elektrinėse dažnai apima radionuklidais užterštas ir neužterštas vietas. Stengiamasi kiek įmanoma sumažinti kontroliuojamas zonas, kad į jas nepatektų neužterštų patalpų. Taip į radioaktyvias atliekas nepatenka neradioaktyviųjų atliekų ir pavyksta sumažinti susidarančių radioaktyviųjų atliekų kiekį. Atliekos rūšiuojamos dar kontroliuojamose zonose – čia jos kruopščiai skirstomos į radioaktyvias ir neradioaktyvias bei saugomasi skirtingų atliekų susimaišymo.

Pabaiga

Lietuvoje kol kas turime tik radioaktyviųjų atliekų saugyklas, bet neturime atliekynų. Šalia Ignalinos atominės elektrinės esančiose saugyklose saugomos nuo elektrinės eksploatavimo pradžios susikaupusios atliekos. Jos iš šių saugyklų bus išimtos ir visam laikui perkeltos į specialiai įrengtus atliekynus, nes radioaktyviųjų atliekų dėjimas į atliekynus yra vienintelis šiuo metu žinomas aplinkosaugos požiūriu darnus ir saugus sprendimas.

Labai mažo aktyvumo radioaktyviosios atliekos gali būti dedamos neapdorotos, į gana paprastai įrengtą labai mažo aktyvumo radioaktyviųjų atliekų atliekyną (specialų sąvartyną). Prieš pradėdant dėti atliekas į atliekyną turi būti parodyta, kad visą laiką (tiek eksploatuojant sąvartyną, tiek ir užbaigus eksploatavimą) radioaktyviosios atliekos nepasklis aplinkoje ir nei žmonės, nei aplinkos objektai nepatirs žalingos, radiacinės saugos normas viršijančios apšvitos. Ignalinos atominė elektrinė jau parengė šio atliekyno projektą ir ruošiasi pradėti statybą.

Labiau pavojingos mažo ir vidutinio aktyvumo trumpaamžės radioaktyviosios atliekos yra dedamos daugiabarjeriame (su gelžbetonio rūsiais) paviršiniame atliekynė. Šio atliekyno projektas rengiamas Ignalinos atominėje elektrinėje. Atliekynas su sudėtomis atliekomis bus prižiūrimas ne mažiau kaip 300 metų. Per šį laikotarpį radioaktyviųjų atliekų aktyvumas natūraliai sumažės iki nepavojingo lygio.

Labiausiai pavojingos atliekos – panaudotas branduolinis kuras ir kitos ilgaamžės radioaktyviosios atliekos – gali būti saugiai dedamos tik į giluminį atliekyną. Kol kas pasaulyje dar nėra nei vieno giluminio panaudoto branduolinio kuro atliekyno, tačiau kelios šalys jau yra pasirengusios pradėti įgyvendinti šių atliekynų projektus. Lietuva yra pasirinkusi laikino saugojimo strategiją – iš reaktorių iškrautas ir vandenyje ataušintas panaudotas kuras talpinamas į gelžbetonio konteinerius, kurie saugą užtikrina 60 metų. Per tą laiką turi būti surasti galutiniai sprendimai.

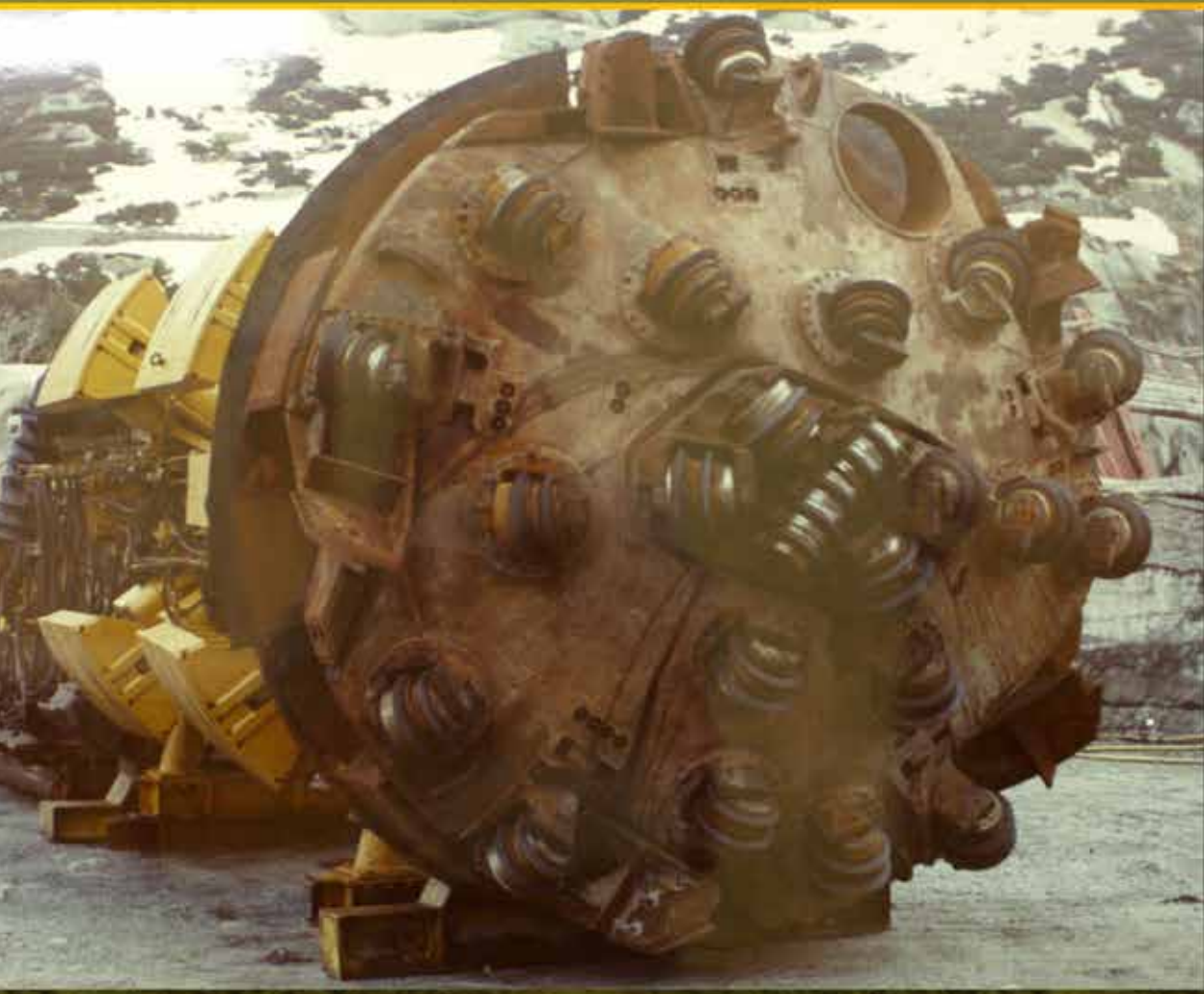
Laiku neįrengus planuojamų atliekynų, nebus galima tęsti Ignalinos atominės elektrinės eksploatavimo nutraukimo darbų. Kuo greičiau būtų sudėtos atliekos į atliekynus, tuo daugiau būtų sutaupyta jų saugojimui.

Literatūra:

1. Attitudes towards radioactive waste: Report (Special Eurobarometer 297), Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2008.
2. V. Valiukėnas, E. Makariūnienė, G. Morkūnas, Jonizuojančiosios spinduliuotės ir radiacinės saugos terminų žodynas, Vilnius: Litimo, 1999.
3. IAEA Safety Glossary. Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection, Vienna: IAEA, 2007.
4. „Lietuvos Respublikos Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo įstatymas“, Lietuvos žinios, 1999, Nr. 50-1600.
5. The principles of Radioactive Waste Management: Safety Series No.111-F, Vienna: IAEA, 1995.
6. „Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo atominėje elektrinėje iki jų laidojimo reikalavimai (VD-RA-01-2001)“, Valstybės žinios, 2001, Nr. 67-2467.
7. S. Motiejūnas, Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo technologijos, Vilnius: RATA, 2007.
8. W.H. Han, J. Heinonen, A. Bonne, „Radioactive Waste Disposal: Global Experience and Challenges“, IAEA Bulletin, Vol. 39, No. 1, 1997.
9. M. Jansen, „Disposal of radioactive waste at intermediate depth“, Proceedings of an International Conference Safety of Radioactive Waste Disposal: Tokyo, 3-7 Oct. 2005, Tokyo, 2006.
10. Technical considerations in the design of near surface disposal facilities for radioactive waste: IAEA-TECDOC-1256, Vienna: IAEA, 2001.
11. V. Kemėšis, A. Linčius, J. Paškevičius, Enciklopedinis geologijos terminų žodynas, I dalis, Vilnius: Vilniaus universiteto leidykla, 2009.
12. S. Motiejūnas ir kt., Paviršinio radioaktyviųjų atliekų kapinyno įrengimo poveikio aplinkai vertinimo papildyta ataskaita, Vilnius: RATA, 2007.
13. Reference Design for a Near Surface Repository for Low- and Intermediate- Level Short Lived Radioactive Waste in Lithuania: Final Project Report, Stockholm: SKB, SWECO International, Westinhouse Atom, 2002.
14. P. Metcalf, Disposal of Radioactive Waste Post Graduate Course on Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: September 2001, South Africa, 2001 (<http://www.src.wits.ac.za/pages/iaea/Module4/Disposal%20of%20Rad%20Waste.pdf>, žiūrėta 2008-05-04).
15. J.-M. Potier, „The IAEA programme on Assisting Member States with BOSS Borehole-type Disposal Facilities“, Proceedings of an International Conference Safety of Radioactive Waste Disposal: Tokyo, 3-7 Oct. 2005, 2006, p. 331-340.
16. I.G. Crosland, „Small Diameter Borehole Disposal of Disused Sealed Sources“, Proceedings of an International Conference Safety of Radioactive Waste Disposal: Tokyo, 3-7 Oct. 2005, 2006.
17. R. Little et al., Generic Post-closure Safety Assessment and Derivation of Activity Limits for the Borehole Disposal Concept, Quintessa Report QRS-1128A-6, 2003.
18. Procedure and techniques for closure of near surface disposal facilities for radioactive waste: IAEA-TECDOC-1260, Vienna: IAEA, 2001.
19. Performance of engineered barrier materials in near surface disposal facilities for radioactive waste: Results of a co-ordinated research project: IAEA-TECDOC-1255, Vienna: IAEA, 2001.
20. Final Covers on Hazardous Waste Landfills and Surface Impoundments: EPA/530-SW-89-047, July 1989, Washington: EPA, 1989.
21. J.E. Anderson, A.D. Forman, The Protective Cap/Biobarrier Experiment: A Study of Alternative Evapotranspiration Landfill Caps for the INEEL (www.stoller-eser.com/PDF/PCBReport.pdf, žiūrėta: 2007-03-05).
22. J. Lukošius, Inžinerinių priemonių taikymo, tvarkant archeologines vietas, metodika (www.heritage.lt/archeologija/inz_priem.htm, žiūrėta: 2009-12-20).
23. Safety Requirements for Near Surface Disposal of Radioactive Waste. Safety Standards Series No. WS-R-1, Vienna: IAEA, 1999.
24. Interim storage facility, encapsulation plant and final repository for spent nuclear fuel: Long-term safety for KBS-3 repositories at Forsmark and Laxemar – a first evaluation, Summary of the SR-Can project, Nov. 2006, Svensk Kärnbränslehantering AB, 2006.
25. The U.S. Department of Energy: Waste Isolation Pilot Plant puslapis internete: www.wipp.energy.gov (žiūrėta: 2009-12-18).
26. Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste: Technology Platform, (Vision Report), European Commission, 2009.
27. J. Baird. The Subductive Waste Disposal Method (www.radwaste.org, žiūrėta: 2008-04-20).
28. Triet Nguyen, High Level Nuclear Waste Disposal, 14 Nov. 1994, (<http://www.nuc.berkeley.edu/thyd/ne161/nguyen/nguyen.html>, žiūrėta: 2008-04-20).
29. P. Poškas et al., Investigation of possibilities to dispose of Spent Nuclear Fuel in Lithuania: A model Case, Vol. 2: Concept of Repository in Crystalline Rocks, Kaunas: LEI, 2005.
30. R. Kanopienė et al. Investigation of possibilities to dispose of Spent Nuclear Fuel in Lithuania: A model Case, Vol. 1: Suitability of Geological Environment in Lithuania for Disposal of Spent Nuclear Fuel, Vilnius: LGT, 2005.

31. V. Račkauskas, V. Juodkasis, R. Mokrik, Stabatiškės aikštelės geologinių giluminių tyrimų programa. II darbų etapas. Ilgaamžių radioaktyviųjų atliekų laidojimo vietų ir geologinių formacijų giliuose žemės sluoksniuose Lietuvos teritorijoje preliminarus apibendrinimas bei jų tinkamumo vertinimas: UAB „Grotā“ mokslo tiriamojo darbo ataskaita, 2009.
32. N. Chapman, Ch. McCombie, V. Štefula, SAPIERR, Support Action: Pilot Initiative for European Regional Repositories. Possible Options and Scenarios of Regional Disposal and Future RTD Recommendations. Deliverable D-3, Contract No.: F16W-CT-2003-509071, 30 Sept. 2005 (http://www.sapierr.net/files1/Documents/SAPIERR_D3-Options.pdf, žiūrėta: 2009-12-15).
33. Developing and Implementing Multinational Repositories: infrastructural framework and scenarios of co-operation: IAEA-TECDOC 1413, Vienna: IAEA, 2004.
34. Multilateral Approaches to the Nuclear Fuel Cycle: Expert Group Report to the Director General of the IAEA, Vienna: IAEA, 2005.
35. Low-Level Radioactive Waste Repositories: An Analysis of Costs, Paris: OECD, 1999.
36. Improvements of radioactive waste management at WWER nuclear power plants: IAEA-TECDOC-1492, Vienna: IAEA, 2006.
37. R. Burcl, M. Laraia, A. Bonne, „Achieving more with less, Technical Guidance for Minimizing Radioactive Waste“ IAEA Bulletin, Vol. 40, No. 1, 1998 (<http://f40.iaea.org/worldatom/Periodicals/Bulletin/Bull401/article9.html>, žiūrėta: 2007-12-15).





VĮ Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo agentūra

P. Lukšio g. 5, LT-08221 Vilnius

Tel. 8 (5) 2133139

Faks. 8 (5) 2133141

El. paštas: info@rata.lt

www.rata.lt