

**UTENOS KOLEGIJOS
VERSLO IR TECHNOLOGIJŲ FAKULTETO
INŽINERIJOS IR TECHNOLOGIJŲ KATEDRA
APLINKOS APSAUGOS INŽINERIJOS STUDIJŲ PROGRAMA**

TVIRTINU

Dekanė

Dr. Vaida Bartkutė-
Norkūnienė

2022 -06-13

**IGNALINOS AE SKYSTŲJŲ RADIOAKTYVIŲJŲ ATLIEKŲ TVARKYMO PROCESO
OPTIMIZAVIMAS, PARENKANT ENERGIJĄ TAUPANČIUS VAKUUMINIUS
GARINTUVUS**

BAIGIAMASIS DARBAS

Recenzentas

Doc. dr.

Inga Jakštonienė

2022-06-09

Darbo autorius

AAI –18I gr. studentė

Tatjana Žolnerovič

2022-06-01

Darbo vadovė

Doc. dr. Ingrida
Pliopaitė Bataitienė

2022-06-06

UTENA, 2022

TURINYS

SANTRAUKA	3
SUMMARY	5
ĮVADAS	7
1. RADIOAKTYVIŲJŲ ATLIEKŲ TVARKYMAS BRANDUOLINĖS ENERGETIKOS OBJEKTUOSE	9
1.1. Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo etapai	11
1.2. Skystųjų radioaktyviųjų atliekų apdorojimas.....	15
1.3. Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo teisinis reglamentavimas	18
2. IGNALINOS ATOMINĖS ELEKTRINĖS VEIKLOS ANALIZĖ	21
2.1. Įmonės veiklos strategija.....	22
2.2. Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo sistema Ignalinos atominėje elektrinėje	23
2.3. Esamos skystųjų radioaktyviųjų atliekų apdorojimo technologijos analizė	29
3. ENERGIJĄ TAUSOJANČIŲ GARINIMO ĮRENGINIŲ PARINKIMAS.....	33
4. APLINKOSAUGINIAI - EKONOMINIAI SKAIČIAIVIMAI	39
4.1. Energiją tausojančių garinimo įrenginių įdiegimo įmonėje planuojamų rezultatų analizė..	39
4.2. Aplinkosauginiai skaičiaiavimai	41
IŠVADOS	44
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI	45
PRIEDAI	47
1. Vakuuminio garintuvo brėžinys.....	44
2. Technologinė schema.....	48
3. Gamtinių dujų kokybės parametrai	49
4. Dėl 2021 m. energetikos išteklių vidutinių kainų pažyma.....	50
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	
1 pav. Radioaktyviosios atliekos Lietuvos branduolinės energetikos objektuose	9
2 pav. Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo pagrindiniai etapai	14
3 pav. Skystųjų radioaktyviųjų atliekų garinimo metodu apdorojimo etapai	17
4 pav. Supaprastinta atliekų tvarkymo schema	25
5 pav. Prognozuojami radioaktyviųjų atliekų kiekiai	26
6 pav. SKRA garinimo procesas garinimo įrenginyje	31
7 pav. 1-o išgarinimo etapo vakuuminis garintuvas	36
8 pav. 2-o išgarinimo etapo vakuuminis garintuvas	37
LENTELIŲ SĄRAŠAS	
1 lentelė. Radioaktyviųjų atliekų klasės.....	11
2 lentelė. SKRA apdorojimo būdai	29
3 lentelė. Apdorojamų SKRA savybės.	34
4 lentelė. Įrenginiui keliami pagrindiniai techniniai reikalavimai.	34
5 lentelė. 1-o išgarinimo etapo įrenginio keliami parametrai.	37
6 lentelė. 2-o išgarinimo etapo įrenginio keliami parametrai.	38
7 lentelė. Elektros suvartojimas pagal ETVG ir vidutinis	40
8 lentelė. Įrangos pagrindinių parametrų palyginimo lentelė	42

Tatjana Žolnerovič. Ignalinos AE skystųjų radioaktyviųjų atliekų tvarkymo proceso optimizavimas, parenkant energiją taupančius vakuuminius garintuvus. Aplinkos apsaugos inžinerijos studijų programos studentės baigiamasis darbas. Vadovė: doc. dr. Ingrida Pliopaitė Bataitienė, Utenos kolegija, Verslo ir technologijų fakulteto, Inžinerijos ir technologijų katedra. Utena, 2022.

SANTRAUKA

Darbo aktualumas. Lietuvoje didžioji dalis radioaktyviųjų atliekų ir panaudoto branduolinio kuro susidarė Ignalinos atominėje elektrinėje. Nedidelis kiekis radioaktyviųjų atliekų – iki 1 proc. – susidaro pramonės įmonėse, sveikatos priežiūros, mokslo ir mokymo įstaigose.

Šiuo metu abu Ignalinos atominės elektrinės RBMK-1500 reaktoriai sustabdyti ir ruošiamasi pradėti jų išmontavimą. Dalis radioaktyviųjų atliekų Ignalinos atominėje elektrinėje susidarė ją eksploatuojant, kita dalis radioaktyviųjų atliekų vis dar susidaro įgyvendinant jos eksploatavimo nutraukimą. Radioaktyviųjų atliekų tvarkymas įmonėje turi būti vykdomas saugiai, skaidriai ir efektyviai, vystant ir diegiant šiuolaikines technologijas, mažinančias radioaktyviųjų atliekų kiekius ar jų aktyvumus.

Darbo problema. Šiuo metu Ignalinos atominėje elektrinėje skystosios radioaktyviosios atliekos tvarkomos perdirbimo komplekso garintuvais. Jie veikia jau daugiau nei 35 metus. Garintuvų aušinimui naudojamas techninis vanduo, paimtas iš Drūkšių ežero, garui gaminti reikia ir dujų bei garintuvų darbui didelių elektros energijos išteklių.

Atsižvelgiant į tai, kad ateityje, skystųjų radioaktyviųjų atliekų kiekis sumažėja nuo 30 000 m³ iki 10 000 m³ per metus, esami įrenginiai tampa neefektyvūs, naudoja per daug gamtos išteklių (dujos, vanduo), o tai yra sąlygoja aplinkos taršą.

Darbo objektas. Energiją taupantys vakuuminiai garintuvai Ignalinos AE.

Darbo tikslas. Parinkti energiją taupančius vakuuminius garintuvus, skirtus skystosioms radioaktyviosioms atliekoms tvarkyti.

Darbo uždaviniai.

1. Išanalizuoti radioaktyviųjų atliekų tvarkymą.
2. Išanalizuoti susidarančių skystųjų radioaktyviųjų atliekų tvarkymą IAE.
3. Parinkti energiją taupančius vakuuminius garintuvus.
4. Apskaičiuoti ekonominę ir aplinkosauginę naudą.

Pirmojoje baigiamojo darbo dalyje apžvelgiami radioaktyviųjų atliekų tvarkymo etapai bei skystųjų radioaktyviųjų atliekų apdorojimo ypatumai. Antroje dalyje analizuojama įmonės veiklos strategija, Ignalinos atominės elektrinės radioaktyviųjų atliekų tvarkymo sistema bei pateikta esamos skystųjų radioaktyviųjų atliekų apdorojimo technologijos analizė. Trečiojoje dalyje

parenkami energiją tausojantys garinimo įrenginiai. Ketvirtojoje dalyje pateikta energiją tausojančių garinimo įrenginių įdiegimo įmonėje planuojamų rezultatų analizė ir atliekami aplinkosauginiai-ekonominiai skaičiavimai.

Raktiniai žodžiai: atliekos, garintuvas, skystosios radioaktyviosios atliekos, vakuuminis garintuvas, dujos, techninis vanduo, atliekų tvarkymas, apdorojimas, išgarinimo likutis.

Tatjana Žolnerovič. Optimisation of the Ignalina Nuclear Power Plant Liquid Radioactive Waste Management Process by Selecting Energy Efficient Vacuum Evaporators. Advisor: assoc. doc. dr. Ingrida Pliopaitė Bataitienė, Utena University of Applied Sciences, Faculty of Business and Technologies, Department of Engineering and Technology. Utena, 2022.

SUMMARY

Relevance of the work. In Lithuania, most of the radioactive waste and spent nuclear fuel was generated at the Ignalina Nuclear Power Plant. A small amount of radioactive waste - up to 1 percent - is generated in industrial enterprises, health care, science and educational institutions.

At present, both RBMK-1500 reactors of INPP have been shut down and preparations for their dismantling are underway. Part of the radioactive waste was generated at the INPP during its operation, the other part of the radioactive waste is still generated during its decommissioning. Management of radioactive waste at the enterprise should be carried out safely, transparently and efficiently, with the development and implementation of modern technologies that reduce the amount of radioactive waste or its activities.

Work problem. At present, liquid radioactive waste is treated at the Ignalina Nuclear Power Plant through the evaporators of the Waste Treatment Facility. They have been in business for over 35 years. Technical water taken from Lake Drukshiai is used to cool the evaporators, gas and evaporators require large electricity resources to produce steam.

Given that in the future, the amount of liquid radioactive waste will decrease from 30,000 m³ to 10,000 m³ per year, the existing facilities will become inefficient, use too much natural resources (gas, water), which will lead to environmental pollution.

Work object. Energy saving vacuum evaporators at Ignalina NPP.

Work objective. Choose energy-saving vacuum evaporators for liquid radioactive waste management.

Work tasks.

1. To analyze the management of radioactive waste.
2. To analyze the management of generated liquid radioactive waste at INPP.
3. Choose energy-saving vacuum evaporators.
4. Calculate economic and environmental benefits.

The first part of the final work reviews the stages of radioactive waste management and the peculiarities of liquid radioactive waste treatment. The second part analyzes the enterprise business strategy, radioactive waste management system at the Ignalina Nuclear Power Plant and provides an analysis of the existing liquid radioactive waste treatment technology. In the third part,

energy-saving evaporators are selected. The fourth part presents the analysis of the planned results of the installation of energy-efficient evaporation equipment at the enterprise and performs environmental-economic calculations.

Keywords: waste, evaporator, liquid radioactive waste, vacuum evaporator, gas, technical water, waste management, treatment, evaporation residue.

IVADAS

Jonizuojančioji spinduliuotė ir radioaktyviosios medžiagos natūraliai yra aplinkoje, tačiau jos taip pat gali būti žmogaus veiklos rezultatas. Dėl šios veiklos susidaro įvairios dujinės, skystos ir kietos atliekos. Radioaktyviosiose atliekose esantys atomai yra nestabilūs ir virsdami stabiliais, jie savaime išspinduliuoja jonizuojančiąją spinduliuotę, kuri gali turėti žalingą poveikį. Bendra visų radioaktyviųjų atliekų savybė yra galimas pavojus žmonėms ir aplinkai.

Darbo aktualumas. Lietuvoje didžioji dalis radioaktyviųjų atliekų ir panaudoto branduolinio kuro susidarė Ignalinos atominėje elektrinėje (IAE). Nedidelis kiekis radioaktyviųjų atliekų – iki 1 proc. – susidaro pramonės įmonėse, sveikatos priežiūros, mokslo ir mokymo įstaigose.

Šiuo metu abu Ignalinos atominės elektrinės RBMK-1500 reaktoriai sustabdyti ir ruošiamasi pradėti jų išmontavimą. Dalis radioaktyviųjų atliekų Ignalinos atominėje elektrinėje susidarė ją eksploatuojant, kita dalis radioaktyviųjų atliekų vis dar susidaro įgyvendinant jos eksploatavimo nutraukimą. Radioaktyviųjų atliekų tvarkymas įmonėje turi būti vykdomas saugiai, skaidriai ir efektyviai, vystant ir diegiant šiuolaikines technologijas, mažinančias radioaktyviųjų atliekų kiekius ar jų aktyvumus.

Darbo problema. Šiuo metu Ignalinos atominėje elektrinėje skystosios radioaktyviosios atliekos tvarkomos perdirbimo komplekso garintuvais. Jie veikia jau daugiau nei 35 metus.

Garintuvų aušinimui naudojamas techninis vanduo, paimtas iš Drūkšių ežero, apie 500 m³/h, garui gaminti reikia ir dujų bei garintuvų darbui didelių elektros energijos išteklių.

Atsižvelgiant į tai, kad ateityje, nuo 2025 m., skystųjų radioaktyviųjų kiekis sumažėja nuo 30 000 m³ iki 20 000 m³ per metus, o po 2030 m. – iki 10 000 m³ per metus, esami įrenginiai tampa neefektyvūs, naudoja per daug gamtos išteklių, o tai ir lemia aplinkos taršą.

Darbo objektas. Energiją taupantys vakuuminiai garintuvai Ignalinos AE.

Darbo tikslas. Parinkti energiją taupančius vakuuminius garintuvus, skirtus skystosioms radioaktyviosioms atliekoms tvarkyti.

Darbo uždaviniai.

1. Išanalizuoti radioaktyviųjų atliekų tvarkymą.
2. Išanalizuoti susidarančių skystųjų radioaktyviųjų atliekų tvarkymą IAE.
3. Parinkti energiją taupančius vakuuminius garintuvus.
4. Apskaičiuoti ekonominę ir aplinkosauginę naudą.

Darbo struktūra. Bakalauro baigiamąjį darbą sudaro įvadas, keturi skyriai, išvados, literatūros sąrašas, santraukos lietuvių ir anglų kalbomis. Darbo apimtis 50 puslapių, pateiktos 8 lentelės, 8 paveikslėliai, 4 priedai, panaudotos literatūros sąrašą sudaro 24 mokslinės publikacijos.

Šiame baigiamajame darbe pasiekti šie studijų rezultatai:

- žino švarios gamybos principus ir pagrindines prevencijos priemones bei jų taikymą praktinėje veikloje;
 - turi teisinių ir ekonominių žinių pagrindus, aktualius aplinkos apsaugai;
 - geba rasti aplinkos inžinerijos veiklai aktualius teisinius, techninius ir mokslinius informacijos šaltinius viešose ir specializuotose duomenų bazėse;
 - geba vertinti aplinkos apsaugos aspektus ūkinėje veikloje;
- geba planuoti organizacines ir technologines aplinkosaugines priemones, projektus vykdant ūkinę veiklą;
- geba spręsti aplinkosaugines problemas parenkant technologijas, leidžiančias mažinti oro, nuotekų, dirvožemio taršą bei atliekų tvarkymą;
 - moka bendrauti su specialistais ir kitais inžinerinės bendruomenės atstovais;
 - geba palaikyti savo profesinę kompetenciją mokydamasis visą gyvenimą;
 - geba kūrybiškai ir kritiškai mąstyti sprendžiant aplinkosauginius uždavinius;
 - geba spręsti inžinerinius uždavinius pavieniui ir komandoje;
 - geba suvokti moralinę atsakomybę už savo veiklos ir jos rezultatų poveikį visuomeninei, ekonominei, kultūrinei raidai, gerovei ir aplinkai.

1. RADIOAKTYVIŲJŲ ALIEKŲ TVARKYMAS BRANDUOLINĖS ENERGETIKOS OBJEKTUOSE

Pasaulio gyventojai didžiąją dalį apšvitos patiria iš natūralių jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinių. Tai gamtoje esantys radionuklidai, randami žemėje, statybinėse medžiagose, ore, maiste ir vandenyje, taip pat kosminiuose spinduliuose. Apie 70 % vidutinės metinės Lietuvos gyventojų dozės susidaro dėl apšvitos iš natūralių šaltinių.

Dirbtinės kilmės jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai susiję su branduolinėmis technologijomis, naudojamomis medicinoje, pramonėje ir energetikoje. Individualios apšvitos dozės, kurias žmogus patiria dėl žmogaus sukurtų šaltinių, skiriasi, nors paprastai jos yra mažos. Didžiąją dalį gyventojų, paciento patiriamos apšvitos sudaro medicininės procedūros ir gydymas naudojant spinduliuotę.

Radioaktyvieji išmetimai iš atominių elektrinių ir branduolinės pramonės įmonių yra reglamentuojami griežtomis taisyklėmis, todėl tokie išmetimai normaliomis sąlygomis nekeičia natūralaus fono ir radionuklidų kiekio aplinkoje (1).

Tačiau pagrindinė branduolinės energetikos, o būtent atominių elektrinių, problema yra skirtingos agregatinės būsenos ir specifinės veiklos radioaktyviųjų atliekų susidarymas. Jonizuojančioji spinduliuotė sklindanti iš tokių atliekų kelia didžiulį pavojų žmonėms ir gamtinei aplinkai (1. pav.).

	TRUMPAAMŽĖS LABAI MAŽAI RADIOAKTYVIOS ATLIEKOS	TRUMPAAMŽĖS MAŽAI IR VIDUTINIŠKAI RADIOAKTYVIOS ATLIEKOS	PANAUDOTOS BRANDUOLINIS KURAS IR KITOS ILGAAMŽĖS ATLIEKOS	PANAUDOTI UŽDARIEJI ŠALTINIAI
IŠ KUR JŲ ATSIKANDŲ?	Susidaro remontuojant Ignalinos AE įrenginius ir valant patalpas, taip pat eksploataavimo nutraukimo metu.	Susidaro atliekant remontus, nedidelės apimties darbus Ignalinos AE centrinėje salėje bei panaudoto kuro aušinimo baseinų salėje ir eksploataavimo nutraukimo metu.	Susikaupė veikiant Ignalinos AE, taip pat susidaro eksploataavimo nutraukimo bei išmontavimo metu.	Iš Ignalinos AE ir kitų pramonės įmonių, medicinos bei mokslo įstaigų.
KAIP JOS ATRODO?	Popieriaus, vatos atliekos, elektros kabelių gabalai, filtrai, metalinės įrenginių dalys, gumos ir šiluminės izoliacijos medžiagos, statybinės atliekos.	Nusidėvėjusi ar išmontuojama įranga, vamzdžiai, konstrukciniai elementai, statybinės atliekos.	Panaudoto branduolinio kuro rinklės, jų konstrukcijos elementai, kuro kanalai, valdymo ir apsaugos sistemos dalys, grafitas.	Pavyzdžiui, nenaudojami prietaisai su radioaktyviaisiais šaltiniais.
KUR IR KAIP JOS SAUGOMOS?	Dedamos į metalinius konteinerius (prieš tai gali būti supresuojamos į ryšulius, kurie apšukami polietileno plėvele) ir saugomos saugykloje Ignalinos AE teritorijoje. Vėliau, įrengus labai mažai radioaktyviųjų atliekų atliekyną, jos bus į jį pervežtos.	Apdorojamos (deginamos, supresuojamos, dedamos į gelžbetoninius konteinerius, cementuojamos) ir saugomos saugyklose Ignalinos AE teritorijoje. Vėliau, įrengus trumpaamžių mažai ir vidutiniškai radioaktyviųjų atliekų atliekyną, jos bus į jį pervežtos.	Dedamos į metalinius konteinerius ir vežamos saugoti į panaudoto branduolinio kuro bei kitas saugyklas Ignalinos AE teritorijoje. Šios atliekos saugyklose bus saugomos iki 50 metų, o ateityje dedamos į giluminį atliekyną.	Saugomos saugyklose Ignalinos AE teritorijoje ir Maišiagalos radioaktyviųjų atliekų saugykloje. Ateityje šios atliekos bus rūšiuojamos, pakuojuamos į specialias pakuotes ir dedamos atskirai į šiemis šaltiniams tinkamą atliekyną.
KIEK LAIKO JOS IŠLIKS PAVOJINGOS ŽMONĖMS IR APLINKAI?	100 metų	300 metų	Atliekos išliks radioaktyvios tūkstančius metų, tačiau sudėtos į giluminį atliekyną jos bus nepavojingos žmogui ir aplinkai. > 1 000 metų	Nuo 100 iki tūkstančių metų. > 100 metų

1 pav. Radioaktyviosios atliekos Lietuvos branduolinės energetikos objektuose (2)

Radioaktyviosios atliekos (toliau- RA) pasižymi įvairiomis fizinėmis ir cheminėmis savybėmis. RA skirstomos į trumpaamžes ir ilgaamžes atsižvelgiant į jų sudėtyje esančių ilgaamžių radionuklidų koncentraciją.

Pagal žmogui ir aplinkai keliamą pavojų radioaktyviosios atliekos yra skirstomos į labai mažai, mažai ir vidutiniškai, ir labai radioaktyvias. Dar vieną radioaktyviųjų atliekų grupę sudaro panaudoti uždarieji radioaktyvieji šaltiniai.

Priklausomai nuo atliekų charakteristikų jų tvarkymui taikomi įvairūs technologiniai procesai ir jų kombinacijos – rūšiavimas, deginimas, presavimas, cementavimas, jos dedamos į skirtingas pakuotes (konteinerius), kurios, savo ruožtu, vežamos į skirtingas saugyklas ar laikino saugojimo vietas. Tačiau visos atliekų pakuotės turi būti išmatuotos, nustatyta jų radiologinė sudėtis, kiekvienai pakuotei turi būti parengtas pasas, o duomenys įtraukti į apskaitos sistemą.

Trumpaamžės labai mažai radioaktyvios atliekos susidaro remontuojant AE įrenginius ir valant patalpas, taip pat eksploatavimo nutraukimo metu. Tai gali būti popieriaus ir vatos atliekos, elektros kabelių gabalai, filtrai, metalinės įrenginių dalys, gumos ir šiluminės izoliacijos medžiagos, statybinės atliekos. Šios atliekos išlieka pavojingos apie 100 metų. Siekiant apsaugoti žmones ir aplinką, trumpaamžės labai mažai radioaktyvios atliekos dedamos į metalinius konteinerius, presuojamos atliekos supresuojamos į ryšulius, kurie apskunami polietileno plėvele ar dedamos į didmaišius ir saugomos saugykloje Ignalinos AE teritorijoje. Ateityje, įrengus labai mažai radioaktyvių atliekų atliekyną, jos bus pervežtos į jį.

Svarbu paminėti, kad kai kurios mažai užterštos radioaktyviosios atliekos gali būti dezaktyvuotos, t. y. nuo įrenginių, konstrukcijų ar jų dalių paviršių specialiu būdu yra pašalinamos radioaktyviosios medžiagos. Atlikus dezaktyvaciją ir pasitelkus specialius įrenginius pagal galiojančius reikalavimus įsitikinus, kad atliekų aktyvumas neviršija nebekontroliuojamųjų radioaktyvumo lygių ir jų jau nebereikia kontroliuoti radiacinės saugos požiūriu, jos gali būti naudojamos ir tvarkomos įprastais būdais. Pavyzdžiui, dalis įrangos ar metalinės dalys gali būti toliau naudojamos pramonėje arba statybinės atliekos sutvarkomos kaip įprastos.

Trumpaamžės mažai ir vidutiniškai radioaktyvios atliekos susidaro atliekant remontus, nedidelės apimties darbus Ignalinos AE centrinėje salėje bei panaudoto branduolinio kuro aušinimo baseinų salėje ir eksploatavimo nutraukimo metu, išmontuojant įrangą. Prie šios rūšies radioaktyviųjų atliekų priskiriama nusidėvėjusi ar išmontuojama įranga, vamzdžiai, konstrukciniai elementai, statybinės atliekos.

Trumpaamžės mažai ir vidutiniškai radioaktyvios atliekos yra apdorojamos radioaktyviųjų atliekų tvarkymo įrenginiuose. Siekiant sumažinti atliekų tūrį, jos yra supresuojamos. Vėliau dedamos į betoninius konteinerius, cementuojamos ir saugomos saugyklose Ignalinos AE aikštelėje. Ateityje šios atliekos bus pervežtos į paviršinį mažai ir vidutiniškai radioaktyvių

atliekų atliekyną, kurio priežiūra bus vykdoma 300 metų, kol atliekos taps nepavojingos žmonėms ir aplinkai.

Panaudotas branduolinis kuras – tai branduolinis kuras po naudojimo išimtas iš reaktoriaus ir laikomas netinkamu toliau naudoti. Panaudotas branduolinis kuras priskiriamas labai radioaktyvioms ilgaamžėms radioaktyviosioms atliekoms.

Ilgaamžės radioaktyviosios atliekos – tai atliekos, savo sudėtyje turinčios reikšmingą kiekį radionuklidų, kurių pusėjimo trukmė ilgesnė nei 30 metų. Be panaudoto branduolinio kuro dar prie šios rūšies radioaktyviųjų atliekų priskiriamos aktyvuotos metalinės reaktorių ir kuro rinklių dalys, kuro kanalai, reaktoriaus grafitas, valdymo ir apsaugos sistemos dalys. Šios atliekos susikaupė veikiant Ignalinos AE, taip pat susidaro elektrinės eksploatavimo nutraukimo ir išmontavimo metu, jos yra saugomos Ignalinos AE saugyklose.

Tiek panaudotas branduolinis kuras, tiek kitos ilgaamžės radioaktyviosios atliekos saugyklose ir kituose saugojimo įrenginiuose bus saugomos laikinai, apie 50 metų, o ateityje dedamos į giluminį atliekyną. Nors jos išliks radioaktyvios tūkstančius metų, tačiau jas sudėjus į giluminį atliekyną, kur dėl gamtinių ir sukurtų inžinerinių barjerų jos bus nepavojingos žmonėms ir aplinkai.

Siekiant apsaugoti aplinką ir žmones, užtikrinti saugumą tvarkant radioaktyvias atliekas, sukurtos specialios radioaktyviųjų atliekų surinkimo ir izoliavimo priemonės (2).

1.1. Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo etapai

Radioaktyviosios atliekos – nenumatomi tolesniam naudojimui panaudotas branduolinis kuras ir kitos medžiagos, užterštos radionuklidais arba turinčios jų savo sudėtyje, kai radionuklidų koncentracijos arba jų aktyvumas viršija švarumo lygius (3).

RA klasifikavimo reikalavimai ir principai aprašyti BSR-3.1.2-2017 „Radioaktyviųjų atliekų tvarkymas branduolinės energetikos objektuose iki jų dėjimo į radioaktyviųjų atliekų atliekyną“. Radiologiniu požiūriu kietosios RA skirstomos į klases (lentelė 1):

Lentelė 1.

Radioaktyviųjų atliekų klasės (9)

Atliekų klasės	Apibrėžimas	Santrumpa	Paviršinė dozės galia, mSv/h	Galutinis apdorojimas
0	Nebekontroliuojamos atliekos	NA	-	Nereikalaujamas
Trumpaamžės labai mažai, mažai ir vidutiniškai radioaktyvios atliekos				
A	Labai mažai radioaktyvios atliekos	LMRA	<0,2	Nereikalaujamas
B	Mažai radioaktyvios atliekos	MRA-TA	0,2–2	Reikalaujamas
C	Vidutiniškai radioaktyvios atliekos	VRA-TA	>2	Reikalaujamas

Ilgamžės mažai ir vidutiniškai radioaktyvios atliekos				
D	Mažai radioaktyvios atliekos	MRA-IA	<10	Reikalaujamas
E	Vidutiniškai radioaktyvios atliekos	VRA-IA	>10	Reikalaujamas
Panaudoti uždarieji šaltiniai				
F	Panaudoti uždarieji šaltiniai	PUŠ	-	Reikalaujamas

- A klasės atliekos: labai mažo aktyvumo atliekos, kurios bus šalinamos *Landfill* tipo kapinyne;
- B ir C klasės atliekos: mažo ir vidutinio aktyvumo atliekos, skirtos trumpalaikių atliekų laikinam saugojimui;
- D klasės atliekos: žemo aktyvumo grafito atliekos, skirtos tarpiniam ilgalaikių atliekų laikymui;
- E klasės atliekos: vidutinio aktyvumo atliekos, skirtos laikinai saugoti ilgalaikių atliekų saugykloje;
- F klasės atliekos: panaudoti uždari šaltiniai, skirti laikinam saugojimui ilgalaikių atliekų saugykloje.

Atsižvelgiant į valstybės ir teisinį reglamentavimą, panaudotas branduolinis kuras (PBK) gali būti laikomas tiek žaliava, tiek atlieka. Lietuvoje PBK yra laikomas labai radioaktyvia atlieka.

Skystosios radioaktyviosios atliekos pagal aktyvumą skirstomos į:

- mažai aktyvias radioaktyvias atliekas
- vidutiniškai aktyvias radioaktyvias atliekas

Pagrindinis bet kurios radioaktyviųjų atliekų tvarkymo strategijos reikalavimas išlieka toks, kad tokios atliekos turi būti apdorojamos, sandėliuojamos, vežamos ir šalinamos taip, kad jų skleidžiamos spinduliuotės neigiamas poveikis aplinkai neviršytų nustatytų ribų. Šis reikalavimas galioja tiek dabarčiai, tiek ateičiai.

Šio tikslo siekimą turėtų užtikrinti sisteminis požiūris, nulemtas gamtinės aplinkos ir žmonių sveikatos apsaugos normų ir taisyklių. Tik integruotas požiūris į šios problemos sprendimą gali užtikrinti saugumą tvarkant radioaktyvias atliekas.

Siekiant sukurti veiksmingą radioaktyviųjų atliekų tvarkymo sistemą, turi būti laikomasi keleto esminių principų, suformuluotų pagrindiniame TATENA dokumente: «International Atomic Energy Agency, The Principles of Radioactive Waste Management», Safety Series:

- Žmonių sveikatos apsauga.
- Aplinkos apsauga.
- Saugos už nacionalinių sienų užtikrinimas.

- Ateities kartų apsauga.
- Nepelnytų naštų ateities kartoms prevencija.
- Nacionalinė teisinė bazė.
- Radioaktyviųjų atliekų susidarymo kontrolė.
- Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo etapų sąryšis.
- Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo įrenginių sauga per visą jų eksploatavimo laiką (4).

Šie principai sudaro sistemingo požiūrio koncepciją, pagal kurią visi radioaktyviųjų atliekų tvarkymo etapai yra sudedamosios visos sistemos dalys, o visi atskirų radioaktyviųjų atliekų tvarkymo etapų techniniai sprendimai yra tarpusavyje suderinti.

Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo procesas – tai vienas po kito einantys atliekų apdorojimo ir galutinio arba laikino laidojimo geologinėje formoje etapai.

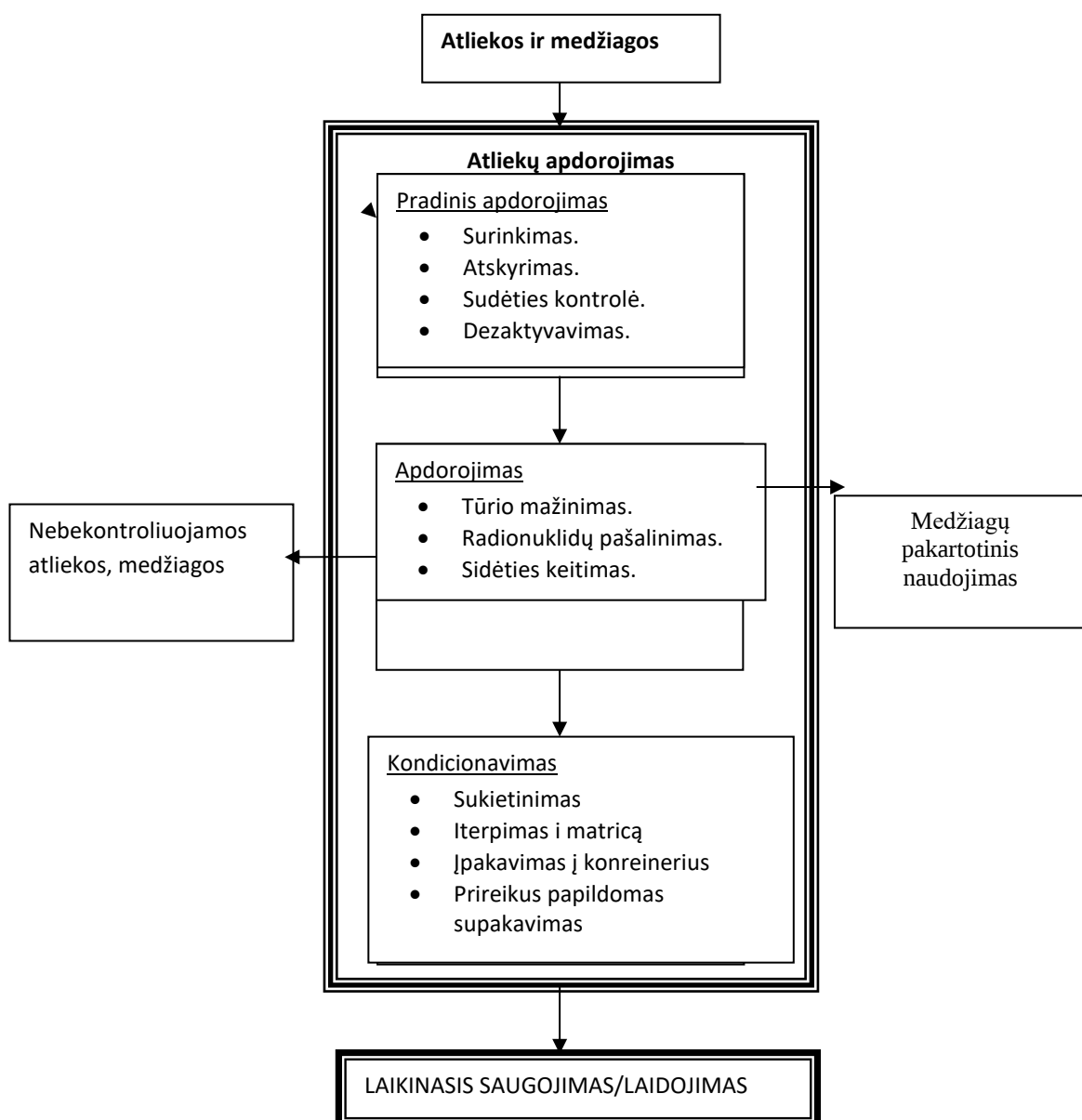
Radioaktyviųjų atliekų perėjimas per šiuos etapus priklauso nuo atliekų rūšies, jų fizinių ir cheminių savybių bei aktyvumo lygio. Dėl jų charakteristikų atliekos skirstomos į specialias grupes, siekiant užtikrinti, kad būtų laikomasi šalinimo reikalavimų ir apdorojimo būdų. Atliekų pobūdis ir savybės yra apskaitomi, registruojami ir dokumentuojami, o vėliau šie duomenys perduodami iš vieno apdorojimo etapo į kitą.

Atliekų apdorojimas apima pagrindinius etapus, po kurių vykdomas laidojimas:

- pradinis apdorojimas – surinkimas, atskyrimas, sudėties kontrolė ir rūšiavimas;
- atliekų apdorojimu – tūrio mažinimas deginant arba sutankinant, radionuklidų šalinimas (valymas), sudėties keitimas, dezaktyvavimas;
- kondicionavimas - skystų atliekų pavertimas kietu pavidalu, įtraukimas į matricą, lokalizavimas specialiuose konteneriuose ir papildomose pakuotėse.

Tarp šių etapų galimi tarpiniai atliekų transportavimo ir saugojimo etapai, kurių kiekiai priklauso nuo įvairių veiksnių ir sąlygų.

Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo pagrindiniai etapai pavaizduoti 2 pav.



2. pav. Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo pagrindiniai etapai (...)

Pradinis apdorojimas – tai pradinis atliekų tvarkymo etapas, prasidedantis iš karto po jų susidarymo. Šis etapas yra nepaprastai svarbus: tai yra geriausia galimybė suskirstyti atliekas į srautus, skirtus išleisti nekontroliuojamai, specifiniams apdorojimo būdams, paviršiniam ar geologiniam laidojimui. Radioaktyviosios atliekos turi būti renkamos, analizuojamos ir suskirstytos į kategorijas jų susidarymo vietoje pagal jų fizines, chemines, biologines ir radiologines savybes. Šie veiksmai palengvina vėlesnį atliekų apdorojimą, padidina jų efektyvumą, prisideda prie galutinių atliekų, kurias reikia saugoti ir šalinti, kiekio mažinimo (5).

Trumpaamžės radioaktyviosios atliekos atskiriamos nuo ilgaamžių, kad trumpaamžės būtų galima saugoti tol, kol jos sukils ir jų aktyvumas neviršys nekontroliuojamojo lygio. Kitų radioaktyviųjų atliekų savybių, į kurias atsižvelgiama atliekas rūšiuojant, svarba priklauso nuo

numatomų radioaktyviųjų atliekų tvarkymo būdų. Jeigu atliekos bus deginamos, degiosios atliekos atskiriamos nuo nedeгиųjų, jeigu lydomos – metalai nuo nemetalų, jeigu presuojamos – presuotinos nuo nepresuotinių (6).

Atliekų apdorojimu siekiama pagerinti saugumą keičiant atliekų savybes. Veiksmų, sudarančių šį tvarkymo etapą, pavyzdžiai: presavimas ir deginimas (tūrio mažinimas), garinimas, filtravimas arba jonų mainai skystose atliekose (radionuklidų pašalinimas), cheminių medžiagų nusodinimas arba flokuliavimas (sudėties keitimas). Dažnai kai kurie iš šių procesų yra naudojami kartu, siekiant padidinti bendrą apdorojimo efektyvumą.

Radioaktyviųjų atliekų kondicionavimo etapas – operacijų visuma, kurios metu atliekos perkeliama į formą, kuri yra atspari radiacijai ir cheminiam poveikiui (imobilizacija). Ši forma leidžia išlaikyti saugumą ir stabilumą sandėliavimo, laidojimo ir transportavimo metu. Radioaktyviųjų atliekų apdorojimas ir kondicionavimas yra glaudžiai susiję.

Pagrindinis kondicionavimo tikslas – sumažinti atliekų kiekį ir sumažinti radioaktyviųjų medžiagų patekimo į aplinką tikimybę. Renkantis kondicionavimo būdus, remiamasi radioaktyviųjų atliekų savybėmis, ekonominiu pagrįstumu, tolesnio jų tvarkymo sąlygomis (5).

Imobilizuotas atliekas savo ruožtu galima supakuoti į įvairius konteinerius – nuo įprastų 200 litrų talpos plieninių statinių iki sudėtingos konstrukcijos storasiėnių konteinerių. Šiuo metu labiausiai paplitę imobilizavimo būdai yra mažo ir vidutinio aktyvumo skystųjų radioaktyviųjų atliekų kietinimas, įterpiant juos į cementą (cementavimą) arba bitumą (bituminavimą).

Laikinas radioaktyviųjų atliekų saugojimas per pakankamai ilgą laiką, tam kad sumažėtų radioaktyvumo lygis, yra skirtas tam kad supaprastinti ir efektyvinti vėlesnį atliekų apdorojimą. Siekiant sumažinti atliekų, užterštų trumpaamžiais radioaktyviaisiais izotopais, galutinius kiekius - atliekos yra laikinai saugomos radioaktyviųjų izotopų natūralaus irimo metu.

Dėjimas į atliekynus yra baigiamasis radioaktyviųjų atliekų tvarkymo etapas, kurį sudaro atliekų lokalizavimas specialiai įrengtame atliekyne su atitinkamomis saugumo priemonėmis. Dėjimas į atliekynus numato daugiapakopės saugos barjerų sistemos įrengimą, t.y., įrengiant aplink atliekyną gamtinių ir inžinerinių barjerų sistemą, skirtą neleisti radionuklidams patekti į aplinką ir sukelti žalingąjį poveikį gamtai bei gyventojams.

1.2. Skystųjų radioaktyviųjų atliekų apdorojimas

Radioaktyviosios atliekos būna labai skirtingos pagal savo fizines ir radiologines charakteristikas, o nuo jų charakteristikų priklauso ir atliekų tvarkymo būdai.

Pagal fizinę būseną radioaktyviosios atliekos skirstomos į kietąsias, skystąsias ir dujines.

Skystos radioaktyviosios atliekos (toliau – SKRA) – vandens ir kitų skysčių pavidalo radioaktyviosios atliekos, kuriose yra ištirpusių ar suspenduotų radioaktyviųjų medžiagų, kurių aktyvumas viršija taisyklių ir reglamentų nustatytas minimalias vertes.

Atominėse elektrinėse susidaro dideli kiekiai įvairaus aktyvumo skystųjų radioaktyviųjų atliekos.

Visos skystos radioaktyviosios atliekos atominėse elektrinėse surenkamos į specialias radioaktyviųjų atliekų saugojimo talpyklas ir po to siunčiamos perdirbti. Apdorojimo metu iš vandens pašalinamos radioaktyvios medžiagos ir cheminiai teršalai, o išvalytas vanduo grąžinamas į technologinį ciklą arba nuleidžiamas. Jei neįmanoma visiškai išvalyti arba dalies vandens grąžinti į technologinį ciklą, skystos radioaktyviosios atliekos suketinamos jas cementuojant, bitumuojant ar kitaip surišant vandens likutį šio tipo atliekose.

Pagrindiniai radioaktyviųjų atliekų susidarymo šaltiniai atominėse elektrinėse yra:

- nutekėjimai;
- regeneracinis vanduo iš jonų mainų filtrų;
- neorganizuotas pramoninio vandens nutekėjimas;
- kontūro aušinimo skystis;
- turbinų kondensatas;
- apiplovimo vanduo, skalbimo vanduo;
- dezaktyvavimo tirpalai;
- jonų mainų dervų masė;
- laboratorinės nuotekos.

Skystųjų radioaktyviųjų atliekų apdorojimo ir laidojimo būdų pasirinkimas priklauso nuo atliekų aktyvumo, radiocheminės sudėties, atliekų kiekio, reikiamo gryninimo laipsnio ir koncentrato laikymo būdo (7).

Pagal specifinį aktyvumą ir radionuklidų sudėtį skystos radioaktyviosios atliekos skirstomos į žemo, vidutinio aktyvumo. Pagal fizikines ir chemines savybes skirstoma taip: priklausomai nuo agregacijos būsenos, į vienerūšius ir nevienalyčius; pagal sudėtį į organinius (aliejus, aliejų emulsijos vandenyje, ploviklių tirpalus), neorganinius, įskaitant mažai druskos turinčius vandeninius tirpalus (kurių druskos koncentracija mažesnė nei 1 g/l), daug druskos turinčius vandeninius tirpalus (kurių druskos koncentracija daugiau nei 1 g/l). Radioaktyvieji vandeniniai tirpalai sudaro daugiau nei 99% visų pagamintų SKRA.

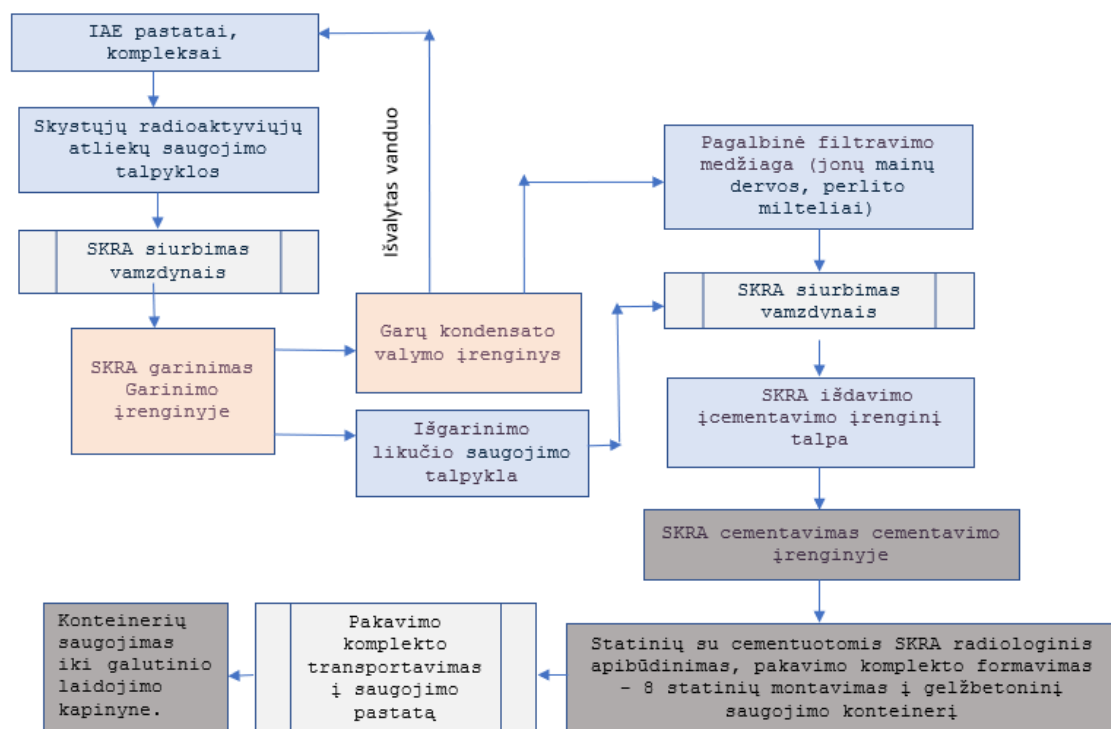
Skystų radioaktyviųjų atliekų apdorojimas susideda iš dviejų etapų. Pirmajame etape atliekų tūris sumažinamas, kad būtų gautas tam tikras kiekis švaraus vandens, kuris gali būti vėl įleidžiamas į ciklą, ir atliekų koncentrato tūris. Antrame etape gautas koncentratas apdorojamas tolesniam saugojimui arba laidojimui.

SKRA valymui ir apdorojimui naudojami tokie metodai kaip membrana, terminė, sorbcija, jonų mainai, filtravimas, atvirkštinė osmozė, elektrodializė ir daugelis kitų. Koks tvarkymo metodas bus naudojamas, priklauso nuo tvarkomų medžiagų korozinių savybių, gaisro arba sprogimo pavojaus, organinių priemaišų kiekio. Atskirai nė vienas iš šių metodų neužtikrina veiksmingo valymo, todėl šie metodai naudojami kompleksiskai. Į aplinką gali būti išmetamos tik tokios skystosios atliekos, kurios maišosi su vandeniu. Jeigu atliekose yra suspenduotų medžiagų, šios medžiagos turi būti pašalinamos filtruojant. Išmetamose atliekose negali būti nuodingų ir aplinkai kenksmingų skysčių (6).

Terminiai skystųjų radioaktyviųjų atliekų apdorojimo metodai yra labiausiai paplitę ir patogūs aukšto gryninimo laipsnio metodai. Tokie metodai apima šilumos naudojimą skystoms radioaktyviosioms atliekoms koncentruoti ir išvalyti, remiantis vandens pavertimu garais.

Paprastai terminis metodas yra distiliavimas (garinimas) ir džiovinimas. Metodas yra paprastas ir efektyvus. Yra trys pagrindiniai tokių garintuvų tipai: priverstinės cirkuliacijos garintuvai, natūralios cirkuliacijos garintuvai ir tarpiniai distiliatoriai (7).

Skystųjų radioaktyviųjų atliekų apdorojimo etapai garinimo metodu pavaizduoti 3 pav.



3. pav. Skystųjų radioaktyviųjų atliekų garinimo metodu apdorojimo etapai (...)

Iš pradžių užterštas vanduo kaupiamas saugojimo talpyklose ir vėliau garinamas. Garų kondensatas, siekiant sumažinti radionuklidų kiekį jame, filtruojamas per jonų mainų dervas ir perlito miltelius. Išvalytas vanduo grąžinamas į technologinio vandens ciklą.

Garinant dalis radionuklidų lieka koncentrate, todėl šis koncentratas yra saugomas specialioje talpykloje. Išgarinimo likutis, nuosėdos iš koncentrato, jonų mainų dervos iš Ignalinos AE vandens valymo ir skystųjų atliekų apdorojimo sistemų, pagalbinė filtravimo medžiaga (perlitas) yra cementuojamos cementavimo įrenginyje. Šių medžiagų ir cemento mišinys supilamas į statines, jos dedamos į betoninį saugojimo konteinerius, kurie transportuojami į šalia esančią sucementuotų atliekų saugyklą.

Skystoms radioaktyviosioms atliekoms kietinti naudojami rišikliai, kurie skirstomi į tris grupes:

- termoreaktingos – poliesterio ir karbamido dervos;
- neorganinis - gipsas, cementas;
- termoplastinis – bitumas.

Cementavimas yra vienas iš pagrindinių ir veiksmingų skystų radioaktyviųjų atliekų koncentratų kietinimo būdų. Teigiami cementavimo aspektai: koncentrato įmaišymo į cementą proceso paprastumas, plastiškumo trūkumas ir nedegumas.

Skystų radioaktyviųjų atliekų cementavimas turi daug privalumų. Metodas išsiskiria nedegumu ir gebėjimu išlaikyti pradinę formą po sukietėjimo, cemento sistema yra neplastiška. Bet vis tiek, kalbant apie išplovimą ir užpildymo laipsnį, metodas yra prastesnis už bituminimo metodą. Cementavimo būdas gali konkuruoti su bituminimu tik tada, kai cementiniai blokai yra laikomi kapinynuose, su patikima barjerine apsauga.

1.3. Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo teisinis reglamentavimas

Vadovaujantis esminiais radioaktyviųjų atliekų tvarkymo principais, išdėstytais TATENA pagrindiniame dokumente: «International Atomic Energy Agency, The Principles of Radioactive Waste Management», Safety Series, pagrindinis radioaktyviųjų medžiagų (o ypač - radioaktyviųjų atliekų) tvarkymo saugos užtikrintojas Lietuvos Respublikoje yra valstybė. Deramą šio vaidmens atlikimą užtikrina Respublikoje veikianti nacionalinė radioaktyviųjų atliekų tvarkymo sistema, paskirianti funkcijas, teises, pareigas ir atsakomybę tarp pagrindinių šios sistemos subjektų, tai yra:

- Lietuvos Respublikos Vyriausybės.
- Radioaktyviųjų atliekų gamintojų.
- Radioaktyviųjų atliekų tvarkytojo (VĮ Ignalinos atomonė elektrinė).
- Nepriklausomos Valstybinės atominės energetikos saugos inspekcijos (VATESI).
- Nepriklausomo radiacinės saugos centro (RSC).

Taip pat esminis Lietuvos radioaktyviųjų atliekų tvarkymo sistemos komponentas yra teisinė bazė: įstatymai, normos, taisyklės, branduolinės saugos reikalavimai, reglamentuojantys įvairius radioaktyviųjų atliekų tvarkymo aspektus Lietuvoje (8).

Lietuva, siekdama įgyvendinti tarptautiniu mastu priimtas radioaktyviųjų atliekų tvarkymo nuostatas, 2003 m. pabaigoje pasirašė ir ratifikavo Jungtinę panaudoto kuro saugaus tvarkymo ir radioaktyviųjų atliekų tvarkymo saugos konvenciją (9).

Šios Konvencijos tikslai yra šie:

a) siekti, kad visame pasaulyje panaudoto kuro ir radioaktyviųjų atliekų tvarkymo saugos lygis būtų aukštas, ir jį palaikyti tobulinant nacionalines priemones ir gerinant tarptautinį bendradarbiavimą, atitinkamais atvejais pasinaudojant techniniu su sauga susijusiu bendradarbiavimu;

b) visuose panaudoto kuro ir radioaktyviųjų atliekų tvarkymo etapuose užtikrinti veiksmingų apsaugos nuo potencialaus pavojaus priemonių taikymą apsaugant atskirus asmenis, visuomenę ir aplinką nuo kenksmingo jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio šiuo metu ir ateityje taip, kad dabartinės kartos poreikiai ir siekiai būtų tenkinami nepakenkiant ateities kartų galimybėms tenkinti savo poreikius ir siekius;

c) užkirsti kelią avarijoms, galinčioms turėti radiologinių pasekmių, ir sušvelninti šias pasekmes, jei avarijos įvyktų kuriame nors panaudoto kuro ar radioaktyviųjų atliekų tvarkymo etape (10).

Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo strategija numato pagrindines radioaktyviųjų atliekų tvarkymo kryptis, atsižvelgiant į branduolinės energetikos plėtros planus, naujausius šalies ir tarptautinius aplinkosaugos, branduolinės ir radiacinės saugos reikalavimus, Jungtinę panaudoto kuro tvarkymo saugos ir radioaktyviųjų atliekų tvarkymo saugos konvenciją. Šioje Strategijoje numatyti radioaktyviųjų atliekų tvarkymo tikslai ir uždaviniai, skirti vykdomiems radioaktyviųjų atliekų tvarkymo darbams tęsti, pasirengti tinkamai išmontuoti valstybės įmonės Ignalinos atominės elektrinės reaktorių, taip pat pasirengti naudojant naujausias technologijas tvarkyti naujos atominės elektrinės eksploatavimo radioaktyviąsias atliekas.

Radioaktyviosios atliekos turi būti surenkamos, rūšiuojamos, apdorojamos, laikomos, perdirbamos, transportuojamos, saugomos, nukenksminamos, laidojamos arba išmetamos į aplinką laikantis Lietuvos Respublikos įstatymų ir kitų teisės aktų reikalavimų (9).

Lietuvos Respublikos radioaktyviųjų atliekų tvarkymo įstatymas įteisina radioaktyviųjų atliekų tvarkymo principus Lietuvoje:

Tvarkant radioaktyviąsias atliekas turi būti užtikrinta, kad:

- visų radioaktyviųjų atliekų tvarkymo stadijų metu taikant tinkamus metodus kiekvienas asmuo ir aplinka tiek Lietuvos Respublikos teritorijoje, tiek ir už jos ribų būtų pakankamai

apsaugoti nuo radiologinių, biologinių, cheminių ir kitų pavojų, kuriuos gali sukelti radioaktyviosios atliekos;

- būtų išvengiama veiksmų, galinčių turėti pagrįstai prognozuojamų padarinių ateities kartoms, pavojingesnių negu tie, kurie leistini dabartinei kartai, ir nepalikti ateities kartoms nepelnytos naštos;
- radioaktyviųjų atliekų susidarytų kiek įmanoma mažiau;
- būtų atsižvelgta į radioaktyviųjų atliekų tvarkymo atskirų etapų tarpusavio priklausomybę;
- radioaktyviųjų atliekų tvarkymo įrenginių sauga būtų garantuojama per visą įrenginio veikimo laikotarpį ir po to (3).

Pagal Branduolinės saugos reikalavimai BSR-3.1.2-2017 „Radioaktyviųjų atliekų tvarkymas branduolinės energetikos objektuose iki jų dėjimo į radioaktyviųjų atliekų atliekyną“ reikia siekti, kad eksploatuojant BEO susidarytų kiek įmanoma mažiau radioaktyviųjų atliekų, turinčių kiek galima mažesnę tūrį ir aktyvumą, todėl VĮ Ignalinos atominės elektrinės valdomų visų Lietuvos teritorijoje esančių branduolinės energetikos objektų eksploatavimo, jų eksploatavimo nutraukimo metu susidariusias ir susidarysiančias radioaktyvias atliekas būtina atskirti nuo neradioaktyviųjų atliekų taip jas tvarkant, kad būtų panaikinta radiacinė kontrolė kuo didesniai susidarančių atliekų kiekiui. Atliekos, kurioms radiacinė kontrolė bus panaikinta, gali būti pakartotinai panaudotos kaip antrinės žaliavos ar tvarkomos kaip neradioaktyviosios atliekos. Radioaktyviosioms atliekoms atskirti nuo neradioaktyviųjų reikia išmontuoti branduolinės energetikos objektų infrastruktūrą, statinius ir įrangą ir atlikti radioaktyviųjų atliekų pradinį apdorojimą (11).

2021 vasario 3 dieną Lietuvos Vyriausybė patvirtino 2021–2030 metų branduolinės energetikos objektų eksploatavimo nutraukimo ir radioaktyviųjų atliekų tvarkymo plėtros programą, kuria nubrėžiamos strateginės gairės, kaip bus tvarkomos radioaktyviosios atliekos.

Programos tikslas – saugiai nutraukti branduolinės energetikos objektų eksploatavimą ir sutvarkyti visas Lietuvoje esančias ir susidarysiančias radioaktyvias atliekas, siekiant apsaugoti žmones ir aplinką nuo žalingo jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio ir nepalikti nepelnytos naštos ateities kartoms (12).

Programoje - kiekvienam iš išskeltų uždavinių - apibrėžiamos būtinos priemonės, sąlygos ir pagrindiniai šių priemonių įgyvendinimo etapai. Tuo pačiu, viena iš svarbiausių Programos įgyvendinimo priemonių yra Valstybės įmonės Ignalinos atominės elektrinės veiklos strategija.

Ignalinos atominė elektrinė (toliau-IAE) iš elektros gamintojo tapo įmone, kuri nustojo veikti, tačiau išlaiko organizacijos, eksploatuojančios branduolinės energetikos objektą, statusą. IAE išlieka su branduoliniu kuru ir radioaktyviosiomis atliekomis dirbančia įmone, todėl jos veiklą iki šiol

reglamentuoja Branduolinės energetikos įstatymas, Radiacinės saugos įstatymas, Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo įstatymas ir kiti įstatymai. Siekiant apsaugoti aplinką ir gyventojus, į orą ir į Drūkšių ežerą išleidžiamų Ignalinos AE radionuklidų aktyvumą riboja Lietuvoje galiojantys reikalavimai ir standartai (1).

Pagrindinės principai ir reikalavimai dokumentų apie radioaktyviųjų atliekų tvarkymo yra šios. Tvarkant radioaktyvias atliekas, neatsižvelgiant į jų kilmę, turi būti užtikrinta: personalo ir visuomenės sveikatos apsauga, gamtinės aplinkos apsauga, ateities kartų apsauga, neprotingos naštos ateities kartoms, saugumo užtikrinimas už valstybės sienų, radioaktyviųjų atliekų tvarkymas pagal nacionalines teisines struktūras, radioaktyviųjų atliekų susidarymo kontrolė, ryšys tarp susidarymo ir vėlesnių radioaktyviųjų atliekų tvarkymo etapų, radioaktyviųjų atliekų tvarkymo įrenginių sauga per visą jų eksploatavimo laiką ir kt.

Išanalizavus literatūrą, galima teigti, kad jonizuojančioji spinduliuotė sklindanti iš radioaktyviųjų atliekų, kelia didžiulį pavojų žmonėms ir gamtai. Kai kurios radioaktyviosios atliekos išliks radioaktyvios tūkstančius metų.

Todėl, vadovaujantis LR teisine baze būtina sutvarkyti visas Lietuvoje esančias ir susidarysiančias radioaktyvias atliekas, siekiant apsaugoti žmones ir aplinką nuo žalingo jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio ir nepalikti nepelnytos naštos ateities kartoms. Atsižvelgiant į tai, kad didžioji dalis radioaktyviųjų atliekų susidarė Ignalinos atominėje elektrinėje, įmonė palaipsniui ir sėkmingai įgyvendina numatytus radioaktyviųjų atliekų tvarkymo tikslus ir uždavinius.

2. IGNALINOS ATOMINĖS ELEKTRINĖS VEIKLOS ANALIZĖ

Ignalinos atominė elektrinė – vienintelė Baltijos šalyse buvusi Lietuvos energetinės sistemos branduolinė jėgainė, pastatyta šalia sienos su Baltarusija, turėjusi didžiausius pasaulyje reaktorių ir įrašyta į Gineso rekordų knygą. Ignalinos AE aikštelėje buvo pastatyti ir eksploatuojami du energijos blokai su RBMK-1500 reaktoriais.

Pirmasis Ignalinos AE energijos blokas buvo pradėtas eksploatuoti 1983 m. pabaigoje, o antrasis – 1987 m. rugpjūčio mėn. Ignalinos IAE buvo pagrindinis elektros energijos tiekėjas Lietuvoje, tiekiantis apie 70 – 80 % visos suvartojamos elektros energijos šalyje (1993 m. buvo pasiektas rekordas – branduolinės energijos dalis sudarė 88 % nuo visos šalyje suvartotos elektros energijos). Dalis pagamintos elektros energijos buvo eksportuojama.

2003 m., Lietuvai ratifikavus stojimo į Europos Sąjungą sutartį, pirmasis IAE energijos blokas buvo galutinai sustabdytas 2004 m. gruodžio 31 d., antrasis energijos blokas – 2009 m. gruodžio 31 d.

2.1. Įmonės veiklos strategija

Įmonės misija – saugiai ir efektyviai įgyvendinti unikalų projektą – Ignalinos atominės elektrinės su dviem RBMK-1500 tipo reaktoriais eksploatavimo nutraukimą bei saugiai tvarkyti radioaktyviąsias atliekas (toliau – RA), užtikrinant, kad ateities kartos nepaveldėtų nepagrįstos radioaktyviųjų atliekų tvarkymo naštos.

Įmonės vizija – tapti pripažinta branduolinės energetikos objektų eksploatavimo nutraukimo ir radioaktyviųjų atliekų tvarkymo eksperte.

Strateginės kryptys yra sritys, jungiančios pagrindinius organizacijos iššūkius. Jos apima kelis tarpusavyje susijusius tikslus bei gali apimti kelias perspektyvas strateginiame žemėlapyje. Vadovaujantis anksčiau išdėstytomis išvadomis, buvo suformuluotos trys pagrindinės Įmonės strateginės kryptys:

- saugiai ir efektyviai nutraukti IAE eksploatavimą.

IAE eksploatavimo nutraukimo projektas turi būti vykdomas saugiai, skaidriai ir efektyviai naudojant turimus išteklius.

- saugiai tvarkyti radioaktyviąsias atliekas, užtikrinant, kad ateities kartos nepaveldėtų nepagrįstos radioaktyviųjų atliekų tvarkymo naštos.

Radioaktyviųjų atliekų tvarkymas Įmonėje turi būti vykdomas saugiai, skaidriai ir efektyviai naudojant turimus išteklius ir šiuolaikinėmis technologijomis paremtus radioaktyviųjų atliekų apdorojimo bei saugojimo būdus per kokybiškus saugos, projektų valdymo ir finansinio efektyvumo užtikrinimo procesus, panaudojant darbuotojų kompetenciją.

- integruotis į tarptautinę branduolinės energetikos objektų eksploatavimo nutraukimo rinką.

Pastaroji kryptis apima naujų ekspertinių paslaugų teikimo procesą, kylantį iš specifinių Įmonės personalo kompetencijų, kurios gali būti patrauklios tarptautinėje branduolinės energetikos objektų eksploatavimo nutraukimo rinkoje (13).

Šiuo metu įmonė, vadovaudamasi Valstybinės atominės energetikos saugos inspekcijos (toliau – VATESI) išduotomis licencijomis, vykdo paruošiamuosius IAE eksploatavimo nutraukimo darbus, apimančius:

- sistemų, užtikrinančių branduolinę, radiacinę, priešgaisrinę bei fizinę saugą, eksploatavimą;
- sistemų izoliavimą ir modifikavimą;
- panaudoto branduolinio kuro iškrovimą iš energetinių blokų ir pervežimą saugoti į laikinąją panaudoto branduolinio kuro saugyklą.
- įrangos išmontavimą ir dezaktyvavimą;

- radioaktyviųjų atliekų apdorojimą ir saugojimą;
- nereikalingų pastatų griovimą;
- naujų objektų projektavimą, statybą ir eksploatavimą.

Be IAE eksploatavimo ir eksploatavimo nutraukimo metu susidariusių ir susidarysiančių radioaktyviųjų atliekų tvarkymo, Įmonė nuo 2019 m. sausio 1 d., įgyvendinant Lietuvos Respublikos radioaktyviųjų atliekų tvarkymo įstatymą, vykdo:

- Maišiagalos saugyklos priežiūrą ir eksploatavimo nutraukimą.
- Giluminio radioaktyviųjų atliekų atliekyno įrengimo projekto įgyvendinimą.
- Smulkiųjų darytojų radioaktyviųjų atliekų surinkimą, vežimą ir tvarkymą.
- Vyriausybės nustatyta tvarka paliktųjų radioaktyviųjų šaltinių ir radioaktyviosiomis medžiagomis užterštų objektų tvarkymą.

Ignalinos AE eksploatavimo nutraukimo programos apimtyje įrengiama RA tvarkymo infrastruktūra yra vieninteliai tokio pobūdžio objektai Lietuvoje. Nors ir nepalyginamai mažesniais kiekiais, tačiau radioaktyviosios atliekos susidaro ir kitose įmonėse bei organizacijose Lietuvoje (jos vadinamos „smulkieji gamintojai“). Smulkiųjų gamintojų radioaktyviasias atliekas ir ateityje reikės tvarkyti, tad dalis Ignalinos AE žinioje esančios RA tvarkymo infrastruktūros liks ir po to, kai Ignalinos AE eksploatavimo nutraukimas bus užbaigtas (13).

Galima pasakyti, kad IAE eksploatavimo nutraukimo veikla dabar iš esmės yra atliekų tvarkymo veikla – nusprendus, kad Branduolinės energetikos objektas nebebus naudojamas ir galutinai jį sustabdžius, toks objektas tampa „atlieka“, kurią būtina tinkamai sutvarkyti.

Svarbu ta, kad IAE vykdomas ne tik energijos blokų išmontavimas ir susidarančių radioaktyviųjų atliekų tvarkymas, tačiau nutraukiamas ir radioaktyviųjų atliekų saugyklų, kuriose per visą eksploatavimo laikotarpį buvo kaupiamos RA, eksploatavimas, tad visos ten sukauptos kietosios ir skystosios atliekos turi būti išimtos ir tinkamai sutvarkytos. Ignalinos AE priimdavo ir iki šiol priima radioaktyviasias atliekas iš kitų įmonių Lietuvoje. IAE yra ne tik operatorius, kuris „gamina“ atliekas ir saugo jas daugumoje RA tvarkymo įrenginių bei saugyklų, bet yra ir atliekynų statytojas bei jų operatorius. Todėl šių aplinkybių visuma lemia tai, kad RA tvarkymo veikla Ignalinos AE yra labai kompleksiška (14).

2.2. Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo sistema Ignalinos atominės elektrinėje

Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo iki jų dėjimo į atliekynus proceso paskirtis – užtikrinti atliekų, susidariusių technologinių procesų ir išmontavimo vykdymo metu, saugų apdorojimą, vežimą arba dėjimą į saugyklas, saugojimą saugyklose ir vežimą į atliekynus, siekiant užtikrinti mažiausią neigiamą radiacijos poveikį IAE personalui, gyventojams ir aplinkai per visą jų potencialaus pavojaus laikotarpį.

Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo iki jų dėjimo į atliekynus procesas apima:

- kietųjų radioaktyviųjų atliekų valdymą (taip pat: jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinių, panaudotų uždarytųjų šaltinių, Maišiagalos radioaktyviųjų atliekų saugyklos eksploatavimo ir eksploatacijos nutraukimo metu susidarančių ir susidarysiančių RA valdymą);

- skystųjų radioaktyviųjų atliekų valdymą;
- dujinių radioaktyviųjų atliekų valdymą;
- pavojingosiomis savybėmis pasižyminčių radioaktyviųjų atliekų valdymą;
- Lietuvos Respublikos smulkiųjų darytojų radioaktyviųjų atliekų valdymą (15).

Atliekų tvarkymo sistema – tai organizacinių bei techninių priemonių visuma, skirta atliekų tvarkymo strateginiams tikslams pasiekti. Radioaktyviųjų atliekų tvarkymas yra kompleksiška veikla, susidedanti iš daugelio etapų:

- išmontavimo atliekų pradinis apdorojimas (atliekų surinkimas, rūšiavimas, smulkinimas, dezaktyvavimas, įpakavimas).
- apdorojimas (išėmimas iš saugyklų, rūšiavimas, tūrio mažinimas (presavimas), sukietinimas, patalpinimas į konteinerius (galutinės pakuotės suformavimas));
- saugojimas (iki bus galimybė sudėti į atliekyną);
- dėjimas į atliekyną.

Atliekų srautas apibūdinamas tam tikru atliekų šaltiniu (pvz., panaudotas branduolinis kuras, sukaupotos ir susidarančios skystosios RA, iš saugyklų išimamos kietosios RA, išmontavimo metu tam tikroje vietoje (objekte) susidarančios KRA ir t. t.). Supaprastinta atliekų tvarkymo schema yra pateikiama 4 pav.

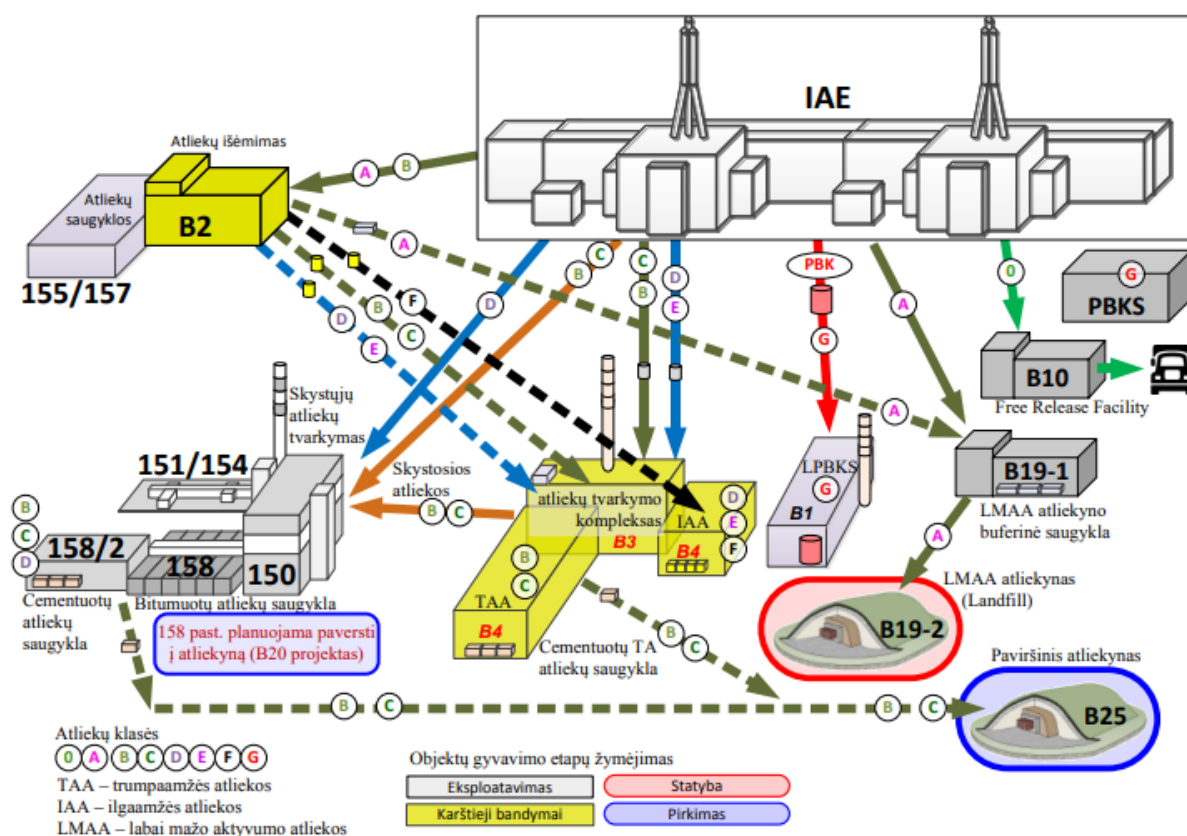
Radioaktyviosios atliekos būna labai skirtingos pagal savo fizines ir radiologines charakteristikas, o nuo jų charakteristikų priklauso ir atliekų tvarkymo būdai.

Informacija apie atliekų charakteristikas ir kiekius, kuriuos reikės sutvarkyti, yra labai svarbi planuojant eksploatavimo nutraukimo infrastruktūrą ir veiklas. Pirminiai RA kiekiai ir jų charakteristikos apsprendžia, kokius RA tvarkymo įrenginius reikia įrengti. Nuo jų ir nuo RA tvarkymo technologijų priklauso, kokio dydžio ir kokias saugyklas bei atliekynus reikia pastatyti.

Per visą Ignalinos AE darbo laikotarpį buvo sunaudota 21 571 šilumą išskirianti kuro rinklė. Nesant galimybės išvežti perdirbti, visas šis panaudotas branduolinis kuras yra saugomas VĮ Ignalinos AE teritorijoje.

Panaudotas branduolinis kuras iš abiejų energijos blokų vežamas į Laikinąją panaudoto branduolinio kuro saugyklą (toliau- LPBKS).

PBK saugyklų projektinis tarnavimo laikas yra 50 metų, todėl PBK saugojimas yra laikinas sprendimas – tam, kad šio tipo atliekos būtų galutinai sutvarkytos, jos turės būti patalpintos į giluminį atliekyną, kurio įrengimas numatomas ~2066 metais.



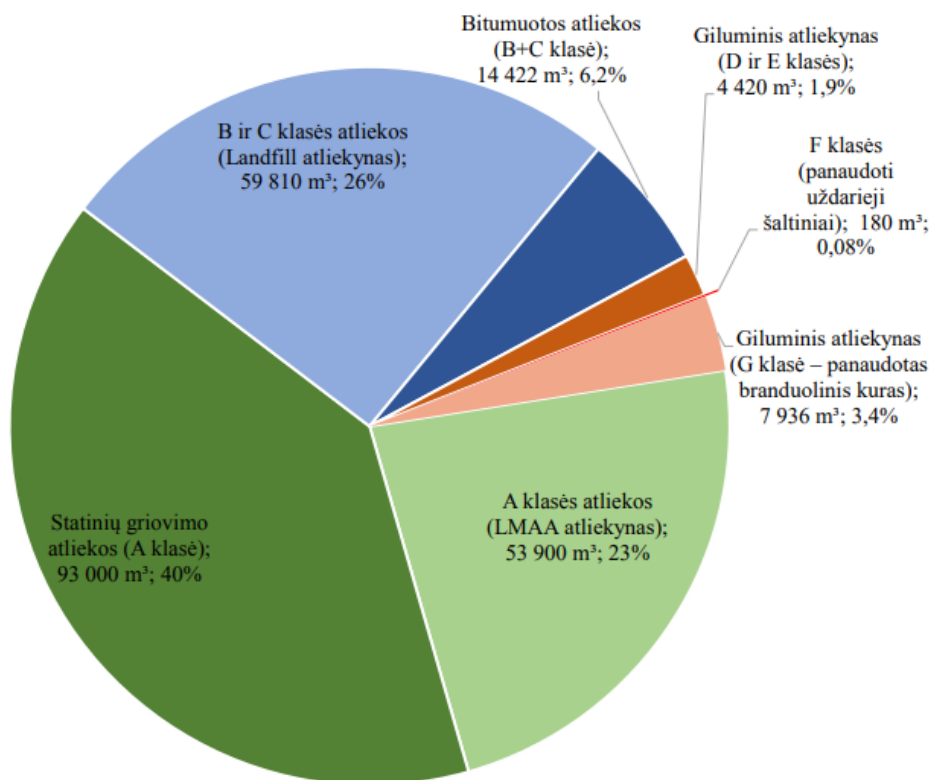
4. pav. Supaprastinta atliekų tvarkymo schema (14)

Kietosios atliekos susidaro išimant RA iš laikinųjų radioaktyviųjų atliekų saugyklų, taip pat vykdant technologinius procesus, techninę priežiūrą, išmontavimą ir RA pradinį apdorojimą bei ūkinę veiklą IAE eksploatavimo nutraukimo metu.

Šiuo tikslu VĮ Ignalinos atominė elektrinė pastatė kietųjų radioaktyviųjų atliekų tvarkymo ir saugojimo kompleksą (toliau – KRATSK), kurio paskirtis – sutvarkyti (išimti, tinkamai išrūšiuoti, įvairiais būdais apdoroti (presuoti, deginti) ir imobilizuoti (cementuoti), supakuoti ir patalpinti į tinkamas saugyklas) Ignalinos AE eksploatavimo metu sukauptas kietąsias radioaktyvias atliekas bei tvarkyti išmontavimo metu susidaranti radioaktyvias atliekas. Šiame komplekse yra dvi atskiros radioaktyviųjų atliekų saugyklos, skirtos trumpaamžėms ir ilgaamžėms radioaktyviosioms atliekoms saugoti.

Atliekos yra rūšiuojamos į presuojamas ir nepresuojamas, degias ir nedegias, be to, yra atskiriamos atliekos, netenkinančios labia mažo aktyvumo atliekos (toliau - LMAA) atliekyno priimtumo kriterijų (pvz., uždarieji panaudoti jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai, pavojingosios atliekos ir pan.).

Prognozuojamas galutinis atliekų kiekis pateiktas 5 pav.



5. pav. **Prognozuojami radioaktyviųjų atliekų kiekiai (14)**

A klasės RA sudaro didžiąją dalį viso KRA tūrio. Atskirtos nedegios atliekos yra presuojamos, pagaminant ~0,8 m³ tūrio atliekų ryšulius, įvyniotus į polietileno plėvelę (kiekvieno ryšulio tūris ir svoris gali skirtis priklausomai nuo atliekų, patekusių į tą konkretų ryšulį, sudėties). Tokių atliekų kiekis po apdorojimo (rūšiavimo ir presavimo) mažėja 5 kartus, bet tai priklausys nuo daugelio faktorių (koks kiekis bus po išrūšiavimo, kiek jos bus supresuotos ir t. t.). Dalį A klasės atliekų galima sudeginti KRATSK deginimo įrenginyje (tačiau tam būtina nustatyti kriterijus, kokios atliekos gali būti deginamos, ir jas atitinkamai rūšiuoti). Tokiu būdu mažinamas organinių medžiagų tūris LMAA atliekyne bei atlaisvinama vieta kitoms A klasės atliekoms sudėti (deginant A klasės atliekas iš susidariusių pelenų būtų formuojamos B+C klasės pakuotės, kurių tvarkymas bus analogiškas II grupės atliekų pelenų tvarkymui). Atskirtos nedegios atliekos skirstomos į presuojamas ir nepresuojamas. Didžioji dalis yra nepresuojamos, jos dedamos į 1CX standarto konteinerius (kurių vidinis tūris yra 15,5 m³), presuojamos (pvz., šilumos izoliacija) suslegiamos į ryšulius. Nuo 2018 m. susidarančios birios betono atliekos dedamos į ~1 m³ talpos armuoto stiklo pluošto konteinerius (FIBC, iki 2 tonų į konteinerį).

Visos pakuotės su A klasės atliekomis vežamos į LMAA buferinę saugyklą arba į laikinas saugojimo aikšteles, vėliau jie bus sudėti į LMAA atliekyną.

B ir C klasės RA rūšiuojamos į degias, nedegias, presuojamas ir nepresuojamas, išskiriant atliekas, netenkinančias dėjimo į paviršinį atliekyną priimtumo kriterijų (grafitas ir PUŠ).

Atskirtos degios B ir C klasės atliekos deginami Kietųjų radioaktyviųjų atliekų tvarkymo ir saugojimo komplekso deginimo įrenginyje. Deginami tik tos atliekos, kurias sudeginus nebus viršijami atliekyno pakuočių atliekų priimtumo kriterijai; kitu atveju atliekos bus patalpintos į atliekyną, jų nesudeginus. Šių atliekų sudėtis yra analogiška A klasės degių atliekų sudėčiai (popierius, tekstilė, plastmasė, mediena ir pan.). Jas sudeginus susidaro statinius pelenų, kurias presuojami ir talpinami į konteinerių (į konteinerius statinės su pelenais dedamos kartu su kitomis atliekomis, konteineriai atskirai vien tik su pelenais neformuojami).

Atskirtos nedegios atliekos skirstomos į presuojamas ir nepresuojamas. Presuojamos atliekos dedamos į 200 litrų talpos statines ir jose presuojamos, o po to dedamos į KTZ-3.6 konteinerius. Nepresuojamos atliekos dedamos į tuos pačius KTZ-3.6 tipo konteinerius. Konteinerių vidinė tuščia ertmė užpildoma betonu, o užpildyti konteineriai dedami į trumpaamžių atliekų saugyklą KRATSK, po to konteineriai bus pervežti ir patalpinti į paviršinį atliekyną.

Radioaktyviųjų atliekų saugyklose yra apšvitintas grafitas, kuris susidarė vykdant technologinių kanalų keitimo darbus. Rūšiuojant atliekas, grafitas bus atskirtas ir patalpintas į 200 litrų statines, kurios bus patalpintos į vidutinio aktyvumo ilgaamžių atliekų konteinerius. Į vieną konteinerį bus dedamos 4 statinės. Konteineriai talpinami į ilgaamžių atliekų saugyklą KRATSK komplekse.

Taip pat IAE yra saugomi panaudoti uždarieji jonizuojančios spinduliuotės šaltiniai (toliau - PUŠ), kurie susidarė tiek dėl pačios Ignalinos AE veiklos, tiek įvairiose įmonėse Lietuvoje (PUŠ iš kitų įmonių surinkdavo VĮ Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo agentūra ir perduodavo VĮ Ignalinos AE saugoti). Anksčiau PUŠ buvo dedami į kietųjų RA saugyklas kartu su kitomis atliekomis. Nuo 2000 metų visi PUŠ apsauginiuose konteineriuose buvo dedami į atskirą talpyklą - saugykloje esančią sekciją.

D ir E klasės radioaktyvias atliekas daugiausia sudaro metalinės atliekos, kurios susidarė vykdant darbus su panaudotu kuru ir aktyviosios zonos konstrukciniais elementais, taip pat atliekos, kurios susidarė vykdant įrangos priežiūros ir remonto darbus (pvz., kuro tvarkymo „karštųjų kamerų“ filtrai). Jie rūšiuojamos: metalinės atliekos talpinamos į ilgaamžių atliekų konteinerius, o grafitas (jei jo bus aptikta), PUŠ atskiriami ir talpinami į 200 litrų statines (kiekvienas šių atliekų tipas dedamas į atskirą statinę). Metalinės atliekos, patalpintos į ilgaamžių atliekų konteinerius, dedamos į ilgaamžių atliekų saugyklą ir saugomos ten tol, kol bus pastatytas giluminis atliekynas. Grafitas ir PUŠ statinėse saugomos KRATSK kol susirinks 4 statinės su vienodos rūšies atliekomis. Šios statinės talpinami į ilgaamžių atliekų konteinerį ir taip pat sudedami į ilgaamžių atliekų saugyklą.

Išmontavimo metu susidarančioms atliekoms pirmiausia atliekamas pirminis jų apdorojimas (smulkinimas, dezaktyvavimas, radiologinių charakteristikų matavimai, patalpinimas į transporto kontenerius ar atliekų pakuotes). Toliau atliekos tvarkomos priklausomai nuo jų klasės.

Atliekoms, kurios įvertinamaisiais radiologiniais tyrimais yra priskirtos sąlyginai neradioaktyvioms atliekoms (0 klasei), yra taikoma radiacinės kontrolės nutraukimo procedūra specializuotuose į nebekontroliuojamųjų lygių aktyvumo matavimo įrenginiuose. Nutraukus radiacinę kontrolę, tokios atliekos toliau yra tvarkomos kaip įprastos neradioaktyviosios atliekos – jos yra perduodamos atliekų tvarkymo įmonėms, su kuriomis Ignalinos AE turi sutartis, o perdirbimui ir pakartotiniam panaudojimui tinkamos medžiagos (dažniausiai metalo laužas) perduodamos kaip antrinės žaliavos (14).

IAE vykdomos veiklos metu (pavyzdžiui, poeksploataciniu laikotarpiu, išmontavimo ir dezaktyvacijos metu, tvarkant branduolinį kurą) susidaro dujinės radioaktyviosios atliekos (radioaktyviosios dujos ir aerozoliai), pasižyminčios dideliu lakumu ir greitai išplintančios aplinkoje, įveikiančios apsaugos barjerus per tarpelius ir nesandarumus. Dujinių radioaktyviųjų atliekų lokalizavimui, surinkimui ir apdorojimui naudojamos izoliuotos talpos, turinčios ventiliacijos ir dujų valymo sistemas. Svarbiausi dujų valymo sistemų komponentai yra įvairių konstrukcijų ir dydžių aerozoliniai filtrai bei absorberiai. Panaudoti dujų valymo įrenginių sorbentai ir filtrai priskiriami kietosioms radioaktyviosioms atliekoms ir klasifikuojami bei turi būti tvarkomi pagal atitinkamus eksploatacinius dokumentus.

Dujinės radioaktyviosios atliekos yra šalinamos pagal normatyvinio dokumento „Branduolinės saugos reikalavimai BSR-1.9.1-2017, Radionuklidų išmetimo į aplinką iš branduolinės energetikos objektų normos ir reikalavimai radionuklidų išmetimo į aplinką planui“, reikalavimus.

Skystųjų radioaktyviųjų atliekų apdorojimas vykdomas atskirai, atsižvelgiant į jų aktyvumą, susidarymo šaltinį, fizikinę ir cheminę sudėtį. Specialiaisiais technologiniais vamzdynais skystosios radioaktyviosios atliekos patenka į atitinkamas talpas laikinai saugoti.

Ignalinos AE tvarkomos eksploatavimo metu, poeksploatavimo metu ir eksploatavimo nutraukimo metu susidariusios ir susidarančios skystosios atliekos:

- nuotekos iš įrenginių, drenažų nuotekos, specialiosios skalbyklos nuotekos, laboratorijų nuotekos, švareklos nuotekos;
- panaudoti valymo ir dezaktyvavimo tirpalai;
- garintuvų koncentratai;
- panaudotų dervų ir perlito mišiniai;
- kitos atliekos

Surinktos SKRA apdorojamos garinimo įrenginyje, kur yra mažinamas atliekų tūris (vanduo išgarinamas, o ištirpusios kietos medžiagos (tarp jų ir radioaktyviosios medžiagos) koncentruojamos). Garų kondensatas, siekiant sumažinti radionuklidų kiekį jame, filtruojamas per jonų mainų dervas ir perlito miltelius. Garinimo būdu atskirta vandens dalis tampa švari ir gali būti vėl panaudota IAE technologiniuose procesuose. Susidaręs koncentruotas druskų tirpalas yra vadinamas garinimo koncentratu (likučiu). Šis garinimo likutis taip pat ir nuosėdos iš koncentrato, jonų mainų dervos iš Ignalinos AE vandens valymo ir skystųjų atliekų apdorojimo sistemų, pagalbinė filtravimo medžiaga (perlitas) yra cementuojamos cementavimo įrenginyje (surišamos karštoje cemento terpėje (kondicionavimas)).

Sukietintos RA, patalpintos į 200 l metalines statines, kurios po 8 patalpintos į gelžbetonio konteinerius, yra saugomos Cementuotų atliekų laikinosios saugykloje.

Galutiniam apdorojimui konteineriai su sukietintomis RA bus vežami į Mažo ir vidutinio aktyvumo trumpaamžių radioaktyviųjų atliekų paviršinį atliekyną (B25), kuris bus pastatytas pagal projektą (14).

2.3. Esamos skystųjų radioaktyviųjų atliekų apdorojimo technologijos analizė

Įvairios IAE skystosios atliekos, tokios kaip nuotėkiai iš įrenginių ir vamzdynų, drenažų nuotekos, nuotekos iš specialiosios skalbyklos, nuotekos iš sanitarinių švarekų, panaudoti valymo ir dezaktyvavimo tirpalai ir pan., yra surenkamos į specialiąsias saugojimo talpas.

Siekiant sumažinti SKRA kiekį, jos apdorojamos. SKRA apdorojimo būdai, priklausomai nuo jų specifinio aktyvumo, atliekų rūšies, jų agregacijos būklės, parodyti Lentelėje 2. Paskutiniame SKRA apdorojimo etape jos kietinamos cementavimo įrenginyje.

SKRA apdorojimo būdai (15)

Lentelė 2

Specifinis aktyvumas	Atliekų rūšis	Apdorojimo būdas
Žemo aktyvumo atliekos $\leq 4 \times 10^5$ Bq/l	1. Organizuotas ir neorganizuotas įrangos ir vamzdynų nuotėkis.	Garinimas GĮ. Jonų mainų valymas.
	2. Avarinio nuleidimo vanduo.	
	3. Įrangos ir vamzdynų ištuštinimo vanduo.	
	4. Regeneravimo tirpalai, naudojami jonų mainų įrenginiuose ir BY.	Skiedimas, vidurkinimas, neutralizavimas plovimo ir nuotekų vandenimis, bendras garinimas GĮ. Jonų mainų valymas.
	5. Įrangos dezaktyvavimo tirpalai.	
	6. Specialiosios skalbyklos vanduo.	Dvigubas garinimas GĮ. Jonų mainų valymas.
	7. Sanitarinių švarekų vanduo.	
	1. Organizuotas nuotėkis iš technologinės įrangos.	Garinimas GĮ. Jonų mainų valymas.

Specifinis aktyvumas	Atliekų rūšis	Apdorojimo būdas
Vidutinio aktyvumo atliekos > 4x10 ⁵ Bq/l	2. SKRATS jonų mainų filtrų atpalaidavimo vanduo.	Garinimas GĮ. Jonų mainų valymas.
	3. Vanduo iš panaudoto branduolinio kuro kasečių saugyklų.	Jonų mainų valymas.
	4. Garinimo įrenginių išgarinimo likutis.	Cementavimas.
	5. Panaudota perlito ir jonų mainų dervų masė.	Laikinas laikymas talpoje po vandens sluoksniu tolesniam cementavimui.
	6. Dumblas iš išgarinimo likučio surinkimo talpos.	Cementavimas.
	7. Nuosėdos išvalius mažo druskingumo vandens pripildymo talpas.	

SKRATS garinimo įrenginiai priklauso saugai svarbioms normalaus veikimo sistemoms ir yra įtraukti į nuotekų vandens apdorojimo ir tolesnio valymo sistemą.

Nuotekų vandens apdorojimo technologinis procesas susideda iš šių pagrindinių operacijų:

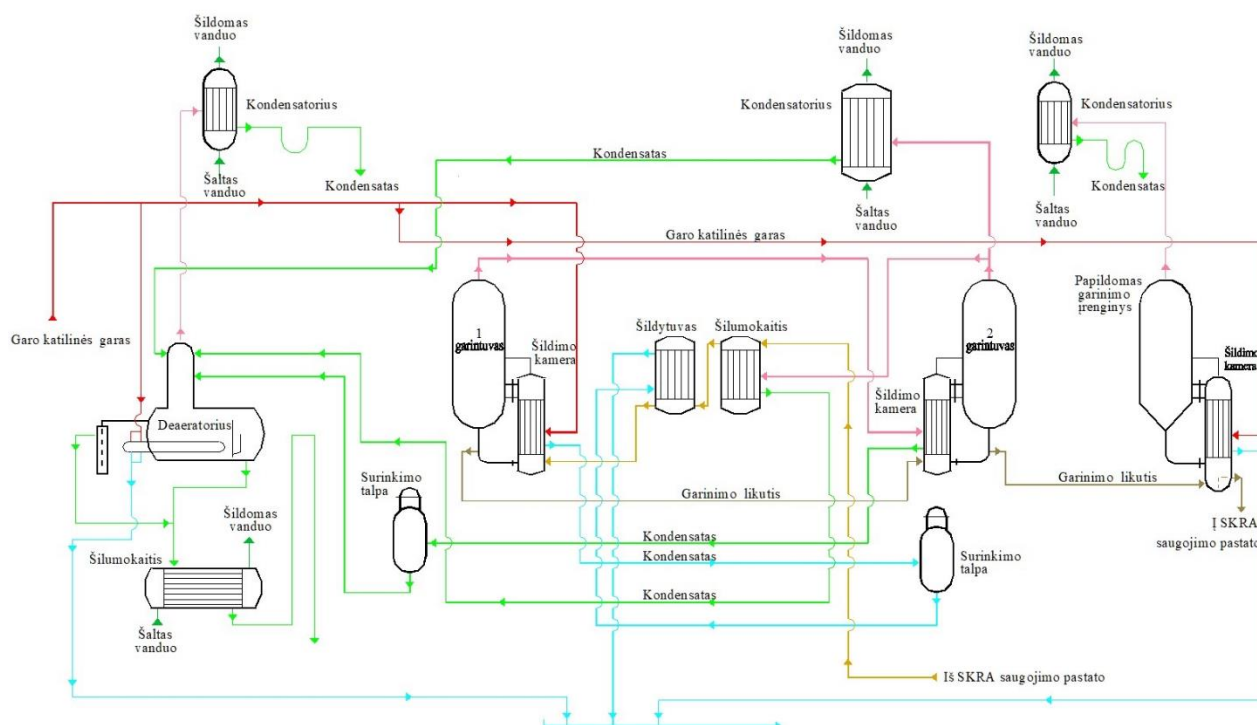
- įvairių tipų SKRA surinkimas ir saugojimas pastato specialiniuose talpose;
- nuotekų valymas ir antrinio garo kondensato, skirto pakartotiniam naudojimui, ir išgarinimo likučio gavimas;
- papildomas išgarinimo likučio išgarinimas papildomo garinimo įrenginyje iki druskų koncentracijos (300 g/l);
- antrinio garo kondensato valymas jonų mainų metodu papildomo kondensato valymo įrenginyje iki PIK (papildomai išvalytas koncentratas) standartų;
- SKRATS įrenginių išmetamų dujų valymas;
- šilumos mainų įrangos rūgštinis valymas nuo nuosėdų susidarymo.
- SKRA cementavimas - panaudotų jonų mainų dervų, perlito, išgarinimo likučio įtraukimas į cemento mišinį cementavimo įrenginyje (CĮ). SKRA kietinimo pakuočių gamyba (cemento mišinio išdavimas iš CĮ į metalines statines), SKRA pakuočių komplekto formavimas (pasvertos ir apibūdintos) pakuočių (200 litrų statinė) kraunamos į gelžbetoninį konteinerį laikinai saugoti iki galutinio laidojimo cementuotų atliekų laikinojoje saugykloje).

Šiuo metu SKRA apdorojimas garinimo įrenginyje atliekamas 3-4 kartus per metus, kai sukaupiamas perdirbimui pakankamas SKRA kiekis.

Skystųjų radioaktyviųjų atliekų tvarkymo komplekse yra 2 garintuvai, kiekvieno iš kurių sudėtyje yra: šildytuvas, šilumokaitis, 2 garintuvai, kondensatorius, šilumokaitis-aušintuvas, deaeratorius.

Garinimo įrenginys užtikrina nuotekų vandens valymą nuo ištirpusių radioaktyviųjų druskų ir dujų distiliavimo ir terminio deaeravimo būdu, tada vyksta IAE SKRA koncentravimas (tūrio mažinimas).

SKRA garinimo procesas garinimo įrenginyje pavaizduotas 6 pav. (16).



6. pav. SKRA garinimo procesas garinimo įrenginyje (...)

SKRA, eidamos per šilumokaitį ir šildytuvą, patenka į 1-ą garintuvą, tada išgarintas tirpalas patenka į 2-ą garintuvą, kad išgaruotų iki 130 g/l druskos koncentracijos. Išgarinimo likutis iš garintuvo gravitacijos būdu patenka į papildomo garinimo įrenginį.

Į pirmąjį garintuvą iš garo katilinės tiekiamas kaitinantis garas. Šildymo garų kondensatas, eidamas per šildytuvą, dalį šilumos išskiria garinimui tiekiamoms SKRA ir tada patenka į surinkimo talpą.

Antrinis garas iš 1-ojo garintuvo yra 2-ojo garintuvo šildytuvais. Susidaręs kondensatas patenka į deaeratorių. Antrinis garas iš 2-ojo garintuvo kondensuojasi kondensatoriuje ir irgi siunčiamas į deaeratorių. Deaeratoriuje kondensato mišinys išvalomas nuo ištirpusių dujų, įskaitant RTD (radioaktyviųjų tauriųjų dujų). Išvalius ištirpusių dujų, kondensatas šilumokaityje atšaldomas iki 40C ir surenkamas į talpą.

Iš švaraus kondensato nuolat imami cheminiai radioaktyvumo mėginiai.

Garai iš deaeratoriaus - ištirpusios dujos ir iš dalies vandens garai - kondensuojami kondensatoriuje, dujos išvalomos dujų valymo įrenginyje ir išleidžiamos į atmosferą, nuolat stebint radioaktyviųjų medžiagų kiekį.

Garinimo įrenginio antrinių garų kondensatas tiekiamas tolesniam papildomam valymui kondensato papildomo valymo įrenginyje. Po papildomo valymo susidaręs specialiai išgrynintas kondensatas savo kokybe atitinka giliai demineralizuotą vandenį. Jį galima toliau naudoti IAE reikmėms arba išleidimui į aušinimo tvenkinį elektrinėje nustatyta tvarka.

Skystųjų radioaktyviųjų atliekų tvarkymo komplekse yra įrengti 2 atskiri kondensato apdorojimo įrenginiai, kurių kiekviename yra: 3 kasetiniai perlito filtrai, 2 jonų mainų filtrai, mišrus filtras ir išvalyto kondensato surinkimo talpos.

Antrinis garo kondensatas kondensato valymo įrenginyje naudojant filtrus yra išvalomas nuo naftos produktų, nuo ištirpusių korozijos produktų ir radioaktyviųjų izotopų. Išvalyto kondensato kokybė pagal radioaktyviųjų izotopų kiekį turi atitikti vandens išleidimo į atvirus vandens telkinius normas.

SKRA išgarinimo likutis iš 2-ojo garintuvo paduodamas į papildomą garintuvą. Po papildomo garinimo išgarinimo likučio kiekis yra iki 300 g/l. Išgarinimo likutis laikomas atskiroje talpoje SKRA saugykloje ir kietinamas cementavimo įrenginyje.

Antriniai garai iš papildomo garintuvo kondensuojami kondensatoriuje, kondensatas surenkamas į talpas ir po to siurbliais pumpuojamas į nuotekų vandens surinkimo talpas pakartotiniam perdirbimui (17).

Paskutinis SKRA apdorojimo etapas yra jų sukietinimas įtraukiant į cemento matricą cementavimo įrenginyje.

SKRA cementavimo procesas apima kelis etapus:

- SKRA mišinio ruošimas pagal vieną iš keturių IAE parengtų receptūrų 1500 m³ talpos saugojimo talpoje;
- SKRA paruošimas cementavimo įrenginio tiekimo talpoje;
- SKRA cementavimas cementavimo įrenginyje su 200 l talpos statinių užpildymu cementuotomis SKRA;
- statinių su cementuotomis SKRA radiologinis apibūdinimas;
- pakavimo komplekto formavimas - 8 statinių montavimas į gelžbetoninį saugojimo konteinerį, pakavimo komplekto dokumentų komplekto formavimas;
- pakavimo komplekto transportavimas į saugojimo pastatą ir jo saugojimas ten iki galutinio laidojimo kapinyne.

Saugyklos tūris suprojektuotas saugoti nuo eksploatacijos likusias cementuotas ir išmontuojant abu IAE blokus susidariusias SKRA.

Atsižvelgiant į tai, kad ~10 kartų sumažėjus valomo vandens kiekiams (nuo 250000 m³ – kai IAE buvo eksploatuojama, iki 25000 m³ – 2020 metais, o ateityje, nuo 2025 metų - iki 20 000 m³ per metus) esami įrenginiai tampa neefektyvūs, nes:

- sumažėjus perdirbto SKRA kiekiui, garinimo įrenginio produktyvumas sumažėja 10-30 kartų;
- dėl didelių bendrų įrangos matmenų ir didelio tirpalų kiekio aparatuose padidėja įrangos EDG (ekvivalentinė dozės galia), o tai atitinkamai padidina personalo apšvitą;
- garinimo įrenginio įranga ir jos pagalbinės sistemos yra daugelyje patalpų, kuriose įrenginį eksploatuojant nuo 1983 metų buvo sukauptas aukštas EDG lygis iš įrangos ir pastato konstrukcijų;
- naudoja per daug gamtos išteklių – dujos garo šildymui, technologinis vanduo aušinimo įrangai, paimtas iš Drūkšių ežero (bendras jo suvartojimas eksploatuojant esamą garintuvą apie 400 m³/val.), elektra skystųjų radioaktyviųjų atliekų tvarkymo komplekso pagalbinių sistemų (vėdinimas, apšvietimas) šildymui palaikyti.

Apibendrinant, naudojami IAE garinimo įrenginiai tampa neefektyvūs. Todėl esamus SKRA įrenginius būtina pakeisti šiuolaikine, įmonės poreikius geriau atitinkančia ir efektyvesne technologija, kuri leistų sumažinti aplinkos taršą ir taupytų gamtos, energetinius resursus.

3. ENERGIJĄ TAUSOJANČIŲ GARINIMO ĮRENGINIŲ PARINKIMAS

Vakuuminiai vandens garintuvai - efektyvus sprendimas nuotekoms valyti ir pakartotinai panaudoti visų rūšių pramoninėje veikloje.

SKRA valymo energiją taupančiais vakuuminiais garintuvais (toliau - ETVG) technologija pagrįsta nuotekų vandens kontroliuojamu valymu nuo ištirpusių radioaktyviųjų druskų ir dujų distiliuojant, deaeruojant ir koncentruojant (sumažinant tūrį) SKRA.

Vakuuminių garinimo įrenginių veikimas yra pagrįstas fiziniu apdorotų skysčių garų virimo ir kondensacijos procesu, pereinant iš skystos būsenos į dujinę būseną, kuri vakuumo sąlygomis vyksta žemesnėje nei virimo temperatūra esant atmosferos slėgiui. Tai leidžia žymiai sutaupyti energijos ir pagerinti sistemos efektyvumą (18).

Įdiegus ETVG, padidės skystųjų radioaktyviųjų atliekų apdorojimo efektyvumas dėl žemos garavimo temperatūros siurbimo metu, sumažės energijos išteklių sąnaudos: garo, technologinio vandens, elektros energijos pagalbiniams SRATK sistemoms (vėdinimas, apšvietimas) palaikyti, šilumnešis nemažai komplekso daliai šildyti.

Į garintuvą planuojama tiekti nuo 5000 iki 20000 m³/metus skystų radioaktyviųjų atliekų, kurių druskos kiekis (mineralizacija) iki 2 g/l.

Apdorojamų SKRA savybės pateiktos 3 lentelėje (19).

Apdorojamų SKRA savybės

Lentelė 3.

Eilės Nr.	Parametras	Mato vienetas	Reikšmė
1	SRA tūris	m ³ /metai	nuo 5000 iki 20000
2	Vandenilio potencialas	pH	nuo 2 iki 12
3	Sausas likutis (druskingumas)	g/l	iki 2
4	Druskų sudėtis:		
4.1.	NaNO ₃	% (masės)	90%
4.2.	Anijonai (PO ₄ ³⁻ , C ₂ O ₄ ²⁻ , SO ₄ ²⁻ , SiO ₃ ²⁻)	% (masės)	7%
4.3.	Katijonai (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Fe ³⁺)		
4.4	Amoniakas (NH ₄ ⁺)	mg /l	iki 45
4.5	Chloridai (Cl ⁻)	mg /l	iki 25
5	Detergentai	mg/l	iki 20
6	Naftos produktai	mg/l	iki 5
7	Bendras tūrinis aktyvumas	Bq/l	ne daugiau 4E+05

Silpnai mineralizuotų radioaktyvių vandenų koncentravimas bus vykdomas vakuuminio garinimu dviem etapais. Pagal 2 lentelę, po pirmojo išgarinimo etapo - koncentruoto išgarinimo likučio mineralizacija turi būti 50 g/l, o po antrojo - 300 g/l.

Įrenginiui keliami pagrindiniai techniniai reikalavimai nurodyti 4 lentelėje:

Įrenginiui keliami pagrindiniai techniniai reikalavimai.

Lentelė 4.

Eilės Nr.	Reikalavimas	Mato vienetas	Reikšmė
	Valymo pakopų skaičius	vnt	ne mažiau 2
	Energijos šaltinis	-	elektra
	Energijos suvartojimas	kW/m ³	ne daugiau 125
	Efektyvumas	l/val	ne mažiau 2000
	Veikimas	val/para	24
	Medžiaga	-	nerūdijantis plienas arba lygiavertė (turi būti atspari dezaktyvavimo tirpalams ir korozijai agresyvioje terpėje, turėti žema radionuklidų absorbuojimo savybę)
	Vakuuminė sistema	-	turi būti
	Dezaktyvavimo galimybė	-	turi būti
	Automatinis koncentrato išpylimas	-	turi būti
	Išorinis kondensavimas	-	gali būti
	Tirpalo druskingumas po garintuvo (pirmos pakopos)	g/l	iki 50
	Tirpalo druskingumas po koncentratoriaus (antros pakopos)	g/l	iki 300
	Tirpalo bendras aktyvumas po valymo	Bq/l	daugiau 4E+05
	Atliekų kiekio (lygio), temperatūros, bei įrangos vakuumo davikliai	-	turi būti
	Automatinis įrangos saugos parametrų palaikymas (vakuumo, atliekų temperatūros ir lygio parametrų palaikymas)	-	turi būti
	Kontrolė ir nuotolinis valdymas	-	SCADA sistema su paskirstytais periferiniais prietaisais (vietinio valdymo spintelės su

Eilės Nr.	Reikalavimas	Mato vienetas	Reikšmė
			integruotais PLC valdikliais, HMI operatoriaus valdymo panele bei priežiūros valdymo sistema su serveriu ir aukščiausio lygio valdikliu, su kompiuterinio tinklo diagnostikos sistemomis ir nepertraukiamo maitinimo šaltiniu.

Įrenginiui keliama minimalūs funkciniai reikalavimai:

- Energiją taupantis vakuuminio garinimo įrenginys turi būti skirtas skystoms radioaktyviosioms atliekoms, kurių druskingumas yra 0,5–2 g/l, apdoroti vakuuminio garinimo sąlygomis, naudojant elektrą, kaip energijos šaltinį.
- Įrenginys turi paimti SKRA perdirbimui iš talpų, per dvi pakopas išgarinti SKRA vakuume (turi užtikrinti tolygų koncentrato tiekimą iš pirmos įrenginio pakopos į antrą).
- Surinkti pirmos pakopos kondensatą į talpą.
- Surinkti distiliavimo liekaną į talpą.
- Įrenginys turi užtikrinti radioaktyviųjų medžiagų plitimo (nesakcionuotų nutekėjimų ir išmetimų) ribojimą už įrenginio ribų.
- Įrenginio konstrukciniai elementai, kurie turės sąlytį su SKRA turi būti atsparūs korozijai agresyvioje terpėje, tai yra atitinkami elementai turi būti pagaminti iš korozijai atsparios medžiagos.
- Įrenginio konstrukciniai elementai turi turėti žemas radionuklidų absorbuojimo savybes. Įrenginio konstrukcija turi būti tokia, kad būtų galimybė ją dezaktyvuoti, o atitinkami įrenginio elementai turi būti pagaminti iš medžiagos, atsparios dezaktyvavimo tirpalams.
- Garinimo procesas, įskaitant SKRA paėmimą, kondensato ir distiliavimo liekanos iškrovimą turi būti automatizuotas. Įrenginys turi automatiškai valdyti garinimo procesą, įskaitant proceso parametrų kontroliavimą (minimaliai, bet neapsiribojant, SKRA lygio, slėgio, temperatūros ir laidumo parametrais).
- Įrenginys ir garinimo proceso parametrai (slėgis (vakuumas), SKRA temperatūra, lygis bei druskingumas kiekvienoje pakopoje) turi būti atvaizduojami ir valdomi tiek lokaliai, tiek nuotoliniu būdu iš valdymo patalpos, kuri randasi maždaug 70 metrų atstumu, nuo pačio Įrenginio.
- Įrenginio konstrukcijoje turi būti numatyta galimybė paimti tiek pirmos, tiek antros pakopos SKRA mėginius.
- Įrenginys turi būti pritaikytas veikti nepertraukiamai (išskyrus planinio techninio aptarnavimo atvejus).

- Įrenginyje turi būti numatyta avarinė signalizacija, bei tiek rankinis, tiek avarinis išjungimas, įvikius gedimui ir/ar garinimo procesui pasiekus kritines reikšmes.
- Įrenginys ir visi jo komponentai turi būti suderinti ir sukonfigūruoti tarpusavyje, veikti kaip vieninga sistema.

Siūlomas 1-ojo etapo įrengimas – vakuuminis garintuvas su dviejų pakopų garinimo sistema, kaip energijos šaltinį naudojantis tik elektrą. Pasirinktas garintuvas pagamintas iš nerūdijančio plieno. Šiame etape skystos radioaktyviosios atliekos bus koncentruojamos garintuve, todėl susidarys kondensatas ir koncentruotas 1-os pakopos išgarinimo likutis.

Kondensatas po 1-ojo etapo bus automatiškai išleidžiamas į 5 m³ tūrio distiliato talpą, o koncentruotas likutis į 5 m³ tūrio buferinę talpą, iš kurios vakuumine siurbimo linija bus tiekiamas į 2-ą garinimo etapą.

Siūlomas 2-ojo etapo įrengimas – vakuuminis garintuvas su vienpakope garinimo sistema, energijos šaltiniu naudojant tik elektrą. Pasirinkto modelio garintuvas pagamintas iš nerūdijančio plieno, o garintuvo korpuso dalys, kurios liečiasi su apdorojamu gaminiu, iš itin atsparaus korozijai dvifazio (super duplexo) lydinio.

Koncentruotas išgarinimo likutis, gautas po 2 etapo, bus automatiškai išpilamas į specialią darbinę talpą. Kondensatas po 2-os pakopos bus siunčiamas perdirbti į 1-ą išgarinimo įrenginio pakopą.

Siūloma įranga:

1-o išgarinimo etapo vakuuminis garintuvas pavaizduotas 7 pav.



7. pav. 1-o išgarinimo etapo vakuuminis garintuvas

1 išgarinimo etapas – elektrinis vakuuminis garintuvas su dviejų pakopų garinimo sistema (turi du garinimo bakus) ir naudojant priverstinę apdirbamo produkto cirkuliaciją išoriniuose šilumokaičiuose.

Jo šildymo ir kondensavimo sistema yra pagrįsta šilumos siurblio schema, todėl jis gali veikti esant žemai temperatūrai garintuvo bako viduje.

Dviejų garintuvų naudojimas leidžia pasiekti aukštą įrenginio našumą su mažomis energijos sąnaudomis.

Visiškai automatinis veikimas (darbo procesas 24 valandas per parą). Produkto pakrovimas ir kondensato bei koncentruoto išgarinimo likučio iškrovimas vyksta automatiškai.

1-o išgarinimo etapo įrenginio keliami parametrai nurodyti 5 lentelėje (20):

1-o išgarinimo etapo įrenginio keliami parametrai.

Lentelė 5.

Parametras	Matavimo vienetai	Reikšmės
Kondensato gamyba per dieną	l/dieną	60000
Kondensato išeiga per valandą	l/val	2500
Vartojimo galia	kWh	275
Elektros suvartojimas	kWh/m ³	110
Matmenys	mm	7000 x 3000 x 4500
Svoris	kg	8000

2-o išgarinimo etapo vakuuminis garintuvas pavaizduotas 8 pav.:



8. pav. 2-o išgarinimo etapo vakuuminis garintuvas

2-jo etapo vakuuminis garintuvas naudoja kombinuotą vakuumo ir šilumos siurblio technologijos efektą, kad skysčiai užvirtų žemoje temperatūroje (35-45°C). Skirtas vandeniniams tirpalams, kurie sudaro daug nuosėdų ir kai reikalinga didelė likučių koncentracija, apdoroti.

Visiškai automatinis veikimas (darbo procesas 24 valandas per parą). Produkto pakrovimas ir kondensato bei koncentruoto išgarinimo likučio iškrovimas vyksta automatiškai.

2-o išgarinimo etapo įrenginio keliame parametrai nurodyti 6 lentelėje (21):

2-o išgarinimo etapo įrenginio keliame parametrai.

Lentelė 6.

Parametras	Matavimo vienetai	Reikšmės
Kondensato gamyba per dieną	l/dieną	4800
Kondensato išėiga per valandą	l/val	200
Vartojimo galia	kWh	36
Elektros suvartojimas	kWh/m ³	180
Matmenys	mm	4000 x 1900 x 2600
Svoris	kg	2500

Pagrindiniai pokyčiai naudojant naują technologiją:

- nereikia gamtinių dujų iš garų katilinės;
- nereikia įrenginio aušinimui techninio vandens;
- dabartinėje technologijoje naudojami du išgarinimo įrenginiai, kiekvieno našumas 30 m³/val., vieno naujo įrenginio našumas - iki 2 m³/val.;
- naujas įrenginys leis daug kartų sumažinti bendrus įrangos matmenis ir tirpalų kiekį aparatuose. Sumažinus tirpalų tūrį aparate, atitinkamai sumažėja įrangos EDG;
- SKRA apdorojimo procesas pagal naują technologiją vykdomas žemoje temperatūroje, todėl ant šilumos mainų įrangos sienelių nesusidaro nuosėdos ir nesusidaro vietinės vietos su padidintais radioaktyviais laukais. SKRA apdorojimas pagal esamą technologiją atliekamas 120-150 °C temperatūroje naudojant vandens garą iš garo katilinės, kuri veikia naudojant gamtines dujas. Šildytuvų, garintuvų ir kondensatorių šilumos mainų vamzdžiai apaugę nuosėdomis, kurias galima pašalinti tik naudojant aukšto slėgio įrenginius su didelėmis dozės sąnaudomis;
- esamo įrenginio įranga yra išdėstyta daugelyje patalpų (16 vnt);
- šių įrenginių patalpose per eksploatavimo laikotarpį nuo 1983 metų buvo sukauptas aukštas EDG lygis iš įrangos ir pastato konstrukcijų;
- esama įranga eksploatuojama daugiau nei 35 metus, todėl remonto personalui didėja darbo ir dozių sąnaudos siekiant atkurti įrangos darbingumą;
- naujieji SKRA valymo įrenginiai bus įrengti ribotame 12x4x4 m plote vienoje patalpoje šalia nuotekų vandens surinkimo talpų ir išgarinimo likučio priėmimo talpos. Atsižvelgiant

į tai, bus sumažintas eksploatuojamų įrenginių skaičius ir tūris, o tai atitinkamai sumažins personalo apšvitą;

Apibendrinant, pasirinkti ETVgarintuvai visiškai atitinka pagrindiniams techniniams ir funkciniais reikalavimams. Įdiegus ETVG, dėl žemos garavimo temperatūros siurbimo metu padidės skystųjų radioaktyviųjų atliekų apdorojimo efektyvumas, sumažės energijos išteklių sąnaudos: šildymo garas iš garo katilinės (kur reikalingas dujos), technologinis vanduo, elektra SRATK pagalbinėms sistemoms (vėdinimas, apšvietimas) palaikyti, šilumnešis nemažai komplekso daliai šildyti.

4. APLINKOSAUGINIAI - EKONOMINIAI SKAIČIAIVIMAI

4.1. Energiją tausojančių garinimo įrenginio įdiegimo įmonėje planuojamų rezultatų analizė

Ekonominiai skaičiavimai

Perspektyvoje, nuo 2025 m., tikimasi skystųjų radioaktyviųjų atliekų susidarymą sumažinti nuo 30 000 m³ iki 20 000 m³ per metus, o po 2030 m. – iki 10 000 m³ per metus. (1984-2009 m. IAE eksploatavimo metu vidutiniškai per metus buvo perdirbama 230 tūkst. m³ SKRA).

Dabar vieno garinimo įrenginio (GĮ) veikimui užtikrinti reikalinga:

- 400 m³/val techninio vandens;

30 000 m³/metus SKRA perdirbimui reikia apie 70 dienų vieno GĮ veikimo, t.y. per metus reikia:

$$400 \times 24 \times 70 = 672\,000 \text{ m}^3/\text{metus techninio vandens.}$$

- 18 t/val šildymo garo;
- 60 Nm³ dujų 1 m³ SKRA garinimui;

Tai yra, norint apdoroti 30000 m³ SKRA per metus, reikia:

$$60 \times 30000 = 1\,800\,000 \text{ Nm}^3 \text{ dujų.}$$

- garo katilinės dviejų katilų eksploatavimas;
- eksploatuojami technologinio vandens, šildymo garo, grįžtamojo kondensato vamzdynai;

- tiekiamosios-ištraukiamosios ventiliacijos,
- įvairių IAE padalinių remonto ir priežiūros personalas (19).

Naujų ETVG darbui viso šito neprireiks.

GĮ-1 ir GĮ-2 bei su jais susijusios įrangos ir vamzdynų priežiūra sudaro daugiau nei 25% visų Komplexo darbo sąnaudų.

Tinkamų sąlygų palaikymas GĮ-1 ir GĮ-2 patalpose (temperatūra, apšvietimas, oro mainai, šildymas) reikalauja didelių resursų, daugiau nei 20% visų SRAT Komplexo išlaidų.

Energijos (dujų ir elektros) suvartojimo 1 m³ SKRA apdorojimui sąnaudų įvertinimas naudojant esamą garinimo metodą ir ETVG metodą:

Esamas garinimo būdas.

Specifinės dujų sąnaudos: 60 Nm³ dujų už 1 m³ SKRA arba

$$60 * 10,45 / 1000 = 0,627 \text{ MWh už } 1 \text{ m}^3 \text{ SKRA.}$$

Faktinė vidutinė dujų įsigijimo kaina už 2021 m. 4 ketvirtį, atsižvelgiant į 1 MWh tiekimą ir turinį, yra 99,97 euro.

Dujų kaina 1 m³ SKRA perdirbimui:

$$0,627 * 99,97 = 62,68 \text{ euro.}$$

Be dujų, būtina energija pagalbinių Garinimo sistemų darbui (tai 3 SKRA padavimo siurbliui kondensatui, maitinimo vandens garų katilinei):

Tai 1000 KWh = 1 MWh. elektros energijos per valandą,

$$1 \text{ MWh} * 24 \text{ val} = 24 \text{ MWh elektros energijos per parą.}$$

Per parą garinimo įrenginyje išgarinama vidutiniškai 480 m³ SKRA.

Vidutinė 1 MBt-val elektros energijos kaina IAE 2021 m. pabaigai – 70,58 euro. (22)

Elektros energijos kaina perdirbimui 1 m³ SKRA:

$$24 \text{ MWh} / 480 \text{ m}^3 * 70,58 \text{ euro} = 3,5 \text{ euro.}$$

Tada bendra SKRA 1 m³ perdirbimo kaina :

$$62,68 \text{ euro} + 3,5 \text{ euro} = 66,18 \text{ euro;}$$

Nagrinėjamas ETVG metodas.

Elektros suvartojimas pagal ETVG ir vidutinis nurodyti 7 lentelėje:

Elektros suvartojimas pagal ETVG ir vidutinis.

Lentelė 7.

	Gaunamas distiliatas (kondensatas)	Elektros suvartojimas/ Gaunamas distiliatas
1-o etapo vakuuminis garintuvas	2,5 m ³ /val	110 kWh/m ³
2-o etapo vakuuminis garintuvas	0,2 m ³ /val	180 kWh/m ³
Bendra distiliato gamyba		2,7 m ³ /val
Vidutinis elektros suvartojimas		115,2 kWh/m ³
Šie duomenys susiję su grynu vandeniu ir nuolatiniu įrenginio veikimu standartinėmis sąlygomis.		
Vidutinio suvartojimo teorinis skaičiavimas		
Bendras elektros suvartojimas	2,5 m ³ /val * 110 kWh/m ³ + 0,2 m ³ /val * 180 kWh/m ³ = 311 kWh	
Vidutinis suvartojimas	311 kWh / 2,7 m ³ /val = 115,2 kWh/m ³ = 0,115 MWh/m ³	

1 MWh elektros kaina – 70,58 euro.

1 m³ SKRA apdorojimas ETVG metodu kainuoja:

0,115 MWh el. * 70,58 = 8,12 euro.

66,18 / 8,12 = 8,15

Vertinant tik dujų ir elektros kainas 2021 m. kainomis, SKRA apdorojimas ETVG metodu kainuoja 8 kartus mažiau nei SKRA apdorojimas esamu garinimo metodu.

4.2. Aplinkosauginiai skaičiavimai

Gamtinių dujų deginimo metu susidariusių išmetimų apskaičiavimas:

(Remiantis duomenimis pateiktais 3 priede)

Norint apdoroti 30000 m³ SKRA per metus, reikia 1800000 Nm³ gamtos dujų.

(N-normaliomis sąlygomis: P = 101,3 kPa, T = 273,15°K)

Gamtos dujos – mišinys, kurio pagrindiniai komponentai metanas, etanas, propanas, butanas.

Pagal naudojamų gamtos dujų kokybės parametrų sertifikatą:

% CH₄ = 96,9275 %

% C₂H₆ = 1,8503 %

% C₃H₈ = 0,2878 %

% C₄H₁₀ izo = 0,0516%

% C₄H₁₀ norm = 0,0421%

Išmetamojo CO₂ apskaičiavimas

✓ CO₂ kiekio apskaičiavimas CH₄ (metano) degimo reakcijoje (1)

1,8*10⁹ l * 0,969275 = 1,745*10⁹ l (CH₄ gamtos dujose per metus),

kur 0,969275 – CH₄ dalis gamtos dujose (23)

Skaičiavimai atliekami pagal reakcijos lygtį (1):

n X₍₁₎



1 mol 1 mol

X₍₁₎ = n CO₂ = n CH₄ = 1,745*10⁹/22,4 = 0,078*10⁹ = 7,8*10⁷ mol

X – medžiagos kiekis, mol;

22,4 l/mol – dujų molinis tūris (const)

m = CO₂ = 44 g/mol * 7,8 *10⁷ mol = 343,2 *10⁷ g = **3432 t**,

kur m - masė CO₂,

44 g/mol – molinė masė CO₂.

✓ CO₂ kiekio apskaičiavimas C₂H₆ (etano) degimo reakcijoje (2)

$1,8 \cdot 10^9 \text{ l} \cdot 0,018503 = 0,033 \cdot 10^9 \text{ l}$ (C₂H₆ gamtos dujose per metus),

kur 0,018503 – C₂H₆ dalis gamtos dujose (23)



$$X_{(2)} = n \text{ CO}_2 = n \text{ C}_2\text{H}_6 \cdot 4 / 2 = 0,033 \cdot 10^9 / 22,4 \cdot 4 / 2 = 0,0029 \cdot 10^9 = 2,9 \cdot 10^6 \text{ mol},$$

$$m = \text{CO}_2 = 44 \text{ g/mol} \cdot 2,9 \cdot 10^6 \text{ mol} = 127,6 \cdot 10^6 \text{ g} = \mathbf{127,6 \text{ t}};$$

✓ CO₂ kiekio apskaičiavimas C₃H₈ (propano) degimo reakcijoje (3)

$1,8 \cdot 10^9 \text{ l} \cdot 0,002878 = 0,0052 \cdot 10^9 \text{ l}$ (C₃H₈ gamtos dujose per metus),

kur 0,002878 – C₃H₈ dalis gamtos dujose (23)



$$X_{(3)} = n \text{ CO}_2 = n \text{ C}_3\text{H}_8 \cdot 3 / 1 = 0,0052 \cdot 10^9 / 22,4 \cdot 3 / 1 = 0,0007 \cdot 10^9 = 7 \cdot 10^5 \text{ mol},$$

$$m = \text{CO}_2 = 44 \text{ g/mol} \cdot 7 \cdot 10^5 \text{ mol} = 308 \cdot 10^5 \text{ g} = \mathbf{31 \text{ t}};$$

✓ CO₂ kiekio apskaičiavimas C₄H₁₀ (butano) degimo reakcijoje (4)

$1,8 \cdot 10^9 \text{ l} \cdot (0,000516 + 0,000421) = 0,0017 \cdot 10^9 \text{ l}$ (C₄H₁₀ gamtos dujose per metus),

kur (0,000516 + 0,000421) – i-butano ir n-butano C₄H₁₀ dalis gamtos dujose (23)



$$X_{(4)} = n \text{ CO}_2 = n \text{ C}_4\text{H}_{10} \cdot 8 / 2 = 0,0017 \cdot 10^9 / 22,4 \cdot 8 / 2 = 0,0003 \cdot 10^9 = 3 \cdot 10^5 \text{ mol},$$

$$m = \text{CO}_2 = 44 \text{ g/mol} \cdot 3 \cdot 10^5 \text{ mol} = 132 \cdot 10^5 \text{ g} = \mathbf{13 \text{ t}};$$

$$X_{(\text{bendr})} = X_{(1)} + X_{(2)} + X_{(3)} + X_{(4)} = 7,8 \cdot 10^7 + 2,9 \cdot 10^6 + 7 \cdot 10^5 + 3 \cdot 10^5 = 8,19 \cdot 10^7 \text{ mol},$$

$$m_{(\text{bendr})} = \text{CO}_2 = 44 \text{ g/mol} \cdot 8,19 \cdot 10^7 \text{ mol} = 360,8 \cdot 10^7 = \mathbf{3604 \text{ t}}.$$

Kitų priemaišų kiekis labai mažas, todėl į skaičiavimus jų galima neįtraukti.

Kiti degimo produktai yra azoto oksidų grupė (NO, NO₂) ir CO – anglies monoksidas.

Šių medžiagų kiekį kontroliuoja IAE stebėjimo sistema, naudojant automatinius dujų analizatorius.

Duomenys apie šių medžiagų išmetimo kiekį 2021 m. pateikti 8 lentelėje.

Įrangos pagrindinių parametrų palyginimo lentelė.

8 Lentelė.

Parametrai	Esamas garinimo įrenginys	Energiją taupantys vakuuminiai garintuvai
Dujų suvartojimas	1800000 Hm ³ per metus	nereikia
Techninio vandens suvartojimas	432000 m ³ /metus	nereikia
Pagalbinių sistemų įrangos apimtis	Įrenginių technologinė įranga yra išdėstyta daugelyje patalpų. Šiose patalpose per eksploatacijos laikotarpį buvo sukauptas aukštas ekvivalentinė dozės galios lygis iš įrangos ir pastato konstrukcijų.	Bus įrengtas ribotame 12x4x4 m plote vienoje patalpoje. Atitinkamai sumažės aptarnaujančio personalo dozės apšvitą.
Našumas	30 m ³ /val	2 m ³ /val

Darbo laikotarpis	70 dienų per metus	24 valandas per parą ištisus metus
Elektros energijos suvartojimas	$0,627 \text{ MWh/ m}^3 + 1 \text{ MWh/ m}^3 = 1,627 \text{ MWh/ m}^3$	$0,115 \text{ MWh/m}^3$
Energijos (dujų ir elektros) suvartojimo 1 m ³ SKRA apdorojimui sąnaudų įvertinimas	66,18 euro	8,12 euro
<i>Gamtinių dujų deginimo metu susidariusių išmetimų kiekis</i>		
CO ₂	3604 t per metus	nėra
NO _x	3,950 t per metus	nėra
CO	14,035 t per metus	nėra

Numatomos reikalingų išteklių sąnaudos:

Apytikslė bendra SKRA apdorojimo tvarkymo proceso optimizavimo kaina yra 900 000 € (projektas, įranga 800 000 €, darbo sąnaudos 100 000 €).

IŠVADOS

1. Radioaktyviosios atliekos turi būti tvarkomos vadovaujantis tam tikrais pagrindiniais principais, suformuluotais teisiniuose Lietuvos Respublikos aktuose, siekiant apsaugoti žmones ir aplinką nuo žalingo jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio ir nepalikti nepelnytos naštos ateities kartoms.

2. Didžioji dalis radioaktyviųjų atliekų Lietuvoje susidarė Ignalinos atominėje elektrinėje. Šiuo metu Ignalinos atominė elektrinė skystosios radioaktyviosios atliekos tvarkomos perdirbimo komplekso garintuvais, jie tampa neefektyvūs, nes naudoja per daug gamtos išteklių – dujos garo šildymui, technologinis vanduo garintuvų aušinimo įrangai, elektra šildymui palaikyti.

3. Naują skystųjų radioaktyviųjų atliekų valymo technologija leis sumažinti aplinkos taršą ir taupyti gamtos, energetinius resursus.

4. Kad apdoroti 1 m³ skystųjų radioaktyviųjų atliekų esamas garinimo įrenginys suvartoja elektros energijos beveik 15 kartų daugiau negu naujas. Vertinant tik dujų ir elektros kainas 2021 m. kainomis, atliekų apdorojimas nauju metodu kainuoja 8 kartus mažiau nei atliekų apdorojimas esamu garinimo metodu. Nenaudojant gamtinių dujų, į atmosferą nebus išmetamos kenksmingos medžiagos (CO₂, NO_x, CO).

LITERATŪRA IR ŠALTINIAI

1. Aplinkosauga. Ignalinos atominė elektrinė. Prieiga internetu:
<https://www.iae.lt/aplinkosauga/35>, 2022-01-11.
2. Valstybinė atominės energetikos saugos inspekcija (VATESI). Radioaktyviųjų atliekų klasifikavimas. Prieiga internetu:
www.vatesi.lt/index.php?id=14c3446, 2022-01-25.
3. Lietuvos Respublikos radioaktyviųjų atliekų tvarkymo įstatymas, (Žin., 1999, Nr. 50-1600; 2021, Nr. 13-474)., Prieiga internetu:
<https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.951DF53F837F/asr>; 2022-02-03.
4. International Atomic Energy Agency, The Principles of Radioactive Waste Management, Safety Series, No. 111-F, IAEA, Vienna, 1995;
5. НП-020-2000. Сбор, переработка, хранение и кондиционирование твердых радиоактивных отходов. Требования безопасности. Prieiga internetu:
<http://complexdoc.ru>, 2022-02-25.
6. Morkūnas G. (2007). Radiacinė sauga ir radioaktyviųjų atliekų tvarkymo technologijos. Vilnius: Technika.
7. Никифоров А.С., Куличенко В.В., Жихарев М.И. «Обезвреживание жидких радиоактивных отходов» М.: Энергоатомиздат, 1985. – С.
8. Belousov A. (2020). Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo Ignalinos AE, nutraukiant jos eksploatavimą, programa, IAE, EPg-57(3.254E). Lietuva.
9. Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo priežiūra. Radiacines saugos centras. Prieiga internetu:
<https://www.rsc.lt/index.php/pageid/338>, 2022-02-26.
10. Jungtinė panaudoto kuro tvarkymo saugos ir radioaktyviųjų atliekų tvarkymo saugos konvencija, (Žin., 2004, Nr. 36-1186), Prieiga internetu:
<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.lt/228193>, 2022-01-25.
11. Branduolinės saugos reikalavimai BSR-3.1.2-2017, „Radioaktyviųjų atliekų tvarkymas branduolinės energetikos objektuose iki jų dėjimo į radioaktyviųjų atliekų atliekyną“, (Žin., 2011, Nr. 3-121). Prieiga internetu:
<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.390644/asr> ; 2022-03-01.
12. Lietuvos Respublikos Vyriausybė, „2021–2030 metų branduolinės energetikos objektų eksploatavimo nutraukimo ir radioaktyviųjų atliekų tvarkymo plėtros Programa“, (TAR, 2021-02-09, Nr. 2494; 2021-02-03, Nr. 76). Prieiga internetu:
<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/f9da8d506aa511eb9954cfa9b9131808>, 2022-02-25.

13. Valstybės įmonės Ignalinos atominės elektrinės veiklos strategija, (Patvirtinta Lietuvos Respublikos energetikos ministro įsakymu 2021-03-10, Nr. 1-40). Prieiga internetu: <https://www.iae.lt/data/public/uploads/2021/03/iae-strategija-2021.pdf>, 2022-02-05.
14. Ignalinos atominės elektrinės galutinis eksploatavimo nutraukimo planas, Patvirtintas Lietuvos Respublikos energetikos ministro 2020 m. rugpjūčio 11 d. įsakymu Nr. 1-248. 2018 m. Leidimas.
15. Belousov A. (2020). Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo iki jų dėjimo į atliekynus valdymo procedūros aprašas, IAE, ĮsTa-258. Lietuva.
16. (1983). Пояснительная записка к рабочим чертежам сооружений химслужб. Том 1. Инженерно-технические решения. 1221.X-ПЗ.I.I. VĮ Ignalinos atominės elektrinės archyvas.
17. 150 pastato garinimo įrenginio nr.1,2 eksploatavimo instrukcija, DVSEd-0912-125V3, EIn-239(3.251E), 2020-09-17.
18. Вакуумное выпаривание. Проектирование и конструирование вакуумных выпарных установок. AQUADEST. Prieiga internetu: <https://aquadest.ru>, 2022-03-01.
19. „Planuojamo techninio vandens vartojimo SKRATS 2023-2035 m. laikotarpiu analizės aktas“, VAK-653(3.265), 2020-02-27.
20. Condorchem envitech. Water treatment. Prieiga internetu: <https://condorchem.com/en/water-treatment>, 2022-03-01.
21. Evald. Evaporation technologies. Prieiga internetu: <https://evald.com/evaporation-technologies/>, 2022-03-01.
22. Dėl 2021 m. energetikos išteklių vidutinių kainų, pažyma. IAE, PPaz-1428(13.70E).
23. Akcinė bendrovė „Amber Grid“. 2021 m. lapkričio mėnesio gamtinių dujų kokybės parametrai Nemenčinės, Pabradės, Švenčionėlių, Visagino dujų skirstymo stotyse, 2021-12-01. Vilnius.
24. Stasys Motiejūnas. (2009). Radioaktyviųjų atliekų laidojimas. Leidinys. Vilnius.