

Lietuvos energetikos institutas (LEI)

Pažangių energetikos technologijų kūrimas, integravimas ir plėtra

Programos trukmė: 5 metai

Programos tikslai (tikslas)

Europos Sąjungos Žaliojo kurso susitarimas numato taip pertvarkyti Europos ekonominę sistemą, kad ji taptų neutrali klimatui ir būtų pasiekta nulinė tarša (strateginis tikslas). Norint sėkmingai įgyvendinti planuojamas klimato apsaugos priemonės, pirmiausiai būtina dekarbonizuoti pramonės (ir transporto) sektorių, paskatinant verslą kurti tvaresnius produktus. Technologinės proceso inovacijos sudarytų sąlygas prisidėti prie darnaus vystymosi ir klimato kaitos padarinių mažinimo, o taip pat leistų pramonei ir verslams išsaugoti konkurencingumą besikeičiančioje rinkoje. Siekiant šių tikslų pažangių ateities energetikos technologijų kūrimas tampa ypač reikšmingas, ir tai galima pasiekti tik dirbant išvien kartu su pažangiausiais Europos mokslo tyrimo centrais, panaudojant esamą infrastruktūrą (pvz. branduolių sintezės įrenginiai), ir dalinantis patirtimi su užsienio partneriais vykdant bendrus ES mokslinius tyrimo projektus.

Ši inicijuojama programa, tai tęstiniai LEI moksliniai tyrimai, kurie leidžia generuoti ir kaupti Lietuvos mokslininkų patirtį ir žinias būsimoms kartoms, užtikrinant tvarią aplinką ir žiedinę gyvenimą. Programos tikslas – plėtojant pradėtus ir inicijuojant naujus skaitinius ir eksperimentinius tyrimus bei naudojant jau įsisavintus ir naujus tyrimo metodus, toliau vystyti pažangias energetikos technologijas, kompleksiškai įvertinti jų patikimumą, saugą ir optimalų integravimą į bendrą energetikos tinklą.

Numatomi moksliniai tyrimai atliepia atnaujintoje Nacionalinėje energetikos strategijoje nurodytas prioritetines energetikos mokslinių tyrimų sritis, jie tęsia ankstesnėje LEI ilgalaikėje MTEP programoje „Ateities energetikos technologijų kūrimas, jų saugos ir patikimumo tyrimai“ vykdytus tyrimus 2017-2021 m., leidžia didinti mokslo institucijų, energetikos bendrovių ir pramonės įmonių sinergiją ir bendradarbiavimą, išnaudojant ES, nacionalinių ir kitų mokslinių tyrimų ir inovacijų programų investicijas. Tyrimų metu bus pasinaudota jau įgyta LEI patirtimi dalyvaujant ES mokslinių tyrimų ir inovacijų ankstesnėse ir šiuo metu vykdomuose „Horizontas 2020“ programose, bei patirtimi įgyta ateityje planuojamuose vykdyti „Europos horizontas“ programos ir kituose tarptautiniuose projektuose (TATENA, Baltijos šalių programa ir kt.). Gauti rezultatai ir sukaupta patirtis įneš svarų indėlį didinant Lietuvos mokslininkų kompetenciją, kuri, kaip minėta, būtina siekiant inovacijų energetikos srityje. Dalyvavimas branduolių skilimo ir sintezės, vandenilio bei atsinaujinančios energetikos tyrimuose, įvairių energijos išteklių integravimas išmaniųjų miestų infrastruktūroje galimybių vertinimas, ir aktyvus bendradarbiavimas su pagrindiniais Europos moksliniais centrais taip pat suteiks galimybę dalyvauti kuriant pažangiausias technologijas, išlaikyti aukštą pasaulinio lygio mokslinį potencialą Lietuvoje, o pasiekti programos rezultatai ne tik padidins Lietuvos mokslininkų prestižą pasaulyje, tačiau taip pat sudarys galimybes verslui ir pramonei diegti nagrinėtas pažangias energetikos technologijas.

Programos uždaviniai

1 uždavinys. Išmanūs beatliekiai miestai

Vienas iš ES užsibrėžtų tikslų – pasiekti, kad iki 2050 m. Europos žemynas būtų neutralus klimatui. Vienas iš instrumentų, kuriuo siekiama iškeltų tikslų įgyvendinimo – ES mokslinių tyrimų ir inovacijų programa „Europos horizontas“. Programos 5-jo klasterio „Aplinka, energetika ir judumas“ siekis yra paspartinti ekologijos ir skaitmenizavimo diegimą ekonomikos, pramonės bei visuomenės transformacijoje link neutralaus klimato. Tai apima energetikos ir mobilumo sektoriaus perėjimą prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų neutralumo, tuo pačiu padidinant šių sektorių konkurencingumą, atsparumą ir naudingumą piliečiams ir visuomenei.

Europos Komisijos strateginėje vizijoje „Švari planeta visiems“ (*A Clean Planet for all A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy; COM/2018/773 final*) pabrėžiama, kad perėjimas prie neutralaus klimato - kartu su spartesniu skaitmenizavimu ir spartesniais ekonominiais bei visuomenės pokyčiais – per ateinančius dešimtmečius transformuos energetikos ir judumo sektorius, vis labiau juos sujungiant. ES pastatai sunaudoja 40 % generuojamos energijos, todėl šis segmentas yra vienas svarbiausių energetikos transformacijoje visais aspektais: energijos vartojimo efektyvumas; atsinaujinančių energijos išteklių skverbtis; išmanių tinklų diegimas ir valdymas. Energetikos transformacijoje ateityje labai svarbu: ekonomiškai energetiškai imlių pastatų renovacija, ją susiejant su intensyviu atsinaujinančių energijos išteklių naudojimu bei integravimu į išmanius energijos tinklus; pastatų energetinis skaitmenizavimas; energijos vartojimo pastatuose optimizavimas. Šio uždavinio tyrimai bus vykdomi šiose srityse:

□ *Atsinaujinančios energetikos įrenginiai išmaniųjų miestų infrastruktūroje su energijos saugojimo technologijomis*

Atsinaujinančios energetikos įrenginių instaliavimas išmaniųjų miestų fragmentuose, panaudojant energijos saugojimo technologijas: dvipusę apskaitą, baterijas (Li, NiMH ir t.t.), vandenilio technologijas į nacionalinius tinklus ir lokalius mikro-tinklus. Darbo metu būtų įvertinama technologinių sprendimų ekonominiai (IRR, NVP, atsipirkimo laikas, pridėtinė saugojimo sistemų, saulės ir ar vėjo jėgainės panaudojimo vertė), technologiniai (elektros energijos generavimas, panaudojant saulės jėgaines, energija patiekta į tinklą, importuota iš tinklo, elektros energijos praradimai, saugojimo sistemų panaudojimas, LCOE, LCOS, nepriklausomumo nuo tinklo %), ir aplinkosauginiai (CO₂ emisijų sumažėjimas) parametrai.

□ *Miesto namų kvartalo kompleksinių sprendimų tyrimas integruojant atsinaujinančių energijos išteklių technologijas*

Siekiant padidinti techninių sprendimų efektyvumą ir galimas naudas, miesto namų kvartalo savininkai gali diegti atsinaujinančių energijos išteklių ir „tradicines“ technologijas, kiekvienas atskirai arba kurti energijos bendruomenes ir dalį sprendimų diegti bendrai/kartu, tampant naujo turto bendrasavininkais. Darbo metu būtų sudaroma/kuriama metodika, skirta parinkti technologijas ir jų parametrus, sprendžiant optimizavimo uždavinį(-ius), siekiant užtikrinti privačių namų kvartalo energijos poreikius minimaliomis sąnaudomis (kainomis/investicijomis), taip pat būtų vertinama techninių sprendimų nauda visuomenei ir aplinkosaugai. Tyrimo metu būtų sukuriamas/sudaromas daugiakriterinio optimizavimo uždavinio sprendimo algoritmas(-ai) (optimizavimas vykdomas savininkų ir visuomenės atžvilgiu), neapibrėžtumų, investicijų atsipirkimo jautrumo analizės ir rizikų vertinimo metodikos. Darbo metu bus sudaroma ir analizuojama energetikos technologijų diegimo/įrengimo skatinimo metodika, kuri leistų iš dalies arba pilnai kompensuoti „visuomenės dedamąją“ (bet ne savininko), taip atpiginant sprendimų diegimo kaštus bei gerinant investicijų atsiperkamumo laiką/terminus.

□ *Miesto kvartalo/savivaldybės tvaraus aprūpinimo energija galimybių vertinimas: dabartinės situacijos vertinimas; plėtros alternatyvų vertinimas; naujų technologijų integravimo į dabartinės sąlygas vertinimas*

Pasirenkant miesto gyvenamųjų namų ir visuomeninių pastatų kvartalą išnagrinėti energijos vartojimo, tiekimo bei gamybos galimybes diegiant naujas energijos gamybos, tiekimo, saugojimo technologijas, atsižvelgiant į gyventojų požiūrį į pokyčius ir naujų technologijų ir sprendimų priimtinumą. Sprendžiant iškeltą uždavinį atsižvelgti į sistemų integralumą ir naujų technologijų bei sprendimų diegimą. Įvertinti aprūpinimo energija patikimumo aspektus įvairiais plėtros alternatyvų scenarijais.

□ *Centralizuotų šilumos ir galimų vėsumos tiekimo sistemų plėtros, modernizavimo ir optimizavimo vertinimas.*

Siekiant spartinti pastatų renovaciją, energijos vartojimo sistemų efektyvinimas ir naujų pastatų statyba ženkliai keičia šilumos vartojimo dinamiką. Reikia iš esmės atnaujinti miestų bei gyvenviečių tiekimo sistemos projektinius sprendinius. LRV suformuota ir teikiama plačios apimties finansinė parama biokuro deginimo plėtrai ir šilumos tiekimo tinklų atnaujinimui pagal šilumos tiekimo įmonių paraiškas. Pramonės, viešojo sektoriaus bei paslaugų sektoriaus pastatuose galimas surinkti ir panaudoti atliekinės energijos potencialo racionalus panaudojimas reikalauja detalaus vertinimo bei rekomendacijų paruošimo. Integralumas su kitais tinklais, kaip pavyzdžiui elektros tinkle susidarysiančios perteklinės elektros energijos iš AEI balansavimas (šilumos siurbliai ar tiesioginiai elektros šildytuvai), sąlygoja plačios apimties nešališko vertinimo poreikį. Ši sritis tampriai susijusi su prieš tai aprašytu „Miesto kvartalo/savivaldybės tvaraus aprūpinimo energija galimybių vertinimu“, tarp jų ir miesto kvartalo/savivaldybės aprūpinimo energija patikimumo vertinimu, atsižvelgiant taip pat ir į centralizuotų šilumos ir galimų vėsumos tiekimo sistemų plėtrą, modernizavimą ir optimizavimą.

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

Europos Sąjunga įgyvendina ambicingą branduolių sintezės (angl. nuclear fusion) tyrimų programą, kurios pagrindinis tikslas – 2025 metais pradėti eksperimentinių tyrimų reaktoriaus ITER eksploataciją. Pagal Europos mokslininkų parengtą ir Europos Komisijos (EK) patvirtintą kelrodį po ITER seks branduolių sintezės principu veikiančios elektrinės DEMO įgyvendinimas. ITER tikslas parodyti, kad techniškai įmanoma iš tokio tipo įrenginių atgauti daugiau energijos, nei yra suvartojama branduolių sintezės reakcijai išlaikyti, tuo tarpu DEMO tikslas – parodyti, kad toks energijos gamybos būdas ne tik techniškai įmanomas, bet ir ekonomiškai apsimokantis.

Branduolių sintezės reaktorius yra visiškai naujos technologijos įrenginys, kurį kuriant iškyla aibė tiek fundamentinių, tiek technologinių klausimų ir iššūkių. „Horizontas 2020“ programoje buvo vykdomas EUROfusion projektas, kuris padėjo pagrindus DEMO elektrinės įgyvendinimui. EK šio projekto komandą kviečia teikti paraišką ir pratęsti veiklą naujoje „Europos horizontas“ programoje. Pagrindinis naujo projekto tikslas – iki 2027 metų parengti DEMO reaktoriaus koncepcinį projektą. Šiam tikslui pasiekti būtina suprasti ir iširti vykstančius fizikinius, cheminius ir kitus procesus, sukurti naujas ir augias technologijas.

Kadangi EUROfusion projekto įgyvendinimui EK suteikia tik dalinį finansavimą, yra būtina užtikrinti kiekvienos projekte dalyvaujančios valstybės indėlį, ir ši ilgalaikė mokslinių tyrimų programa suteikia tokią galimybę. Šio ilgalaikės programos uždavinio tikslas - dalyvauti branduolių

sintezės technologijų kūrime užtikrinant, kad DEMO reaktoriaus koncepcinis projektas bus kuriamas įvertinant visus branduolių sintezės įrenginiams keliamus saugos reikalavimus ir atliekant reikiamus mokslinius tyrimus, siekiant parodyti šio įrenginio priimtinumą saugos požiūriu.

Pagrindinius šio uždavinio darbus galima suskirstyti į tris grupes: 1) ITER ir DEMO reaktoriaus sistemų analizė, 2) deterministinė saugos analizė, ir 3) tikimybinė saugos analizė. Įgyvendinant pirmąją užduoties dalį bus surinkta informacija apie planuojamas DEMO elektrinės sistemas, jų tarpusavio ryšius ir patikimumą. Rezultate bus identifiukuoti galimi avariniais scenarijai, jie toliau bus analizuojami deterministiniais metodais. Įgyvendinant antrąją dalį, naudojant deterministinės analizės metodu bus parengti skaitiniai modeliai ir kartu su EUROfusion projekto partneriais atlikti pasirinktų avarinių scenarijų tyrimai, siekiant įvertinti planuojamų technologinių sprendimų saugą ir pasiūlyti galimus saugą pagerinančius sprendimus. Trečiosios užduoties dalies tikslas - tikimybiniais metodais įvertinti ne tik įrangos ir sistemų patikimumą, bet ir įvairių vidinių ir išorinių įvykių įtaką saugiai DEMO eksploatacijai.

3 uždavinys. Jonizuojančios spinduliuotės ir neutronų sklaidos procesų tyrimai greitųjų neutronų šaltiniuose ir jų komponentuose

Branduolių sintezės įrenginiuose degant DT (deuteris – tritis) plazmai didžioji išsiskyrusios energijos dalis tenka aukštos energijos neutronams, kurie ją perneša į radiaciniu požiūriu jautrius komponentus, todėl detalus neutronų pernašos tyrimas yra priskiriamas prie svarbiausių uždavinių, projektuojant ir eksploatuojant tokius 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, pasitelkiamas Monte Carlo principu veikiančios 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, tam panaudojant aktyvacijos programų paketus (FISPACT) su naujausiomis dozimetrinėmis duomenų bazėmis; atlikti neutronų, sukkelto aktyvumo, dalijimosi šilumos ir dozės galios skaičiavimai konstrukcijų medžiagose, kurios naudojamos branduolių sintezės įrenginiuose ir pačiame DONES greitintuve. Šių tyrimų rezultatai bus panaudoti kuriant naujas branduolių sintezės technologijas.

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

Branduolinių reaktorių sauga, sunkiųjų avarijų prevencijos ir valdymo metodai, panaudoto branduolinio kuro ir kitų radioaktyviųjų medžiagų saugus saugojimas – tai temos, kurios išlieka aktualios visame pasaulyje. Šiems klausimams nagrinėti skirta ES mokslinių tyrimų ir inovacijų programa EURATOM, kurios atskirose paprogramėse, kartu su kitais Europos mokslinių tyrimų centrais, dalyvauja ir LEI mokslininkai. „Horizontas 2020“ *programoje* LEI vykdo šiuos projektus: Sunkiųjų avarijų neapibrėžtys ir jų valdymas (MUSA), Radiologinių pasekmių sumažinimas projektinėms ir išplėstinėms projektinėms avarijoms (R2CA), Mažų modulių reaktorių licencijavimas Europoje (ELSMOR). Taip pat vykdomi ir TATENA koordinuojami tyrimų projektai. Dalyvaujant visų šių projektų veikloje bei rengiant paraiškas naujiems EURATOM programos projektams, kyla papildomų klausimų, kurie neapimami minėtų projektų veikla, tad juos planuojama išspręsti šiame uždavinyje.

Kita, ypatingai Lietuvai, aktuali tema yra saugos užtikrinimas branduolinio objekto eksploatavimo

nutraukimo stadijoje, bei panaudoto branduolinio kuro ir radioaktyviųjų medžiagų saugus sutvarkymas. Šiuo metu LEI kartu su Rygos technikos universitetu, Tartu universitetu ir Arkties institutu iš Norvegijos dalyvauja Baltijos mokslinių tyrimų programoje ir įgyvendina mokslinį projektą „Betono projektavimo naujovės, susijusios su pavojingų atliekų tvarkymu“. Vykdamas šį mokslinį projektą planuojama sukurti naujas kompozicines medžiagas, naudotinas radioaktyviųjų atliekų tvarkymo procese. Su saugos įvertinimu eksploataavimo nutraukimo metu ir radioaktyviųjų medžiagų tvarkymu susiję portlandcemenčio bei kompozicinių rišančiųjų medžiagų savybių moksliniai tyrimai, tiesiogiai neatspindėti minėtoje Baltijos mokslinių tyrimų programoje, bus papildomai nagrinėjami šiame uždavinyje.

5 uždavinys. Turbulencijos, daugiafazių srautų ir jų *dinamikos tyrimai*

Daugiafaziai srautai (įskaitant ir dvifazius, ir sudarytus iš daugiau nei vienos medžiagų, ir iš skirtingų tos pačios medžiagos fazių) yra kasdien sutinkami natūraliuose gamtos reiškiniuose, jie plačiai taikomi praktikoje. Daugiafazių srautų reakcijos, virsmai bei sąveikos yra pagrindiniai įvairių technologijų procesai, ir tai ypač pasakytina apie inovatyvias, kuriamas technologijas.

Vidaus degimo variklių, katilų ir kitų degimo įrenginių daugiafaziuose srautuose vyksta oksidacijos bei gretutinės cheminės reakcijos, ir kiti susiję termohidrauliniai reiškiniai, nuo kurių tarpusavio sąveikos priklauso įrenginių efektyvumas ir teršalų emisijos. Įvairių maisto ar chemijos produktų gamybos, atliekų apdorojimo, bioreaktorių ir kitų įrenginių efektyvumas tiesiogiai priklauso nuo jų daugiafazių terpių (pvz. emulsijų, suspensijų, koloidinių tirpalų ar putų) maišymu sukeliama sudėtingo tekėjimo dinamikos, nulemiančio vykstančių tarpfazinių reakcijų greičius. Šiluminiuose įrenginiuose jos pernešimui ir perdavimui naudojamų srautų faziniai virsmai komplikuoja šių procesų aprašymą. Paviršinių reiškinų plonuose sluoksniuose, tarpfazinės sąveikos su grįžtamaisiais ryšiais ir turbulencijos susižadavimo sukeliama tekėjimo režimų kaitos dinamika ypač sudėtinga ir tik dalinai prognozuojama.

Tačiau daugiafaziai srautai gali būti ne tik naudingi, bet ir kelti grėsmę (hidrauliniai smūgiai, sprogamai). Plėtojant žaliąją energetiką, kuriai vis plačiau imamas naudoti vandenilis, kurio nutekėjimas ir mišinio su oru suformavimas uždaramė tūryje kelia sprogo riziką. Tai yra svarbi tyrimų kryptis, nes liepsnos sklidimas tokiuose mišiniuose, ypač srautui sąveikaujant su kliūtimis, yra dar neišspręsta problema.

Į praktinį panaudojimą orientuoti taikomieji tyrimai dažniausiai yra siauri ir jų rezultatai nesudaro galimybės perprasti daugiafazių srautų dinamikos reiškinį bei jų sąveikų. Daugelis daugiafazių srautų teorijų nėra visiškai išnagrinėtos dėl procesų sudėtingumo ir jų sąveikų derinių įvairovės. Pvz. degimo mokslas vis dar negali prognozuoti liepsnos sklidimo greičio iš anksto išmaišytų mišinių srautuose, jei jų tekėjimo struktūra bent kiek sudėtingesnė. Net ir dvifazių skystis-dujos srautų dinamika dar nėra galutinai išnagrinėta, ypač jei vyksta faziniai virsmai.

Mėginimus prognozuoti daugiafazių srautų dinamiką labiausiai apsunkina juose pasireiškianti turbulencija. Nuo jai vykstant susidarantių sūkurių ir koherentinių struktūrų dinamikos labai priklauso tekėjimo ypatybės ir šilumos, masės bei judesio kiekio pernešimas ir perdavimas.

Daugiafaziuose srautuose turbulencija abipusiai tiesiogiai arba netiesiogiai sąveikauja su visais procesais ir gali keisti jų režimus į kardinaliai skirtingus nuo laminarinių (pavyzdžiui, laminarinės ir turbulentinės liepsnos sklidimo greičiai gali skirtis iki 1000 kartų). Turbulencijos svarba ir žinių apie ją stygius daro tai viena iš didžiųjų vis dar neišspręstų fizinių mokslų problemų.

Daugiafazių srautų dinamikos ir juose vykstančių nestacionarių procesų – turbulencijos, savybių

kitimo, šilumos išsiskyrimo, perdavimo ir pernešimo, fazinių virsmų, reakcijų bei kitų – tarpusavio ryšių ir sąveikų sudėtingumas reikalauja tiek skaitinių, tiek ir eksperimentinių tyrimų. Gilesnis jų supratimas ir šių žinių taikymas sudarys prielaidas energetinių įrenginių technologinei pažangai. Darbo rezultatai įgalins geriau spręsti ne tik pramonės ir energetiniams įrenginiams aktualius uždavinius, bet suteiks ir naujų fundamentinių žinių apie turbulenciją, sudėtingus daugiafazius srautus ir juose vykstančius procesus.

Metodologinis tyrimų pagrindimas

1 uždavinys. Išmanūs beatliekiai miestai

Metodų, skirtų išmanių beatliekių miestų/savivaldybių vertinimui, apžvalgą ir analizę numatoma atlikti naudojant prieinamų/prenumeruojamų mokslinių duomenų bazių, atviros prieigos literatūrą (žurnalus, knygas, ataskaitas), taip pat konferencijų pranešimų medžiagą/leidinius, kuriuose numato dalyvauti LEI mokslininkai. Programos vykdymo metu, tikimasi aktyviai bendradarbiauti su partneriais Lietuvoje ir užsienyje, siekiant pasidalinti sukauptomis žiniomis ir patirtimi.

Optimizavimo, neapibrėžtumų, jautrumo bei rizikų vertinimo metodų/algoritmų sudarymui/kūrimui planuojama naudoti *turimas* programines priemones/ paketus. Statistiniams ir tikimybiniais infrastruktūros komponentų tyrimams bus naudojama GeNIe, R programinė įranga. Atskirais atvejais, esant poreikiui, gali būti naudojama *Python* programavimo kalba (pvz. realizuoti optimizavimo, prognozės algoritmus). Kompleksinių sistemų modeliavimui (saulė ir/ar vėjas + energijos saugojimas (baterijos ir/ar vandenilio technologijos) bus intensyviai naudojamas ir toliau tobulinamas H2020 projekto iDistributedPV realizavimo metu sukurtas programinis paketas – PSSTool_NetMetering (<http://www.idistributedpv.eu/prosumer-tool/>). Numatomai sudaryti energetikos technologijų diegimo/įrengimo skatinimo metodikai atvaizduoti planuojama naudoti *Bizagi* programinį paketą (verslo procesų aprašymams).

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

Tyrimams atlikti LEI turi patirties, įgytos įgyvendinant ankstesnę ilgalaikių tyrimų programą ir „Horizontas 2020“ programos projektą EUROfusion, bei reikiama programinė įranga. Deterministinei saugos analizei atlikti turimi šiuolaikiniai kompiuteriniai programų paketai ASTEC, COCOSYS, RELAP/SCDAPSIM. Atliekant tyrimus šios programos apimtyje bus bendradarbiaujama ir su programų kūrėjais, teikiant jiems rekomendacijas dėl tolimesnio šių programų paketų tobulinimo, ir, priklausomai nuo gautų rezultatų, įtraukiant naujas koreliacijas ar tikslinant priimtas koeficientų reikšmes. Gautų rezultatų neapibrėžtims įvertinti bus naudojami statistiniai metodai ir Vokietijoje sukurta kompiuterinė įranga SUSA arba ASTEC programų pakete integruotas specializuotas modulis SUNSET. Pagal poreikį bus pasitelkti ir LEI turimi įrankiai tikimybinei analizei atlikti. Sistemų analizei atlikti specializuotos įrangos nereikia.

3 uždavinys. Jonizuojančios spinduliuotės ir neutronų sklaidos procesų tyrimai greitųjų neutronų šaltiniuose ir jų komponentuose

Siekiant nustatyti skirtingose komponentuose susidariusios šilumos įtaką suminei vertei ir identifikuoti svarbiausius radionuklidus, neutronų pernašos skaičiavimams bus panaudotas MCNP6 kodas su JEFF-3.2 duomenų biblioteka. McDelicious paprogramė leis modeliuoti deuterio-ličio sąveiką DONES greittuve. Konstrukcinių JET ir DEMO reaktorių medžiagų aktyvacijos skaičiavimai bus atliekami naudojant FISPACT-II kodą su TENDL-2017 duomenų biblioteka. Po apšvitos neutronais pabaigos, aktyvumas ir dozių galia bus nustatoma intervalais nuo neutronų

pluoštelio išjungimo iki 1 metų aušimo. Galutinė analizė leis nustatyti dominuojančius radioizotopus, kurie prie bendros aktyvumo ar dozės vertės prisidės bent 1% ar didesnėmis vertės dalimis.

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

Tyrimai bus atliekami naudojant deterministinius skaitinio modeliavimo metodus. Procesai branduolinių reaktorių aušinimo sistemose bus modeliuojami panaudojant sisteminius termohidraulinius programų paketus RELAP5, ATHLET ir sunkiųjų avarijų analizei skirtus programų paketus RELAP/SCDAPSIM, ASTEC ir ATHLET-CD. Fluidų natūralios konvekcijos ir šilumos pernešimo procesai panaudoto branduolinio kuro baseinuose, branduolinių įrenginių patalpose (ar eksperimentiniuose stenduose) bus modeliuojami trimačiais programų paketais (ANSYS-Fluent). Pasyvių šilumos paėmimo sistemų taikymo branduoliniams reaktoriams aušinti galimybių tyrimai bus atliekami naudojant RELAP5 ir ATHLET programų paketus. Procesams apsauginiuose kiaučiuose modeliuoti bus naudojami programų paketai COCOSYS ir ASTEC. Neapibrėžčių ir jautrumo analizė bus atlikta panaudojant SUSA programų paketą. Konstrukcijų struktūrinė bei branduolinių jėgainių vamzdynų patikimumo analizė bus atliekama naudojant LEI Branduolinių įrenginių saugos laboratorijos turimą programinę įrangą: baigtinių elementų kompiuterines programas ABAQUS (ABAQUS/CFD, ABAQUS/Standard, ABAQUS/Explicit), Cast3m, NEPTUNE ir Peps, trimačio projektavimo programą SolidWorks, irimo mechanikos kompiuterinė program1 SACC, tikimybinės analizės kompiuterines programas AutoPIFRAP, ProFES, ištekėjimo pro kiaurus plyšius analizei bus naudojama kompiuterinė programa SQUIRT. Neutronų kinetikos modeliavimas (neutronų daugėjimo koeficiento nustatymas, siekiant įvertinti kritiškumo susidarymo panaudoto branduolinio kuro baseine galimybę) bus atliekamas naudojant SCALE 6.1 programinį paketą. Sprendžiant radioaktyviųjų medžiagų saugojimo problemas, naudojant SCALE/MAVRIC programinį paketą bus modeliuojama radioaktyviųjų medžiagų apšvitinimo galia ir apsauginių kompozitinių medžiagų ekranavimo galimybė. Taip pat numatyta ir kompozicinių medžiagų cheminės ir mineraloginės sudėties analizė, mechaninių savybių tyrimai, savitojo paviršiaus ploto, porų dydžio, tūrio bei jų pasiskirstymo nustatymas. Medžiagos bus tiriamos rentgeno spinduliuotės difrakcinės analizės (XRD), optinės, skenuojančios elektroninės mikroskopijos ir mikroanalizės (SEM/EDX) bei N2 adsorbcijos-desorbcijos metodais.

5 uždavinys. Turbulencijos, daugiafazių srautų ir jų dinamikos tyrimai

Skaitiniai tyrimai bus atliekami pasitelkiant skaičiuojamąją fluidų dinamiką ir atvirojo kodo OpenFOAM biblioteką. Bus naudojamos tiek ir uždaviniams tinkančios standartinės OpenFOAM sprendyklės, tiek ir uždavinio vykdytojų sukurta flameFoam. Ši turbulentinio degimo sprendyklė bus ir toliau plėtojama pagal tyrimų poreikius. Priklausomai nuo tyrimų eigos ir standartinių OpenFOAM sprendyklių galimybių, fazinių virsmų procesams modeliuoti galimai reikės sukurti naują(s) sprendyklę(s). Palyginamieji skaičiavimai gali būti atliekami ir su komerciniais ANSYS skaičiuojamosios fluidų dinamikos programų paketais.

Skaitinių modelių validacijai bus naudojami eksperimentiniai duomenys iš atviros literatūros bei iš tarptautinių projektų partnerių. Esant poreikiui ir galimybės, atskiri eksperimentai gali būti atlikti ir šios užduoties vykdytojų, naudojant LEI Branduolinių įrenginių saugos laboratorijos eksperimentinę įrangą.