

**ATEITIES ENERGETIKOS TECHNOLOGIJŲ KŪRIMAS, JŲ SAUGOS IR PATIKIMUMO  
TYRIMAI**

**1. Programos vykdytojas** - Lietuvos energetikos institutas (toliau – LEI).

Norminiai etatai skirti programai - 25,17.

**2. Programos tikslas** - panaudojant skaitinio modeliavimo ir eksperimentinius tyrimo metodus plėtoti ateities energetikos technologijas, iširti naujos kartos energijos generavimo ir saugojimo įrenginiuose vykstančius fizikinius procesus, įvertinti technologijų patikimumą ir saugą bei jų integravimą į bendrą energetikos sektorių siekiant užtikrinti Europos Sąjungos ir Lietuvos energetinį saugumą.

**3. Programos uždaviniai:**

3.1. Branduolių sintezės principu veikiančiuose įrenginiuose vykstančių procesų tyrimai ir saugos vertinimas.

Pagal Europos mokslininkų parengtą ir Europos Komisijos (EK) patvirtintą kelrodį planuojama, kad 2050 metais bus pradėta komercinė branduolių sintezės įrenginio eksploatacija, o tai reiškia, kad iki to laiko reikia iširti šiuose įrenginiuose vykstančius fizikinius procesus, sukurti technologijas ir užtikrinti, kad jos būtų saugiai eksploatuojamos. Šiuo metu kuriamas prototipinio branduolių sintezės reaktoriaus DEMO koncepcinis projektas. DEMO bus naujas etapas po ITER, kurio tikslas bus parodyti, kad galima ne tik technologinė, bet ir komercinė branduolių sintezės principu veikiančios jėgainės eksploatacija.

Šio uždavinio tikslas prisidėti prie branduolių sintezės technologijų kūrimo užtikrinant, kad DEMO reaktoriaus koncepcinis projektas yra kuriamas įvertinant visus saugos reikalavimus, keliamus branduolių sintezės įrenginiams, ir atliekant reikiamus mokslinius tyrimus siekiant parodyti šio įrenginio priimtinumą saugos požiūriu. Pagrindiniai šio uždavinio darbai bus įvertinti esamų ir kuriamų kompiuterinių programų paketų galimybes ir ribojimus saugos klausimams spręsti, tobulinti skaitinius pernašos procesų tyrimų metodus ir įvertinti galimus radioaktyviųjų medžiagų nuotėkius į aplinką. Bus atlikta deterministinė pasirinktų avarijų scenarijų analizė, įvertintos gautų rezultatų neapibrėžtys. Bus nagrinėjamos projektinės ir neprojektinės avarijos ir įvertinama galimybė sumažinti radioaktyviųjų medžiagų nuotėkį į aplinką. Vykdam šį uždavinį bus atsižvelgiama į patirtį atliekant analogiškus tyrimus ITER reaktoriui. Moksliniai branduolių sintezės įrenginių tyrimai buvo nagrinėjami ir ankstesnėje Ilgalaikėje programoje, kurioje dalis tyrimų buvo užbaigta, o dalis bus tęsiama šioje programoje kartu su Europos Sąjungos mokslinių tyrimų ir inovacijų programos „Horizontas 2020“ projektu EUROfusion, gaunančiu dalinį Europos komisijos finansavimą.

3.2. Neutronų ir jonizuojančios spinduliuotės sklaidos procesų tyrimai greitųjų neutronų šaltiniuose, branduolių sintezės reaktoriuose ir jų komponentuose.

Branduolių sintezės įrenginiuose degant DT (deuteris – tritis) plazmai didžioji išsiskyrusios energijos dalis tenka aukštos energijos neutronams, kurie ją perneša į radiacinį požiūriu jautrius komponentus, todėl detalus neutronų pernašos tyrimas yra priskiriamas prie svarbiausių uždavinių projektuojant ir eksploatuojant branduolių sintezės įrenginius. Šioms problemoms spręsti projektuojamas DONES 14 MeV energijos neutronų šaltinis, kurio pagrindinis tikslas tirti 14 MeV neutronų įtaką konstrukcinėms branduolių sintezės JET ir DEMO reaktorių medžiagoms. Siekiant atlikti sudėtingą neutronų sklaidos procesų modeliavimą greitintuve ir jo komponentuose, yra pasitelkiamas Monte Carlo principu veikiantis programų paketas (skirtas modeliuoti branduolinius procesus, o taip pat turintis galimybę modeliuoti dalelių sąveikas, įskaitant ir neutronus). Tyrimo metu be neutronų srautų vertinimo bus nagrinėjami radiacinės saugos, dozimetrijos, biologinės apsaugos nuo spinduliuotės aspektai panaudojant aktyvacijos programų paketus su naujausiomis dozimetrinėmis duomenų bazėmis; atlikti neutronų, sukulto aktyvumo, dalijimosi šilumos ir dozės galios skaičiavimai konstrukcijų medžiagose, kurios naudojamos branduolių sintezės įrenginiuose. Šie atliekami tyrimai bus panaudoti kuriant naujas branduolių sintezės technologijas.

3.3. Branduolių skilimo principu veikiančiuose įrenginiuose vykstančių procesų tyrimai ir saugos vertinimas.

Branduolinių reaktorių sauga, sunkiųjų avarijų prevencijos ir valdymo metodai, pasyvių saugos sistemų taikymas – tai temos, kurios išlieka aktualios visame pasaulyje, ypač po Japonijoje įvykusios avarijos Fukušimos atominėje elektrinėje. Šioms branduolinių reaktorių saugos temoms skirta Europos Sąjungoje mokslinių tyrimų ir inovacijų programa EURATOM. Atskirose EURATOM paprogramėse, kartu su kitais Europos mokslinių tyrimų centrais dalyvauja ir LEI mokslininkai. LEI mokslininkų dalyvavimo pavyzdžiu gali būti ES 7-osios bendrosios mokslinių tyrimų, technologinės plėtros ir demonstracinės veiklos programos projektas CESAM (projekto tikslas – Europoje sukurti sunkiųjų avarijų analizei skirtą programų paketo ASTEC tobulinimas, kad jis tiktų visų Europoje esančių reaktorių tipams), NUGENIA+ AIR-SFP projektas, nagrinėjantis sunkiųjų avarijų procesus panaudoto branduolinio kuro baseinuose ir skirtas perėjimui į „Horizontas 2020“ projektus. Šiuo metu vykdomas „Horizontas 2020“ projektas IVMR, skirtas sukurti reaktorių avarinio aušinimo technologiją, leidžiančią sulaikyti išsilydžiusią aktyviąją zoną reaktoriaus korpusė. Dalyvaujant visų šių projektų veikloje bei rengiant paraiškas naujiems „Horizontas 2020“ programos projektams, kuriuose kuriamos reaktorių aušinimo sunkiųjų avarijų atveju technologijos kyla klausimų, kuriuos ir planuojama išspręsti šiame uždavinyje. Sprendžiant pasyvių sistemų taikymo branduolinių reaktoriaus aušinimui (APAAS ir NONCOND projektų paraiškos), sunkiųjų avarijų branduoliniuose reaktoriuose valdymo uždavinius (E2VR projekto paraiška) bus atliekami natūralios šilumnešio cirkuliacijos, vandens fazinių virsmų specifiniais avarijų atvejais ir patekus nesikondensuojančioms dujoms, branduolinio kuro rinklėse esančio cirkonio oksidacijos, vandenilio susidarymo ir kitų procesų sunkiųjų avarijų metu skaitiniai tyrimai. Taip pat bus modeliuojami termohidrauliniai procesai panaudoto branduolinio kuro trumpalaikio saugojimo baseinuose ir tarpinio saugojimo konteineriuose. Išvardintų uždavinių deterministinė analizė apims gautų rezultatų neapibrėžčių įvertinimą (USTA projekto paraiška).

3.4. Energetinės paskirties įrenginių konstrukcinių medžiagų bei skysčio ir konstrukcijos sąveikos tyrimai.

Naujos kartos branduolinėse jėgainėse aukštesnė darbo temperatūra, agresyvesnis darbo aplinkos poveikis medžiagoms, numatomas ilgesnis eksploatacinis resursas ir kitų veiksnių visuma iškėlė papildomus reikalavimus naudojamoms medžiagoms, jų ilgaamžiškumui bei patikimumui. Atsižvelgiant į padidintus reikalavimus, esamų duomenų nepakanka pilnai charakterizuoti naudojamus konstrukcinius lydinius. Todėl kartu su eksperimentiniais darbais yra numatoma atlikti skaitinio modeliavimo tyrimus. Įvertinus eksperimentinių ir skaitinio modeliavimo tyrimų rezultatus, bus nustatytas skysčio (aušalo) termodinamikos poveikis konstrukcijos elementų struktūriniam vientisumui. Numatomi tyrimai bus vykdomi panaudojant šiuolaikinius tyrimų metodus bei įrangą, o gauti rezultatai papildys duomenis apie konstrukcinių lydinių elgsenos ypatumus ir jų ilgaamžiškumą.

3.5. Energetikos įrenginiuose naudojamų medžiagų ir vandenilio turinčios terpės sąveikos tyrimas.

Vandenilis išlieka vienas iš perspektyviausių ateities energijos nešėjų, kuris gali padėti sukurti ekologiškai švarias transporto sistemas ir integruoti nestabilius energijos šaltinius į elektros ir šilumos tinklus. Vieni iš didžiausių technologinių iššūkių – vandenilio saugojimas ir vandenilio gavyba esant poreikiui (*in situ*), nes šiandieniniai saugojimo metodai yra per brangūs ir nepakankamai saugūs vartotojams. Eksperimentinių tyrimų metu bus vystoma inovatyvi vandenilio energetikos technologija, kai vandenilio gavyba realizuojama vykstant vandens reakcijai su aktyvuotais metalais ar aktyvuotų metalų ir metalų hidridų kompleksais. Kuriant nanokristalines medžiagas ir prietaisus šiai technologijai bus tiriami pagrindiniai fundamentiniai vandenilio ir kietųjų medžiagų sąveikos procesai, sąlygojantys vandenilio atskyrimą bei saugojimą, taip pat vandeniliui ir/arba  $C_xH_y$  junginių turinčioms dujoms sąveikaujant su nanokristalinių metalų ir jų lydinių paviršiais.

3.6. Besikondensuojančio dvifazio tekėjimo energetiniuose įrenginiuose tyrimas.

Besikondensuojančio dvifazio tekėjimo tarpfazinės sąveikos fizikinė samprata ir galimybės ją kontroliuoti bei valdyti atvertų platesnės dvifazio tekėjimo termo-hidraulinių ypatybių panaudojimo perspektyvas kuriant pasyvaus (nenaudojant išorinės energijos) masės ir šilumos pernešimo technologijas. Dvifaziame tekėjime vykstantys pereinamieji reiškiniai (stochastiniai staigūs slėgio pokyčiai ir kondensaciniai hidrosūgiai) kol kas yra ne tik nepageidaujami, bet ir ne visada sėkmingai išvengiami. Augant šių reiškinių naudingo taikymo poreikiui plėtojamose cheminių-

šiluminių-hidraulinių procesų valdymo technologijose, juntamas tam tikrų žinių stygius. Grįžtamųjų tarpfazinės sąveikos ryšių panaudojimas naujais metodais reikšmingai išplėstų kondensacijos procesų valdymo diapazoną. Tai sudarytų prielaidas energetinių įrenginių technologinei pažangai, pvz. sukuriant pasyvią dirbtinę cirkuliaciją ir pan.

Šiame uždavinyje tarpfazinė sąveika vertikalčiai stratifikuotame besikondensuojančiame dvifaziame tekėjime bus tiriama siekiant įvertinti tarpfazinio paviršiaus temperatūros tolygumą ir turbulenciją po vandens paviršiumi. Net ir labai nedideli vietiniai vandens paviršiaus temperatūros skirtumai gali ženkliai pakeisti kondensacijos intensyvumą, o nuo turbulencijos priklauso šilumos pernaša į vandens gilumą. Darbo rezultatai įgalins geriau spręsti ne tik energetiniams įrenginiams aktualius uždavinius, bet apskritai suteiks papildomų fundamentinių žinių apie srautų struktūrą ir savybes sprendžiant kitus uždavinius, kur svarbi tėkmių tarpusavio sąveika.

3.7. Miestų šilumos tinklų šiluminio, hidraulinio reguliavimo optimizavimas, atsiradus naujiems nepriklausomiems šilumos gamintojams.

Pastaruoju metu prie centralizuoto šilumos tiekimo (toliau - CŠT) tinklo prijungiami nauji nepriklausomi šilumos gamintojai (toliau - NŠG) (dabartinė aktualija statant biokuro katilines), todėl tampa ypač svarbu optimaliai sureguliuoti šilumos srautus tinkle. NŠG įprastai dirba baziniu režimu, tuo tarpu šilumos tinklus eksploatuojanti įmonė, siekdama užtikrinti patikimą šilumos energijos tiekimą ir stabilią paslaugos kokybę savo klientams, naudodama savo šaltinius privalo balansuoti tiekimo srautus pagal vartotojų poreikius, o atsijungus NŠG, dėl gedimo ar kitų priežasčių, turi sugebėti greitai kompensuoti trūkstamą šilumos kiekį iš savo rezervo.

Siekiant išspręsti šias problemas bus pasiūlyta technologija, leidžianti optimizuoti miestų šilumos tinklus. Technologijos pagrindą sudarys metodologija, kurioje įvertinami tinklo termohidrauliniai parametrai, nuostoliai traseje, patikimumas (tiek techniniu aspektu, tiek įsipareigojimų vykdymo aspektais). Ši metodologija bus patikrinta Kauno miesto šilumos tinklui. Bus atliktos hidraulinių režimų ir gedimų tinkle analizės skirtingoms šilumos tiekimo schemoms, įvertinti šilumos nuostoliai bei energijos suvartojimas tinkle šildymo ir vasaros sezonų metu. Tai leis objektyviai įvertinti kaip NŠG keičia hidraulines CŠT tinklo sąlygas, identifikuoti galimus trikdžius, apibrėžti NŠG prisijungimo sąlygas.

3.8. Naujų energetikos technologijų integravimo energetikos sektoriuje rizikos ir patikimumo tyrimai.

Kiekviena nauja energetikos technologija ar įrenginys, integruojant į esamą ar būsimą infrastruktūrą energetikos sektoriuje, gali sukelti nenumatytų problemų, pvz., dėl vėjų jėgainių elektros energetikos sistemoje atsirandančios rezervavimo bei balansavimo problemos ir kt. Vykdam šią tyrimų programą planuojama atlikti tyrimus, leidžiančius kompleksiskai įvertinti naujų energetikos technologijų patikimumą, jų integravimo energetikos sektoriuje rizikas, technologijų suderinamumą, energetinio saugumo aspektus. Taip pat labai svarbu sugebėti kompleksiskai vertinti energetikos sistemos patikimumą ir kokią įtaką bendram sistemos patikimumui turi naujų energetikos technologijų integracija.

#### **4. Metodologinis tyrimų pagrindimas:**

4.1. Įgyvendinant 3.1 papunktyje nurodytą uždavinį - branduolių sintezės principu veikiančiuose įrenginiuose vykstančių procesų tyrimai ir saugos vertinimas, tyrimams atlikti bus naudojami šiuolaikiniai kompiuteriniai programų paketai ASTEC, COCOSYS, RELAP/SCDAPSIM. Tarpininkaujant Lietuvos atominės energetikos saugos inspekcijai (VATESI) tikimasi iš JAV NRC gauti programų paketą MELCOR, kuris turi specialią versiją branduolių sintezės reaktorių saugos klausimams spręsti. Tyrimams atlikti bus pasinaudota „Horizontas 2020“ programos projekto EUROfusion partnerių turimais eksperimentų, atliktų ICE, Lifus ir kituose stenduose, duomenimis. Gautų rezultatų neapibrėžtims įvertinti bus naudojami statistiniai metodai ir Vokietijoje sukurta kompiuterinė įranga SUSAN. Be šių skaitinių tyrimo metodų bus atliekami analitiniai ir inžineriniai sistemų vertinimai.

4.2. Įgyvendinant 3.2 papunktyje nurodytą uždavinį - neutronų ir jonizuojančios spinduliuotės sklaidos procesų tyrimai greitųjų neutronų šaltiniuose, branduolių sintezės reaktoriuose ir jų komponentuose, siekiant nustatyti skirtingose komponentuose susidariusios skilimo šilumos įtaką suminei vertei ir identifikuoti svarbiausius radionuklidus, neutronų pernašos skaičiavimams bus panaudotas MCNP5 kodas su JEFF-3.1.1 duomenų biblioteka. McDelicious paprogramė leis modeliuoti deuterio-ličio sąveiką DONES greitinuve. Konstrukcinių JET ir DEMO reaktorių

medžiagų aktyvacijos skaičiavimai bus atliekami naudojant FISPACT kodą su EAF-2010 duomenų biblioteka. Po apšvitos neutronais pabaigos, aktyvumas ir dozių galia bus nustatoma intervalais nuo neutronų pluošto išjungimo iki 1 metų aušimo. Galutinė analizė leis nustatyti dominuojančius radioizotopus, kurie prie bendros aktyvumo ar dozės vertės prisidėjo bent 1% ar didesnėmis vertėmis dalimis.

4.3. Įgyvendinant 3.3 papunktyje nurodytą uždavinį - branduolių skilimo principu veikiančiuose įrenginiuose vykstančių procesų tyrimai ir saugos vertinimas, tyrimai bus atliekami naudojant deterministinius analizės skaitinio modeliavimo metodus. Procesai branduolinių reaktorių aušinimo sistemose bus modeliuojami panaudojant sisteminį termohidraulinių programų paketą RELAP5 ir sunkiųjų avarijų analizei skirtus programų paketus RELAP/SCDAPSIM ir ASTEC. Procesai panaudoto branduolinio kuro baseinuose ir tarpinio saugojimo sausuose konteineriuose (be kuro pažeidimų) bus modeliuojami trimačiais programų paketais (ANSYS-Fluent). Procesai panaudoto branduolinio kuro baseinuose sunkiųjų avarijų metu bus modeliuojami programų paketais RELAP/SCDAPSIM ir ASTEC. Pasyvių šilumos paėmimo sistemų taikymo branduoliniams reaktoriams aušinti galimybių tyrimai bus atliekami naudojant RELAP5. Procesams apsauginiuose kiaučiuose modeliuoti bus naudojami programų paketai COCOSYS ir ASTEC. Neapibrėžtumų ir jautrumo analizė atlikta panaudojant SUSA programų paketą.

4.4. Įgyvendinant 3.4 papunktyje nurodytą uždavinį - energetinės paskirties įrenginių konstrukcinių medžiagų bei skysčio ir konstrukcijos sąveikos tyrimai, konstrukcinių medžiagų eksperimentiniai tyrimai bus atliekami naudojant LEI Medžiagų tyrimų ir bandymų laboratorijoje esančią eksperimentinę ir programinę įrangą: Instron 8801 modelio dinaminį bandymų mašiną su integruota aukštos temperatūros krosnimi, irimo tūsumo bei mechaninių savybių nustatymui bus naudojama Blue Hill, da-dN,  $J_{IC}$ ,  $K_{IC}$  bei ciklinio nuovargio (LCF) bandymų programos; metalografinių bandinių ruošimo įrangą; kompiuterizuota vaizdų analizės sistema Image Pro; skenuojantis elektroninis mikroskopas Carl Zeiss EVO MA10 su Bruker Quantax 200 EDS mikroanalizės detektoriumi, rentgeno difraktometras Brucker D8 Advance ir kt. Metalų skaitinio modeliavimo tyrimai bus atliekami naudojant LEI Branduolinių įrenginių saugos laboratorijos turimą programinę įrangą: baigtinių elementų kompiuterines programas ABAQUS (ABAQUS/CFD, ABAQUS/Standard, ABAQUS/Explicit), Cast3m ir Peps, trimačio projektavimo programą SolidWorks, irimo mechanikos kompiuterinė programa SACC.

4.5. Įgyvendinant 3.5 papunktyje nurodytą uždavinį - energetikos įrenginiuose naudojamų medžiagų ir vandenilio turinčios terpės sąveikos tyrimas, vystant inovatyvią vandenilio energetikos koncepciją, metalų aktyvaciją numatoma realizuoti panaudojant LEI sukurtas ir patentuotas metalų aktyvavimo reaktyviųjų dujų plazmoje technologijas. Tuo tarpu metalų hidridų sintezei realizuoti bus naudojama LEI patentuota (LR patentas, EPO svarstoma paraiška) kompleksinė (pradinis paviršiaus modifikavimas plazmoje, hidrinimas aukštame slėgyje ir temperatūroje) metalų hidridų sintezės technologija. Medžiagų sintezei bus naudojamos fizikinės vakuuminės elektroninio spindulio ir magnetroninio garinimo medžiagų sintezės technologijos (suformuota K. J. Lesker Company PVD-75 sistemos pagrindu). Sintezuotų medžiagų paviršiaus morfologijai, elementinei sudėčiai nustatyti bus naudojamas skenuojantis elektroninis mikroskopas SEM, Hitachi S-3400N) kartu su energetinės dispersijos spektroskopu (EDS, Bruker XFlash QUAD 5040). Esant eksperimentinei galimybei (jei bandiniai bus tinkami) numatoma atlikti papildomus detalius bandinių paviršiaus analizės eksperimentus, panaudojant turimus Ožė elektroninės spektroskopijos (AES) ir rentgenos spindulių fotoelektronų spektroskopijos (XPS) metodus (AES–PHI 700 Auger Nanoprobe; XPS–PHI 5000 VersaProbe XPS Microprobe). Kristalinių fazių nustatymui bus naudojamas Bruker rentgeno spindulių difraktometras, leidžiantis atlikti analizę kintamoje temperatūroje (nuo kambario iki 1600°C) ir atmosferoje (keičiama dujų aplinka nuo aukšto vakuumo iki 5 bar slėgio). Duomenų analizė bus atlikta licencijuota EVA, TOPAS ir LEPTOS programine įranga. Bandinių paviršiaus topografija bus analizuojama panaudojant paviršiaus profilometrijos ir atominės jėgos mikroskopijos (AFM) metodus (Ambios XP-200 jautrus paviršiaus profilometras ir NT-206 atominės jėgos mikroskopas). Realios, vandenilio saugojimui, baterijoms, vandenilio generavimui skirtų medžiagų darbinės savybės (informacija apie išsaugojamo vandenilio kiekį, reakcijų kinetiką bei termodinamiką ir t.t.) bus matuojamos Sievarto tipo tūrinės dujų adsorbcijos/desorbcijos įrenginiu (Hy-Energy LLC/Setaram PCTPro2000).

4.6. Įgyvendinant 3.6 papunktyje nurodytą uždavinį - besikondensuojančio dvifazio tekėjimo

energetiniuose įrenginiuose tyrimas, tyrimo metu bus panaudota LEI Branduolinių įrenginių saugos laboratorijoje esanti programinė ir eksperimentinė įranga, bus taikomi pažangūs optiniai neinvaziniai tyrimo metodai (lazerinė Doplerio anemometrija, infraraudonųjų spindulių radiometrija, lazerinė RAMAN spektroskopija). Pagrindinė matavimo aparatūros dalis sukomplektuota pagal slėnio „Santaka“ programą. Esamą mokslinių tyrimų įrangą sudaro: horizontalus stačiakampis kanalas su automatizuotomis vandens minkštinimo ir garo generacijos sistemomis; laboratorinis termovizorius, skirtas matuoti temperatūros gradientus vandenyje; masės, elektromagnetinis ir sūkurinis debitmačiai, skirti matuoti į eksperimentinį ruožą tiekiamų/išvedamų dujų ir vandens srautus; 3D lazerinė greičių matavimo sistema; Raman'o sklaidos spektroskopas; skaičiuojamosios hidrodinamikos (CFD) programinė įranga; didelio našumo superkompiuteris. Vykdamas programą bus sukurtas specialus įrenginys su valdomu vietiniu kondensacijos paviršiaus ir garų temperatūros skirtumu ir jame atliekamas tarpfazinio paviršiaus temperatūros tolygumo tyrimas.

4.7. Įgyvendinant 3.7 papunktyje nurodytą uždavinį - miestų šilumos tinklų šiluminio, hidraulinio reguliavimo optimizavimas, atsiradus naujiems nepriklausomiems šilumos gamintojams, procesų analizė ir moksliniai tyrimai bus atliekami naudojant skaitinio modeliavimo metodus. Šilumos tinklų darbo režimai bus modeliuojami panaudojant specializuotą programinę įrangą TERMIS. Šilumos tinklo optimizavimas bus atliekamas taikant matematinius tinkamumo kriterijų patenkinimo įvertinimo metodus.

4.8. Įgyvendinant 3.8 papunktyje nurodytą uždavinį - naujų energetikos technologijų integravimo energetikos sektoriuje rizikos ir patikimumo tyrimai, siekiant kompleksiskai įvertinti naujų technologijų patikimumą ir riziką bus naudojami metodai, pagrįsti statistine bei tikimybine duomenų analize, tikimybinių modelių sudarymu, neapibrėžtumo ir jautrumo analize, Bajeso metodo, tinklinių sistemų analizės metodų (Bajesinių tinklų ir kt.) ir optimizavimo metodų taikymu. Tai sudarys prielaidas detaliam įvairių energetikos sistemos dalių sąveikos ir priklausomybių vertinimui, taip pat kompleksiniam naujų energetikos technologijų patikimumo ir integravimo į esamas sistemas rizikos analizei. Įgyvendinant uždavinį bus naudojama programinė įranga: RiskSpectrum, STATISTICA, OSeMOSYS (Open Source Energy Modeling System), R, Wolfram Mathematica 8, EasyFit, Matlab.

## **5. Tyrimų etapai ir jų charakteristika; detalus įgyvendinimo planas, kuriame numatomas skirtų lėšų preliminarus paskirstymas uždaviniams vykdyti:**

5.1. Branduolių sintezės principu veikiančiuose įrenginiuose vykstančių procesų tyrimai ir saugos vertinimas (3,43 n.et.):

5.1.1. DEMO reaktoriaus sistemų analizė ir avarinių scenarijų pasirinkimas išsamiems tyrimams deterministiniais metodais (2017 – 2018 metai). Bus išnagrinėti siūlomi DEMO reaktoriaus projektiniai sprendimai ir pagal tai įvertinti galimi avariniai scenarijai, kurie vėliau bus nagrinėjami deterministiniais metodais;

5.1.2. Susidarančių aktyvacijos produktų ir tričio kiekių įvertinimas priklausomai nuo DEMO projekto sprendimų (2017 – 2021 metai). Taikant inžinerinius ir skaitinius tyrimo metodus bus įvertinama kuriuose DEMO reaktoriaus komponentuose kaupiasi radioaktyviosios medžiagos ir tritis. Ši informacija bus naudojama atliekant deterministinę pasirinktų avarijų scenarijų analizę siekiant nustatyti galimus radioaktyviųjų medžiagų nuotėkius į aplinką;

5.1.3. Deterministinė pasirinktų avarinių scenarijų analizė taikant skaitinius tyrimų metodus (2017 – 2021 metai). Taikant skaitmeninius tyrimų metodus bus atliekama išsami pasirinktų avarinių scenarijų analizė. Bus nagrinėjami ne tik termohidromechaniai procesai, bet ir dujų, bei kietųjų dalelių pernaša ir nuotėkis į aplinką;

5.1.4. Gautų rezultatų neapibrėžčių įvertinimas (2017 – 2021 metai). Atsižvelgiant į šiuolaikinius mokslinių tyrimų rezultatus bus sukurta neapibrėžčių vertinimo metodika ir atliktas gautų rezultatų neapibrėžčių vertinimas.

5.2. Neutronų ir jonizuojančios spinduliuotės sklaidos procesų tyrimai greitųjų neutronų šaltiniuose, branduolių sintezės reaktoriuose ir jų komponentuose (2,29 n.et.):

5.2.1. Literatūros analizė, siekiant identifikuoti neutronų šaltinių greitintuve DONES, reaktoriuose JET ir DEMO vykstančius branduolinius procesus (2017 metai);

5.2.2. Programų paketų procesams aprašyti apžvalga bei vertinimas (2017 metai);

5.2.3. Skaitinio tyrimo metodikos sukūrimas (2018 metai);

- 5.2.4. Neutronų pernašos ypatingai svarbiuose neutronų šaltinio greitintuvo DONES, reaktorių JET ir DEMO komponentuose skaičiavimai (2019 metai);
- 5.2.5. Neutronų srauto įtakos komponentams, atliekant aktyvumo, dalijimosi šilumos ir dozių galios skaičiavimus, tyrimas (2020 metai);
- 5.2.6. Dėsningumų, dalijimosi produktų ir jų evoliucijos konstrukcinėse komponentų medžiagose tyrimas (2021 metai).
- 5.3. Branduolių skilimo principu veikiančiuose įrenginiuose vykstančių procesų tyrimai ir saugos vertinimas (3,43 n.et.):
- 5.3.1. Procesų panaudoto branduolinio kuro saugojimo metu analizė, modeliuojant procesus trimačiais fluidų dinamikos programų paketais:
- 5.3.1.1. Panaudoto branduolinio kuro baseinų aušinimo praradimo analizė, (nevertinant branduolinio kuro lydymosi) (2017 – 2018 metai);
- 5.3.1.2. Šilumos perdavimo panaudoto branduolinio kuro tarpinio saugojimo konteineriuose analizė (2018 – 2018 metai);
- 5.3.2. Pasyvių šilumos paėmimo sistemų taikymo branduoliniams reaktoriams aušinti galimybių tyrimas (pagalba APAAS ir NONCOND projektų paraiškoms, kuriose numatyta sukurti pasyvaus aušinimo technologijas):
- 5.3.2.1. Pasyvių šilumos paėmimo sistemų taikymo tyrimas reaktorių aktyviosios zonos aušinimui (2018 – 2020 metai);
- 5.3.2.2. Pasyvių šilumos paėmimo sistemų taikymo tyrimas reaktorių apsauginio kiauto aušinimui (2019 – 2021 metai).
- 5.3.3. Sunkiųjų avarijų reaktoriuose ir panaudoto branduolinio kuro saugojimo baseinuose analizė:
- 5.3.3.1. Sunkiųjų avarijų panaudoto branduolinio kuro baseinuose analizė (2017 metai);
- 5.3.3.2. Pažeistos (išsilydžiusios) aktyviosios zonos aušinimas, nuvedant šilumą per reaktoriaus korpusą ir išsaugojant nepažeistą reaktoriaus korpusą - pagalba vykdomam IVMR projektui, kuriame kuriama lydalo ataušinimo reaktoriaus korpuso viduje technologija (2018 – 2020 metai);
- 5.3.3.4. Reaktoriaus korpuso pažeidimo, lydalo ir betono sąveikos tyrimas - pagalba E2VR projekto paraiškai, kurioje numatyta patobulinti lydalo, ištekęjusio iš pažeisto reaktoriaus korpuso, ataušinimo technologija (2019 – 2021 metai).
- 5.4. Energetinės paskirties įrenginių konstrukcinių medžiagų bei skysčio ir konstrukcijos sąveikos tyrimai (6,13 n.et.):
- 5.4.1. Literatūros duomenų, standartų, vykstančių konstrukcinių medžiagų senėjimo procesams eksploatacinėse sąlygose ir jų įtakos mechaninėms savybėms analizė. Eksperimentinės įrangos patikra, kalibravimas ir funkcionalumo testavimas. Eksperimentų metodikos, įvertinant eksploatacijos metu esančių sąlygų poveikį, sudarymas (2017 metai);
- 5.4.2. Irimo tūsumo, nuovargio ir kitų mechaninių savybių nustatymas. Struktūros ir morfologijos pokyčių analizė naudojant optinę ir elektroninę mikroskopiją, XRD bei EDX elementinę analizę. Struktūrinių parametrų, tinkamiausiai charakterizuojančio konstrukcinių medžiagų senėjimą senėjimą, pagrindimas (2017 – 2020 metai);
- 5.4.3. Struktūrinių pokyčių prognozavimo modelio sudarymas. Empirinių priklausomybių, aprašančių medžiagų savybių pokyčius priklausomai nuo struktūros parametrų kitimo, sudarymas. Medžiagų savybių, priklausomai nuo temperatūros ir sendinimo trukmės, prognozavimas pagal struktūrinius pokyčius (2019 – 2021 metai);
- 5.4.4. Irimo tūsumo, nuovargio modeliavimo metodikų apžvalga ir analizė. Irimo tūsumo ir nuovargio modeliavimas, įvertinus eksperimentinių irimo tūsumo bei mechaninių savybių tyrimų rezultatus (2017 - 2019 metai);
- 5.4.5. Skysčio termodinamikos procesų poveikio konstrukcijų elementų struktūriniam vientisumui tyrimų apžvalga ir analizė. Skysčio termodinamikos procesų poveikio konstrukcijų elementų struktūriniam vientisumui modeliavimas. Plyšių, susidarančių veikiant degradacijos mechanizmams konstrukcijose tyrimai, įvertinus apkrovas susidarancias dėl skysčio termodinamikos procesų poveikio (2019 - 2021 metai).
- 5.5. Energetikos įrenginiuose naudojamų medžiagų ir vandenilio turinčios terpės sąveikos tyrimas (3,04 n.et.):
- 5.5.1. Nanokristalinių magnio, nikelio ir aliuminio pagrindo medžiagų sintezė naudojant fizikinio

garinimo vakuume technologijas. Bus tiriama gaunamų struktūrų priklausomybė nuo sintezės parametrų atkreipiant dėmesį į šiuos dangu/nanokristalinių miltelinių darinių parametrus: kristalitų dydį, tankį, porėtumą, paviršiaus topografiją ir kt. Ypatingas dėmesys bus atkreiptas į šių parametrų priklausomybę nuo išorinio apšvitinimo jonais poveikio (2017 – 2021 metai);

5.5.2. Medžiagų paviršiaus nuvalymas ir aktyvavimas, vandenilio sąveikos su paviršiais eksperimentai, panaudojant žemo slėgio plazmines technologijas ir medžiagų hidrinimą po aktyvacijos *ex-situ* ir/ar *in-situ*, esant aukštam vandenilio ir/ar  $C_xH_y$  turinčių dujų slėgiui ir temperatūrai (2017 - 2021 metai);

5.5.3. Eksperimentų metu sintetintų medžiagų analizė panaudojant modernius analizės metodus. Paviršiaus cheminė sudėtis ir mikrostruktūra bus tiriama panaudojant SEM-EDS, AES ir XPS metodus; kristalinės fazės, kristalitų dydžiai ir mikroįtempiai įvertinti panaudojant XRD. Saugomo vandenilio kiekis medžiagose, nanohidridų reversiškumas bus tiriami panaudojant Sievert metodiką. Gaunamų bandinių paviršiaus topografijos tyrimai bus atlikti panaudojant AFM ir didelės skiriamosios gebos paviršiaus profilometrijos metodus (2017 - 2021 metai).

5.6. Besikondensuojančio dvifazio tekėjimo energetiniuose įrenginiuose tyrimas (2,28 n.et.):

5.6.1. Garo greičių lauko tyrimas horizontaliame stačiakampiam kanale vykstant besikondensuojančiam stratifikuotam dvifaziam tekėjimui (2017 metai);

5.6.2. Besikondensuojančio dvifazio tekėjimo CDF modelio tobulinimas siekiant prie tarpfazinio paviršiaus gauti realistišką garo greičio profilį būtiną korektiškam tarpfazinės šlyties įvertinimui (2018 – 2019 metai);

5.6.3. Tarpfazinės sąveikos sukeliama vietinio turbulencijos sužadinimo tyrimas horizontaliame stačiakampiam kanale (2017 – 2018 metai);

5.6.4. Vertikalios konstrukcijos eksperimentinio stendo su dirbtiniai reguliuojama vandens konvekcija po tarpfaziniu paviršiumi konstravimas ir tobulinimas siekiant sukurti stochastinių kondensacijos pliūpsnių susidarymui palankias sąlygas (2018 metai);

5.6.5. Tarpfazinio paviršiaus temperatūros tolygumo prieš įvykstant kondensacijos pliūpsniui tyrimas (2019 – 2021 metai);

5.7. Miestų šilumos tinklų šiluminio, hidraulinio reguliavimo optimizavimas, atsiradus naujiems nepriklausomiems šilumos gamintojams (1,71 n.et.):

5.7.1. Technologijos, leidžiančios optimizuoti šilumos tinklus, teorinio pagrindo sudarymas, Kauno miesto šilumos tinklo skaitinio modelio atnaujinimas (2017 metai);

5.7.2. Hidraulinių režimų su įvairiomis CŠT tinklo veikimo schemomis modeliavimas Kauno miesto CŠT bei hidraulinių režimų analizė (2018 metai);

5.7.3. Optimizavimo metodologijos tobulinimas (2019 metai);

5.7.4. Patikslintos optimizavimo metodologijos taikymas Kauno miesto CŠT (2020 – 2021 metai):

5.7.4.1. Tinklo gedimų analizė (šilumos tiekimo patikimumas);

5.7.4.2. Šilumos nuostolių ir energijos suvartojimo tinkle skirtingoms šilumos tiekimo schemoms (šildymo ir vasaros sezonų metu) įvertinimas.

5.8. Naujų energetikos technologijų integravimo energetikos sektoriuje rizikos ir patikimumo tyrimai (2,86 n.et.):

5.8.1. Metodų, skirtų integruotų energetikos sistemų patikimumo ir rizikos vertinimui, apžvalga ir analizė, identifikuojant jų privalumus ir taikymo ribas (2017 – 2018 metai);

5.8.2. Kompleksinio patikimumo ir rizikos vertinimo modelio kūrimas (sistemos elementų tarpusavio ryšių identifikavimas ir aprašymas, matavimo metrikos įvedimas, vertinimo metodų parinkimas / kūrimas) (2018 – 2019 metai);

5.8.3. Kompleksinio patikimumo ir rizikos vertinimo modelio patikrinimas / adekvatumo tyrimas (2019 – 2020 metai);

5.8.4. Pasirinktos naujos energetikos technologijos (pvz., vandenilio technologijos, energijos kaupimo sistemos, kt.) integravimo įtakos energetikos sistemos patikimumui ir rizikos vertinimo metodo kūrimas (2020 – 2021 metai);

## **6. Numatomi rezultatai:**

6.1. Branduolių sintezės principu veikiančiuose įrenginiuose vykstančių procesų tyrimai ir saugos vertinimas. Įvykdžius suformuluotus uždavinius bus atlikti darbai, skirti prototipinio branduolių sintezės reaktoriaus DEMO koncepcinio projekto saugos įvertinimui. Atlikus planuojamus tyrimus

projektiniai DEMO sprendimai bus įvertinti saugos požiūriu. Gauti tyrimų rezultatai bus aptariami ne tik su EUROfusion projekto partneriais, bet ir su DEMO projektuotojais ir tai leis užtikrinti, kad saugos klausimai įvertinami nuo pradinio projekto įgyvendinimo etapo ir tai bus LEI indėlis į branduolių sintezės technologijų kūrimą.

6.2. Neutronų ir jonizuojančios spinduliuotės sklaidos procesų tyrimai greitųjų neutronų šaltiniuose, branduolių sintezės reaktoriuose ir jų komponentuose. Sukurta skaitinio tyrimo metodika leis atlikti neutronų pernašos skaičiavimus, ypatingai svarbiuose DONES, JET ir DEMO komponentuose. Aktyvumo, dalijimosi šilumos ir dozių galios skaičiavimų rezultatai leis nustatyti ir iširti neutronų srautų įtaką įrenginio komponentams. Nustatyti ir apibrėžti dėsningumai suteiks informaciją apie susidariusius dalijimosi produktus ir jų evoliuciją konstrukcinėse komponentų medžiagose. Tai bus LEI indėlis į branduolių sintezės technologijų kūrimą.

6.3. Branduolių skilimo principu veikiančiuose įrenginiuose vykstančių procesų tyrimai ir saugos vertinimas. Modeliuojant panaudoto branduolinio kuro baseinų aušinimo praradimą bus iširta šilumos perdavimo nuo kuro rinklių per šilumnešį baseinų struktūroms procesų specifika. Modeliuojant sunkiąsias avarijas panaudoto branduolinio kuro baseinuose bus išnagrinėta kuro rinklių oksidacijos ore specifika, nustatyta jos įtaka avarijos pasekmėms. Tyrimų rezultatai bus naudojami panaudoto branduolinio kuro saugojimo baseinuose ir tarpinio saugojimo kontaineriuose saugai didinti.

Tiriant pasyvių aušinimo sistemų taikymo šiuolaikiniams ir moduliniais reaktoriams ypatybes bus įvertintos esamų modeliavimo priemonių galimybės modeliuoti natūralią šilumnešio cirkuliaciją, nesikondensuojančių dujų įtaką ir kitus reiškinius. Šių tyrimų rezultatai pasitarnaus kuriant pasyvias branduolinių reaktorių avarinio aušinimo technologijas, kurių kūrimui LEI, kartu su kitų Europos Sąjungos šalių mokslininkais, yra pateikę paraiškas 2016-2017 metų ES mokslinių tyrimų ir inovacijų programai EURATOM. APAAS projekto paraiška skirta reaktorių pasyviojo aušinimo technologijoms kurti, NONCOND – nesikondensuojančių dujų įtakos aušinimo kontūrų ir pasyviųjų sistemų veikimui nustatyti.

Modeliuojant sunkiąsias avarijas branduoliniuose reaktoriuose bus sukurti skaitiniai modeliai, leidžiantys modeliuoti kuro rinklių lydymąsi reaktoriaus korpusė, šilumos pernašą per reaktoriaus korpusą ir lydalo sąveiką su betonu. Naudojantis sukurtais modeliais bus atliktos reaktoriaus aušinimo praradimo ir šilumnešio praradimo avarijų analizės. Remiantis skaičiavimo rezultatų palyginimais su kitų autorių rezultatais bei neapibrėžtumų ir jautrumo analizės rezultatais, sukurti skaitiniai modeliai tyrimo metu bus tobulinami, planuojama pasiūlyti modelio sudarymo ir kompiuterinių programų taikymo rekomendacijas. Atliekami darbai prisidės prie šiuo metu vykdomo ES mokslinių tyrimų ir inovacijų programos EURATOM projekto IVMR, skirto sukurti technologiją, leidžiančią sulaikyti išsilydžiusią reaktoriaus aktyviąją zoną reaktoriaus korpusė ir ataušinti susidariusį lydalo. Taip pat su kitų ES šalių mokslininkais pateikta paraiška E2VR projektui, kuriame bus tobulinama lydalo, ištekęsio iš pažeisto reaktoriaus korpuso, ataušinimo technologija. Ilgalaikėje darbų programoje vykdomi tyrimai padės kuriant lydalo aušinimo technologijas E2VR projekte, bei nustatant avarijų branduolinėse jėgainėse atveju išmetamų radioaktyvių medžiagų kiekio neapibrėžtumus (pateikta USTA projekto paraiška ES EURATOM mokslinių tyrimų ir inovacijų programai).

6.4. Energetinės paskirties įrenginių konstrukcinių medžiagų bei skysčio ir konstrukcijos sąveikos tyrimai. Numatoma gauti tyrimų duomenis apie senėjimo metu vykstančius fazinių junginių bei jų kristalinės gardelės kitimo dėsningumus, tai sudarytų galimybę nustatyti medžiagų būsenos įvertinimo rodiklius, nustatant jų sąryšį su savybėmis. Darbo rezultatai suteiktų naujų žinių apie procesus, vykstančius energetinės paskirties įrenginiuose naudojamų konstrukcinių medžiagų senėjimo metu. Taip pat būtų paruoštos irimo tūsumo ir skysčio - konstrukcijos sąveikos skaitinio modeliavimo metodikos, leidžiančios įvertinti medžiagų senėjimą. Eksperimentiniai ir skaitinio modeliavimo tyrimai leis prognozuoti įvairių įrenginių būsimą ar liekamąjį darbinį resursą taikant šiuolaikinius skaitinius metodus, įvertinant naujų medžiagų panaudojimą ateities energetikoje.

6.5. Energetikos įrenginiuose naudojamų medžiagų ir vandenilio turinčios terpės sąveikos tyrimas. Tyrimo metu bus sukurti metalų hidridai, kurie sėkmingai gali būti panaudoti ne tik vandenilio saugojimui, bet ir vandenilio generavimui esant poreikiui nešiojamuose įrenginiuose. Eksperimentinių darbų metu gautos žinios susijusios su vandenilio molekulių, atomų ir jonų sąveika su kietaisiais kūnais suteiks naujas įžvalgas, kuriant vandenilio saugojimo medžiagas, NiMH ir NiFe

baterijas, vandenilio atskyrimo medžiagas iš dujų, turinčių  $C_xH_y$  junginių (įskaitant gamtines dujas iš SGD terminalo), kurias ateityje galima būtų panaudoti vandenilio absorbcijai ar selektyvių membranų gamyboje transporto sektoriuje. Numatoma sukurti laboratorinio lygmens Mg pagrindo hidrido prototipą, kuris reversiškai saugotų ne mažiau kaip 5% pagal masę vandenilio ir laboratorinio lygmens amorfinio Ni pagrindo vandenilio atskyrimo iš angliavandenilių membranos prototipą, tinkamą dirbti ir su gamtinėmis dujomis iš SGD terminalo.

6.6. Besikondensuojančio dvifazio tekėjimo energetiniuose įrenginiuose tyrimas. Stratifikuotas horizontalus besikondensuojantis dvifazis tekėjimas vyksta įvairiuose energijos gamybos, konversijos ir transportavimo bei chemijos technologiniuose įrenginiuose. Vykdamas šį uždavinį bus papildytos žinios apie tarpfazinės sąveikos ypatybes susijusias su savaiminiu vandens turbulencijos susižadinimu vykstant kondensacijai bei patikrinta kondensacijos netolygumo židinių susidarymo tarpfaziniame paviršiuje hipotezė.

6.7. Miestų šilumos tinklų šiluminio, hidraulinio reguliavimo optimizavimas, atsiradus naujiems nepriklausomiems šilumos gamintojams. Vykdamas šį uždavinį bus pasiūlyta technologija, leidžianti optimizuoti miestų šilumos tinklus. Technologijos pagrindą sudarys metodologija, kurią naudojant bus galima objektyviai įvertinti kaip nepriklausomi šilumos gamintojai keičia hidraulines CŠT tinklo sąlygas, kokie trikdžiai gali dėl to atsirasti, kokias sąlygas reikia tenkinti norint prijungti NŠG į integruotą tinklą. Tyrime bus nagrinėjamas Kauno miesto CŠT, tačiau sukurta metodika analogiškai galės būti taikoma ir kitų miestų CŠT tinklams.

6.8. Naujų energetikos technologijų integravimo energetikos sektoriuje rizikos ir patikimumo tyrimai. Daugelis energetikos sistemų patikimumo vertinimo metodikų siūlo įvertinti daugybę charakteristikų, kurios apibūdina visos sistemos patikimumą. Tačiau nei viena iš egzistuojančių metodikų neleidžia visos energetikos sistemos patikimumą įvertinti kompleksiskai. Todėl įgyvendinus šį uždavinį sukurti metodai ir modeliai bus apibendrinti į vieną kompleksiską patikimumo ir rizikos vertinimo metodiką, skirtą konkrečių energetikos sistemų ir konkrečių objektų vertinimui, atsižvelgiant į naujų energetikos technologijų integravimo įtaką visos sistemos patikimumui ir dėl integravimo kylančią riziką.

### 7. Rezultatų sklaidos priemonės:

Planuojamų tyrimų įgyvendinimo laikotarpiu be metinių ir baigiamosios ataskaitos numatoma į mokslo žurnalus teikti publikacijas vykdomų tyrimų tematika. Iš viso per programos vykdymo laikotarpį planuojama pateikti 25-30 publikacijų į mokslo leidinius įtrauktus Thomson Reuters WoS sąrašą. Atskirų uždavinių įgyvendinimo metu gauti mokslinių tyrimų rezultatai bus pristatomi nacionalinėse ir tarptautinėse konferencijose (iš viso apie 30). Projekto vykdymo metu gauti rezultatai taip pat periodiškai bus pristatomi mokslo bendruomenei institucijoje, kurioje dirba projektą vykdančios mokslininkai.

### 8. Preliminarus programos lėšų paskirstymas (tūkst. eurų)

| Eil. Nr. | Išlaidų pavadinimas                                                                                                  | 2017 metais              | 2018 metais              | 2019 metais              | 2020 metais              | 2021 metais              | Visai programai (suma) |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| 1.       | Programai skirti norminiai etatai, lėšos                                                                             | 25,17<br>n.et.<br>241,36 | 25,17<br>n.et.<br>241,36 | 25,17<br>n.et.<br>241,36 | 25,17<br>n.et.<br>241,36 | 25,17<br>n.et.<br>241,36 | 1206,80                |
| 2.       | Kitos lėšos planuojamos programai vykdyti (iš kitų, institutui skirtų valstybės biudžeto bazinio finansavimo lėšų) * | 60,34                    | 60,34                    | 60,34                    | 60,34                    | 60,34                    | 301,70                 |
|          | Iš viso                                                                                                              | 301,70                   | 301,70                   | 301,70                   | 301,70                   | 301,70                   | <b>1508,50</b>         |

### 9. Programos trukmė: 2017 - 2021 metai.

**10. Programos vadovas** Habil. Dr. Eugenijus Ušpuras, Branduolinių įrenginių saugos laboratorijos vadovas, Tel: 8-37-401926, el. paštas eugenijus.uspuras@lei.lt

**ATSINAUJINANČIŲ ENERGIJOS IŠTEKLIŲ PLĖTROS PROGNOZĖS, EFEKTYVAUS  
NAUDOJIMO IR SOCIALINIO POVEIKIO TYRIMAS**

**1. Programos vykdytojas** – Lietuvos energetikos institutas (toliau – LEI).

Norminiai etatai skirti programai – 17,08.

**2. Programos tikslas** - ištirti atsinaujinančių energijos išteklių gamybos plėtros tendencijas, prognozuoti šių išteklių vartojimo perspektyvą, įvertinti aplinkos apsaugos problemas (pvz., šiltnamio reiškinių sukeliančių dujų emisiją, akustinio triukšmo ir kitas poveikio aplinkai rūšis bei šio poveikio mažinimo priemones), išanalizuoti Nacionalinius darnaus vystymosi strategijos prioritetus ir principus, derinant aplinkos apsaugos ir energetikos tikslus.

**3. Programos uždaviniai:**

3.1. Vėjo elektrinių galios prognozės ir vėjo energetinio tankio pasiskirstymo, taikant Veibulo ir kitus tikimybinis skirstinius, analizė vertinant gamybos plėtrą pasirinktuose Lietuvos regionuose.

Bus ištirti vėjo galios tankio pasiskirstymai Lietuvos pajūrio ir žemyninėje dalyse, naudojant statistinius metodus. Vėjo galiai įvertinti bus taikomi Veibulo, Gumbelio, Relėjaus ir kiti tikimybiniai skirstiniai. Metodikos patikimumui nustatyti bus naudojamas chi-kvadratinis testas, Bajeso ir kiti kriterijai. Bus atliekami vėjo elektrinių galios trumpalaikės prognozės, naudojant skaitmeninių orų prognozių modelio HIRLAM duomenis, tyrimai. Įvertintos šiltnamio efektą sukeliančių dujų mažinimo galimybės maksimaliai išnaudojant vėjo energijos gamybos apimtis.

3.2. Lietuvos upių energijos išteklių prognozė vertinant klimato kaitos veiksnius bei jos įtakos efektyviam hidroenergetikos naudojimui tyrimai.

Pastaraisiais dešimtmečiais stebimi klimato kaitos reiškiniai (pakilusi oro temperatūra ir padidėjęs garavimas, pasikeitęs ekstremalių klimato reiškinių pasikartojimo dažnis) keičia upių nuotėkį. Ateityje galimi dar didesni upių nuotėkio pokyčiai, ypač hidrologinių ekstremumų – potvynių ir sausrų pokyčiai. Upių vandeningumas lemia hidroenergetinius išteklius, kuriuos sudaro upių tėkmės (hidrokinetinė) ir patvankos (potencinė) energija.

Pagrindinis tyrimo tikslas – hidroenergetinių išteklių kaitos, kurios lemiamą priežastį yra ateities klimato pokyčiai, vertinimas. Darbe bus prognozuojami pasirinktų upių hidroenergetiniai ištekliai pagal tris RCP (Representative Concentration Pathways) scenarijus 2081-2100 metų laikotarpiui. Neiširtų upių hidroenergetiniai ištekliai bus įvertinti taikant hidrologijos metodus.

Galimi upių vandeningumo pokyčiai turės įtakos energijos gamybos apimčiai ir sąlygoms. Todėl bus pateiktos geros gamybos praktikos rekomendacijos hidroelektrinių savininkams ir aplinkosaugos institucijoms, kaip racionaliai naudoti pakitusius vandens išteklius.

3.3. Agromasės, netradicinės biomasės (įvairių mišinių granulės ir briketai, maisto perdirbimo pramonės atliekos, augaliniai želdiniai ir t.t.), komunalinių ir pramonės gamybos atliekų naudojimo energetikoje plėtros prognozė, kuro ruošimo technologijų analizė ir darnaus vartojimo efektyvumo didinimo tyrimai.

Bus ištirti biologiškai skaidžių atliekų susidarantys kiekiai bei jų susidarymo specifika, nustatytas biodujų gamybos technologijų efektyvumas naudojant energijos gamybai įvairias biologiškai skaidžias organines atliekas ir jų mišinius. Atlikti žemės ūkyje gaunamų atliekų panaudojimo biokurui analizė, atlikti kompleksiniai agromasės, netradicinės biomasės (maisto perdirbimo pramonės atliekos, augaliniai želdiniai ir t.t.), komunalinių ir pramonės gamybos atliekų panaudojimo energetikoje galimybių tyrimai, įvertintas šių išteklių techninis potencialas, poveikis aplinkai ir išnagrinėtos naujausios kuro paruošimo technologijos. Bus atlikti kompleksiniai atsinaujinančių išteklių darnaus panaudojimo energijos gamybai tyrimai ir išanalizuoti plėtros ir efektyvaus naudojimo principai.

3.4. Kietojo kuro, gaminamo iš medienos ir agromasės, savybių ir jų įtakos šio kuro efektyviam naudojimui tyrimas.

Bus ištirtos įvairių rūšių kietojo kuro, pagaminto iš medienos ir žemės ūkio atliekų, savybės ir jo pelenų struktūra ir sudėtis bei atskirų cheminių elementų įtaka pelenų lydumui siekiant nustatyti

tinkamiausias žaliavas ir jų proporcijas mišiniuose ir plačiau bei efektyviau naudoti šį kurą tobulinant ir kuriant naujus deginimo įrenginius.

3.5. Atsinaujinančių išteklių panaudojimo energijos gamybai socialinio poveikio aspektų analizė.

Bus vertinamas vienas iš pagrindinių darnios energetikos plėtros tikslų – deginamo iškastinio kuro pakeitimas atsinaujinančiais energijos ištekliais, siekiant sumažinti neigiamą poveikį aplinkai ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracijos augimą atmosferoje, kas laikoma pagrindine klimato kaitos priežastimi. Atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo energetikoje socialinio poveikio įvertinimas apima vykdomos ar planuojamos intervencijos (politikos, programų, planų, projektų) numatytų ir netikėtų socialinių (teigiamų ir neigiamų) pasekmių analizės, stebėsenos ir valdymo procesą. Pagrindinis socialinio poveikio įvertinimo tikslas yra siekti tvaresnės gamtinės ir socialinės aplinkos.

#### **4. Metodologinis tyrimų pagrindimas:**

Atliekant atsinaujinančių energijos išteklių plėtros prognozės, efektyvaus naudojimo ir socialinio poveikio tyrimus bus naudojami skaitiniai ir eksperimentiniai metodai bei turima ir naujai įsigyta programinė įranga.

Programos 3.1 papunktyje nurodyto uždavinio problemų sprendimui bus atliekami vėjo greičio ir krypties matavimai profesionalia tarptautinius standartus atitinkančia matavimo įranga WICOM ir LSI LASTEM, o taip pat bus naudojami automatinio meteorologinių stočių duomenys. Triukšmo sklaidos įvertinimui bus atliekami matavimai „Bruel&Kjaer“ kompanijos mobilia garso matavimo įranga bei atliekamas sklaidos procesų modeliavimas specialia programine įranga WindPro. Vėjo galios tankio pasiskirstymo tyrimams įvairiuose šalies regionuose bei vėjo profilio kaitos dėsningumų analizei programos vykdytojai naudosis pasaulyje pripažinta ir plačiai vėjo energetikos tyrimų centruose naudojama programine įranga WASP, o taip pat bus tobulinami statistikos principu pagrįsti vėjo energijos konversijos metodai tikslesniam vietovės vėjo energijos išteklių prognozavimui. Vėjo elektrinių parkų galios trumpalaikės prognozės metodikos sudarymui bus naudojami skaitmeninių orų prognozių modelio HIRLAM duomenys, kuriuos mokslinio bendradarbiavimo pagrindu teikia Lietuvos Hidrometeorologijos tarnyba.

Vykdam šiuos fundamentinius ir taikomuosius tyrimus bus tęsiamas bendradarbiavimas su Danijos RISOE DTU nacionaline laboratorija (*Risø DTU National Laboratory for Sustainable Energy*), kurioje instituto mokslo darbuotojai ir doktorantai dalyvauja mokslinėse stažuotėse ir ateityje plečiant tarptautinį mokslinį bendradarbiavimą turės galimybę susipažinti su šioje tyrimų srityje atliekamais darbais ir keistis moksline informacija.

Programos 3.2 papunktyje nurodyto uždavinio sprendimo tyrimo objektai – Lietuvos upės, kuriose yra įrengtos patvankinės elektrinės, ir efektyvūs upių ruožai hidrokinetinei energijai gaminti.

Pasirinktoms Lietuvos upėms (ne mažiau dešimties) bus sudaryti hidrologiniai modeliai, naudojant HBV (Švedija) programinę įrangą. Upių nuotėkio prognozė bus atlikta pagal šiuolaikinius RCP (Representative Concentration Pathways) klimato scenarijus 2081-2100 m. laikotarpiui. Neištirtų upių nuotėkis bus nustatytas taikant geografinės interpoliacijos metodus ir įvertinant fizinius-geografinius veiksnius. Lietuvos upių hidroenergijos ištekliai klimato kaitos sąlygomis bus įvertinti naudojant modernius metodus (skaitmeninis modeliavimas HBV modeliu, GIS programinė įranga), atsižvelgiant į aplinkosaugos reikalavimus ir hidroelektrinių įrangos modernizavimą.

Programos 3.3 papunktyje nurodyto uždavinio problemų sprendimui vertinant agromasės, netradicinės biomasės (įvairių mišinių granulės ir briketai, maisto perdirbimo pramonės atliekos, augaliniai želdiniai ir t.t.), komunalinių ir pramonės gamybos atliekų naudojimo energetikoje plėtros prognozę, biokuro ruošimo technologijų analizę bus surinkti naujausi Eurostat, šalies statistikos duomenys ir tarptautinių šaltinių informacija minėtais klausimais. Duomenys bus apdoroti patikimumo teorijos metodais ir naudojant specialią programinę įrangą. Naudojant ekonomikos bei skaitinio modeliavimo dėsnius ir metodus bus prognozuota biologiškai skaidžių atliekų susidarymo specifika, nustatyti jų ištekliai, galimi panaudoti energijos gamybai, ir t.t. Taip pat bus panaudota informacija, įgyta vykdam tarptautinius projektus ir atsižvelgta į atsinaujinančių energijos išteklių gavybos plėtros ir aplinkos taršos problemas siekiant užtikrinti darnią energetikos

plėtrą.

Programos 3.4 papunktyje nurodyto uždavinio sprendimui bus atrinkti energijos gamybai tinkamiausi agromasės pavyzdžiai. Palyginimui bus pasirinkti ir ištirti medienos pavyzdžiai. Atrinkti pavyzdžiai bus paruošiami: susmulkinami, išdžiovinami ir homogenizuojami. Elementinė mėginių sudėtis bus nustatoma indukuotos plazmos optinės emisijos spektroskopu (ICP-OES) bei elektroniniu dispersiniu spektroskopu (EDS). Pelenų tūrinė struktūra bus tiriama naudojant rentgeno spindulių difrakcijos (XRD) metodą. Mėginių aukštutinė šilumingumo vertė bus nustatoma kalorimetru IKA C5000. Žemutinė jo vertė bus apskaičiuojama, atsižvelgus į drėgmės ir vandenilio kiekius esančius mėginyje. Pelenų kiekiai bus nustatomi termogravimetriniu metodu TGA. Pelenų lydumui nustatyti visi mėginiai pirmiausia bus džiovinti žemos temperatūros krosnyje esant 105 °C ir susmulkinami iki homogeninių dulkių. Po to šie mėginiai bus sudeginami krosnyje esant 550 °C laipsnių temperatūrai, susidarę pelenai susmulkinami grūstuve. Iš gautų pelenų miltelių bus formuojami cilindrai, kurie toliau kaitinami aukštatemperatūrinėje krosnyje ir su video kamera esant įvairioms temperatūroms ir jų kitimo gradientams bus stebimi pelenų būvio pokyčiai. Pelenų paviršiaus morfologijos tyrimams bus naudojami optinis bei elektroninis mikroskopai (SEM).

Programos 3.5 papunktyje nurodyto uždavinio sprendimui metodologine prasme socialinio poveikio vertinimas bus vykdomas remiantis užsienio ir Lietuvos mokslininkų tyrimų rezultatais ir metodais, statistiniais duomenimis ir ekspertiniais vertinimais. Esminis metodologinis principas – pateikti objektyvią informaciją apie AEI technologijų socialinį poveikį. Šio projekto uždaviniai sąlygoja įvairių metodų panaudojimą, o būtent AEI technologijų įtakos įvairiais aspektais nustatymas, koreliacinio ryšio tarp AEI plėtos ir technologijų pažangos įvertinimas. Bus panaudojami metodai: statinė ir dinaminė analizė regionams, tarptautinė lyginamoji analizė, mokslinės ir kitos (pvz. studijų, ataskaitų) literatūros analizė, statistinio vertinimo metodai, ekspertinių tyrimų ir kiti metodai.

## **5. Tyrimų etapai ir jų charakteristikos; Detalus įgyvendinimo planas, kuriame numatomas skirtų lėšų paskirstymas uždaviniams vykdyti:**

5.1. Vėjo elektrinių galios prognozės ir vėjo energetinio tankio pasiskirstymo, taikant Veibulo ir kitus tikimybinis skirstinius, analizė, vertinant gamybos plėtrą pasirinktuose Lietuvos regionuose (3 norminiai etapai):

5.1.1. vėjo galios tankio statistinių charakteristikų parametrų skaičiavimo metodų analizė, nustatant vietovės vėjo galios pasiskirstymą;

5.1.2. skaitinis vėjo galios tankio vietovėje tyrimas, vertinant meteorologines, topografines, vėjaračio aukščio ir kitas sąlygas;

5.1.3. vėjo charakteristikų pasirinktose vietovėse matavimai, apibendrinimas, palyginimas su skaitinio tyrimo duomenimis ir analizė;

5.1.4. vėjo elektrinių galios trumpalaikės prognozės, naudojant skaitmeninio oro prognozės modelio HIRLAM duomenys, tyrimai;

5.1.5. poveikio aplinkai mažinimo (šiltnamio reiškinių sukeliančių dujų, jėgainių keliamo triukšmo ir t.t.), esant optimaliai vėjo energijos gamybai, tyrimai.

5.2. Lietuvos upių energijos išteklių prognozė vertinant klimato kaitos veiksnius bei jos įtakos efektyviam hidroenergijos naudojimui tyrimai (4,47 norminiai etapai):

5.2.1. Lietuvos upių parinkimas hidroenergijos išteklių tyrimams ir hidrometeorologinių duomenų bazės sukūrimas;

5.2.2. Lietuvos upių hidrologinis modeliavimas pagal šiuolaikinius klimato kaitos scenarijus;

5.2.3. upių, kuriose yra hidrologinių stebėjimų, nuotėkio pokyčių analizė, lyginant sumodeliuotas nuotėkio reikšmes pagal klimato scenarijus su stebėjimų duomenimis;

5.2.4. neištirtų upių nuotėkio nustatymas ir pokyčių analizė pagal klimato kaitos scenarijus ;

5.2.5. upių ruožų hidrokinetinių išteklių prognozė pagal klimato scenarijus;

5.2.6. patvankinių elektrinių hidroenergijos išteklių prognozė pagal klimato scenarijus: mažosios hidroelektrinės, Kauno HE;

5.2.7. rekomendacijos efektyviam hidroenergijos naudojimui ateityje, įvertinus gamtosauginius reikalavimus.

5.3. Agromasės, netradicinės biomasės (įvairių mišinių granulės ir briketai, maisto perdirbimo

pramonės atliekos, augaliniai želdiniai ir t.t.), komunalinių ir pramonės gamybos atliekų naudojimo energetikoje plėtros prognozė, kuro ruošimo technologijų analizė ir darnaus vartojimo efektyvumo didinimo tyrimas (3 norminiai etapai):

5.3.1. biologiškai skaidžių atliekų susidarymo specifikos, apimčių ir kitų veiksnių, įtakančių biodujų gamybą tyrimai;

5.3.2. žemės ūkyje gaunamų atliekų panaudojimo biokuro gamybai analizė; kompleksinis agromasės, netradicinės biomasės (maisto perdirbimo pramonės atliekos, augaliniai želdiniai ir t.t.), komunalinių ir pramonės gamybos atliekų panaudojimo energetikoje galimybių tyrimas;

5.3.3. biologiškai skaidžių biomasės išteklių techninio potencialo įvertinimas, poveikio aplinkai ir naujausių biokuro paruošimo technologijų analizė ir darnaus vartojimo efektyvumo didinimo tyrimai.

5.4. Kietojo kuro, gaminamo iš medienos ir agromasės, savybių ir jų įtakos šio kuro efektyviam naudojimui tyrimas (2 norminiai etapai):

5.4.1. biokuro ir pelenų sudėties tyrimas;

5.4.2. kuro priedų įtakos pelenų lydumui tyrimas;

5.4.3. pelenų lydumo temperatūros priklausomybės nuo sudėties analizė;

5.4.4. tinkamiausio energijos gamybai agromasės kuro parinkimas ir išbandymas mažos galios deginimo įrenginyje.

5.5. Atsinaujinančių išteklių panaudojimo energijos gamybai socialinio poveikio aspektų analizė (4,61 norminiai etapai):

5.5.1. AEI plėtros Lietuvoje apžvalga ir perspektyvos:

5.5.1.1. AEI panaudojimo būklė ir dinamika šilumos, elektros ir transporto sektoriuose Lietuvoje,

5.5.1.2. statistinės informacijos analizė ir vertinimas,

5.5.1.3. AEI plėtros scenarijų formavimas atsižvelgiant į Lietuvos energetikos strateginius tikslus.

5.5.2. AEI naudojimo ir plėtros įtakos visuomenės užimtumui ir sveikatai vertinimo metodų parinkimas:

5.5.2.1. Lietuvoje ir užsienyje atliktų tyrimų analizė, literatūros apžvalga,

5.5.2.2. metodų, leidžiančių kokybiškai ir kiekybiškai įvertinti AEI plėtros įtaką žmonių užimtumui ir sveikatingumui, poveikį šilumos ir elektros sektoriuose, pagrindimas.

5.5.3. Teigiamo ir neigiamo AEI plėtros poveikio vertinimas pagal parengtą metodiką:

5.5.3.1. informacijos reikalingos kokybiniam ir kiekybiniam poveikio vertinimui surinkimas,

5.5.3.2. teigiamo ir neigiamo poveikio nagrinėjamaisiais aspektais vertinimas panaudojant pasirinktus metodus.

5.5.4. AEI naudojimo plėtros ir technologijų vystymosi tarpusavio koreliacinių ryšių elektros ir šilumos gamybos sektoriuose vertinimas:

5.5.4.1. koreliacinių ryšių nustatymo metodikos suformavimas ir aprašymas,

5.5.4.2. Lietuvos ir pasaulio šalyse pasiektos pažangos analizė ir apibendrinimai,

5.5.4.3. reikalingų statistinių duomenų surinkimas, vertinimas.

## **6. Numatomi rezultatai:**

Šalyje elektros energijos gamyba naudojant AEI labiausiai priklauso nuo vandens, vėjo ir biomasės energetinių išteklių. Todėl pagrindinis dėmesys, žvelgiant į ateitį, skiriamas vėjo, vandens ir biomasės energetikos vystymui. Be to, siekiant optimizuoti pastatų šildymo išlaidas, būtina plėsti įvairių rūšių biokuro panaudojimo apimtį, tobulinti jo gamybos ir deginimo technologijas.

Vykdam 3.1 papunktyje nurodytą uždavinį naudojant specializuotą vėjo matavimo įrangą bei specialią programinę įrangą numatoma ištirti vėjo energetinio tankio pasiskirstymą, taikant Veibulo, Gumbelio, Relėjaus ir kitus tikimybinis skirstinius, įvertinti vėjo energijos gamybos galimybę įvairiuose Lietuvos regionuose. Šiuo metu vėjo elektrinių statyba daugiausia vykdoma pajūrio regione, kur vėjo elektrinių statyba dėl žemės stokos ir elektros tinklų pralaidumo galimybių yra ribojama. Taip pat esamos vėjo elektrinių parkų galios prognozavimo metodikos pagrindu numatoma sukurti tikslesnę metodiką, leisiančią kompleksiškai įvertinti įvairių meteorologinių ir topografinių sąlygų įtaką prognozių tikslumui ir parinkti optimalų prognozavimo

algoritmą. Be to, vykdant programą bus įvertintas vėjo elektrinių poveikis aplinkai ir plėtros Lietuvoje galimybės. Vykdant šią tematiką plečiamas tarptautinis mokslinis bendradarbiavimas. Vykdant darbus su Danijos DTU RISOE mokslo centru apginta 1 daktaro disertacija, o kita rengiama (G. Gecevičius). Programos pareiškėjai (M. Marčiukaitis, V. Katinas, A. Markevičius ir kiti) turi sukaupę didelę patirtį atsinaujinančių energijos šaltinių tyrimo srityje, vykdę nemažai tarptautinių ir respublikinių projektų, dalyvavę tarptautinėse ir respublikinėse konferencijose, paskelbę nemažai mokslinių publikacijų tarp jų ir duomenų bazės Thomson-Reuters WOS užsieniniuose mokslo žurnaluose su citavimo indeksu.

Vykdant 3.2 papunktyje nurodytą uždavinį bus išanalizuoti Lietuvos upių perspektyviniai energijos ištekliai pagal klimato kaitos scenarijus ir parengti siūlymai efektyviam hidroenergijos naudojimui ateityje. Šiuo metu vykdomais tyrimais nustatyta, kad pastaraisiais dešimtmečiais jau vyksta Lietuvos upių metinio nuotėkio persiskirstymas (mažėja pavasario potvyniai, didėja žiemos sezono bei mažėja vasaros sezono upių nuotėkis). Jau įvykę ir ateityje įvyksiantys upių nuotėkio pokyčiai turės didelę įtaką hidroenergetiniams upių išteklams. Taikant pasirinktus klimato modelius, šiuolaikinius RCP klimato scenarijus ir hidrologinio modeliavimo programinę įrangą HBV bus nustatyta upių, naudojamų hidroenergetiniams tikslams, nuotėkio prognozė 2081-2100 metų laikotarpiui bei įvertinti hidrokinetinių bei patvankinių jėgainių hidroenergijos išteklių pokyčiai. Įvertinus Nemuno nuotėkio pokyčius pagal klimato kaitos scenarijus taip pat bus pateikta svarbiausių hidroelektrinių (Kauno HE ir Kruonio HAE) hidroenergijos išteklių prognozė, kuri yra svarbi Lietuvos energetinės sistemos stabilumui. Vykdant programą bus sukurtos rekomendacijos perspektyviam hidroenergijos naudojimui, atsižvelgiant į aplinkosauginius reikalavimus.

Programos pareiškėjai (J. Kriaučiūnienė, B. Gailiušis, D. Šarauskienė, D. Jakimavičius, D. Meilutytė-Lukauskienė) turi sukaupę didelę patirtį vandens išteklių (Lietuvos upės, ežerai, Baltijos jūra) tyrimų srityje. Programos vykdyme taip pat dalyvaus dokt. V. Akstinas, kurio disertacijos tematika yra susijusi su 3.2 papunktyje nurodyto uždavinio tikslais. Per paskutinius metus programos pareiškėjai atliko daugiau kaip 30 mokslinių tyrimo darbų, susijusių su Lietuvos upių nuotėkio tyrimais, energetikos ir vandens transporto objektų statybos bei rekonstrukcijos poveikio aplinkai bei klimato kaitos įtakos vandens telkiniams vertinimu. Minėti mokslininkai dalyvavo tarptautinėse ir respublikinėse konferencijose bei paskelbė nemažai mokslinių publikacijų duomenų bazės Thomson-Reuters WOS užsieniniuose mokslo žurnaluose su citavimo indeksu.

Atlikus 3.3 papunktyje nurodyto uždavinio numatytus tyrimus, bus įvertinti biologiškai skaidžių medžiagų ištekliai, leidžiantys didinti biodujų gamybos apimtį. Darbo vykdytojai E. Perednis, J. Savickas, V. Gaigalis ir kiti turi solidžią tyrimų šioje srityje patirtį, parašę nemažai straipsnių tarptautiniuose žurnaluose, referuojamuose Thomson-Reuters Web of Science duomenų bazėje, dalyvauja tarptautinėse ir respublikinėse konferencijose. Atlikti kompleksiniai agromasės, netradicinės biomasės (maisto perdirbimo pramonės atliekos, augaliniai želdiniai ir t.t.), komunalinių ir pramonės gamybos atliekų panaudojimo energetikoje galimybių tyrimai leis nustatyti naujas biokuro rūšis siekiant efektyvesnio šių išteklių panaudojimo šilumos ir elektros energijos gamybai. Atlikti tyrimai leis mažinti iškastinio kuro sąnaudas ir mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų į aplinką emisijas. Bus sudaryta moksliai pagrįsta aplinkos taršos vertinimo metodika, išanalizuotas taršos mažinimo efektyvumas dėl žemės ūkio atliekų ir augalinės biomasės mišinių anaerobinio perdirbimo į biodujas. Tyrimai rodo, kad, siekiant toliau didinti biokuro gamybą ir efektyviai gaminti energiją, būtina rekonstruoti ir modernizuoti katilines pritaikant biokuro panaudojimui.

Atlikus 3.4 papunktyje nurodyto uždavinio tyrimus bus atrinktos tinkamiausios agromasės rūšys, iš jų pagaminamas granuliuotas kuras. Kuras bus išbandytas realiame deginimo įrenginyje, įvertinant degimo kokybę bei įrenginio veikimo efektyvumą.

3.5 papunktyje nurodyto uždavinio pareiškėjai nuo 2014 metų vykdo savivaldos lygiu įgyvendinamų darnios energetikos plėtros priemonių efektyvumo tyrimus. Tiriama energetikos darnios plėtros įdiegimo eiga ir patirtis Lietuvoje pagal ūkio sektorius ir, atsižvelgiant į nacionalinius tikslus, pateikiami energijos vartojimo efektyvumo didinimo ir iškastinių išteklių pakeitimo atsinaujinančiais skatinimo priemonių efektyvumo vertinimo metodai ir kriterijai, metodiniai darnios energetikos plėtros įgyvendinimo priemonių vertinimo pagrindai, apžvelgta darnios energetikos plėtros teisinė bazė. Vertinime naudojami statistiniai duomenys ir kita

informacija, leidžiantys įvertinti įvairių priemonių įgyvendinimo efektyvumą. Taip pat išanalizuota AEI technologijų panaudojimo ir skatinančių finansavimo būdų įvairovė Lietuvoje ir užsienyje ir jų pritaikymo galimybės Lietuvoje.

Vykdam programą bus siekiama suformuoti ir parengti metodikas, leidžiančias kokybiškai ir kiekybiškai įvertinti AEI plėtros įtaką žmonių užimtumui ir sveikatingumui, poveikį šilumos ir elektros sektoriuose. Naudojant šias metodikas bus įvertinta AEI plėtros įtaka atsižvelgiant į tiesioginį ir netiesioginį užimtumą, AEI plėtros mastus, bus atlikta statinė ir dinaminė AEI plėtros analizė regionams. Taip pat bus atliktas kompleksinis AEI plėtros poveikio visuomenės sveikatai vertinimas ir pateikti vertinimo rezultatai.

Kitas svarbus aspektas bus AEI naudojimo plėtros ir technologijų vystymosi tarpusavio koreliacinių ryšių elektros ir šilumos gamybos sektoriuose, įvertinant Lietuvoje ir užsienio šalyse pasiektą technologinę pažangą, nustatymas.

Be to, pareiškėjai, dalyvaudami tarptautiniuose ir nacionaliniuose projektuose, įgijo plačią ir daugiametę mokslo rezultatų sklaidos patirtį, dalyvauja švietėjiškoje veikloje įvairioms tikslinėms grupėms: jaunimui, specialistams ir plačiajai visuomenei apie darnios energetikos, tame tarpe ir AEI plėtros, technologinius, socialinius ir ekonominius aspektus bei aplinkosauginę naudą.

### **7. Rezultatų sklaidos priemonės:**

Pagal 3.1, 3.2 ir 3.3 papunkčiuose nurodytus uždavinius bus pateikta po 4 straipsnius, pagal 3.4 papunktyje nurodytą uždavinį – 3, pagal 3.5 papunktyje nurodytą uždavinį – 3 straipsnius per 5 metų laikotarpį į Thomson-Reuters Web of Science (WoS) bazės įtrauktus užsienio žurnalus, turinčius citavimo indeksą. Numatomas mokslininkų dalyvavimas tarptautinėse konferencijose, kuriose bus pristatomi mokslinio tyrimo rezultatai, taip pat bus dalyvaujama respublikinėse konferencijose.

Numatomas bendradarbiavimas su užsienio mokslo centrų tyrėjais. Vėjo energetikos tyrimo srityje bus palaikomas glaudus ryšis su mokslo centru Danijoje (DTU RISOE) ir Vokietijoje (Rotorwerk Ingenieurdienstleistungen GmbH), Švedijos energetikos agentūra, Baltijos šalių vėjo energijos asociacija ir kt. Tai leis vykdyti tarptautinę rezultatų sklaidą ir gauti naujausią informaciją šioje mokslo srityje.

Programos vykdytojai iš viso ketina pateikti 18 publikacijų per 5 metų laikotarpį Thomson-Reuters WoS žurnaluose, turinčiuose citavimo indeksą. Numatoma tyrimų rezultatus pristatyti 5 tarptautinėse ir 7 respublikinėse mokslinėse konferencijose, pateikti 5 straipsnius mokslo populiarinimo žurnaluose.

Taip pat programos vykdytojai, turintys daugiametės patirties AEI plėtros įvairių aspektų viešinimui, švietimui ir mokymams įvairioms tikslinėms grupėms, patys organizuos ir dalyvaus kitų institucijų renginiuose bei įvairiomis kitomis priemonėmis platins informaciją apie AEI plėtros prognozes, efektyvų naudojimą ir socialinį poveikį aplinkai bei visuomenei.

### **8. Preliminarus programos lėšų paskirstymas (tūkst. eurų):**

| Eil. Nr. | Išlaidų pavadinimas                                                                                                | 2017 metais     | 2018 metais     | 2019 metais     | 2020 metais     | 2021 metais     | Visai programai (suma) |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------|
| 1.       | Programai skirti norminiai etatai ir lėšos                                                                         | 17,08<br>163,78 | 17,08<br>163,78 | 17,08<br>163,78 | 17,08<br>163,78 | 17,08<br>163,78 | 818,9                  |
| 2.       | Kitos lėšos planuojamos programai vykdyti (iš kitų, institutui skirtų valstybės biudžeto bazinio finansavimo lėšų) | 40,92           | 40,92           | 40,92           | 40,92           | 40,92           | 204,6                  |
|          | Iš viso:                                                                                                           | 201,7           | 327,56          | 327,56          | 327,56          | 327,56          | 1023,5                 |

### **9. Programos trukmė: 2017 - 2021 metai**

**10. Programos vadovas** Dr. Mantas Marčiukaitis, lab. vadovas. tel.: (8 37) 401 847. El. paštas: mantas.marciukaitis@lei.lt

**INOVATYVIOSE TECHNOLOGINĖSE SISTEMOSE VYKSTANČIŲ ŠILUMINIŲ IR  
HIDRODINAMINIŲ PROCESŲ DĖSNINGUMŲ TYRIMAI**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>1. Programos vykdytojas</b> – Lietuvos energetikos institutas (toliau – LEI).<br/>Norminiai etatai skirti programai – 20,5.</p> <p><b>2. Programos tikslas</b> - atlikti inovatyviose technologinėse sistemose vykstančių šilumos ir masės pernašos bei srautų struktūros dėsningumų tyrimus, sprendžiant šilumos bei elektros energijos gamybos uždavinius bei su tuo susijusias aplinkosaugines problemas.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <p><b>3. Programos uždaviniai:</b></p> <p>3.1. Eksperimentiniais ir skaitiniais metodais ištirti šiluminių ir hidrodinaminių procesų, vykstančių termocheminės konversijos sistemose su laike besikeičiančiomis žaliavos savybėmis, dėsningumus (toliau – 1 uždavinys).</p> <p>3.2. Atlikti kietojo kuro, gaminamo iš medienos, agromasės ir komunalinių atliekų, savybių, deginimo efektyvumo didinimo ir taršos mažinimo mažos ir vidutinės galios šiluminiuose įrenginiuose metodų tyrimus (toliau – 2 uždavinys).</p> <p>3.3. Skaitiniais ir eksperimentiniais metodais ištirti vienfazių/dvifazių srautų šiluminių ir hidrodinaminių procesų dėsningumus mikro ir makro kanaluose, esant laidumo, natūralios/mišrios konvekcijos ar spinduliavimo sąveikai bei nustatyti lemiančių veiksnių įtaką šilumos mainų intensyvinimui, esant įvairioms tekėjimo sąlygoms (toliau – 3 uždavinys).</p> <p>3.4. Ištirti plazminių-technologinių procesų metu tekančių aukštos temperatūros dujų srautų dinamiką bei šilumos mainus, nustatyti dujų dinaminių ir energetinių charakteristikų įtaką plazminiam procesui (toliau – 4 uždavinys).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <p><b>4. Metodologinis tyrimų pagrindimas:</b></p> <p>4.1. Efektyvus energijos vartojimas bei gamtosauginių problemų sprendimas, energijos ir masės pernašos procesų energijos gamyboje ir technologiniuose procesuose intensyvinimas bei naujų pažangių procesų ir technologijų moksliniai tyrimai, yra glaudžiai susieti. Tiek diegiant biokuro bei biomasės atliekų deginimo technologijas, tiek kuriant naujas plazmines technologijas susiduriama su kompleksiniais nepilnai ištyrinėtais šilumos pernašos ir hidrodinaminiais procesais makro ir mikro sistemose. Todėl šių procesų tyrimai yra labai aktualūs siekiant užtikrinti spartų šių inovatyvių technologinių sistemų įdiegimą. Lietuvoje pradėjus naudoti biomasės atliekas, katilų eksploatuotojai susiduria ir susidurs su automatinio valdymo, žaliavos srautų reguliavimo bei kitomis techninėmis problemomis, kurios atsiranda dėl nevienodos biokuro sudėties (skirtingas drėgnumas, peleningumas ir jo lydumas, dalelių dydis, chloro junginių sukelta korozija ir pan.). Kintant kuro savybėms, katilų automatika nepajėgi visiškai prisitaikyti prie pasikeitusių sąlygų, pvz., padidėjus kuro drėgmei, reikalingas didesnis oro kiekis bei oro srautų perskirstymas, kuris užtikrintų kuro džiovinimo intensyvinimą ir jo visišką sudegimą; taip pat būtina keisti ardynų judėjimo režimus ar pan. Kadangi ne visi katilai aprūpinti oro srauto, kuro ar dūmų drėgnumo ir kitais proceso matuokliais, leidžiančiais automatiškai įvertinti pasikeitimo priežastis, todėl visuomet atsiranda degimo nestabilumo sąlygojama kenksmingų medžiagų emisija į supančią aplinką. Labiau pažengusiose, biokurą naudojančiose šalyse, tokiose kaip Danija, Nyderlandai ar Švedija, yra projektuojami specialūs biokuro katilai, pasižymintys mažai kintančiomis savybėmis, skirti tam tikrai biokuro rūšiai, arba atvirkščiai, naudojamas brangesnis būdas, t. y. biokuras yra perdirbamas, pašalinant jame esančius nepageidaujamus elementus (Na, K, Cl), džiovinamas ar torefikuojamas, kad jis tiktų esamai technologinei įrangai. Pastarąjį dešimtmetį daug dirbama ir pakurų optimizavimo bei jų pritaikymo deginti skirtingas biomasės rūšis klausimais. Įvairiose technologinėse sistemose neišvengiamai susiduriama su tekančiais fluidų srautais, kurie atlieka šilumnešių vaidmenį. Tiek vienfazių tiek dvifazių srautų tekėjimo atveju, esant laminariniam ar turbulentiniam tekėjimui, daugelyje energetikos įrenginių šilumos mainams gali turėti įtakos paviršiaus šiurkštumas, išcentrinis bei termogravitacijos jėgų (mišrios konvekcijos) poveikis.</p> |

Šie veiksniai gali suintensyvinti šilumos mainus, o tam tikromis sąlygomis gali tapti avarių įvairiuose įrengimuose priežastimi. Todėl svarbu visapusiškai ištirti šiuos procesus, aktualius kuriant energijos vartojimą mažinančius efektyvius šilumos mainų aparatus, nes efektyvus energijos vartojimas yra strateginė Europos Sąjungos kryptis. Vykdamas tokio pobūdžio šilumos mainų bei tėkmės struktūros eksperimentinius tyrimus, planuojama taikyti naujausius matavimo metodus bei priemones, tame tarpe ir standartinio tipo bei mini lazerines sistemas. Ypač naudinga lygiagrečiai atlikti šių procesų skaitinį modeliavimą naudojantis šiuolaikiniais programiniais paketais, kurie plačiai taikomi visame pasaulyje, modeliuojant takųjų medžiagų judėjimą ir šilumos mainus sudėtingose dvimatėse arba trimatėse sistemose. Kuriant naujas plazmines technologijas (pvz. biokuro katiluose susidarantį agresyviai aplinkai atsparių dangų formavimas, kenksmingų darinių deginant atliekas neutralizavimas) ir tyrinėjant plazminius procesus pastebėta, kad įvairūs veiksniai, susiję su plazmą sudarančių dujų srautų paskirstymu, plazmos generatoriaus srautų formavimu, o, ypač, iš plazmotrono ištekančios plazmos srovės parametrų pasiskirstymu bei plazmos srauto ir apdorojamos medžiagos sąveika, lemia pagrindines naujų gaunamų produktų bei modifikuojamų paviršių savybes. Dėl informacijos stokos apie aukštos temperatūros srautų tekėjimą ir šilumos-masės mainus plazminio proceso metu atsirado nemažai problemų. Pvz., sunku iš anksto numatyti plazmos sraute formuojamos medžiagos ar paviršiaus struktūrą, jo kietumą, porėtumą, katalizines ar tribologines savybes, neturint žinių apie dujų dinaminių charakteristikų pasiskirstymo dėsningumus, paviršių aptekėjimo bei šilumos pernašos ypatumus. Norint suformuoti iš anksto numatytų savybių konstrukcinių medžiagų paviršinius sluoksnius, būtina turėti pakankamai žinių ir apie nusodinimo metu dominuojantį plazminės purškimo pirolizės procesą. Plazminės purškimo pirolizės reiškiniai ištirti nepakankamai, todėl būtina juos detalai išnagrinėti. Panašiai galima teigti ir apie plazmos bei aukštos temperatūros srautų generavimo ypatumų, elektros lanko plazmos ir jį aptekančių dujų sąveikos dėsningumų, aukštos temperatūros srautų ir srovių greičių, temperatūrų, o taip pat plazmos būsenos parametrų poveikį plazma apdorojamų paviršių, sintetinių medžiagų bei dangų struktūrai ir savybėms. Šioje programoje bus vykdomi kompleksiniai tyrimai, būdingi inovatyvioms technologinėms sistemoms. Eksperimentiniai tyrimai bus atliekami naudojant šiuolaikinę aparatūrą, o skaitinis modeliavimas – naudojant šiuolaikinius programinius paketus.

4.2. Šiluminiai ir heterogeniniai procesai, cheminių reakcijų kinetika bei masės mainai aukštos temperatūros srautuose ir srovėse ištirti nepakankamai. Pasaulinėje mokslinėje-techninėje literatūroje trūksta duomenų apie reaguojančių dujų srauto tekėjimą įvairių aukštatemperatūrų šilumokaičių elementų pasienio sluoksniuose. Literatūroje mažai duomenų apie šilumos ir masės pernešimo procesus esant vidiniams šilumos šaltiniams kanalų pasienio sluoksniuose. Dėl informacijos stokos apie aukštos temperatūros srautų tekėjimą ir šilumos-masės mainus plazminio proceso metu atsirado nemažai problemų. Pvz., neįmanoma numatyti plazminio proceso eigos, gauto galutinio produkto savybių bei medžiagos dalelių ir plazmos srauto sąveikos padarinių. Būtina gauti duomenų ir apie multifazės reaguojančių dujų plazmos srovės tekėjimą neribotoje erdvėje, pasienio sluoksnio formavimąsi prie aukštų temperatūrų bei fazinių pokyčių eigą ir nustatyti įvairios sudėties plazmos srovės, kietųjų dalelių, lydalo ar garų fazės mišinių ir apdorojamo paviršiaus sąveiką bei paviršiaus zonoje vykstančius šilumos-masės pernešimo procesus. Todėl tikslui pasiekti bus panaudojami nauji ir anksčiau Plazminių technologijų laboratorijoje sukurti metodai, besiskiriantys nuo tradicinių tyrimo metodų, o tyrimų objektas bus specialios paskirties plazmos generatoriaus sukurta nepusiausviosios plazmos srovė, ištekanči į kambario temperatūros oro aplinką. Ypač sudėtingi reiškiniai ir sąlygos susidaro tekant dujų srautams įvairiais aukštatemperatūrų šilumokaičių elementais ir grūdinimo įrenginiais. Šiais klausimais duomenų pasaulinėje mokslinėje-techninėje literatūroje beveik nėra. Ypač trūksta duomenų aerodinamikos ir šilumos mainų klausimais kanalų ir šilumokaičių įtekamosiose dalyse, kur vyrauja įvairūs trikdžiai ir pasienio sluoksnių sudrumstymai. Srautų struktūros sudėtingumas apsprendžia būtinumą lygiagrečiai taikyti skaitinius ir eksperimentinius tyrimo metodus. Nagrinėjant turbulentiniame ir pereinamajame režimuose tekančius srautus, trikdžiais paveiktus srautus, srautų tarpusavio sąveikas arba jų sąveikas su aptekamais paviršiais, išlieka labai didelė eksperimentinių tyrimų, taikant naujus

matavimo metodus ir priemones, svarba. Skaitiniams tyrimams daugiausia bus taikoma Ansys Fluent programa ir jos specialios paprogramės, skirtos skaičiuoti:

- granuliuoto biokuro degimo procesus (1 uždavinys);
- srauto dinamiką ir šilumos mainus esant priverstinės ir natūralios konvekcijos sąveikai turbulentiniame ir pereinamajame tekėjimo režimuose, įvairios formos kanaluose (2 ir 3 uždavinys);
- vandens garų kondensaciją (3 uždavinys);
- plazmos ir aukštatemperatūrius srautus (4 uždavinys).

Be to, įvairiais dėsningumais pulsuojančio srauto įtakai matuoklių dinaminėms paklaidoms analizuoti bus taikomas programos pareiškėjų sukurtas metodas, pagrįstas reguliaraus režimo dėsningumais. Eksperimentiniuose tyrimuose bus naudojama esama įranga ir naujai sukurta bei gauta pagal slėnio „Santaka“ programą. Didelis dėmesys bus skiriamas neinvazinių matavimo metodų taikymui naudojant lazerines srautų vizualizavimo sistemas, skirtas matavimams makro ir mikro sistemose bei kitą šiuolaikišką aparatūrą.

4.3. Spręsti 1 uždaviniui bus naudojamas kompleksas esamos eksperimentinės įrangos ir standų:

- 4.3.1. LEI esantis eksperimentinis stendas, skirtas skirtingų savybių kietosios biomasės dalelių degimo procesų dėsningumų bei suderinamumo naudojimui pakurose tyrimams, aprūpintas:
  - 4.3.1.1. kuro džiovinimo ir deginimo stendu (iki 10 kg) su kompiuterizuotomis oro srautų, temperatūros, drėgmės matavimo, valdymo, reguliavimo ir duomenų surinkimo bei apdorojimo sistemomis;
  - 4.3.1.2. terminės analizės (STA) prietaisu NETZSCH STA 449 F3 Jupiter; (įranga įsigyta slėnio „Santaka“ lėšomis);
  - 4.3.1.3. makro termogravimetru; (įranga įsigyta slėnio „Santaka“ lėšomis);
  - 4.3.1.4. kieto kuro kalorimetru IKA C5000, įvairiomis krosnelėmis ir svarstyklėmis kuro charakteristikoms įvertinti; (įranga įsigyta slėnio „Santaka“ lėšomis);
  - 4.3.1.5. dūmų dujų analizatoriumi, dujų chromatografu Agilent 7890A.
- 4.3.2. LEI esantis eksperimentinis stendas kieto kuro degimo metu vykstančių chemiliuminescencinių reiškinių tyrimui, aprūpintas:
  - 4.3.2.1. kuro deginimo stendu (nuo kuro vienos dalelės iki 100 g kuro sluoksnio) su kompiuterizuotomis oro srautų, temperatūros, drėgmės matavimo, valdymo, reguliavimo ir duomenų surinkimo bei apdorojimo sistemomis;
  - 4.3.2.2. liepsnoje susidarančių  $\text{OH}^*$ ,  $\text{CH}^*$  ir  $\text{C}_2^*$  radikalų chemiliuminescenciją registruojančia padidinto jautrumo kamera Andor iStar ICCD DH 774, sujungta su spektrografu Shamrock SR-303 (įranga įsigyta slėnio „Santaka“ lėšomis). Kamera aprūpinta penkiais optiniais filtrais pralaidžiais tik nurodytų radikalų emisijos spektrams. Šviesos nukreipimui iš degimo kameros į spektrografą naudojami penki šviesolaidžiai, išdėstyti  $72^\circ$  kampų aplink degimo kamerą.
- 4.3.3. Skaitiniams granuliuoto biokuro degimo procesų ir jų dėsningumų tyrimams bus naudojama:
  - 4.3.3.1. LEI sukurtas skaitinio modeliavimo paketas BedMotion;
  - 4.3.3.2. atviro kodo skaitinio modeliavimo paketas OpenFOAM;
  - 4.3.3.3. skaitinio modeliavimo paketas Ansys Fluent.

4.4. Spręsti 2 uždaviniui bus naudojama:

- 4.4.1. Teoriniams skaičiavimams:
  - 4.4.1.1. bendradarbiaujant su Liuksemburgo universitetu bus parengta degimo proceso skaičiavimo programa, kuria įvertinama srautų maišymosi dinamika ir degimo reakcijų vyksmas;
  - 4.4.1.2. Ansys Fluent programų paketas srautų dinamikai skaičiuoti.
- 4.4.2. Eksperimentiniams tyrimams:
  - 4.4.2.1. kietojo kuro ir komunalinių atliekų elementinei sudėčiai nustatyti bus naudojamas indukuotos plazmos optinės emisijos spektroskopas (ICP – OES) bei elektroninis dispersinis spektroskopas (EDS); (įranga įsigyta slėnio „Santaka“ lėšomis);
  - 4.4.2.2. pelenų ir nuosėdų tūrinė struktūra bus tiriama naudojant rentgeno spindulių difrakcijos (XRD) metodą; (įranga įsigyta slėnio „Santaka“ lėšomis);

4.4.2.3. mėginių aukštinė šilumingumo vertė bus nustatoma kalorimetru IKA C5000. Žemutinė jo vertė bus apskaičiuojama, atsižvelgus į drėgmės ir vandenilio kiekius esančius mėginyje;

4.4.2.4. pelenų kiekiai bus nustatomi termogravimetriniu metodu TGA;

4.4.2.5. pelenų ir nuosėdų paviršiaus morfologijos tyrimams bus naudojami optinis bei elektroninis mikroskopai (SEM) (įranga įsigyta slėnio „Santaka“ lėšomis);

4.4.2.6. degimo produktų koncentracijų kitimas bus nustatomas laboratoriniais nuolatinio veikimo dujų/dūmų analizatoriais;

Nustatant kuro, pelenų sudėtį ir struktūrą bus bendradarbiaujama su LEI Vandenilio energetikos technologijų centru, turinčiu atitinkamą šiuolaikišką aparatūrą.

4.5. Spręsti 3 uždaviniui bus naudojama:

4.5.1. Mikrokanalų teoriniams skaičiavimams:

4.5.1.1. Ansys Fluent programų paketas ir kompleksas turbulentiškumo modelių, įvertinančių tekėjimo režimus ir srauto atitrūkimo reiškinius;

4.5.1.2. programos dalelių sraute vaizdų analizei atlikti.

4.5.2. Mikrokanalų eksperimentiniams tyrimams:

4.5.2.1. aerodinaminiai ir hidrodinaminiai įrenginiai srautams eksperimentiniuose tyrimo kanaluose sudaryti ir valdyti;

4.5.2.2. 2D lazerinė mikrosrautų vizualizavimo sistema (mikroPIV), aprūpinta įranga pastoviam ir pasirinktų parametrų pulsuojančiam skysčio srautui sudaryti;

4.5.2.3. 2D lazerinė makrosrautų vizualizavimo sistema (makroPIV);

4.5.2.4. lazeriniai anemometrai oro ir vandens greičio pasiskirstymui makrokanaluose tirti;

4.5.2.5. kietųjų dalelių (0,1–100)  $\mu\text{m}$  dydžio oro (dujų) sraute spektrometras dalelių tankio pasiskirstymui ir koncentracijai analizuoti;

4.5.2.6. kompleksas precizinės aparatūros slėgio pulsacijoms, skirtuminiam slėgiui ir temperatūrai matuoti. Nustatant mikrokanalų ir kietųjų dalelių formą ir struktūrą bus bendradarbiaujama su kitais instituto padaliniais (Vandenilio energetikos technologijų centras, Medžiagų tyrimų ir bandymo laboratorija), turinčiais atitinkamą šiuolaikišką aparatūrą.

Atliekant mikrosrautų tyrimus, bus įsisavinta mikrokanalų ir jų sistemų gamyba, kas leis atlikti eksperimentinius tyrimus atsižvelgus į įvairius praktinius poreikius.

4.5.3. Šiam uždaviniui spręsti taip pat bus modernizuotas esamas eksperimentinis įrenginys šilumos mainams plokščiame kanale vykstant mišriai konvekcijai tirti, aprūpintas:

4.5.3.1. duomenų surinkimo bei apdorojimo sistema (įranga įsigyta slėnio „Santaka“ lėšomis);

4.5.3.2. nuolatinės elektros srovės kaitinimo sistema;

4.5.3.3. temperatūros ir slėgio matavimo aparatūra;

4.5.3.4. suslėgto oro maitinimo sistema (įranga dalinai įsigyta slėnio „Santaka“ lėšomis);

4.5.4. Šiam uždaviniui spręsti bus atnaujintas esamas eksperimentinis įrenginys hidrodinaminiams procesams žiediniame kanale vykstant mišriai konvekcijai tirti, aprūpintas:

4.5.4.1. duomenų surinkimo bei apdorojimo sistema;

4.5.4.2. nuolatinės elektros srovės kaitinimo sistema;

4.5.4.3. temperatūros ir slėgio matavimo aparatūra;

4.5.4.4. suslėgto oro maitinimo sistema;

4.5.4.5. lazerine aparatūra, sraute vykstantiems procesams stebėti (įranga įsigyta slėnio „Santaka“ lėšomis).

4.5.5. Šiam uždaviniui spręsti taip pat bus naudojamas eksperimentinis stendas šilumos mainams vertikaliame vamzdyje vykstantiems kondensacijos procesams tirti, aprūpintas:

4.5.5.1. kietųjų dalelių ir dūmų generavimo sistema (įranga įsigyta slėnio „Santaka“ lėšomis);

4.5.5.2. aušinimo sistema;

4.5.5.3. traukos palaikymo įranga (įranga įsigyta slėnio „Santaka“ lėšomis);

4.5.5.4. duomenų surinkimo bei apdorojimo sistema.

4.6. Spręsti 4 uždaviniui bus sukurtas specialiai tam skirtas plazminis eksperimentinis įrenginys su pastovios srovės atmosferinio slėgio elektros lanko plazmos generatoriumi. Bus sudaryta galimybė prie jo prijungti įvairių formų ir matmenų eksperimentinius kanalus, kuriuose vyks plazmos srauto tekėjimas ir aukštatempatūriai šilumos-masės mainai.

Uždaviniui spręsti bus naudojami naujausi standartiniai ir Plazminių technologijų laboratorijoje sukurti metodai, bei matavimo sistemos. Didžiausias dėmesys bus skiriamas kontaktiniams ir bekontaktams plazmos diagnostikos metodams (Lengmiūro ir entalpijos zondai, dvigubi elektriniai zondai, greitaieigės optinės kameros, spektrometrai, ir kt.), o taip pat šilumos mainų tyrimui kalorimetravimo metodais bei srautų šiluminių balansų sudarymui. Dujų srautų tekėjimo parametrai bus matuojami naudojantis droseliacijos įrenginiais (kritinės tūtos, diafragmos ir kt.) tekėjimo režimai bus kontroliuojami specialiais įrenginiais (debitomačiais, slėgio keitikliais, srauto vizualizacija ir kt.), elektriniai parametrai – multimetrais, elektrometrais, tiksliais srovės ir įtampos matuokliais. Tyrimuose gauti skaitinio modeliavimo ir eksperimentiniai rezultatai bus palyginami siekiant ne tik gauti kuo patikimesnę ir detalesnę informaciją apie procesus, bet taip pat tikslinti ir tobulinti programų paketuose naudojamus turbulentiškumo modelius. Tokios informacijos ypač trūksta pereinamojo tekėjimo režimuose, esant srauto atitrūkimams nuo aptekamų paviršių ir dvifaziuose srautuose, kadangi tai labai sudėtingi procesai. Tyrimų išvados bus taikomos sprendžiant aktualius praktinius bei kitose mokslo programose nagrinėjamus uždavinius.

### **5. Tyrimų etapai ir jų charakteristika; detalus įgyvendinimo planas**

5.1. 2017 – 2021 metais numatyta 1 uždavinio darbus organizuoti šiais etapais:

#### **5.1.1. I etapas:**

5.1.1.1. Esamų kieto kuro deginimo įrenginių veikimo principų ir įrenginių apžvalga, tyrimo problemų pasaulinėje mokslinėje-techninėje literatūroje įvertinimas;

5.1.1.2. Literatūros analizė, teorinio vertinimo ir tyrimo gairių nustatymas;

5.1.1.3. Laboratorinių deginimo įrenginių charakteristikų įvertinimas;

5.1.1.4. Diskretinių elementų metodo (DEM) suderinimo su skaitinės hidrodinamikos metodo (CFD) suderinimo metodologijos pasaulinės mokslinės literatūroje įvertinimas;

5.1.1.5. Tyrimų metodologijos paruošimas.

#### **5.1.2. II etapas:**

5.1.2.1. Paruošti skirtingų savybių biokuro mėginius ir nustatyti pagrindines jų fizikines-chemines savybes. Terminė mėginių analizė; skirtingų biokuro mišinių džiūvimo intensyvinimo procesų tyrimas; skirtingo biokuro sluoksnio aerodinaminių savybių nustatymas.

5.1.2.2. Liepsnos emisijos spektrų (bangos ilgio ribos 200-800 nm) skenavimas bei pagrindinių tarpinių junginių bangos ilgių nustatymas;

5.1.2.3. Gautų duomenų apdorojimas ir apibendrinimas, nuorodos tolimesniems optimizavimo tyrimams;

5.1.2.4. BedMotion paketo suderinimas su Atviro kodo paketu OpenFOAM.

#### **5.1.3. III etapas:**

5.1.3.1. Fizikinių parametrų (oro, temperatūros, srautų paskirstymo ir pan.), įtakančių skirtingų savybių biokuro mėginių deginimo procesų vyksmą, tyrimas;

5.1.3.2. Biokuro pavienės dalelės deginimo bandymai ir vykstančių chemiluminescencinių liepsnos savybių tyrimas. Būdingų chemiluminescencinių liepsnos spektrų pasirinktoje srityje identifikavimas ir koreliacijos tarp įvairių degimo technologinių parametrų (oro pertekliaus koeficiento, aerodinaminių parametrų, liepsnos formos ir pan.) ir liepsnos emisinių charakteristikų nustatymas;

5.1.3.3. Fizikinių parametrų, įtakančių skirtingų savybių biokuro mėginių deginimo procesų vyksmą, skaitinis CFD tyrimas;

5.1.3.4. Biokuro dalelės cheminės konversijos skaitinio modelio kūrimas;

5.1.3.5. Rezultatų analizė ir apibendrinimas.

#### **5.1.4. IV etapas:**

5.1.4.1. Eksperimentiniai skirtingų savybių biokuro mėginių deginimo bandymai eksperimentiniame deginimo įrenginyje (didesniame nei laboratoriniame mastelyje): optimalaus degimo režimo (maksimali kuro konversija su minimalia tarša) nustatymas skirtingoms, nagrinėjamos biokuro rūšims;

5.1.4.2. Biokuro dalelių sluoksninis deginimas ir jo metu vykstančių chemiluminescencinių liepsnos savybių tyrimas. Būdingų chemiluminescencinių liepsnos spektrų pasirinktoje srityje identifikavimas ir koreliacijos tarp įvairių degimo technologinių parametrų (oro pertekliaus

koeficiento, aerodinaminių parametų, liepsnos formos ir pan.) ir liepsnos emisinių charakteristikų nustatymas;

5.1.4.3. Optimalaus degimo režimo (maksimali kuro konversija su minimalia tarša) nustatymas skaitiniu modeliavimu;

5.1.4.4. Rezultatų analizė ir apibendrinimas.

5.1.5. V etapas:

5.1.5.1. Duomenų apibendrinimas, jų analizė, galutinių projekto rezultatų paskelbimas ir aptarimas;

5.1.5.2. Galutinė atliktų tyrimų perspektyvų analizė;

5.1.5.3. Išvadų pagrindimas ir mokslinių-techninių rekomendacijų panaudojimo kuro degimo ir klausimais sudarymas.

5.2. 2017 – 2021 metais 2 uždaviniui spręsti numatyta:

5.2.1. surinkti ir išanalizuoti biokuro, naudojamo Lietuvoje, ir komunalinių atliekų (UAB Fortum Klaipėda termofikacinės jėgainės pavyzdžiu) savybes ir palyginti su kitų šaltinių duomenimis;

5.2.2. išanalizuoti dumblo panaudojimo, tiesiogiai arba priedu, energijos gamybai duomenis. Įvertinus pokyčius Lietuvos vandenvals sistemose nuo 2014 metų, jei reikia, atlikti papildomus pasirinktų sistemų dumblo savybių vertinimus;

5.2.3. apibendrinti eksploatacijos metu kylančias problemas, susietas su deginimo pakuroje ant ardyno efektyvumu, emisijomis į aplinką ir įrenginių užsiteršimu bei korozija;

5.2.4. paleisti veikti 2016 metų IV ketvirtį pradėtą įrengti atskirą eksperimentinį įrenginį, skirtą tirti įvairiai paruošto biokuro deginimo efektyvumą, KD emisijų koncentracijas ir pasiskirstymą pagal dydį bei jų nusodinimą pasirinkto tipo elektrostatiiniame nusodintuve (ESN);

5.2.5. remiantis kietųjų dalelių dinamikos ir eksperimentiniais jų nusodinimo tyrimais, parengti nuosavos konstrukcijos ESN atlikti jos bandymus ir teigiamų rezultatų atveju pateikti siūlymus gamintojams;

5.2.6. atlikti dujinimo dujų, gautų dujinant biomasę, degimo kameros skaitinį modeliavimą, remiantis skaičiavimo programa, parengta bendradarbiaujant su Liuksemburgo universitetu. Atlikti rekonstruotos ir patobulintos kameros, kurios pradinis variantas buvo parengtas ankstesnėje programoje, eksperimentinius bandymus ir esant teigiamiems rezultatams pateikti siūlymus gamintojams.

5.3. 2017 – 2021 metais numatyta 3 uždavinyje skaitiniais ir eksperimentiniais metodais ištirti hidrodinamikos dėsningumus mikrokanaluose:

5.3.1. eksperimentiškai ir skaitiškai ištirti sūkurių bifurkaciją ir jų sąveiką kavernoje priklausomai nuo jos gylio ir kanalo pločio ir jos sukeliamus skysčio pertekėjimus tarp sūkurių;

5.3.2. nustatyti pulsuojančio srauto mikrokanale charakteristikų (dažnio ir amplitudės) įtaką sūkurių struktūrai kavernoje ir rezonansinių reiškinių atsiradimui;

5.3.3. nustatyti sąlygas ir priemones, kurios stabilizuoja srauto greičio pasiskirstymą pradinuose kanalo ruožuose kintant tekėjimo režimui;

5.3.4. gautus tyrimo rezultatus pritaikyti tobulinant debito matuoklių ir kietųjų dalelių elektrostatiinių nusodintuvų kanalų konstrukcijas;

5.3.5. įsisavinti mikrokanalų ir jų sistemų gamybą ir išplėsti jų taikymą moksliniuose ir taikomuosiuose tyrimuose, sprendžiant mikroelektromechaninių sistemų konstravimo uždavinius arba kraujo apytakos sistemos problemas, kylančias dėl kraujagyslių sienelių pokyčių.

5.3.6. numatyta skaitiniais ir eksperimentiniais metodais ištirti šilumos mainų ir hidrodinamikos dėsningumus vienfaziuose ir dvifaziuose srautuose:

5.3.6.1. eksperimentiniai šilumos mainų esant mišriai konvekcijai tyrimai;

5.3.6.2. eksperimentiniai bandomieji tėkmės struktūros tyrimai;

5.3.6.3. eksperimentiniai tėkmės struktūros esant mišriai konvekcijai tyrimai;

5.3.6.4. skaitinių tyrimo modelių kūrimas bei testavimas naudojant Ansys Fluent programą;

5.3.6.5. skaitiniai šilumos mainų bei hidrodinamikos tyrimai;

5.3.6.6. eksperimentinių ir skaitinių šilumos mainų ir hidrodinamikos tyrimų rezultatų analizė

ir apibendrinimas;

5.3.6.7. eksperimentinio įrenginio pritaikymas šilumos mainų tyrimams tekant dvifaziams srautams;

5.3.6.8. tyrimų metodikos dvifazių srautų tyrimams sudarymas;

5.3.6.9. eksperimentiniai kondensacijos proceso tyrimai;

5.3.6.10. eksperimentinių kondensacijos procesų rezultatų analizė ir apibendrinimas.

5.4. 2017 – 2021 metais numatyta 4 uždavinio darbus organizuoti šiais etapais:

5.4.1. Eksperimentinio įrenginio su plazmos generatoriumi sukūrimas, projektavimas, gamyba ir charakteristikų tyrimas;

5.4.2. Skaitiniai ir eksperimentiniai šilumos mainų tyrimai ištekant nereaguojančių ir reaguojančių aukštos temperatūros dujų srautams iš plazminio įrenginio;

5.4.3. Plazmos diagnostika bei skaitinis ir eksperimentinis dujų dinaminių charakteristikų tyrimas vienfaziuose ir multifaziuose srautuose, rezultatų neapibrėžčių analizė;

5.4.4. Aukštatemperatūrių šilumos mainų proceso realizavimas ir tyrimas aukštatemperatūrių šilumokaičių kanalų įtekamosiose dalyse;

5.4.5. Rezultatų apibendrinimas, analizė, išvadų pagrindimas, techninių rekomendacijų sudarymas.

Preliminarus atskirų programos uždavinių vykdymui reikalingų lėšų paskirstymas:

| Programos uždaviniai     | Uždaviniui skirti norm. etatai | 2017 metais | 2018 metais | 2019 metais | 2020 metais | 2021 metais | Visam uždaviniui, Eur |
|--------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|
| 1 uždavinys              | 5                              | 47945       | 47945       | 47945       | 47945       | 47945       | 239725                |
| 2 uždavinys              | 3                              | 28767       | 28767       | 28767       | 28767       | 28767       | 143835                |
| 3 uždavinys              | 3+3                            | 57534       | 57534       | 57534       | 57534       | 57534       | 287670                |
| 4 uždavinys              | 6,5                            | 62328,5     | 62328,5     | 62328,5     | 62328,5     | 62328,5     | 311642,5              |
| <i>Iš viso Programai</i> | 20,5                           | 196574,5    | 196574,5    | 196574,5    | 196574,5    | 196574,5    | 982872,5              |

## 6. Numatomi rezultatai:

6.1. Atlikus numatytus 1 uždavinio eksperimentinius ir skaitinius tyrimus, kurių metu numatoma ištirti šiluminių ir hidrodinaminių procesų, vykstančių termocheminės konversijos sistemose su laike besikeičiančiomis žaliavos savybėmis, dėsningumus, bus gauti sekantys rezultatai:

6.1.1. Eksperimentiniais bandymais charakterizuosime kietojo biokuro pakuros pagrindinius technologinius parametrus, kuriais būtų galima optimizuoti laike besikeičiančių skirtingų savybių kietosios biomasės dalelių degimo procesą. Nustatysime sąlygas optimaliam šlapio kietojo biokuro džiūvimui ir degimui pakuroje. Pateiksime rekomendacijas ir metodikas tokio biokuro deginimui pakurose.

6.1.2. Naudojant atominės spektroskopijos metodą ir padidinto jautrumo iCCD kamerą, ištirsime ir nustatysime pavienės ir dalelių sistemos pagrindinių liepsnoje esančių radikalų chemiliuminescencinio spinduliavimo dėsningumus, priklausomai nuo degimo sąlygų ir kuro parametrų. Sėkmės atveju, nustačius detalias koreliacijas, bus sukurtas kietojo biokuro degimo valdymo algoritmas pagal liepsnos chemiliuminescencinius daviklius.

6.1.3. Sukurta diskretinių elementų ir skaitinės hidrodinamikos metodų suderinimo metodologija.

6.1.4. Sukurtas biokuro dalelės degimo modelis. Šio darbo vertingumą galima nusakyti trimis aspektais: tiesiogiai sprendžiami mokslui ir Lietuvos verslui svarbūs klausimai, ruošiami aukštos kvalifikacijos specialistai ir sudaromos naujos metodikos. Pradėjus naudoti biomasės atliekas, kieto kuro katilų eksploatuotojai susiduria ir susidurs su automatinio valdymo ir techninėmis problemomis, kurias sukelia nevienoda biokuro sudėtis (skirtingas drėgnumas, peleningumas ir jo lydumas, dalelių dydis, chloro junginių sukelta korozija (šiaudų atvejui) ir pan.). Kintant kuro savybėms katilų automatika nepajėgi pilnai prisitaikyti prie pasikeitusių sąlygų, pvz.: padidėjus kuro drėgmei reikalingas didesnis oro kiekis bei oro perskirstymas, kuris užtikrintų kuro džiūvinimo intensyvinimą ir pilną sudegimą; taip pat būtina keisti ardynų

judėjimo sąlygas ar pan. Kadangi ne visi katilai aprūpinti oro srauto, kuro ar dūmų drėgnumo ir kitais proceso matuokliais, kurie leistų automatiškai suprasti situacijos pasikeitimo priežastis, tai visuomet atsiranda galimybė degimo nestabilumui bei kenksmingų emisijų susidarymui ir jų patekimui į supančią aplinką. Tokių situacijų susidarymo tikimybę sumažintu detalūs tyrimai, kurie numatyti išspręsti šiuo uždaviniu. Taip pat paminėtina, kad įsigaliojus naujai ES direktyvai 2015/2193 dėl tam tikrų teršalų, išmetamų į orą iš vidutinio dydžio kurą deginančių įrenginių, kiekio apribojimo, būtina ieškoti naujų priemonių, kurios užtikrintų mažesnę aplinkos taršą. Įvykdę numatytus uždavinius sukursime efektyvias ir mažiau taršias kietojo biokuro deginimo technologijas, kurias būtų galima taikyti esamiems ir naujiems iškastinio kuro ir biokuro deginimo įrenginiams.

6.2. Įvykdžius 2 uždavinį bus ištirtos įvairių rūšių kietojo biokuro, įskaitant komunalinių atliekų ir nuotekų dumblo, naudojamo arba planuojamo naudoti termokonversijos procesuose, savybės, kurios lemia tokio kuro panaudojimo efektyvumą ir turi daug įtakos kietųjų dalelių emisijoms ir pelenų sudėčiai bei įrenginių paviršių užsiteršimui. Bus parinkta optimali kuro sudėtis ir galimi priedai neigiamiems padariniams pašalinti, deginant kurą pakurose ant ardynų.

Ypatingas dėmesys bus skiriamas kietųjų dalelių dūmų dujose savybių ir jų nusodinimo/atskyrimo, taikant elektrostatinį metodą mažos galios vandens šildymo katilams, ištirimui. Numatyta parengti veikiantį efektyvų sąrangos katilo su elektrostatinėmis kietųjų dalelių nusodintuvu modelį. Kadangi įprastinis kai kurių rūšių biokuro deginimas ant ardyno kelia daug problemų arba apskritai negalimas, bus sukurta efektyvi dujinimo dujų, gautų dujinant biomasę, deginimo kamerą. Tuo tikslu bus atlikti eksperimentiniai tyrimai ir skaitinė analizė panaudojant skaičiavimo programą, parengtą bendradarbiaujant su kitais instituto padaliniais ir užsienio partneriais.

6.3. Įvykdžius 3 uždavinį, panaudojant įsisavintą įrangą skysčio tekėjimo dinamikai mikrokanaluose tirti, bus tęsiami tekėjimo mikrokanaluose su įvairios formos kavonomis tyrimai, siekiant nustatyti tekėjimo struktūrą, besiformuojančių sūkurių tarpusavio sąveiką ir sąveiką su pagrindiniu tekėjimu kanale. Tyrimai bus atliekami esant pastoviam ir pulsuojančiam tekėjimui bei skirtingiems jo režimams kanale. Šie tyrimai bus derinami su tekėjimo dinamikos tyrimais makrokanale siekiant nustatyti sąlygas ir priemones, kurios stabilizuoja srauto greičio pasiskirstymą pradinuose kanalo ruožuose. Gautus tyrimo rezultatus numatoma pritaikyti tobulinant debito matuoklių ir kietųjų dalelių elektrostatinės nusodintuvų kanalų konstrukcijas.

Taip pat bus įsisavinta mikrokanalų ir jų sistemų gamyba ir išplėstas jų taikymas moksliniuose ir taikomuosiuose tyrimuose, sprendžiant mikroelektromechaninių sistemų konstravimo uždavinius arba kraujo apytakos sistemos problemas, kylančias dėl kraujagyslių sienelių pokyčių. Šioje programoje toliau bus tęsiami mišrios konvekcijos tyrimai esant turbulentiniam tekėjimui bei tekėjimui pereinamojoje zonoje (perėjimas iš laminarinio tekėjimo į turbulentinį) plokščiame ir žiediniame kanaluose. Įvertinus tarptautiniu mastu vyraujančias mišrios konvekcijos tyrimų tendencijas, remiantis tyrimų rezultatais bus nustatyti srautų dinamikos ir šilumos pernašos dėsningumai ir apibendrinti šilumos mainų tyrimų duomenys esant įvairiems tekėjimo režimams.

Dvifazių srautų atveju bus analizuojami kondensacijos proceso metu gauti rezultatai ir parengtos rekomendacijos energetinių įrenginių efektyvumui pagerinti.

6.4. Įvykdžius 4 uždavinį, bus sukurta nauja plazmos ir aukštatemperatūrinių srautų tyrimo metodika, suprojektuotas ir pagamintas plazminis įrenginys su pastovios srovės elektros lanko plazmos generatoriumi, imituojantis įvairius aukštos temperatūros dujų srautų tekėjimo ir šilumos mainų režimus, realizuoti šiluminiai procesai, skaitiniu ir eksperimentiniu metodu atlikta reaguojančių dujų plazmos diagnostika ir nustatyti plazmos parametrų (termodinaminės, elektronų, sunkiųjų dalelių, temperatūros, greičiai, srauto komponentų koncentracijos, slėgio ir kt.) pasiskirstymų dėsningumai. Aukštatemperatūris srautas bus modeliuojamas naudojant ANSYS Fluent ir kitus programinius paketus, gauti rezultatai atspindės plazminio proceso ypatumus. Taip pat bus nustatyti optimalūs plazminio proceso parametrai ir optimizuoti pagrindiniai plazminiai procesai. Bus atlikti skaitiniai ir eksperimentiniai tyrimai multifaziuose aukštatemperatūriuose srautuose ir nustatyti reaguojančių dujų srautų ir įvairių dydžių ir formų dispersinių dalelių sąveikos dėsningumai, o taip pat šilumos mainai tarp plazmos srauto ir

plazmoje esančių kūnų.

**7. Rezultatų sklaidos priemonės:**

Programos vykdytojai planuoja per 2017 – 2021 metus pateikti:

| Programos uždaviniai | Uždaviniui skirti norm. etatai | ISI WOS žurnalai | Tarptautinės konferencijos |
|----------------------|--------------------------------|------------------|----------------------------|
| 1 uždavinys          | 5                              | 4 - 5            | 2                          |
| 2 uždavinys          | 3                              | 2 - 3            | 3                          |
| 3 uždavinys          | 3 + 3                          | 2 – 4 ir 2 – 3   | 2 + 2                      |
| 4 uždavinys          | 6,5                            | 5 - 7            | 2                          |
| <i>Iš viso</i>       | 20,5                           | 15 - 22          | 11                         |

**8. Preliminarus programos lėšų paskirstymas (tūkst. eurų):**

| Eil. Nr. | Išlaidų pavadinimas                                                                                                | 2017 metais   | 2018 metais   | 2019 metais   | 2020 metais   | 2021 metais   | Visai programai (suma) |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------------|
| 1.       | Programai skirti norminiai etatai, lėšos                                                                           | 20,5<br>196,5 | 20,5<br>196,5 | 20,5<br>196,5 | 20,5<br>196,5 | 20,5<br>196,5 | 982,8                  |
| 2.       | Kitos lėšos planuojamos programai vykdyti (iš kitų, institutui skirtų valstybės biudžeto bazinio finansavimo lėšų) | 98,3          | 98,3          | 98,3          | 98,3          | 98,3          | 491,4                  |
|          | <i>Iš viso</i>                                                                                                     | 295           | 295           | 295           | 295           | 295           | 1 475                  |

**9. Vykdyimo laikotarpis: 2017 - 2021 metai.**

**10. Programos vadovas:** dr. Robertas Poškas, vyresnysis mokslo darbuotojas, tel. (8 37) 401893, Robertas.Poskas@lei.lt

**ENERGETIKOS DARNIOS RAIDOS MODELIAVIMAS IR VALDYMO TYRIMAS**

**1. Programos vykdytojas** – Lietuvos energetikos institutas (toliau – LEI).

Norminiai etatai skirti programai – 9,96.

**2. Programos tikslas** - išplėtoti energetikos sektoriaus darnios raidos analizės metodus, siekiant užtikrinti energetikos funkcionavimo lankstumą ir racionalumą, įgyvendinant šalies strateginius tikslus harmoningai bei solidariai suderintus su ES 2030 m. klimato ir energetikos politikos strategijoje, Europos Komisijos komunikate dėl Energetikos veiksmų plano iki 2050 metų, atsparios Energetikos Sąjungos ir perspektyvios klimato kaitos politikos pagrindų strategijoje nustatytais prioritetais.

**3. Programos uždaviniai:**

3.1. Parengti šalies energetikos sektoriaus darnios perspektyvinės raidos analizės metodus ir taikomus matematinius modelius, atsižvelgiant į reikšmingus pokyčius šiame sektoriuje (elektros energetikos ir gamtinių dujų sistemų integracija į ES energetikos sistemas, įpareigojimai sparčiai integruoti atsinaujinančių energijos išteklių plėtrai taikomas technologijas, paskirstytosios generacijos plėtra bei vartotojų įgalinimas ir kt.) ir globalius pasaulio bendrijos susitarimus dėl klimato kaitos (toliau – 1 uždavinys).

3.2. Ištirti Lietuvos gyventojų požiūrį į klimato kaitos švelninimo, energijos efektyvumo didinimo ir atsinaujinančių energijos išteklių plėtrą skatinančias priemones, nustatyti jų įgyvendinimo prioritetus bei pasiūlyti socialines inovacijas šių technologijų skatinimui namų ūkiuose. Įvertinti oro taršos mažinimo priemones (mokestinės, teisines ir kt.) namų ūkiuose (toliau – 2 uždavinys)

3.3. Sukurti aktyviosios galios rezervų valdymo algoritmą bei prekybos rezervais koncepciją, įtraukiant ir apkrovos atsaką (angl. Demand Side Response) (toliau – 3 uždavinys).

3.4. Ištirti parengto aktyviosios galios rezervų valdymo algoritmo ir prekybos rezervais koncepcijos tinkamumą Lietuvos sąlygomis (toliau – 4 uždavinys)

**4. Metodinis tyrimų pagrindimas:**

4.1. Vykdamas 1 uždavinį, bus vykdoma įvairiapusiška ir nuodugni energetikos sektoriaus esamos padėties ir kaitos tendencijų bei tyrimo metodų analizė. Perspektyvinės raidos tyrimams bus taikoma kruopšti mokslinės literatūros, teisės aktų ir kitų tinkamos informacijos šaltinių analizė, naudojami lyginamosios analizės metodai ir statistinės analizės priemonės, matematinio modeliavimo metodai ir specializuoti programiniai paketai bei ekonometriniai modeliai.

4.2. Vykdamas 2 uždavinį ir siekiant ištirti Lietuvos gyventojų požiūrį į klimato kaitos švelninimo, energijos vartojimo efektyvumo didinimo ir atsinaujinančių energijos išteklių plėtrą skatinančias priemones bei nustatyti jų įgyvendinimo prioritetus, bus pasiūlytos socialinės inovacijos šių technologijų skatinimui namų ūkiuose, taip pat bus įvertintos kitos oro taršos mažinimo priemonės (mokestinės, teisines ir kt.) namų ūkiuose, atliktas pasirengimo mokėti (toliau - PM) už įvairias energijos taupymo bei atsinaujinančių energijos išteklių mikro generacijos technologijas bei pasirengimo jomis dalintis namų ūkiuose vertinimas. Tam bus taikoma atskleistojo PM analizė, diskretaus pasirinkimo eksperimentas, mišrioji logistinė regresija, nparametriniai regresijos modeliai. Siekiant įvertinti oro taršos mažinimo priemones bei jų taikymo galimybes Lietuvos namų ūkiuose, bus atlikta detali šiuo metu Lietuvos namų ūkiuose taikomų oro taršos mažinimo priemonių analizė bei palyginimas su kitose šalyse taikomomis oro taršos mažinimo priemonėmis šiame sektoriuje, pasitelkiant tokius metodus, kaip lyginamoji analizė ir sintezė, atvejo analizė, daugiakriterinės analizės bei matematinės statistikos metodai.

4.3. Vykdamas 3 uždavinį numatyta taikyti pažangius automatinio valdymo metodus (pvz. Fuzzy logiką) bei ištirti jų efektyvumą ir galimybę taikyti realiose elektros energetikos sistemose, siekiant valdyti aktyviosios galios rezervus, įtraukiant ir apkrovos atsaką.

Elektros energetikos sistemą numatoma aprašyti matematiniu modeliu, reguliavimo elementus aprašant diferencialinėmis lygtimis.

Efektyvumo nustatymui numatoma taikyti metodus, kurie leidžia analizuoti paklaidas ir

fizikinių dydžių tarpusavio priklausomybes.

4.4. Vykdant 4 uždavinį, siekiant pritaikyti sukurta prekybos rezervais koncepciją, numatoma taikyti tikimybių teoriją bei rizikos vertinimo metodus, siekiant užtikrinti „teisingą“ prekybą aktyviosios galios rezervais.

### **5. Tyrimų etapai ir jų charakteristika; detalus įgyvendinimo planas, kuriame numatomas skirtų lėšų preliminarus paskirstymas uždaviniams vykdyti:**

5.1. Vykdant 1 uždavinį, bus išskirti šie etapai:

5.1.1. Reikiamos informacijos apie esamą situaciją Lietuvos energetikos sektoriuje (generavimo technologijos ir struktūriniai pokyčiai, darbo režimai, techninė-ekonominė informacija apie energetikos ūkį ir kt.) sukaupimas, analizė ir susistemėjimas.

Energetikos sektoriaus struktūrinius pokyčius galima nagrinėti tik dinamikoje, todėl ši analizė apims ne tik esamos būklės tyrimus, bet ir energetikos sektoriaus raidos tendencijas bei jų priežastis. Tokiu būdu šiame etape bus gauta detali kiekybinė ir kokybinė informacija, apibūdinanti esminius Lietuvos energetikos sektoriui būdingus ypatumus, galinčius turėti reikšmingos įtakos energetikos sektoriaus raidai, ir suformuota perspektyviniam Lietuvos energetikos sektoriaus raidos modeliavimui būtinų duomenų bazė.

5.1.2. Naujų energetikos raidos tendencijų (atsinaujinančių energijos išteklių platesnis panaudojimas, naujos ir patobulintos technologijos, galimas skalūninių dujų išgavimas, suskystintų gamtinių dujų importo apimtys, paskirstytoji generacija ir kt.) analizė.

Globalios tendencijos, ryškėjančios pasaulio energetikos sektoriuje, ir numatoma technologijų kaita bus nagrinėjama iš Lietuvos energetikos sektoriaus vystymo perspektyvos, atsižvelgiant į šio uždavinio pirmajame vykdymo etape gautus rezultatus. Ši kokybinio pobūdžio analizė leis identifikuoti ateities tendencijas ir jų savybes, kurių kiekybinio poveikio Lietuvos energetikos sektoriaus raidai įvertinimas bus atliekamas taikant matematinius modelius.

5.1.3. Esamų energetikos sistemų perspektyvinės raidos analizės matematinių modelių galimybių įvertinimas naujai ryškėjančių tendencijų ir elementų, darnios raidos principų įvertinimui, turimų modelių adaptacija prie besikeičiančių sąlygų ir naujų kūrimas.

Lietuvos energetikos institute yra sukaupta didelė energetikos sektoriaus perspektyvinės raidos modeliavimo patirtis, tačiau esamų modelių taikymas yra komplikotas kokybiškai naujose situacijose ir atsižvelgiant technologijų raidos ypatybes bei iššūkius, su kuriais susiduria energetikos sektorius. Ryšium su tuo, bus išnagrinėtos jų panaudojimo galimybės ir įvertintas naujų modelių kūrimo poreikis.

5.1.4. Reprezentatyvių Lietuvos energetikos sektoriaus darnios perspektyvinės raidos scenarijų parengimas ir jų kompleksinė analizė, rekomendacijų dėl racionalios energetikos sektoriaus raidos perspektyvoje parengimas.

Pasirinktų energetikos sektoriaus darnios raidos scenarijų modeliavimas ir detali analizė suteiks galimybę pagrįsti energijos vartojimo efektyvumo didinimo prioritetus, nustatyti racionalų atsinaujinančių ir neatsinaujinančių energijos išteklių santykį perspektyviniame kuro ir energijos balanse, įvertinti gamtosauginę situaciją ir gamtosauginių technologijų poreikį, finansinių lėšų poreikį energetikos sistemų vystymui perspektyvoje, energetikos politikos priemonių poveikį atmosferos taršos mažinimui ir kitus veiksmus.

5.2. Vykdant 2 uždavinį, bus išskirti šie etapai:

5.2.1. Oro taršos bei klimato kaitos švelninimo priemonių analizė Lietuvos namų ūkiuose.

Lietuvoje oro taršos mažinimo bei klimato kaitos švelninimo priemonės, visų pirma, yra nukreiptos į gamybos arba energijos pasiūlos sektorių. Namų ūkiai sudaro labai svarbų energijos paklausos sektorių, suvartojantį beveik 30 procentų Lietuvoje suvartojamos galutinės energijos. Šiame tyrimo etape bus išnagrinėtos Lietuvoje taikomos (mokestinės, teisinės ir kt.) oro taršos mažinimo bei klimato kaitos švelninimo priemonės. Pasitelkus matematinės statistikos bei grafinės analizės metodus, bus nustatytas jų poveikis oro taršos bei šiltnamio dujų emisijų sumažėjimui.

5.2.2. Oro taršos bei klimato kaitos švelninimo priemonių analizė namų ūkiuose kitose ES ir pasaulio šalyse bei geros praktikos pavyzdžių išskyrimas.

Daugelyje išsivysčiusių ES bei pasaulio šalių taikomos įvairios oro taršos bei klimato kaitos

švelninimo priemonės, tačiau daugelis šių priemonių nukreiptos į elgsenos pokyčių skatinimą bei darnų vartojimą. Tyrimo metu bus išanalizuotos mokestinės, teisinės, lanksčios ir elgsenos pokyčius skatinančios inovatyvios priemonės, skirtos oro taršos bei šiltnamio dujų emisijų mažinimui namų ūkiuose bei palygintos su Lietuvoje taikomomis oro taršos mažinimo priemonėmis. Remiantis geros praktikos pavyzdžiais, bus parengtos rekomendacijos dėl inovatyvių oro taršos mažinimo bei klimato kaitos švelninimo priemonių taikymo Lietuvos namų ūkiuose.

5.2.3. Pasirengimo mokėti (PM) už įvairias energijos taupymo bei atsinaujinančių energijos išteklių mikro generacijos technologijas bei pasirengimo jomis dalintis namų ūkiuose vertinimas.

Darni energetikos raida susiduria su įvairiais barjeriais ir labai priklauso nuo gyventojų preferencijų bei jų informuotumo. Bus ištirti ir nustatyti energijos vartojimo efektyvumo didinimo ir atsinaujinančių energijos išteklių mikro generacijos technologijų įgyvendinimo namų ūkiuose pagrindiniai barjerai bei pasiūlytos inovatyvios oro taršos bei klimato kaitos švelninimo priemonės šių barjerų mažinimui.

5.2.4. Inovatyvių oro taršos bei klimato kaitos švelninimo priemonių bei socialinių inovacijų, skirtų oro taršos mažinimui bei klimato kaitos švelninimui Lietuvos namų ūkiuose, galimybių vertinimas.

Atliekant PM už įvairias energijos taupymo bei atsinaujinančių energijos išteklių mikro generacijos technologijas bei pasirengimo jomis dalintis namų ūkiuose vertinimą, bus pritaikytos inovatyvios oro taršos ir klimato kaitos švelninimo priemonės, nukreiptos į elgsenos pokyčių skatinimą namų ūkiuose bei tokios socialinės inovacijos, kaip bendruomene pagrįstos socialinės rinkodaros priemonės. PM eksperimento metu bus nustatytos namų ūkių preferencijos bei elgsenos keitimo veiksniai.

5.2.5. Rekomendacijų dėl oro taršos bei klimato kaitos švelninimo priemonių įgyvendinimo Lietuvos namų ūkiuose parengimas.

Remiantis geros praktikos ES bei kitose šalyse pavyzdžiais, lyginamąja oro taršos bei šiltnamio dujų emisijų mažinimo priemonių namų ūkiuose analize bei atliktu PM už įvairias energijos taupymo bei atsinaujinančių energijos išteklių mikro generacijos technologijas bei pasirengimo jomis dalintis namų ūkiuose vertinimu, bus parengtos rekomendacijos dėl inovatyvių oro taršos mažinimo bei klimato kaitos švelninimo priemonių Lietuvos namų ūkiuose.

5.3. Vykdamas 3 ir 4 uždavinius, bus išskirti šie etapai:

5.3.1. Valdymo metodų/algoritmų apžvalga, identifikuojant perspektyvius ir tinkamus taikyti realioms elektros energetikos sistemoms;

5.3.2. Baltijos elektros energetikos sistemos matematinio modelio sudarymas, kuriame būtų vertinamos ir valdomos apkrovos;

5.3.3. Aktyviosios galios valdymo algoritmo sukūrimas, atsižvelgiant į literatūroje siūlomus metodus/algoritmus;

5.3.4. Sukurto valdymo algoritmo efektyvumo tyrimas, taikant imitacinį modeliavimą;

5.3.5. Pasiūlytos rinkos koncepcijos, skirtos prekybai aktyviosios galios rezervais, efektyvumo tyrimas;

5.3.6. Rekomendacijų ir išvadų parengimas.

5.4. Sąsajos su kitais vykdytais ir vykdomais darbais:

5.4.1. Vykdomas 1 uždavinys yra LMT finansuoto mokslininkų grupės projekto „Energetikos sektoriaus raidos išoriniai ekonominiai efektai: kiekybinis vertinimas“ (2014-2016 metai) ir LMT finansuojamos ilgalaikės programos „Energetikos sektoriaus plėtros ekonominė ir darnumo analizė“ (2013-2016 metai) tęsinys, kuriame itin daug dėmesio bus skiriama naujausiems iššūkiams (elektros energetikos ir gamtinių dujų sistemų integracija į ES energetikos sistemas, įpareigojimai sparčiai integruoti atsinaujinančių energijos išteklių technologijas, paskirstytosios generacijos plėtra, vartotojų įgalinimas bei globalūs pasaulio bendrijos susitarimai dėl klimato kaitos) ir viso energetikos sektoriaus esminės transformacijos procesams.

5.4.2. Vykdomas 2 uždavinys siejasi su LMT finansuotu mokslininkų grupės projektu „Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų mažinimo namų ūkiuose potencialo vertinimas“

(2012-2014 metai), nes pastarosios metu atlikti tyrimai bei gauti rezultatai padės kuriant inovatyvias oro taršos mažinimo bei klimato kaitos švelninimo priemones Lietuvos namų ūkuose bei leis jas sėkmingai pritaikyti praktikoje.

5.4.3. Vykdomi 3 ir 4 uždaviniai siejasi su LMT finansuojama ilgalaikė programa „Energetikos sektoriaus plėtros ekonominė ir darnumo analizė“ (2013-2016 metai). Tai yra pradėtų tyrimų tęsinys, papildant juos bei įvedant naujus požiūrius ir rinkos dalyvius (pvz. valdomos apkrovos). Tyrimų rezultatai apims tolimą, dešimties ir daugiau metų perspektyvą.

5.5. Darbai, susiję su atskirų uždavinių įgyvendinimu ir jų įvykdymo planas. Plane atspindi pagrindiniai darbai, kurie bus vykdomi kaip atskiros naujos temos:

5.5.1. Parengti šalies energetikos sektoriaus darnios perspektyvinės raidos analizės metodus ir taikomus matematinius modelius, atsižvelgiant į reikšmingus pokyčius šiame sektoriuje (elektros energetikos ir gamtinių dujų sistemų integracija į ES energetikos sistemas, įpareigojimai sparčiai integruoti atsinaujinančių energijos išteklių technologijas ir kt.) ir globalius pasaulio bendrijos susitarimus dėl klimato kaitos (61,9% nuo bendrų programos lėšų):

5.5.1.1. Adaptuoti taikomus energetikos sektoriaus raidos analizės metodus ir priemones prie besikeičiančių dabarties sąlygų ir reikalavimų (2017-2018 metai);

5.5.1.2. Parengti naujus energetikos sektoriaus raidos analizės įrankius, leidžiančius nagrinėti naujai iškylančias problemas, kurių negalima nagrinėti turimomis adaptuotomis priemonėmis (2018-2019 metai);

5.5.1.3. Surinkti ir susisteminti informaciją, charakterizuojančią šalies ūkyje vykstančius procesus, atlikti gilią ir įvairiapusišką šių procesų analizę (2017-2020 metai);

5.5.1.4. Parengti ir išnagrinėti reprezentatyvius energetikos sektoriaus perspektyvinės raidos scenarijų (2020-2021 metai).

5.5.2. Ištirti Lietuvos gyventojų požiūrį į klimato kaitos švelninimo, energijos efektyvumo didinimo ir atsinaujinančių energijos išteklių plėtrą skatinančias priemones, nustatyti jų įgyvendinimo prioritetus bei pasiūlyti socialines inovacijas šių technologijų skatinimui namų ūkiuose. Įvertinti oro taršos mažinimo priemones (mokestines, teises ir kt.) namų ūkiuose (19,1 % nuo bendrų programos lėšų):

5.5.2.1. Išanalizuoti ir susisteminti oro taršos bei klimato kaitos švelninimo priemones, šiuo metu taikomas Lietuvos namų ūkiuose (2018-2019 metai);

5.5.2.2. Atlikti oro taršos bei klimato kaitos švelninimo priemonių analizę namų ūkiuose kitose ES ir pasaulio šalyse bei išskirti geros praktikos pavyzdžius (2017-2018 metai);

5.5.2.3. Atlikti pasirengimo mokėti (PM) už įvairias energijos taupymo bei atsinaujinančių energijos išteklių mikro generacijos technologijas bei pasirengimo jomis dalintis namų ūkiuose vertinimą (2018-2020 metai);

5.5.2.4. Atlikti inovatyvių oro taršos bei klimato kaitos švelninimo priemonių bei socialinių inovacijų, skirtų oro taršos mažinimui bei klimato kaitos švelninimui Lietuvos namų ūkiuose, įgyvendinimo galimybių vertinimą (2019-2020 metai);

5.5.2.5. Pateikti rekomendacijas dėl oro taršos bei klimato kaitos švelninimo priemonių įgyvendinimo Lietuvos namų ūkiuose (2020-2021 metai).

5.5.3. Sukurti aktyviosios galios rezervų valdymo algoritmą bei prekybos rezervais koncepciją, įtraukiant ir apkrovos atsaką (angl. Demand Side Response) (9,5 % nuo bendrų programos lėšų):

5.5.3.1. Apžvelgti valdymo metodus/algoritmus, identifikuojant perspektyvius ir tinkamus taikyti realioms elektros energetikos sistemoms (2017-2018 metai);

5.5.3.2. Sukurti aktyviosios galios valdymo algoritmą, išnagrinėjus literatūroje siūlomus metodus/algoritmus (2018-2019 metai);

5.5.3.3. Sudaryti Baltijos elektros energetikos sistemos matematinį modelį, kuriame būtų vertinamos ir valdomos apkrovos (2019-2020 metai);

5.5.3.4. Pritaikyti sudarytą Baltijos elektros energetikos sistemos matematinį modelį ir remiantis rezultatais, pateikti rekomendacijas ir išvadas (2020-2021 metai).

5.5.4. Ištirti parengto aktyviosios galios rezervų valdymo algoritmo ir prekybos rezervais koncepcijos tinkamumą Lietuvos sąlygomis (9,5 % nuo bendrų programos lėšų):

5.5.4.1. Ištirti sukurto valdymo algoritmo efektyvumą Lietuvos sąlygomis, taikant imitacinį

modeliavimą (2017-2019 metai);

5.5.4.2. Ištirti pasiūlytos rinkos koncepcijos, skirtos prekybai aktyviosios galios rezervais, efektyvumą (2019-2020 metai);

5.5.4.3. Pateikti rekomendacijas ir išvadas dėl aktyviosios galios rezervų rinkos įgyvendinimo (2020-2021 metai).

Preliminarus atskirų programos uždavinių vykdymui reikalingų lėšų paskirstymas pateiktas žemiau esančioje lentelėje. Lėšos apskaičiuotos atsižvelgiant į kiekvieno uždavinio įgyvendinimui planuojamą norminių etatų skaičių. Tyrimams atlikti bus naudojama Lietuvos energetikos institute turima įranga, taip pat ir nauja įranga, įsigyta pagal slėnio „Santaka“ ir kitas programas. Kitos planuojamos lėšos programai vykdyti pateiktos šio programos projekto 8-tame punkte esančioje lentelėje.

| Programos uždaviniai | Uždaviniui numatyti norm. etatai | 2017 metais | 2018 metais | 2019 metais | 2020 metais | 2021 metais | Visam uždaviniui, tūkst. eurų |
|----------------------|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------------------|
| 1 uždavinys          | 6,16                             | 59,07       | 59,07       | 59,07       | 59,07       | 59,07       | 295,35                        |
| 2 uždavinys          | 1,90                             | 18,22       | 18,22       | 18,22       | 18,22       | 18,22       | 91,10                         |
| 3 uždavinys          | 0,95                             | 9,11        | 9,11        | 9,11        | 9,11        | 9,11        | 45,55                         |
| 4 uždavinys          | 0,95                             | 9,11        | 9,11        | 9,11        | 9,11        | 9,11        | 45,55                         |
| Iš viso Programai    | 9,96                             | 95,51       | 95,51       | 95,51       | 95,51       | 95,51       | 477,55                        |

## 6. Numatomi rezultatai:

6.1. Parengti šalies energetikos sektoriaus darnios perspektyvinės raidos analizės metodus ir taikomus matematinius modelius, atsižvelgiant į reikšmingus pokyčius šiame sektoriuje (elektros energetikos ir gamtinių dujų sistemų integracija į ES energetikos sistemas, įpareigojimai sparčiai integruoti atsinaujinančių energijos išteklių technologijas ir kt.) ir globalius pasaulio bendrijos susitarimus dėl klimato kaitos:

6.1.1. Ištirti bei adaptuoti prie esamų sąlygų taikomi energetikos sektoriaus raidos analizės metodai bei priemonės.

6.1.2. Parengti nauji energetikos sektoriaus raidos analizės įrankiai, leidžiantys nagrinėti naujai iškylančias problemas, tame tarpe elektros energijos generacijos adekvatumo.

6.1.3. Surinkta ir susisteminta informacija, charakterizuojanti šalies ūkyje vykstančius procesus bei atlikta gili ir įvairiapusiška šių procesų analizė.

6.1.4. Parengti ir išnagrinėti energetikos sektoriaus perspektyvinės raidos scenarijai bei pateiktos rekomendacijos dėl Lietuvos energetikos sektoriaus perspektyvinės raidos.

6.2. Ištirti Lietuvos gyventojų požiūrį į klimato kaitos švelninimo, energijos vartojimo efektyvumo didinimo ir atsinaujinančių energijos išteklių plėtrą skatinančias priemones, nustatyti jų įgyvendinimo prioritetus bei pasiūlyti socialines inovacijas šių technologijų skatinimui namų ūkiuose. Įvertinti oro taršos mažinimo priemones (mokestines, teises ir kt.) namų ūkiuose:

6.2.1. Išanalizuotos ir susistemintos oro taršos bei klimato kaitos švelninimo priemonės taikomos Lietuvos namų ūkiuose.

6.2.2. Atlikta oro taršos bei klimato kaitos švelninimo priemonių analizė namų ūkiuose kitose ES ir pasaulio šalyse bei išskirti geros praktikos pavyzdžiai, galimai tinkami Lietuvai.

6.2.3. Sudaryta tyrimo metodika ir atliktas PM mokėti už įvairias energijos taupymo bei atsinaujinančių energijos išteklių mikro generacijos technologijas bei pasirengimo jomis dalintis namų ūkiuose vertinimas.

6.2.4. Pritaikius PM eksperimentą, atlikta inovatyvių oro taršos bei klimato kaitos švelninimo priemonių bei socialinių inovacijų, skirtų oro taršos mažinimui bei klimato kaitos švelninimui Lietuvos namų ūkiuose, įgyvendinimo galimybių analizė.

6.2.5. Parengtos rekomendacijos dėl inovatyvių oro taršos bei klimato kaitos švelninimo priemonių įgyvendinimo Lietuvos namų ūkiuose.

6.3. Sukurti aktyviosios galios rezervų valdymo algoritmą bei prekybos rezervais koncepciją,

įtraukiant ir apkrovos atsaką :

6.3.1. Sukurtas aktyviosios galios rezervų valdymo algoritmas, įtraukiant valdomas apkrovas.

6.3.2. Pasiūlyta rinkos koncepcija, skirta aktyviosios galios rezervų prekybai, įtraukiant valdomas apkrovas.

6.4. Ištirti parengto aktyviosios galios rezervų valdymo algoritmo ir prekybos rezervais koncepcijos tinkamumą Lietuvos sąlygomis:

6.4.1. Parengtas ir ištirtas parengto galios rezervų valdymo algoritmo ir prekybos rezervais koncepcijos tinkamumas Lietuvai.

#### **7. Rezultatų sklaidos priemonės:**

Programos rezultatai bus publikuojami moksliniuose straipsniuose, pristatomi mokslinėse konferencijose, mokslo populiarinimo straipsniuose.

Per programos vykdymo laiką numatoma paskelbti ne mažiau kaip 10 straipsnių žurnaluose, referuojamuose Thomson-Reuters WoS duomenų bazėje. Atskirų uždavinių įgyvendinimo metu gauti mokslinių tyrimų rezultatai bus pristatomi nacionalinėse ir tarptautinėse konferencijose (iš viso apie 20).

#### **8. Preliminarus programos lėšų paskirstymas (tūkst. eurų)**

| Eil. Nr. | Išlaidų pavadinimas                                                                                                | 2017 metais   | 2018 metais   | 2019 metais   | 2020 metais   | 2021 metais   | Visai programai (suma) |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------------|
| 1.       | Programai skirti norminiai etatai, lėšos                                                                           | 9,96<br>95,51 | 9,96<br>95,51 | 9,96<br>95,51 | 9,96<br>95,51 | 9,96<br>95,51 | 477,55                 |
| 2.       | Kitos lėšos planuojamos programai vykdyti (iš kitų, institutui skirtų valstybės biudžeto bazinio finansavimo lėšų) | 23,87         | 23,87         | 23,87         | 23,87         | 23,87         | 119,35                 |
|          | Iš viso                                                                                                            | 119,38        | 119,38        | 119,38        | 119,38        | 119,38        | 596,90                 |

#### **9. Programos trukmė 2017 - 2021 metai.**

**10. Programos vadovas** Dr. Dalia Štreimikienė, vyriausioji mokslo darbuotojas, tel.: +370 37 401958, el. p.: [dalia.streimikiene@lei.lt](mailto:dalia.streimikiene@lei.lt)

**JONIZUOJANČIOS SPINDULIUOTĖS POVEIKIO BEI KITŲ SU ATOMINIŲ ELEKTRINIŲ  
EKSPLOATAVIMO NUTRAUKIMU SUSIJUSIŲ PROBLEMŲ TYRIMAS**

**1. Programos vykdytojas** – Lietuvos energetikos institutas (toliau – LEI).

Norminiai etatai skirti programai – 8,22.

**2. Programos tikslas** - taikant šiuolaikines skaitinio tyrimo priemones bei atsižvelgiant į atominės elektrinės įrenginių eksploatavimo duomenis, įvertinti išmontuojamų RBMK-1500 reaktoriaus komponentų ir sistemų radiacinę taršą, skaitiniais metodais ištirti radionuklidų pernašą įvairiose sistemose bei analizuoti radioaktyviųjų atliekų tarpinio ir galutinio tvarkymo įrenginiuose vykstančius procesus.

**3. Programos uždaviniai:**

3.1. RBMK-1500 reaktoriaus komponentų ir sistemų radiacinės taršos skaitinis vertinimas. Vykdamas eksploatacijos nutraukimą, kai reikia žinoti susidariusių radioaktyviųjų atliekų kiekius, jų kategorijas, tvarkymo metu jonizuojančiosios spinduliuotės sukiamą poveikį darbuotojams ir gyventojams, ypač svarbu nustatyti ir įvertinti išmontuojamų komponentų radiacinę taršą. Šios taršos vertinimas yra sudėtingas ir kompleksinis mokslinis uždavinys, kurį sprendžiant reikia atsižvelgti į elektrinės darbo režimo ypatumus visos eksploatacijos metu, neutroninės aktyvacijos procesus, radionuklidų pernašą bei kaupimąsi įvairių sistemų konstrukciniuose elementuose (toliau – 1 uždavinys).

3.2. Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo technologijų (įskaitant ir apšvitinto grafito tvarkymo būdus) analizė. Jonizuojančios spinduliuotės poveikio darbuotojams ir gyventojams skaitinis vertinimas atominės elektrinės eksploatavimo nutraukimo ir radioaktyviųjų atliekų tvarkymo metu. Tvarkant radioaktyviasias atliekas siekiama diegti tokias technologijas (pvz., metalų lydymas, dezaktyvavimas ir kt.), kurias taikant yra mažinami radioaktyviųjų atliekų kiekiai bei jų aktyvumas. RBMK-1500 reaktoriaus apšvitinto grafito tvarkymas yra sudėtingas uždavinys prasidedantis nuo grafito klojinio išėmimo iš reaktoriaus ir tolimesnių galimų jo tvarkymo būdų (dezaktyvavimas, apdorojimas, galutinis sutvarkymas). Pradėjus Ignalinos AE eksploatavimo nutraukimo darbus bei pastačius naujus radioaktyviųjų atliekų (toliau - RA) bei panaudoto branduolinio kuro (toliau - PBK) tvarkymo, saugojimo ir galutinio sutvarkymo kompleksus, radionuklidų patekimo į atmosferą keliai ir pobūdis keičiasi. Šalia esamų išmetimų šaltinių, kurių patekimas į aplinką sustabdžius Ignalinos AE eksploatavimą pakito, atsiranda nauji radionuklidų išmetimo šaltiniai. Skaitiniais metodais vertinant radionuklidų sklaidą atmosferoje, vandenyse ir biosferoje bei jonizuojančiosios spinduliuotės poveikį, bus siekiama kompleksiškai ir integruotai įvertinti esamų ir naujai pastatytų RA ir PBK tvarkymo, saugojimo bei galutinio sutvarkymo kompleksų radiacinį poveikį gyventojams ir aplinkai (toliau – 2 uždavinys).

3.3. Radionuklidų sklaidos procesų iš radioaktyviųjų atliekų saugojimo ir galutinio sutvarkymo įrenginių skaitiniai tyrimai. Pagrindinis RA talpinimo geologinėse formacijose principas – jos apgaubiamos keletu vienas kitą sustiprinančių ir papildančių pasyvių barjerų (daugiabarjerinės sistemos koncepcija). Radionuklidų sklaidos analizė yra esminė vertinant jų poveikį aplinkai ir žmonėms po jų galutinio sutvarkymo. Būtina išanalizuoti ir įvertinti galimą radioaktyviosios anglies išsiskyrimą iš grafito ir pernašą per inžinerinius bei gamtinius barjerus, įvertinti reikšmingiausius pernašą lemiančius parametrus ir prioritetines tyrimų, kurie leistų sumažinti neapibrėžtumus vertinant giluminio įrenginio saugą, kryptis (toliau – 3 uždavinys)

**4. Metodologinis tyrimų pagrindimas:**

4.1. Vykdamas Ignalinos AE eksploatavimo nutraukimą, vienas iš pagrindinių uždavinių, lemiančių eksploatavimo nutraukimo darbų eigą bei apimtį, RBMK-1500 reaktoriaus elementų, aušinimo kontūro, vamzdynų ir kitų sistemų komponentų radiacinės taršos įvertinimas. Kitas aktualus eksploatavimo nutraukimo uždavinys – Ignalinos AE susidariusių radioaktyviųjų atliekų bei panaudoto branduolinio kuro tvarkymas. Vykdamas numatytus tyrimus bus tęsiami ir tikslinami ankstesnėje 2012-2016 metų LEI ilgalaikeje programoje „Atominių elektrinių eksploatavimo nutraukimo ir radioaktyviųjų atliekų bei panaudoto kuro tvarkymo procesų tyrimas ir radiacinio poveikio analizė“ vykdyti tyrimai, o taip pat atsižvelgiant į 2015 metais Lietuvos Respublikos Vyriausybės patvirtintoje Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo plėtros (RATP) programoje suformuluotus uždavinius, bus inicijuojami aktualūs šios srities

moksliniai tyrimai. Galutinai sustabdžius Ignalinos AE ir vykdant eksploatacijos nutraukimo darbus reikalingų tyrimų spektras ir jų įgyvendinimo laikotarpis yra sąlyginai platus. Pavyzdžiui, išmontuojamų reaktoriaus bloko struktūrų, sistemų ir komponentų radiologinis charakterizavimas laiko požiūriu yra prioritetas, kadangi tai apsprendžia kaip toliau bus tvarkomos bei saugojamos eksploatacijos nutraukimo metu susidariusios radioaktyviosios atliekos. Ignalinos AE susidariusių radioaktyviųjų atliekų tvarkymas truks keletą dešimtmečių, panaudoto branduolinio kuro saugojimas – apie 50 metų, o ilgaamžių radioaktyviųjų atliekų bei panaudoto branduolinio kuro talpinimas į geologinį kapinyną planuojamas 2066–2072 metais. Visais šiais periodais įvairiais metodais ir tyrimais būtina pagrįsti jog radiacinis poveikis gyventojams ir aplinkai bus nežymus. Kad ilgalaikėje programoje planuojami tyrimai yra svarbūs, rodo ir faktas jog LEI mokslininkai vykdė ir šiuo metu vykdo tarptautinius projektus panašia tematika, pvz., „Radioanglies (C-14) šaltiniai (CAST)“, 7BP projektas, 2013–2018 metai; „Apšvitinto RBMK-1500 grafito priežiūros reikalavimai siekiant atitikti laidojimo Lietuvoje reikalavimus“, TATENA koordinuojamas mokslinių tyrimų projektas, 2010–2014; „RBMK-1500 panaudoto branduolinio kuro ir saugojimo konteinerių savybių tyrimas labai ilgo saugojimo laikotarpiu“, TATENA koordinuojamas mokslinių tyrimų projektas, 2012–2016 metai.

4.2. RBMK-1500 reaktoriaus komponentų ir sistemų radiacinės taršos skaitinis vertinimas. Sprendžiant 1 uždavinį, reaktoriaus konstrukcinių elementų ir technologinių įrenginių radiacinio užterštumo sklaidos kelių analizė bus atliekama taikant skaitinius metodus ir remiantis atliktais eksperimentiniais įvairių komponentų radiacinės taršos matavimais. Apšvitinto reaktoriaus RBMK-1500 grafito ir aktyvuotų PBK saugojimo konteinerių komponentų radiacinės charakteristikos skaitiniais metodais bus vertinamos kompiuterinėmis programomis MCNP (JAV) ir SCALE (JAV). Vykdamas planuojamą uždavinį bus siekiama gauti naujas ir patikslintas neutronais paveiktų medžiagų radiacinės charakteristikas, o tai ypač svarbu tolesniuose jonizuojančios spinduliuotės poveikio žmonėms ir aplinkai vertinimuose.

4.3. Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo technologijų (įskaitant ir apšvitinto grafito tvarkymo būdus) analizė. Jonizuojančios spinduliuotės poveikio darbuotojams ir gyventojams skaitinis vertinimas atominės elektrinės eksploatavimo nutraukimo ir radioaktyviųjų atliekų tvarkymo metu. Sprendžiant 2 uždavinį, RA tvarkymo technologijų analizė bus atliekama nagrinėjant kitose šalyse naudojamus RA tvarkymo būdus ir technologijas. Apibendrinus duomenis bus pateiktos rekomendacijos apie tam tikrų technologijų tinkamumą Ignalinos AE RA (įskaitant ir apšvitintą grafitą) tvarkymui. Vertinant jonizuojančiosios spinduliuotės poveikį, bus naudojamos į aplinką išmetamų radionuklidų sklaidos vertinimui skirtos specializuotos kompiuterinės programos AMBER (JAV), GOLDSIM (JAV) ir kitos. Vertinant darbuotojų apšvitą bus naudojama LEI Branduolinės inžinerijos problemų laboratorijoje sukurta kompiuterinė programa DECRAD, MicroShield (JAV), VISIPLAN (Belgija) kompiuterinės programos. Programų pasirinkimą lems skaitinių tyrimų ypatumai.

4.4. Radionuklidų sklaidos procesų iš radioaktyviųjų atliekų saugojimo ir galutinio sutvarkymo įrenginių skaitiniai tyrimai. Sprendžiant 3 uždavinį bus remiamasi pasaulyje esančiomis ilgaamžių RA ir PBK galutinio sutvarkymo sistemų koncepcijomis, atsižvelgiama į Lietuvoje vykdomų tyrimų rezultatus. Analizei atlikti reikalingi modeliai bus sukurti atsižvelgiant į esamą informaciją apie Lietuvos aplinkos sąlygas bei naudojant kompiuterines programas AMBER (UK), PETRASIM (JAV), GOLDSIM (JAV), COMSOL (JAV) ir kitas. Sistemos inžineriniuose ir gamtiniuose barjeruose vykstančių procesų (šiluminių, hidraulinių, mechaninių, ir pan.) ir barjerų savybių kaitos modeliavimas bei jų įtakos radionuklidų pernašai analizė bus atlikta kompleksiskai taikant įvairius priartėjimus procesų įvertinimui, pasitelkiant deterministinius ir tikimybinis metodus. Radioaktyviosios anglies išsiskyrimo iš grafito ir pernašos modeliavimas bus atliktas taikant deterministinius ir statistinius metodus, svarbiausių parametų identifikavimui bus atlikta lokali jautrumo analizė.

### **5. Tyrimų etapai ir jų charakteristikos; detalus įgyvendinimo planas**

Planuojami uždaviniai bus vykdomi lygiagrečiai visu programos įgyvendinimo laikotarpiu 2017–2021 metais. Žemiau pateikti preliminarūs kiekvieno uždavinio etapų įgyvendinimo periodai. Reikia pažymėti, kad visuose uždaviniuose numatyta vykdyti skaitinius tyrimus, tačiau vykdant Ignalinos AE eksploatavimo nutraukimo projektus, rangovai ar kitos mokslinių tyrimų institucijos, atlieka praktinius, pvz., išmontuojamų sistemų radiacinės taršos, matavimus. Planuojama, kad skaitiniai modeliavimo rezultatai bus palyginti su matavimų duomenimis ir, jei būtina, skaitinio vertinimo modeliai gali būti tikslinami.

- 5.1. RBMK-1500 reaktoriaus komponentų ir sistemų radiacinės taršos skaitinis vertinimas (2017–2021 metai).:
- 5.1.2. Ankstesnių tyrimų apžvalga ir informacijos rinkimas (2017 metai);
- 5.1.3. Radiacinio užterštumo sklaidos kelių reaktoriaus sistemose modelio tikslinimas (2017-2018 metai);
- 5.1.4. Reaktoriaus grafito ir kitų sistemų neutroninės aktyvacijos vertinimo modelių sukūrimas (2017-2018 metai);
- 5.1.5. Skaitiniai taršos bei neutroninės aktyvacijos vertinimai naudojant sudarytus modelius (2017-2020 metai);
- 5.1.6. Parametrų jautrumo bei neapibrėžtumo analizė (2018-2020 metai);
- 5.1.7. Rezultatų apibendrinimas ir išvadų parengimas (2018-2021 metai).
- 5.2. Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo technologijų (įskaitant ir apšvitinto grafito tvarkymo būdus) analizė. Jonizuojančios spinduliuotės poveikio darbuotojams ir gyventojams skaitinis vertinimas atominės elektrinės eksploatavimo nutraukimo ir radioaktyviųjų atliekų tvarkymo metu (2017–2021 metai):
- 5.2.1. Radioaktyviųjų atliekų tvarkymo technologijų apžvalga ir analizė (2017 metai);
- 5.2.2. Ankstesnių jonizuojančios spinduliuotės poveikio tyrimų apžvalga ir išvados (2017 metai);
- 5.2.3. Eksploatavimo nutraukimo sukeliama radiacinio poveikio darbuotojams modelio tikslinimas (2017–2018 metai);
- 5.2.4. Radionuklidų sklaidos atmosferoje, vandenyse ir biosferoje skaitinių modelių sudarymas (2017–2018 metai);
- 5.2.5. Skaitinis modeliavimas (2017–2020 metai);
- 5.2.6. Parametrų jautrumo analizė, rezultatų neapibrėžtumo analizė (2018-2020 metai);
- 5.2.7. Rezultatų apibendrinimas ir išvadų parengimas (2018-2021 metai).
- 5.3. Radionuklidų sklaidos procesų iš radioaktyviųjų atliekų saugojimo ir galutinio sutvarkymo įrenginių skaitiniai tyrimai (2017–2021 metai):
- 5.3.1. Ankstesnių tyrimų Lietuvoje bei tarptautinių mokslinių tyrimų rezultatų apžvalga (2017 metai);
- 5.3.2. Radioaktyviųjų atliekų galutinio sutvarkymo sistemų komponentų (atliekų pakuočių, inžinerinių ir gamtinių barjerų ir kt.) apibūdinimas (2017–2018 metai);
- 5.3.3. Radionuklidų sklaidos scenarijų ir conceptualių modelių sudarymas atsižvelgiant į regiono aplinkos savybes ir sąlygas (2017–2018 metai);
- 5.3.4. Matematinį modelių sudarymas (2017–2018 metai);
- 5.3.5. Skaitinis modeliavimas (2017–2020 metai);
- 5.3.6. Rezultatų interpretavimas bei parametrų jautrumo ir neapibrėžtumo analizė (2018–2020 metai);
- 5.3.7. Rezultatų apibendrinimas ir išvadų parengimas (2018-2021 metai).

Preliminarus atskirų programos uždavinių vykdymui reikalingų lėšų paskirstymas:

| Programos uždaviniai | Uždaviniui skirti norminiai etatai | 2017 metais | 2018 metais | 2019 metais | 2020 metais | 2021 metais | Visam uždaviniui, Eur |
|----------------------|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|
| 1 uždavinys          | 2                                  | 19178,00    | 19178,00    | 19178,00    | 19178,00    | 19178,00    | 95890,00              |
| 2 uždavinys          | 3                                  | 28767,00    | 28767,00    | 28767,00    | 28767,00    | 28767,00    | 143835,00             |
| 3 uždavinys          | 3,22                               | 30876,58    | 30876,58    | 30876,58    | 30876,58    | 30876,58    | 154382,90             |
| Iš viso Programai    | 8,22                               | 78821,58    | 78821,58    | 78821,58    | 78821,58    | 78821,58    | 394107,90             |

## 6. Numatomi rezultatai.

Šioje programoje planuojami tyrimai yra svarbūs siekiant saugiai ir efektyviai išmontuoti RBMK-1500 reaktoriaus komponentus bei tvarkyti Ignalinos AE susidariusiais radioaktyviais atliekas. Gauti rezultatai suteiks naujų žinių apie RBMK-1500 reaktoriaus sistemų bei komponentų radiacinę taršą, jos poveikį bei sklaidą. Bus patikslinti ir gauti nauji duomenys apie reaktoriaus komponentų radiacinės charakteristikas, neutroninės aktyvacijos metu aktyvuotuose komponentuose susidariusius radionuklidus ir jų aktyvumus.

Radionuklidų sklaidos aplinkoje ir jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio gyventojams skaitiniai tyrimai nuo anksčiau vykdytų tyrimų skirsis tuo, jog ankstesniuose tyrimuose buvo vertinamas radionuklidų patekimo į atmosferą kelias iš Ignalinos AE reaktorių blokų ir esamų radioaktyviųjų atliekų

tvarkymo įrenginių. Šioje mokslinių tyrimų programoje numatoma vertinti radionuklidų patekimo į atmosferą kelius, kurie pakinta ir naujai atsiranda pradėjus Ignalinos AE eksploatavimo nutraukimo darbus bei pastačius naujus RA ir PBK tvarkymo, saugojimo ir galutinio sutvarkymo kompleksus. Įvairiose branduolinę energetiką turinčiuose šalyse radioaktyviųjų medžiagų išmetimo šaltiniai bei keliai skiriasi. Be to, radionuklidų sklaidą ir poveikį gyventojams lemia skirtingos meteorologinės ir hidrologinės sąlygos, netoli branduolinės energetikos objekto gyvenančių žmonių vykdoma ūkinė veikla, o taip pat ir žmonių mitybos įpročiai.

Apšvitinto grafito galutinis sutvarkymas yra šiuo metu aktuali problema ne tik Lietuvoje, bet ir pasaulyje. Šiuo metu nėra vieningos nuomonės, kaip tokios atliekos turėtų būti šalinamos. Pavyzdžiui, Didžiojoje Britanijoje ketina apšvitintą grafitą šalinti giluminiame atliekyne, tačiau dar nėra apsispręsta dėl jo apdorojimo ir pakuotės. Kelios apšvitinto grafito galutinio sutvarkymo alternatyvos svarstomos Prancūzijoje. Viena alternatyva yra patalpinti apšvitintą grafitą giluminiame atliekyne, o kita – po terminio/cheminio apdorojimo, priklausomai nuo likusio aktyvumo, dalį grafito pašalinti paviršiniame atliekyne (vidutiniame gylyje) ir tik tai, kas neatitiktų paviršiniam atliekynui keliamų atliekų priimtumo kriterijų, – šalinti giluminiame atliekyne. Atlikti Ignalinos AE reaktoriuose esančio apšvitinto grafito galutinio sutvarkymo giluminiame komplekse galimybių skaitiniai tyrimai leis preliminariai įvertinti tokios alternatyvos saugą ir identifikuoti tolesnių tyrimų prioritetines kryptis.

Siekiant įvertinti radionuklidų pernašos ypatumus galutinai sutvarkant Lietuvos radioaktyvias atliekas bei PBK, bus atlikti tvarkymo įrenginių inžineriniuose ir gamtiniuose barjeruose vykstančių bei tarpusavyje susijusių procesų (šiluminių, hidraulinių, mechaninių, ir pan.) ir barjerų savybių kaitos (heterogeniškumo, degradacijos ir kt.), skaitiniai tyrimai bei atsižvelgiant į gautus rezultatus apie barjerų savybių kaitą bus įvertinta jų įtaką pagrindiniams radionuklidų pernašos procesams. Radionuklidų sklaidos įvertinimas yra kompleksinis uždavinys, kurio sprendimo metu bus integruojamos įvairių mokslo sričių žinios, tarptautinių mokslinių tyrimų rezultatai, bus pasitelkti patikimi inžineriniuose, gamtiniuose barjeruose vykstančių ir tarpusavyje susijusių procesų analizės metodai. Gauti rezultatai bus aktualūs sprendžiant Lietuvos radioaktyviųjų atliekų bei PBK galutinio sutvarkymo klausimus, vertinant ilgalaikę saugą bei pagrindžiant tolimesnių mokslinių tyrimų poreikį.

### 7. Rezultatų sklaidos priemonės.

Duomenys apie planuojamą kiekvieno uždavinio tyrimų rezultatų skelbimą moksliniuose žurnaluose bei konferencijose.

| Programos uždaviniai | Uždaviniui skirti norm. etatai | Planuojamas publikacijų skaičius žurnaluose, referuojamuose Thomson-Reuters WoS duomenų bazėje | Planuojamas skaičius konferencijų, kuriose bus pristatomi tyrimų rezultatai |
|----------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 1 uždavinys          | 2                              | 2–3                                                                                            | 2                                                                           |
| 2 uždavinys          | 3                              | 2–3                                                                                            | 2                                                                           |
| 3 uždavinys          | 3,22                           | 3–4                                                                                            | 3                                                                           |
| Iš viso              | 8,22                           | 7–10                                                                                           | 10                                                                          |

Projekto vykdymo metu gauti rezultatai periodiškai bus pristatomi mokslo bendruomenei institucijoje, kurioje dirba projektą vykdančys mokslininkai.

### 8. Preliminarus programos lėšų paskirstymas (tūkst. eurų):

| Eil. Nr. | Išlaidų pavadinimas                                                                                                | 2017 metais  | 2018 metais  | 2019 metais  | 2020 metais  | 2021 metais  | Visai programai (suma) |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| 1.       | Programai skirti norminiai etatai, lėšos                                                                           | 8,22<br>78,8 | 8,22<br>78,8 | 8,22<br>78,8 | 8,22<br>78,8 | 8,22<br>78,8 | 394                    |
| 2.       | Kitos lėšos planuojamos programai vykdyti (iš kitų, institutui skirtų valstybės biudžeto bazinio finansavimo lėšų) | 19,7         | 19,7         | 19,7         | 19,7         | 19,7         | 98,5                   |
|          | Iš viso                                                                                                            | 98,5         | 98,5         | 98,5         | 98,5         | 98,5         | 492,5                  |

### 9. Programos trukmė: 2017 – 2021 metai.

**10. Programos vadovas** dr. Artūras Šmaižys, Branduolinės inžinerijos problemų laboratorijos vyresnysis mokslo darbuotojas, tel.: (8 37) 401890, [arturas.smaizys@lei.lt](mailto:arturas.smaizys@lei.lt)

