



LIETUVOS ENERGETIKOS INSTITUTAS

10-035-T-0002

PROJEKTO „EUROFUSION“ ĮGYVENDINIMAS

Veiklos ataskaita



Kaunas, 2026

Viena iš Lietuvos Respublikos švietimo, mokslo ir sporto ministerijos mokslo plėtros programos pažangos priemonėje Nr. 12-001-01-02-01 įvardintų problemų yra neišnaudotas dalyvavimo tarptautinėse MTEP programose potencialas. Pažangos priemonės veiklomis siekiama didesnė žinių, idėjų ir patirties sklaida bei geresnės sąlygos kompetencijoms ugdyti visais tyrėjo karjeros etapais.

Šio projekto metu buvo vykdomi kuriamų branduolių sintezės (angl. fusion) technologijų tyrimai, skirti ištirti neutronų pernašą ir radiacijos sklaidą branduolių sintezės įrenginiuose DEMO ir IFMIF-DONES. Be to, buvo vykdomi kuriamų technologijų saugos ir patikimumo tyrimai. Tyrimai buvo vykdomi bendradarbiaujant skirtingų šalių mokslo institucijoms. Į projekto veiklas buvo įtraukti ne tik patyrę, bet ir jaunieji mokslininkai bei doktorantai, kurie įgijo ne tik mokslinės patirties ir žinių, bet ir išnaudojo tarptautinio bendradarbiavimo potencialą. Tokiu būdu projektas prisidėjo prie minėtų pažangos priemonės problemų sprendimo.

Projektas pagal savo pobūdį nepažeidžia horizontaliųjų principų ir neprieštarauja Jungtinių Tautų neįgalųjų teisių konvencijos nuostatomis.

Projekto įgyvendinimo metu nebuvo jokių apribojimų, kurie turėtų neigiamą poveikį lygių galimybių ir nediskriminavimo dėl lyties, rasės, tautybės, kalbos, kilmės, socialinės padėties, tikėjimo, įsitikinimų ar pažiūrų, amžiaus, negalios, lytinės orientacijos, etninės priklausomybės, religijos ar kitų bruožų principams įgyvendinti. Projekte nenumatyta veiksmų, kurie turėtų neigiamą poveikį darnaus vystymosi principui įgyvendinti ar veiksmų, kurie turėtų neigiamą poveikį inovatyvumo (kūrybingumo) principui įgyvendinti (finansuojama veikla netiesiogiai prisideda prie šio principo įgyvendinimo, nes yra orientuota į mokslinių tyrimų ir eksperimentinės plėtros vystymą).

Projekto įgyvendinimo metu nebuvo veiksmų, kurie pažeistų Jungtinių Tautų neįgalųjų teisių konvencijos nuostatas.

Projekto tikslas – įgyvendinant „Elektros energijos gamybos iš branduolių sintezės kelrodyje“ numatytą planą įgyti žinių ir sukurti technologijas, kurių reikia pradėti demonstracinės branduolių sintezės principu veikiančios elektrinės DEMO statybas po to kai bus pradėta eksperimentinio reaktoriaus ITER eksploatacija.

Šioje ataskaitoje pateikiama informacija apie EUROfusion projekto veiklas, įgyvendintas per laikotarpį nuo 2021.01.01 iki 2025.12.31. Lietuvos energetikos instituto mokslininkai vykdė veiklas, numatytas Euratom programos projekto, vykdomo pagal dotacijos sutartį Nr. 101052200 darbo paketuose WP1 Tokamak Exploitation (WPTE), WP19 Safety and Environment (WPSAE), WP20 Early Neutron Source (WPENS), WP24 Training and Education (WPTRED) ir WP25 Programme Management Unit (WPPMU).

Darbų paketas WP1 Tokamak Exploitation (WPTE) yra skirtas pasirengti Tokamak tipo įrenginių eksploatacijai įgyvendinant eksperimentų programas tokiuose tyrimų stenduose kaip JET, WEST, ASDEX ir kiti. Įgyvendinant šio darbo paketo veiklas LEI mokslininkas dr. G. Stankūnas dalyvavo 2024–2025 metų JET eksperimentų kampanijose: RT01 Core-Edge-SOL integrated H-mode scenario compatible with exhaust constraints in support of ITER, RT02 Physics understanding of alternatives to Type-I ELM regime, RT03 Strategies for disruption and run-away mitigation, RT04 Physics-based machine generic systems for an integrated control of plasma discharge, RT08 Physics and operational basis for high beta long pulse scenarios, RT09 Physics understanding of energetics particles confinement and their interplay with thermal plasma, RT10 JET Data Validation, RT11 Analysis and modelling of JET experiments before 2023. Dalyvaudamas šiose eksperimentų kampanijose mokslininkas atliko bolomentrinę matavimo rezultatų analizę.

Darbų paketas WP19 Safety and Environment (WPSAE) yra skirtas įvertinti projektuojamo įrenginio saugą ir patikimumą, įvertinti siūlomų projektinių sprendimų priimtinumą saugos požiūriu. Šiame darbų pakete instituto mokslininkai vykdė keletą užduočių.

Užduotis „Failure Mode and Effect Analyses of the Water Cooled Lithium Lead (WCLL) Test Blanket Module“

Vykdam šią užduotį buvo surinkta ir susisteminta informacija apie vandeniu aušinamą bryderio apvalkalą (angl. Water Cooled Lithium Lead (WCLL)) bandomąjį modelį (angl. Test Blanket Module). Darbui atlikti buvo naudota FMEA (angl. Failure Mode and Effect Analyses) metodika. Analizė atlikta šioms WCLL TBM sistemoms:

1. Vandens aušinimo sistema;
2. Šilumnešio valymo sistema;
3. Švino-ličio kontūro sistema;
4. Tričio pašalinimo sistema;
5. Tričio apskaitos sistema;
6. Neutronų aktyvacijos sistema.

Atliekant analizę buvo nustatyti įrangos gedimo tipai ir įvertinti atskirų sistemos komponentų gedimo dažniai Tričio apskaitos sistemoje ir Neutronų aktyvacijos sistemoje.

Buvo nustatyta kokie avariniai įvykiai gali būti sukelti dėl atskirų komponentų gedimų ir kokios tokių įvykių tikimybės. Tai leido kategorizuoti galimus avarinius įvykius pagal jų pavojingumą. Taip pat, atlikta analizė leido įvertinti kurie komponentai turi esminės įtakos avarinių įvykių atsiradimui.

Užduotis „ACPs assessment for DEMO Divertor cooling loops“

Vykdam šią užduotį buvo surinkta ir susisteminta informacija apie projektuojamo DEMO reaktoriaus divertoriaus, bryderio apvalkalą ir divertoriaus aušinimo sistemas. Surinkta informacija buvo panaudota siekiant nustatyti koks yra aktyvuotų korozijos produktų (angl. Activated Corrosion Products (ACP)) pasiskirstymas šiose sistemose. Ši analizė leidžia nustatyti labiausiai užterštus komponentus ir planuoti jų remontus arba patekimą į patalpas, kuriose šie komponentai yra.

Užduotis „FMEA analysis“

Vykdam šią užduotį buvo atlikta FMEA (angl. Failure Mode and Effect Analyses) analizė šioms DEMO reaktoriaus sistemoms:

1. Elektronų ciklotroninio rezonanso kaitinimo (angl. Electron Cyclotron Resonance Heating) (ECRH) sistema
2. Vakuuminis indas;
3. Kriostatas;
4. WCLL ir HCPB tipo bryderio apvalkalai ir jų aušinimo sistemos.

Užduotis „Updating of Safety Data List“

Terminas „Safety Data List“ reiškia duomenų bazę, kurioje yra surinkta informacija apie visas sistemas ir jų komponentus reikalinga saugos analizei atlikti. Tai yra didelė ir laikui imli užduotis, kuri buvo įgyvendinama kartu su EUROfusion projekto, finansuojamo pagal EURATOM programą, partneriais. Užduočiai atlikti būtina ne tik surinkti informaciją iš atskirų šaltinių, tačiau ir ją susisteminti/apibendrinti. Dažnai pasitaiko, kad skirtinguose šaltiniuose pateikiama ne vienoda informacija, todėl būtina šią informaciją tikrinti ir derinti su už atskiras sistemas atsakingai žmonėmis. Institutas buvo atsakingas už informacijos apie atskiras sistemas (magnetų sistema ir gaisro/sprogimo pavojai) surinkimą ir susistemimą.

Ši informacija toliau yra naudojama kitose projekto užduotyse, kurių tikslas yra atlikti pasirinkto avarijos scenarijaus analizę siekiant nustatyti poveikį įrangai, aplinkai ir žmonėms.

Siekiant įvertinti galimus avarijų padarinius ir projektuojamos elektrinės projektinius sprendimus yra atliekama avarijų analizė. Ji atliekama postuluojamiems pradiniais įvykiams (angl. Postulated Initiating Events), kurie yra pasirenkami taip, kad būtų reprezentatyvūs ir atspindėtų blogiausias galimas pasekmes. Instituto mokslininkai parengė metodiką kaip reikia pasirinkti avarijos scenarijų išsamiai analizei atlikti.

Užduotis „Accident analysis“

Branduolių sintezės įrenginių saugai pagrįsti yra naudojama avarijų analizė, kuri gali būti vykdoma tikimybiniais ar deterministiniais metodais. Ši užduotis buvo skirta deterministinei avarijų analizei atlikti. Užduočiai vykdyti buvo naudojamas programų paketas ASTEC. Tai yra Prancūzijoje sukurtas programų paketas, skirtas išsamiai deterministinei avarijų analizei atlikti. Jis buvo sukurtas taikyti branduolinių elektrinių saugos įvertinimui, tačiau dabar jo taikymas yra išplečiamas ir branduolių sintezės įrenginių saugos vertinimui.

Vykdam šią užduotį buvo išnagrinėti šie avarijų scenarijai: Ex vessel LOCA in vacuum vessel cooling loop without plasma shutdown; Accident analysis for the selected event for tokamak building; Accident analysis DEC for the selected event for tokamak building; ASTEC accident analysis for DEC-B scenarios; ASTEC accident analysis of a wet bypass scenarios.

Gauti rezultatai buvo palyginti su kitų EUROfusion projekto partnerių, kurie naudojo Amerikoje sukurtą, specializuotą programų paketo MELCOR versiją. Naudojant abu programų paketus yra gaunami panašūs, rezultatai. Šis palyginimas leido įvertinti stipriąsias ir silpnąsias ASTEC programų paketo savybes ir pateikti siūlymus ką būtų galima patobulinti siekiant platesnio ASTEC pritaikymo branduolių sintezės įrenginių saugos vertinimui.

Užduotis „Methodology for natural external events analysis“

Viena iš pavojų rūšių, turinčių įtakos branduolių sintezės tipo elektrinių saugai, yra išoriniai pavojai, tokie kaip tornadai, ekstremalios liūtys, potvyniai, ekstremalus karštis ar šaltis, ir panašūs. Išoriniai pavojai gali būti gamtos reiškiniai arba sukelti žmogaus veiklos (pavyzdžiui, lėktuvo kritimas ar terorizmas).

Tokių įvykių poveikiui branduolių sintezės elektrinės saugai įvertinti instituto mokslininkai sukūrė specialią gamtinių išorinių įvykių analizės metodiką. Ši metodika apima išorinių pavojų pasirinkimą, galimą šių pavojų kilimą vienu metu ar kai vienas reiškinys kyla dėl kito reiškinio atsiradimo, pavyzdžiui, žemės drebėjimas gali sukelti cunamį.

Atlikta išorinių įvykių analizė parodė, kad DEMO reaktorius yra tinkamai projektuojamas atsižvelgiant į galimą išorinių reiškinių poveikį. Šiame etape buvo išanalizuoti tokie reiškiniai: žemės drebėjimas, potvynis ir meteorologiniai reiškiniai.

Užduotis „Non-ionizing industrial hazard assessment during routine operation“

DEMO reaktorius bus eksploatuojamas pramonėje aikštelėje, kuriai yra būdingi įvairūs įprasti (pramoniniai) pavojai. DEMO aikštelėje gali kilti įprasti eksploataciniai pavojai, būdingi ir kitiems pramonės objektams, pavyzdžiui, pavojai susiję su aukšta elektros įtampa ar kriogeninėmis (labai žemos temperatūros) sistemomis. Be to, gali kilti ir kiti pavojai, nesusiję su jonizuojančia spinduliuote, tokie kaip degios dujos, lazerinė diagnostika, toksiškos medžiagos, magnetiniai laukai ir nejonizuojanti spinduliuotė.

Nustatyti pramoniniai pavojai susiję su chemiškai pavojingomis medžiagomis (pavyzdžiui, berilis, gyvsidabris arba švinas), chemiškai reaktyviomis medžiagomis (pavyzdžiui, litis arba skysti metalai), fiziškai pavojingomis medžiagomis (pavyzdžiui, skystas helis), sistemomis, kuriose yra labai aukšta temperatūra arba labai žema temperatūra (kriogeninės sistemos), aušto slėgio sistemomis, vakuuminėmis sistemomis, sistemomis su labai stipriais magnetiniais laukais, dideliais su elektros generavimu susijusiais įrenginiais (pavyzdžiui, turbinos, generatoriai, transformatoriai).

Šie pavojai yra gerai žinomi chemijos pramonės ir energetikos įmonėms. Branduolių sintezės elektrinės atveju pramoniniai pavojai bus panašūs, tačiau juos reikės išsamiai įvertinti kai bus parengti galutiniai projekto sprendiniai.

Šiai užduočiai atlikti instituto mokslininkai surinko informaciją apie galimus pavojus DEMO aikštelėje, kurie nėra susiję su jonizuojančia spinduliuote. Atlikta analizė apie pavojingų medžiagų kiekius ir jų susikaupimo vietas, kuri leidžia įvertinti pavojus, kylančius darbuotojams ir gyventojams įvykus nelaimei patalpose ar įmonės teritorijoje.

Užduotis „Updated radiological release assessment and justification“

Šios užduoties tikslas buvo išanalizuoti potencialius pavojus, kylančius normalios DEMO eksploatacijos metu, įskaitant ir planinius remontus. Atlikta analizė apima galimus radioaktyvių medžiagų nuotėkius į aplinką tiek dujų, tiek ir vandens tekėjimo keliais.

Kadangi dar galutinio DEMO projekto ir konkrečių radioaktyvių medžiagų kiekių, tai poveikio aplinkai analizė atlikta remiantis konservatyviomis prielaidomis ir taikant bendrinius modelius, rekomenduojamus tarptautiniuose standartuose. Analizė atlikta darant prielaidą apie dujinius nuotėkius iš Tokamako pastato, tričio pastato ir radioaktyvių atliekų pastato. Analizė atlikta darant prielaidą, kad nuotėkis iš patalpų įvyksta per kaminą – analizėje įvertinta kamino aukščio įtaka gyventojų apšvitai. Analizė atlikta DEMO reaktoriui su WCLL ir HCPB tipo bryderio apvalkalu.

Gauti rezultatai parodė, kad poveikis aplinkai ir žmonėms labai ženkliai priklauso nuo paties radioaktyvių medžiagų šaltinio ir kamino, per kurį medžiagos patenka į aplinką, aukščio. Ši analizė turės būti pakartota, kai bus žinomi galutiniai projekto sprendiniai ir pasirinkta statybos vieta, nes ji lemia ir būdingas meteorologines sąlygas toje vietovėje.

Darų paketas WP20 Early Neutron Source (WPENS) yra skirtas ištirti neutronų pernašos ir radiacijos sklaidos procesus eksperimentų stende IFMIF-DONES.

Užduotis „Shielding analyses supporting the Lithium loop design and safety assessments“

Atliktas tyrimas nustatyti kokie susidaro radiacijos laukai ličio kontūro vamzdynuose ir drenažo bake įrenginio eksploatacijos metu. Šis tyrimas atliktas sudaryti radiacijos dozių žemėlapij apie įrenginio komponentus. Nustatyta koks turi būti apsaugos ekranų efektyvumas, kad radiacijos dozės intensyvumas drenažo bake neviršytų 3 μSv/h.

Užduotis „Nuclear analysis for the TLIC during operation and shutdown“

Atlikta neutronų pernašos analizė siekiant suprojektuoti tarpinę celę tarp bandymų sistemos ir ličio sistemos (angl. Test System-Lithium System Interface Cell (TLIC)) ir įvertinti projektinių sprendimų saugą. Užduočiai atlikti buvo sudarytas TLIC modelis programų paketui MCNP. Neutronų pernašos skaičiavimai atlikti visiems TLIC komponentams. Kiekviename komponente apskaičiuota medžiagų aktyvacija, likutinė šiluma ir kontaktinė dozės galia.

Užduotis „Shielding Analysis and Optimization for the Test Cell (TC) Floor with Mounting Bolt Penetrations“

Atlikta neutronų pernašos analizė siekiant suprojektuoti bandymų celės grindis atsižvelgiant į pragręžtas vietas konstrukcijose įrangos montavimo varžtams. Užduočiai atlikti buvo sudarytas išsamus bandymų celės modelis programų paketui MCNP ir šis modelis buvo integruotas į bendrą DONES taikinio MCNP modelį. Atlikti tyrimai parodė, kad yra pastebima varžtų įtaka dozės galiai, tačiau ji nėra ženkliai ir nebūtina keisti priimtų projektinių sprendimų.

Užduotis „Radiation dose analysis in the Lithium system rooms during beam-on and beam-off“

Šios užduoties tikslas buvo atlikti dozės galios žemėlapių analizę siekiant įvertinti saugą ličio kontūro celės patalpoje. Atlikta trijų variantų analizė: 1) neutronų pluoštas yra išjungtas ir drenažo bako patalpos ekranavimui naudojamas įprastas betonas, 2) neutronų pluoštas yra išjungtas ir drenažo bako patalpos ekranavimui naudojamas sunkusis betonas, 3) neutronų pluoštas įjungtas ir litis yra vamzdyne. Tyrimų rezultatai parodė, kad sunkusis betonas ženkliai pagerina apsaugą nuo gama spinduliuotės lyginant su įprastu betonu. Kai greitintuve neutronų pluoštas buvo įjungtas ir litis tekėjo vamzdyne, gama spinduliuotės dozės galia ličio kontūro celės patalpoje padidėjo, tačiau išorinė radiacija išliko žema.

Užduotis „Beam-on and beam-off radiation dose analysis in the lithium system rooms“

Atlikta išsami ličio kontūro celės ir susijusių komponentų apšvitos analizė. Gauti dozės galios žemėlapiai parodė, kad eksploatacijos metu ličio kontūre esantys aktyvuoti korozijos produktai lemia gama dozės galią. Radiacijos ekranavimo analizė parodė, kad sunkusis betonas ženkliai sumažina dozės galią. Atliktos analizės rezultatai toliau bus naudojami ličio kontūro celės projektiniams sprendiniams optimizuoti užtikrinant įrenginio radiacinę saugą.

Darbų paketas WP24 Training and Education (WPTRED) yra skirtas užtikrinti mokslininkų rengimą branduolių sintezės tyrimų tematikoje. Įgyvendindama projekto veiklas Simona Breidokaitė parengė ir apgynė mokslų daktaro disertaciją „Neutronų pernašos modeliavimas Monte Karlo metodu ir radiologinių dydžių skaitinis vertinimas ateities branduolių sintezės reaktoriui DEMO“.

Nuo 2024 metų prie projekto įgyvendinimo prisideda doktorantas Dilmurod Tuymurodov, kuris rengia disertaciją „Neutron transport and radioactive processes analysis in particle accelerators and neutron source systems“.

Instituto doktorantai aktyviai dalyvauja mokslinėse konferencijose ir tarptautiniuose seminaruose, kuriuose ne tik pristato atliekamų tyrimų rezultatus, bet ir plečia tarptautinius ryšius, užmezga kontaktus tolimesniam bendradarbiavimui su jaunaisiais mokslininkais iš užsienio mokslo ir studijų institucijų.

Darbų paketas WP25 Programme Management Unit (WPPMU) yra skirtas užtikrinti projekto valdymą projekto partnerių organizacijose. Šis darbų paketas apima ir projekto viešinimo veiklas. Vykdamas šio darbų paketo veiklas instituto mokslininkai dalyvauja EUROfusion projekto generalinės asamblėjos posėdžiuose. 2024 m. EUROfusion generalinės asamblėjos posėdis buvo suorganizuotas Kaune.

Nuo 2025 m. instituto mokslininkas G. Stankūnas pradėjo veiklą EUROfusion moksliniame ekspertų komitete (angl. Scientific Technical Advisory Committee). Šiame Komitee dalyvauja aukščiausio lygio Europos mokslinių tyrimų centrų mokslininkai. Komiteo tikslas – užtikrinti aukščiausią projekto mokslinės produkcijos kokybę ir stebėti projekto veiklos mokslines kryptis.

Apibendrinimas

Per projekto įgyvendinimo laikotarpį kartu su bendraautoriais paskelbtos 36 publikacijos Clarivate Analytics Web of Science duomenų bazėje referuojamuose leidiniuose ir pristatyti 27 pranešimai tarptautinėse mokslinėse konferencijose. Pranešimai pristatyti didelėse tarptautinėse konferencijose, skirtose branduolių sintezės tematikai, pavyzdžiui, kas du metus organizuojamose konferencijose IAEA Fusion Energy Conference, kiekvienais metais vykstančiame renginyje Symposium on Fusion Technology ir JAV vykusioje konferencijoje The Technology of Fusion Energy. Instituto doktorantai dalyvavo tarptautinės asociacijos Fusenet, kuri vienija doktorantus ruošiančias mokslo ir studijų institucijas, renginiuose, skirtuose doktorantams.

Įgyvendintas projektas ženkliai prisidėjo prie MTEP kompetencijų stiprinimo branduolių sintezės tyrimų tematikoje ir leido užtikrinti aukštą įsitraukimą į aukščiausio lygio mokslinius tyrimus, vykdomus kartu su tarptautinio lygio mokslo ir studijų institucijomis.

Projekto „EUROFUSION“ įgyvendinimas prisidėjo prie Pažangos priemonės 12-001-01-02-01-02-01 problemų sprendimo, užtikrindamas reikiamus resursus sėkmingam EURATOM programos iš dalies finansuojamo projekto EUROfusion vykdymui. Taip pat, tai leido kartu su partneriais parengti ir pateikti paraišką EURATOM programos pratęsimui 2026–2027 metams. Ši paraiška yra pateikta ir vertinama Europos Komisijos paskirtų ekspertų.

Projekto veiklos įgyvendintos pagal PĮP. Projektas laikytinas sėkmingu, nes buvo įgyvendintos visos planuotos veiklos ir pasiekti planuoti rezultatai.

Projekto viešinimo sąlygos įgyvendintos pagal sutartyje nurodytus reikalavimus.

Projekto vadovas

Egidijus Urbonavičius



Finansuoja
Europos Sąjunga
NextGenerationEU



NAUJOS KARTOS
LIETUVA