

Stasys Motiejūnas

# RADIOAKTYVIŲJŲ ATLIEKŲ TVARKYMO TECHNOLOGIJOS



Šiame leidinyje pateikti radioaktyviųjų atliekų, susidarantių branduolinėse elektrinėse, pramonės įmonėse, medicinos ir mokslo įstaigose, tvarkymo pagrindai. Apžvelgtas radioaktyviųjų atliekų susidarymas, jų klasifikavimo principai, apdorojimo ir dėjimo į atliekynus būdai. Leidinys skirtas plačiajai visuomenei, taip pat gali būti naudingas ir dėstytojams, aplinkos apsaugą studijuojantiems studentams, mokytojams.

Vilnius  
2015

## **Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo technologijos**

Autorius: Stasys Motiejūnas

*Dizainas: UAB „Dizaino meistrai“*

*Spausdino: BALTO print, UAB*

*Leidinio apimtis: 1,5 sp. l.*

*Tiražas: 200 egz.*

*Išleista: 2015, Vilnius*

© Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo agentūra

## Turinys

Įvadas .....	6
Radioaktyviųjų atliekų susidarymas ir šaltiniai .....	7
Atliekų klasifikavimas .....	9
Atliekų kiekio mažinimas .....	11
Atliekų apdorojimo būdai .....	12
Atliekų dėjimo į atliekynus būdai .....	20
Literatūra .....	22

Svarbiausias radioaktyviųjų atliekų tvarkymo tikslas – pasiekti, kad radioaktyviosios atliekos nekenktų – žmonėms ir aplinkai. Kadangi dažnai jos išlieka pavojingos šimtus ar tūkstančius metų, privalome rūpintis ne tik šiandienos, bet ir ateities sauga. Atliekas turime sutvarkyti patys, nepalikdami naštos mūsų anūkams ir proanūkiams.

Radioaktyviosios atliekos paprastai tvarkomos vadovaujantis principu "koncentruok ir sulaikyk, neleisk išplisti". Jis pagrįstas tuo, kad atliekos (atliekose esantys radionuklidai) koncentruojamos ir laikomos izoliuotos, kad nepasklistų aplinkoje ir nepadarytų žalos žmonėms bei aplinkai. Taip jos turi būti laikomos pakankamai ilgai, kol didžioji dalis jose esančių radionuklidų suskils (pavirs stabiliais branduoliais) ir nebekels pavojaus. Atliekos įvairiais būdais koncentruojamos, stengiantis sumažinti atliekų tūrį, ir izoliuojamos. Šis principas taikomas ir kietoms, ir skystoms atliekoms. Pavyzdžiui: skystos atliekos yra filtruojamos ir distiliuojamos, kietos – presuojamos, degios – sudeginamos. Visais šiais atvejais sumažinamas jų tūris ir padidinamas savitasis aktyvumas. Po to atliekos apsaugomos nelaidžiais barjeriais (pavyzdžiui, talpinamos į vandeniu nelaidžius ilgaamžius konteinerius) ir dedamos į atliekynus.

Kai kuriais atvejais, kai koncentruoti neįmanoma ar netikslinga, minėtas principas netaikomas. Atliekas, kuriose tėra tik trumpaamžių radionuklidų, pakanka laikyti (saugoti), kol jose esantys radionuklidai suskils. Paprastai pakanka atliekas išlaikyti 10 pusėjimo trukmių. Per tą laiką aktyvumas sumažėja apie 1000 kartų. Pavyzdžiui, medicinoje dažnai naudojamo <sup>131</sup>I pusėjimo trukmė – 8 dienos. Prireiks 80 dienų, kad šio šaltinio aktyvumas sumažėtų 3 eilėmis.

## Radioaktyviųjų atliekų susidarymas ir šaltiniai

Radioaktyviosios atliekos savo prigimtimi dažniausiai mažai skiriasi nuo kitų pramoninių atliekų. Tai gali būti įrenginiai, išmontuoti prietaisai, apsauginiai drabužiai, filtrai ir užteršti skysčiai. Radioaktyviųjų atliekų susidaro palyginti nedaug – šalyse, naudojančiose branduolinę energiją, branduolinės atliekos sudaro tik apie 1% visų toksiinių atliekų (Didžiojoje Britanijoje radioaktyviosios atliekos tesudaro 0,04% visų atliekų kiekio).

Jau 60 metų branduolinė energija pramoniniu būdu naudojama elektrai gaminti – apie 17% pasaulio elektros energijos pagaminama branduolinėse jėgainėse. Naudojant branduolinę energiją neišvenigiamai susidaro radioaktyviosios atliekos. Jos būna visose fazėse, pradedant urano rūdų kasyba ir sodrinimu, elektros gamyba ir baigiant branduolinių reaktorių išmontavimu bei panaudoto kuro tvarkymu ar perdirbimu.

Tipiškam vidutinės galios branduoliniam reaktoriui, gaminančiam elektros energiją, per metus reikia apie 25–30 t branduolinio kuro. Norint aprūpinti branduoliniu kuru vieną tokį reaktorių, per metus reikia iškasti 40–50 tūkst. tonų urano rūdos. Išgaunant uraną, apie 96% urano rūdos tampa atliekomis. Gaminant branduolinį kurą, uranas praturtinamas (koncentruojamas <sup>235</sup>U), todėl lieka daug nuskurdinto urano (ruošiant kurą minėtam reaktoriui, per metus jo susidarys beveik 200 t).

Veikiant reaktoriams, pavyzdžiui gaminant elektros energiją, susidaro kietos, skystos ir dujinės atliekos. Veikiančiame tipišrame reaktoriuje per metus susidaro 25–30 t panaudoto branduolinio kuro ir 200–300 t mažo ir vidutinio aktyvumo atliekų. 99% susidariusių radioaktyviųjų atliekų aktyvumo lieka panaudotame kure.

Apie 4% panaudoto kuro masės sudaro branduolinės reakcijos produktai (dalijantis <sup>235</sup>U branduoliams susidarę nuklidai). Panaudotas branduolinis kuras gali būti perdirbamas – uranas ir plutonis atskiriami nuo kitų elementų ir pakartotinai naudojamas branduoliniam kurui gaminti. Perdirbant panaudotą kurą susidaro daug įvairaus aktyvumo, taip pat ir didelio, skystų ir kietų atliekų.

Labai įvairių atliekų susidaro išmontuojant branduolinius reaktorius – reaktorių medžiaga, vamzdiniai ir turbinos, pastatai bei kita įranga būna užteršti radionuklidais. Juos išmontuojant susidaro kietos ir skystos atliekos. Atliekų kiekiai labai priklauso nuo reaktoriaus tipo.

Radioaktyviųjų atliekų yra ne tik branduolinėje energetikoje. Medicinoje naudojami žymėtieji atomai (diagnozuoti susirgimus) ir itin didelio aktyvumo uždarieji jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai (vėžiniams susirgimams gydyti). Pramonėje šaltiniai dažnai naudojami defektoskopuose, dūmų jutikliuose ir kituose įrengimuose. Radioaktyviosios medžiagos naudojamos moksliniuose tyrimuose. Panaudoti jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai ir radioaktyviosios medžiagos virsta atliekomis. Išgaunant ir transportuojant naftą, joje ištirpę ilgaamžiai gamtiniai radionuklidai kaupiasi ant vamzdžių sienelių. Todėl šiuos vamzdžius tenka tvarkyti kaip radioaktyvias atliekas.

## Atliekų klasifikavimas

Ne visos atliekos yra vienodai pavojingos. Atliekų skleidžiamos jonizuojančiosios spinduliuotės intensyvumą lemia atliekose esančių radionuklidų rūšis ir kiekis (aktyvumas). Vienas atliekas galima tvarkyti laikantis labai paprastų apsaugos priemonių, o norint apsisaugoti nuo kitų poveikio, būtina naudoti betono ar švino barjerus. Atliekų pavojingumo laikas irgi – nevienodas. Priklausomai nuo atliekose esančių radionuklidų ilgaamžiškumo (pusėjimo trukmės), vienos atliekos bus pavojingos tūkstančius metų, kitos tampa nepavojingos per kelias dienas ar metus.

Atliekos klasifikuojamos pagal jų pavojingumą. Tai leidžia lengviau pasirinkti ne tik tinkamus atliekų apdorojimo būdus ir priemones, bet ir dėjimo į atliekyną būdą. Nors ir nėra vieningos atliekų klasifikavimo sistemos (įvairiose šalyse klasifikavimas šiek tiek skiriasi), tačiau dažniausiai išskiriamos šios atliekų kategorijos:

- nebecontroliuojamos (švarios) atliekos;
- labai mažai radioaktyvios atliekos;
- mažai radioaktyvios atliekos;
- vidutiniškai radioaktyvios atliekos;
- labai radioaktyvios atliekos.

„Švarios“ atliekos yra tokios, kuriose esančių radionuklidų aktyvumas yra nereikšmingas ir jos nekelia pavojaus žmonėms ir aplinkai. Tokios atliekos paprastai tvarkomos ir šalinamos ar pakartotinai panaudojamos, kaip ir kitos neradioaktyvios atliekos.

Labai mažai radioaktyvios atliekos taip pat nekelia didelio pavojaus, tačiau jas tvarkant reikia laikytis radiacinės saugos reikalavimų. Šios atliekos paprastai dedamos į specialiai įrengtus kaupo ar tranšėjos tipo atliekynus. Daugiausiai labai mažai radioaktyviųjų atliekų susidaro išmontuojant branduolinius objektus. Tai – radionuklidų turinčios betono, metalo, plastiko atliekos.

Į mažai radioaktyviųjų atliekų kategoriją dažniausiai patenka užteršti radionuklidais apsauginiai drabužiai, popierius, mediena, filtrai, panaudoti prietaisai, metalo laužas, betonas. Šių atliekų skleidžiama spinduliuotė nedidelė, todėl jas galima apdoroti ir transportuoti be specialios apsaugos. Šios atliekos paprastai dedamos į žemės paviršiuje įrengtus atliekynus, turinčius daugiabarjerę saugos sistemą, garantuojančią, kad atliekose esantys radionuklidai suskils atliekynė nepasklisdami aplinkoje.

Branduolinių reaktorių komponentai, panaudotos jonų pakaitos der- vos, skystų atliekų koncentratai, pelenai dažniausiai priskiriami vi- dutiniškai radioaktyvių atliekų kategorijai. Jos tvarkomos ir dedamos į atliekynus panašiai, kaip ir mažai radioaktyvios atliekos. Tačiau jų skleidžiama spinduliuotė yra daug stipresnė, todėl būtinos patikimos apsaugos priemonės – ekranai ir distanciniu būdu valdoma įranga. Šios atliekos paprastai dedamos į tokius pat atliekynus, kaip ir mažai radioaktyvios atliekos.

Labai radioaktyviomis atliekomis laikomos tokios atliekos, kurias būtina ne tik ekranuoti, bet ir aušinti (šiluma išsiskiria vykstant bran- duolių virsmams – radioaktyviajam skilimui). Jos susidaro perdirbant panaudotą branduolinį kurą. Jeigu kuro neketinama perdirbti (išskir- ti uraną ir plutoną, kurį būtų galima dar kartą panaudoti), tai jis irgi priskiriamas labai radioaktyvioms atliekoms. Šios kategorijos atliekų negalima dėti į atliekynus žemės paviršiuje ar arti jo. Joms – būtini giluminiai keletu šimtų metrų gylyje įrengti atliekynai. Nors veikiant branduoliniams reaktoriams tokių atliekų susidaro labai mažai, tačiau jose susikoncentruoja didžioji dalis (apie 95%) radionuklidų – bran- duolinės reakcijos produktų.

## Atliekų kiekio mažinimas

Paprasciausias būdas sumažinti radioaktyviųjų atliekų poveikį aplinkai ir jų tvarkymo bei dėjimo į atliekynus išlaidas (radioaktyviųjų atliekų tvarkymas ir dėjimas į atliekynus kainuoja labai brangiai) yra atliekų kiekio mažinimas, kuris apima organizacinius, technologinius ir ekonominius aspektus.

Atliekų kiekį daugiausiai lemia branduolinio reaktoriaus tipas, galia, projekto ypatumai, eksploatavimo trukmė, atliekų tvarkymo strate- gija. Pats efektyviausias būdas sumažinti atliekų kiekį yra tinkami sprendimai planuojant ir projektuojant naujus branduolinius įren- ginius. Tačiau ir vėlesnėse fazėse įmanoma, nors ir ne taip efekty- viai, sumažinti atliekų kiekį pertvarkius gamybos procesą. Jį galima sumažinti ir organizacinėmis priemonėmis: taikant pažangią atliekų tvarkymo politiką (ekonomines priemones, pvz., mokesčius), keliant darbuotojų kvalifikaciją. Taip pat iš anksto planuojant branduolinės energetikos įrenginių eksploatavimo nutraukimo procesą.

Visos „gera praktika“ besivadovaujančios branduolinės energetikos įmonės yra įdiegusios efektyvias radioaktyviųjų atliekų mažinimo pro- gramas. Atliekų kiekio mažinimas paprastai yra vienas iš įmonių pri- oritetų. Įprasti praktiniai veiksmai, leidžiantys sumažinti branduolinių objektų eksploatavimo atliekų kiekį [1]:

- kontroliuojamų zonų dydžių ribojimas (mažinant);
- medžiagų pakartotinis naudojimas;
- atliekų rūšiavimas – kontroliuojamose zonose būtina atliekas kruopščiai skirstyti į radioaktyvias ir neradioaktyvias bei užti- krinti, kad jos nesusimaišytų;
- nuoseklus atliekų kiekio mažinimo filosofijos diegimas (atlie- kų kiekio mažinimo programos parengimas, modernių tech- nologijų diegimas, reguliarūs darbuotojų mokymai, informa- cijos apie atliekų tvarkymo pasiekimus skleidimas).

Itin efektyvus būdas sumažinti atliekų kiekį yra pakartotinis naudoji- mas, pavyzdžiui, rekomenduojama tokia įranga ir medžiagos, kurias galima naudoti kelis kartus, vietoje vienkartinį apsauginių drabužių – daugkartinius, valomus arba skalbiamus. Radionuklidais užterštoje zonoje nereikėtų naudoti medienos, o ją pakeisti metalu ar plastikais, kuriuos nesunku dezaktyvuoti. Galima pakartotinai naudoti metalo atliekas, dezaktyvavimo skysčius, skalbyklos vandenį.

## Atliekų apdorojimo būdai

### Atliekų sukietinimas

Sukietinimas – dujinio ar skysto pavidalo radioaktyviųjų atliekų pavertimas kietomis, siekiant sukurti fiziškai stabilią, nedispersišką medžiagą, kurią būtų patogiau transportuoti ir saugoti. Tipiški skystų atliekų sukietinimo būdai yra nusodinimas, išgarinimas, bitumenizavimas, cementavimas, įstiklinimas [2].

### Garinimas

Garinimas – radioaktyviųjų atliekų tirpalo koncentravimas kaitinant. Tai vienas tradicinių skystų atliekų apdorojimo būdų. Atliekų garinimo įrenginiuose susidarantis švarus kondensatas yra paprasčiausiai išleidžiamas į aplinką, o garinimo likučiai arba koncentratas – sukietinami (pavyzdžiui, cemento terpėje). Šis metodas gali būti taikomas daugumai (išskyrus lakius) radionuklidų koncentruoti. Svarbiausias šio metodo trūkumas yra didelės energijos sąnaudos ir didelė eksploataavimo kaina.

### Nusodinimas

Cheminis nusodinimas – skystų atliekų apdorojimo būdas, kai chemiais priedais skatinamas ištirpusių radioaktyviųjų medžiagų nuosėdų susiformavimas. Nuosėdos atskiriamos nuo skysčio centrifuguojant, filtruojant ar kitais būdais.

### Jonų pakaita

Dažniausiai šis terminas naudojamas skysčių išvalymo, priemaišų atskyrimo, dezaktyvavimo (taikant mineralines ar polimerines jonitines medžiagas) procesams apibūdinti. Daugelis gamtinių medžiagų (pavyzdžiui, įvairūs molio mineralai, ceolitas, humusinga žemė) pasižymi jonų pakaitos savybe [3]. Gamtinis ceolitas buvo pirmoji medžiaga, panaudota jonų pakaitai. Tačiau gamtinės medžiagos nepasižymi dideliu efektyvumu, todėl dažnai jos pakeičiamos sintetinėmis. Įprastinės jonitinės medžiagos yra jonų pakaitos dervos.

Jonų pakaitos derva yra netirpi terpė (paprastai 1-2 mm skersmens grūdėliai), organinis polimeras. Medžiaga turi poringą paviršių, kuris gali lengvai „sugauti“ ar išlaisvinti jonus. Vienu jonų sorbcija vyksta išlaisvinant kitus. Taigi vyksta jonų pakaita. Jonų pakaita – dažniausiai grįžtamasis procesas.

Jonitinės medžiagos būna arba katijoninės (pakeičiami teigiamą elektrinį krūvį turintys metalų jonai) arba anijoninės (pakeičiami neigiamą krūvį turintys anijonai). Tam, kad vienu metu vyktų ir katijonų, ir anijonų pakaita, naudojami skirtingų tipų jonitinių medžiagų mišiniai arba skystis prateka pro keletą skirtingų jonitinių medžiagų.

Jonų pakaitos metodas labai dažnai taikomas skystoms radioaktyviosioms atliekoms apdoroti [3]. Juo naudojasi ir Ignalinos atominė elektrinė. Apdorojus skystas atliekas, gaunamas švarus vanduo, o radionuklidai susikoncentruoja dervoje. Jonų pakaitos metodu apdorojamose skystose atliekose negali būti skendinčių kietų dalelių ir ištirpusių druskų, o ištirpę radionuklidai turi būti tinkamos apdoroti cheminės formos. Kietos dalelės turi būti iš anksto pašalintos filtruojant.

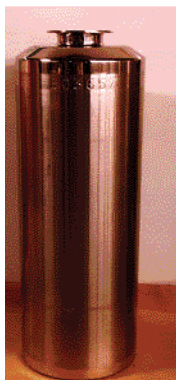
### Filtravimas

Filtravimas – atliekų apdorojimas, kurio metu naudojant įvairius filtrus (filtravimo popierius, audinį, stiklo ar polimerinį pluoštą) kietos dalelės atskiriamos nuo skysčio ar dujų.

Pastaraisiais dešimtmečiais buvo ištirtos medžiagos, galinčios iš skystos terpės pašalinti tam tikrų cheminių elementų jonus. Labiausiai išstobulintos filtruojančios medžiagos, skirtos Cs ir Co jonams pašalinti. Įrenginys gali susidėti iš siurblio, mechaninio priminio filtro ir selektyvaus jonų pakaitos filtro. Vandeniui cirkuliuojant šiame įrenginyje, radionuklidai susikaupia jonų pakaitos filtre. Toks įrenginys gali pakeisti didelį kiekį jonitinių dervų. Šis principas yra sėkmingai naudojamas mažiems Cs radionuklidų tūriniam aktyvumams vandenyje matuoti. Tai yra daug efektyvesnis radionuklidų koncentravimo būdas už įprastinį jonų pakaitos metodą, todėl juo pavyksta pasiekti labai didelius savituosius aktyvumus.

### Tepalų filtravimas ir nusodinimas

Tepaluose esančios radioaktyviosios medžiagos dažniausiai yra kietų dalelių pavidalo. Todėl taikant filtravimo ar nusodinimo įrenginius ir centrifugas šios dalelės gali būti atskiriamos, o išvalyti tepalai pakartotinai naudojami. Susidariusios antrinės atliekos yra toliau apdorojamos, pavyzdžiui, sudeginamos.



1 pav. Konteineriai su įstiklintomis labai radioaktyviomis atliekomis

### Įstiklinimas

Šiuo metu tai vienintelis metodas, taikomas didelio aktyvumo skystoms atliekoms sukietinti. Labai aktyvias atliekas būtina imobilizuoti taip, kad kietos būsenos jos išliktų stabilios daugelį tūkstantmečių. Borisilikatinis stiklas buvo pasirinktas kaip terpė. Didžioji dalis labai aktyvių skystų atliekų susidaro perdirbant panaudotą kurą ir būna skysto pavidalo. Jos pirmiausiai išgarinamos ir sausa liekana sumaišoma su išlydyto stiklo mase. Susidaręs mišinys supilamas į nerūdijančio plieno konteinerius (1 pav.). Masei atvėsus, konteineriai užvirinami. Taip apdorotas atliekas galima saugoti ir dėti į atliekyną. Metodas naudojamas visur, kur yra perdirbamas panaudotas kuras – Prancūzijoje, Japonijoje, Rusijoje, Didžiojoje Britanijoje, JAV.

### Atliekų cementavimas

Iš visų skystų atliekų koncentratų sukietinimo būdų (cementavimo, bitumenizavimo, išgarinimo) šiandien pirmenybė teikiama cementavimui. Tai paprastas, patikimas ir nebrangus metodas, plačiai taikomas pavojingoms ir toksinėms atliekoms apdoroti. Sukaupta didelė šio metodo taikymo patirtis (tai – seniausias atliekų sukietinimo būdas). Naudojant specialiai parinktus cemento mišinius, radioaktyvias medžiagas galima imobilizuoti (2 pav.). Metodas tinka tiek kietoms atliekoms, tiek įvairių formų nuosėdoms ar skystų atliekų koncentratams apdoroti. Paprastai kietos atliekos patalpinamos į konteinerį ir užliejamos paruoštu cemento skiediniu. Kiek kitaip cementuojamos tyrės pavidalo atliekos: jos gali būti maišomos su cementu bei kitais priedais konteineryje (standartinėje statinėje) arba specialiai įrengtoje maišyklėje ir gautas reikiamos konsistencijos mišinys išpilamas į konteinerius ar statines. Pakuotes su monolitiniiais atliekų blokais



2 pav. Cementuotos radioaktyviosios atliekos

tinka saugoti, transportuoti ir dėti į atliekynus. Šis metodas įdiegtas Ignalinos atominėje elektrinėje.

Cementuojant dažnai naudojami specialūs centai (sulfatams atsparus cementas, šlako cementas) arba cemento priedai. Pavyzdžiui, ceolito, vermikulito, molio (bentonito) priemaišos gerina kai kurių katjoninės būsenos radionuklidų sulaikymą, tam tikros organinės medžiagos – betono mišinio takumą ir sukietėjusios medžiagos atsparumą vandeniui, formaldehidas stabdo organinių atliekų puvimą.

Cementavimas turi daug privalumų. Tai ekonomišką sprendimą įvairių rūšių atliekoms sukietinti. Beveik visų rūšių atliekos gali būti arba sumaišytos su cemento mišiniu, arba užlietos skiediniu. Suceментuotos atliekos yra atsparios aplinkos sąlygoms ir labai gerai sulaiko kai kuriuos radionuklidus. Cemento mišiniams yra būdingos pH vertės, o tokios sąlygos užtikrina labai mažą daugumos radionuklidų tirpumą ir mobilumą, stabdo mikrobiologinius procesus. Cementavimo procesas paprastas, vyksta įprastinėje temperatūroje, o technologija gerai patikrinta. Jo produktas yra nedegus ir termiškai, chemiškai bei biochemiškai stabilus.

Didžiausias trūkumas – cementavimo mišinyje atliekos gali sudaryti nedidelę mišinio dalį, todėl labai padidėja atliekų tūris, o dėl to ir atliekų tolimesnio saugojimo bei dėjimo į atliekyną kaina. Be to, sucementuotos organinės jonų pakaitos dervos esant tam tikroms sąlygoms gali išbrinkti ir pažeisti atliekų terpės vientisumą. Metodas nelabai tinka sukietinti organines atliekas ir atliekas, kuriose didelė druskų koncentracija. Didėjant druskų koncentracijai atliekose, mažėja cementavimo produkto tvirtumas.

Cementavimo produktai nėra atsparūs vandens poveikiui, todėl šiuo būdu apdorotas atliekas būtina apsaugoti nuo drėgmės.



## Bitumenizavimas

Atliekų maišymas su išlydytu bitumu (kaip ir cementavimas), yra dažnai naudojamas radionuklidų imobilizavimo būdas. Skystų atliekų koncentratų sukietinimas maišant su išlydytu bitumu yra vienas tradicinių metodų. Bitumenizuota masė yra vandenyje labai mažai tirpi ir labai mažai pralaidi, todėl gerai sulaiko radionuklidus. Tačiau kyla abejonių dėl bitumo terpės stabilumo. Kitas pavojus – bitumo degumas. Ypač pavojinga bitumo terpė, turinti didelę druskų koncentraciją.

## Polimerizavimas

Įvairūs polimerai (polietilenas, poliesteris, poliuretanai, epoksidinės dervos ir pan.) yra naudojami sukietinti garinimo koncentratams, panaudotoms jonų pakaitos dervoms, nuosėdams ir pelenuose. Tinka tirpioms druskoms ar organinėms medžiagoms apdoroti. Šio metodo trūkumas yra tas, kad polimerizuotoje masėje būna nedidelė atliekų dalis. Kaip ir bitumenizuojant, tenka rūpintis priešgaisrine sauga.

Iš visų polimerizavimo būdų dažniausiai taikomi poliesteris ir epoksidinės dervos. Abiem atvejais procesas vyksta normalioje temperatūroje, naudojama palyginti paprasta įranga. Taip atliekos apdorojamos Japonijoje, Prancūzijoje, Indijoje, Šveicarijoje, Vokietijoje.

## Deginimas

Didelė dalis branduolinėse elektrinėse susidarantių radioaktyviųjų atliekų yra degios. Daugelyje šalių (JAV, Belgijoje, Švedijoje, Japonijoje, Vokietijoje, Didžiojoje Britanijoje) šios atliekos yra deginamos (paprastai, 700-1000°C temperatūroje). Iš visų tūrio mažinimo technologijų deginimas yra pats efektyviausias [2]. Radioaktyviosios atliekos deginamos įrenginiuose, labai panašiuose į buitinių ir pramoninių atliekų deginimo įrenginius. Deginimo metodas gali būti taikomas tiek kietų (popierius, drabužiai, plastikai, guma, filtrai), tiek skystų atliekų (jonitinių dervų, tepalų) tūriams sumažinti. Deginant atliekų tūris sumažėja nuo 7 iki 100 kartų, priklausomai nuo atliekų sudėties ir priemaišų kiekio. Be pelenu susidaro ir kitų antrinių radioaktyviųjų atliekų, visų pirma užterštų oro filtrų, o tai mažina deginimo efektyvumą.

Deginant atliekas, į atmosferą išmetami riboti kiekiai CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ir lakūs radionuklidai (tritis, anglis, jodas, chloras). Atliekos, turinčios chloro (PVC plastmasės), paprastai nedinginamos, kad nebūtų į atmosferą išmetamos pavojingos cheminės medžiagos.

## Deginimas aukštoje temperatūroje

Tai yra patobulinta atliekų deginimo technologija, taikoma Japonijoje. Deginimo įrenginys turi galingą kaitinimo šaltinį, todėl pasiekiami 1500°C temperatūra (paprastai atliekos deginamos 700-1000°C temperatūroje) ir išsilydo atliekose esančios nedegios priemaišos (pavyzdžiui metalai). Metodą galima taikyti įvairių atliekų mišiniui apdoroti. Šiuo būdu degių atliekų tūrį pavyksta sumažinti 100 kartų. Deginamų metalų, oro filtrų, šilumą izoliuojančių medžiagų tūris sumažinamas nuo 3 iki 5 kartų. Vienas šio metodo trūkumų yra tai, kad būtina sudėtinga ir patikima išleidžiamo oro valymo sistema.

## Pelenu tvarkymas

Deginant atliekas radionuklidai koncentruojasi pelenuose. Pelenuose itin gausu radionuklidų, būtina izoliuoti ypatingai patikimai. Tam gali būti naudojamos įvairios terpės: cementas, keramika, stiklas, epoksidinės dervos, polimerinės matricos.

Taikant pelenu cementavimo technologiją, ypatingas dėmesys turi būti kreipiamas į tai, kad deginamose atliekose nebūtų aliuminio, nes šarminėje aplinkoje vyksta intensyvi reakcija, kurios metu išsiskiria vandenilio dujų. Jeigu susidaranti dujos nesuspėtų pasišalinti, padidėjus slėgiui pakuotės viduje, ji ar sucementuotos atliekos gali suskilti.

## Plastmasių lydymas

Polietileno, poliuretano ir kitų plastikų atliekos išlydomos 170-180°C temperatūroje standartinėse statinėse. Atliekų tūris sumažėja apie 20 kartų. Procesas efektyvus ir paprastas – vyksta palyginti neaukštoje temperatūroje. Tačiau labai svarbu, kad atliekos būtų gerai išrūšiuotos, kad į lydymo įrenginį nepakliūtų PVC (polivinilchloridas) atliekų, nes jas kaitinant išsiskiria kenksmingos dujos.

## Metalu lydymas

Perlydant metalo laužą, sumažėja užimamas tūris ir susidaro vientisi metalo blokai, kuriuos patogiau saugoti ir dėti į atliekynus. Tūris sumažėja nuo 5 iki 20 kartų. Prieš lydant, metalo laužas turi būti gerai išrūšiuotas; skirtingi metalai turi būti lydomi atskirai.

Egzistuoja keletas metalo lydymo variantų: indukcinis, plazmos lanko ir kiti. Procesu metu didžioji dalis lakių radionuklidų išgaruoja. Kita da-



3 pav. Atliekų presavimas didelės jėgos presu

lis radionuklidų koncentruojasi šlako sluoksnyje. Taigi metalo liejinio aktyvumas būna mažesnis už pradinį metalo laužo aktyvumą – metalas dalinai dezaktyvuojamas. Lydymo privalumai: žymus atliekų tūrio sumažinimas, galimybė pakartotinai naudoti metalo atliekas. Tačiau šis metodas turi ir trūkumų: lydymo įrenginys privalo turėti efektyvią išmetamų dujų valymo sistemą, proceso metu susidaro antrinių radioaktyviųjų atliekų (šlako ir filtrų), sunaudojama daug energijos.

#### Plazminis lydymas

Plazminis lydymas yra labai efektyvus metodas įvairioms atliekoms apdoroti. Plazminėje krosnyje pasiekama 5000°C temperatūra. Be-sisukančioje plazminėje krosnyje išlydytos atliekos išpilamos tiesiai į dėjimo į atliekyną konteinerius. Galima apdoroti labai įvairias atliekas: metalus, betoną, oro filtrus, asbestą, plastikus, jonitines dervas. Atliekų tūris sumažinamas 3-6 kartus. Tai labai brangus metodas, taikomas Japonijoje, Rusijoje, Šveicarijoje, JAV.

#### Presavimas

Tai paprastas, patikimas ir laiko patikrintas atliekų tūrio mažinimo būdas, kuris dažnai taikomas apdoroti įvairių rūšių kietas atliekas. Nedidelės jėgos (apie 5 tonų) atliekų presavimo įrenginių pagrindas yra hidraulinis ar pneumatinis presas, suslegiantis atliekas tinkamos formos konteineryje arba statinėje. Priklausomai nuo atliekų prigimties, atliekų tūrį paprastai pavyksta sumažinti nuo 3 iki 10 kartų.

Nedidelės jėgos presas dažnai naudojamas įvairioms šiukšlėms presuoti, siekiant palengvinti jų transportavimą, saugojimą ar tolimesnį apdorojimą. Dažnai taip apdorotos atliekos dar kartą presuojamos didelės jėgos presu.

#### Presavimas didelės jėgos presu

Taikant didelės jėgos (virš 500 tonų) presus, atliekos presuojamos patalpintos metalo statinėse (3 pav.). Metodas taikomas visų rūšių kietoms atliekoms. Tūris sumažinamas nuo 4 iki 10 kartų. Jeigu prieš naudojant tokį „superpresą“ atliekos suspaudžiamos nedidelės jėgos presu, tai tūris sumažėja apie 2 kartus.

#### Biostabilizavimas

Augalai pasižymi savybe selektyviai pasisavinti medžiagas iš dirvos. Pasinaudojus šia augalų savybe, galima sumažinti grunto užterštumą radioaktyviomis medžiagomis [2]. Kadangi radionuklidai kaupiasi augaluose, šių derlius reguliariai nuimamas ir apdorojamas (pavyzdžiui, deginimo įrenginyje). Augalai ne tik pasisavina radionuklidus, bet ir sutvirtina gruntą, tokiu būdu sumažina erozijos, o tuo pačiu ir žmonių apšvitos, riziką.

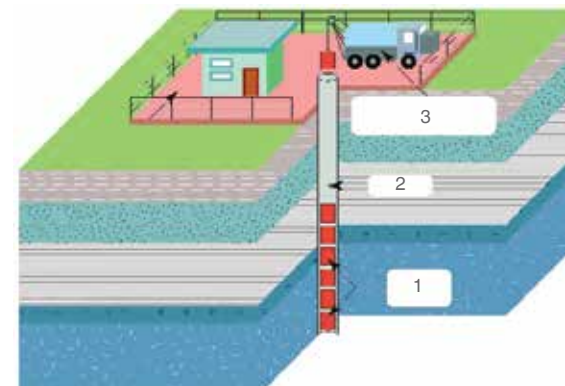
## Atliekų dėjimo į atliekynus būdai

Tik maža dalis atliekų ar panaudotų šaltinių, kuriuose yra nedaug radionuklidų, gali būti šalinami įprastiniuose pramoninių ar buitinių atliekų sąvartynuose nesukeliant pavojaus. Kitos, labiau pavojingos atliekos dedamos į specialiai įrengtus įrenginius – atliekynus tik įsitikinus jų saugumu [2]. Nuo atliekų pavojingumo priklauso, kokiame gylyje bus įrengtas atliekynas ir jame sudėtos atliekos.

Paprasčiausias duobės žemėje ar tranšėjos buvo daugelį dešimtmečių naudotos trumpaamžėms mažai aktyvioms atliekoms dėti. Toks dėjimo į atliekyną būdas gali būti laikomas saugiu tik tada, jeigu visi atliekose esantys radionuklidai suskyla atliekyne per numatomą jo priežiūros laikotarpį (paprastai nuo 100 iki 300 metų).

Sudėtingesni atliekynai turi papildomus ilgaamžius gelžbetonio barjerus [5], kurie daug geriau apsaugo radioaktyvias atliekas, negu gamtinė aplinka. Juose galima saugiai dėti didesnio aktyvumo atliekas. Kokios grėsmės kyla, atliekas sudėjus tokiam įrenginyje? Pirmia: pavojus, kad į atliekas prasiskverbs vanduo ir atliekose esantys radionuklidai ištirps jame, o tada, kartu su vandens srautais, pasklis geosferoje ir biosferoje, užterš vandens šaltinius ir maisto produktus. Antra: pavojus, kad netoli žemės paviršiaus sudėtos atliekos bus pažeistos žemės erozijos. Ir trečia: pavojus, kad atliekas sąmoningai ar nesąmoningai pažeis žmogus. Atlikti vertinimai ir tyrimai rodo, kad pasirinkti techniniai sprendimai yra labai patikimi ir visiškai „susidoroja“ su pirmąją grėsme [5]. Šių atliekynų sauga užtikrinama pasyviomis priemonėmis. Mūsų klimato sąlygomis žemės paviršiaus erozija paprastai vyksta labai lėtai, todėl antroji grėsmė taip pat nereali. Didžiausią grėsmę keliame mes patys – labai sunku garantuoti, kad praėjus šimtmečiams kitos kartos (o gal ir kitos tautos), užmiršusios mūsų paliktas atliekas, nenuspręs toje vietoje statyti miestą ar gamyklą. Taigi net ir moderniai įrengtuose atliekynuose, esančiuose prie žemės paviršiaus, galima saugiai dėti tik riboto aktyvumo ir nedidelės pusėjimo trukmės atliekas.

Šachtos ir gręžiniai galai būti naudojami didesnio aktyvumo atliekoms sudėti, ypač jeigu atliekų tūris nedidelis. Vertinimai rodo, kad gręžiniams parinkus radionuklidų migravimui nepalankią geologinę terpę (pavyzdžiui, vandeniui nelaidų molį), juose galima saugiai dėti atliekas, netgi neįrengus papildomų inžinerinių barjerų [4]. Ypatingo dėmesio susilaukė mažo skersmens gręžinių pritaikymas panaudotiems šaltiniams dėti (4 pav.). Didelis šio sprendimo privalumas tas, kad tokio gręžinio pažeidimo tikimybė yra labai maža [6].



4 pav. Panaudotų uždarųjų šaltinių laidojimas gręžinyje.

1 – nerūdijančio plieno kapsulė su panaudotais šaltiniais, 2 – gręžinys, 3 – speciali transporto priemonė.

Panaudotas kuras yra pati pavojingiausia atliekų rūšis. Jis turėtų būti dedamas į keletą šimtų metrų gylyje įrengtą atliekyną. Didelio aktyvumo radioaktyviųjų atliekų dėjimas į atliekynus žemė gelmėse yra vienintelis aplinkosaugos požiūriu priimtinas sprendimas. Transmutacija gali tik papildyti atliekų dėjimą į atliekynus (sumažinti atliekų kiekį ir jų ilgaamžiškumą). Praeityje buvo nagrinėti ir kiti alternatyvūs būdai (pavyzdžiui, paleidimas į kosminę erdvę). Tačiau tai ir neekonomiška, ir nesaugu; prisiminkime liūdnas erdvėlaivių avarijas. Skandinti atliekas vandenyno gelmėse (kelių km gylyje) draudžia tarptautiniai susitarimai.

Šiuo metu pasaulyje tėra vienintelis giluminis atliekynas – Amerikoje ilgaamžės panaudoto kuro perdirbimo atliekos dedamos eksperimentiniame atliekyne, įrengtame akmens druskos kloduose. Panaudotas branduolinis kuras kol kas niekur nededamas į atliekynus. Tai didžiausia dar neišspręsta branduolinės energetikos problema. Trys šalys – JAV, Švedija ir Suomija – yra pasirengusios pradėti giluminių atliekynų įrengimo darbus. Suomija jau parinko vietą ir pradėjo kasiimo darbus.

Šiuo metu pasaulyje jaučiamas branduolinės energetikos „renesansas“ – vis daugiau šalių planuoja statyti naujas branduolines jėgaines. Natūralu, kad dėl to, o ypač dėl saugos ir efektyvumo siekio, daug dėmesio skiriama radioaktyviųjų atliekų tvarkymo technologijoms tobulinti. Todėl jau artimiausioje ateityje kai kurių technologijų gali būti atsisakyta – jas pakeis naujos, efektyvesnės ir saugesnės.

## Literatūra:

1. R. Burcl, M. Laraia and A. Bonne, Achieving more with less, Technical Guidance for Minimizing Radioactive Waste// IAEA Bulletin, Volume 40, No. 1, Vienna (1998) (<http://f40.iaea.org/worldatom/Periodicals/Bulletin/Bull401/article9.html>).
2. IAEA, Inovative waste treatment and conditioning technologies at nuclear power plants, TECDOC-1504, Vienna (2006).
3. IAEA, Application of Ion Exchange Processes for the Treatment of Radioactive Waste and Management of Spent Ion Exchangers, Technical Reports Series No. 408, Vienna (2002).
4. IAEA, Disposal options for disused radioactive sources, Technical Reports Series No.436, Vienna (2005).
5. RATA, Paviršinio radioaktyviųjų atliekų kapinyno įrengimo poveikio aplinkai vertinimo ataskaita, Vilnius (2007).
6. I.G. Crossland, Small diameter borhole disposal of disused sealed sources // Safety of Radioactive Waste Disposal, Proceedings, Tokyo, 3-7 October 2005, Vienna (2006).

*Paveikslėliai paimti iš Tarptautinės atominės energetikos agentūros, Pasaulinės branduolinės asociacijos internetinių svetainių ir RATA archyvo.*





**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](mailto:info@rata.lt)

[www.rata.lt](http://www.rata.lt)