



LIETUVOS ENERGETIKOS INSTITUTAS

10-038-T-0175

**PROJEKTO „VANDENILIO GAVYBOS TESTAVIMAS PANAUDOJANT
NUSIDĖVĖJUSIUS SUSMULKINTUS SAULĖS MODULIUS REAKCIJOS
SU VANDENIU METU“**

Veiklos ataskaita

Kaunas, 2025



Projekto įgyvendinimo laikotarpis: 2024.12.05 - 2025.11.30

Projekto tikslas:

Patikrinti MTEP idėją bei pasirengti paraiškos teikimui pagal programos „Europos horizontas“ kvietimus, vykdant tarpdisciplininį projektą.

Šiam tikslui įgyvendinti **keliami uždaviniai:**

1. Atlikti nusidėvėjusių saulės modulių smulkinimo eksperimentus parenkant optimalius rutulinio malimo parametrus.
2. Pritaikyti dujų plazmos išlydžio technologiją medžiagos paviršiui aktyvinti ir oksidų sluoksniui sumažinti.
3. Vykdyti reakcijos su vandeniu eksperimentus, matuojant susidarančio vandenilio kiekį ir įvertinant proceso efektyvumą.
4. Ištirti susidariusius šalutinius produktus cheminės, struktūrinės ir morfologinės analizės metodais.

Teorinis-metodologinis pagrindimas:

Viena iš pagrindinių Lietuvos Respublikos švietimo, mokslo ir sporto ministerijos mokslo plėtros programos pažangos priemonės Nr. 12-001-01-02-01 problemų – nepakankami gebėjimai ir paskatos rengti tarptautines aukšto lygio MTEP paraiškas. Projekto metu buvo siekiama prisidėti prie šios problemos sprendimo, tikrinant inovatyvią MTEP idėją, kuri galėtų būti pagrindas stipriai, tarpdisciplininei tarptautinei paraiškai.

Projekto idėja grindžiama viena aktualiausių atsinaujinančiosios energetikos problemų – nusidėvėjusių saulės modulių panaudojimu ir perdirbimu. Šiuo metu, pasiekus modulių eksploatacijos pabaigą, jų utilizavimas yra sudėtingas ir neefektyvus: trūksta technologijų, leidžiančių ekonomiškai bei ekologiškai tikslingai panaudoti modulių sudedamąsias dalis. Kadangi saulės modulių atliekų kiekis Europoje sparčiai auga, tvari jų perdirbimo technologija yra būtina pereinant prie žiedinės ekonomikos.

Šio projekto metu buvo tiriama inovatyvi technologinė koncepcija: nusidėvėjusių saulės modulių smulkinimas ir aktyvinimas tam, kad jie reaguodami su vandeniu generuotų vandenilį. Tokiu būdu saulės moduliai taptų ne tik atlieka, bet ir vertinga žaliava. Technologijos esmė – keli etapai:

- Rutulinis malimas,
- Dujų plazmos poveikis,
- Reakcija su vandeniu, kurios metu generuojamas vandenilis bei susidaro kietieji produktai kurie atskiriami.

Reakcijos metu buvo numatyta, jog susidarys šie šalutiniai produktai: silicio oksidas (SiO_2), aliuminio hidroksidas ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ir sidabras (Ag). Šie komponentai pasižymi skirtingomis fizikinėmis savybėmis, todėl jų atskyrimas ir išgryninimas turėtų būti techniškai paprastesni. Tokie produktai gali būti panaudojami kitose vertės grandinėse – pvz., kaip pramoninės žaliavos, taip skatinant žiedinę ekonomiką.

Siūloma technologija suderinta su ES strateginėmis kryptimis („Green Deal“, „RePowerEU“), darnaus vystymosi tikslais energetikos srityje (SDG7), taip pat nacionalinės pažangos dokumentais, skatindama kritinių žaliavų vartojimo mažinimą, tvarų išteklių naudojimą ir klimatui neutralias inovacijas. Projektas įgyvendinamas pagal pažangos priemonę „Stiprinti inovacijų ekosistemas mokslo centruose“ ir buvo finansuojamas „NextGenerationEU“ lėšomis.

Pagrindiniai rezultatai

Atlikti tyrimai parodė, kad nusidėvėjusių saulės modulių mechaninis smulkinimas ir paviršiaus

aktyvinimas yra esminiai veiksniai, leidžiantys efektyviai inicijuoti vandenilio generaciją iš silicio ir aliuminio turinčių medžiagų. Dėl sudėtingos fotovoltinių atliekų struktūros ir natūraliai susidarančių oksido sluoksnių, jų reaktyvumas su vandeniu yra ribotas, tačiau šie barjerai gali būti reikšmingai sumažinti taikant mechaninį ir plazminį apdorojimą.

Morfologiniai tyrimai parodė, kad rutulinis malimas lemia ryškius paviršiaus struktūros pokyčius: sumažėja dalelių dydis, didėja paviršiaus šiurkštumas ir poringumas, susidaro mikroskopiniai defektai. Tokia struktūra sudaro palankesnes sąlygas heterogeninėms reakcijoms, nes padidėja aktyviųjų reakcijos centrų skaičius. Struktūrinė analizė patvirtino, kad malimo metu mažėja kristalitų dydis ir didėja gardelės deformacija, kas rodo efektyvų medžiagos aktyvinimą.

Paviršiaus cheminės sudėties tyrimai parodė, kad plazmos aktyvinimas sumažina oksido sluoksnių įtaką ir padidina aktyviųjų silicio bei aliuminio paviršiaus būsenų dalį. Tai sudaro sąlygas tiesioginiam šių elementų kontaktui su vandeniu ar hidroksido jonais ir ženkliai padidina reakcijos greitį.

Vandenilio generavimo eksperimentai atskleidė aiškų priklausomumą nuo medžiagos paruošimo ir šarminio tirpalo koncentracijos. Maltų ir plazma aktyvintų bandinių reakcija vyko intensyviau nei nemaltų, o didėjant šarmo koncentracijai didėjo ir vandenilio išsiskyrimo greitis. Net ir esant vidutinėms šarminio tirpalo koncentracijoms, reakcija vyko pakankamai efektyviai. Kinetikos analizė parodė, kad reakcija pasižymi vidutine aktyvacijos energija ir gali būti lengvai intensyvinama didinant temperatūrą.

Reakcijos metu susidarę kietieji produktai atitiko numatytas chemines formas – silicio oksidą ir aliuminio hidroksidą. Susidarę stabilūs junginiai, tinkami tolimesniam atskyrimui ir galimam antriniam panaudojimui. Tai rodo, kad procesas leidžia ne tik generuoti vandenilį, bet ir gauti vertingus antrinius produktus.

Apibendrinant galima teigti, kad siūloma technologinė koncepcija yra techniškai įgyvendinama laboratorinėmis sąlygomis ir turi aiškų potencialą tolimesniam vystymui. Mechaniskai ir plazmiškai aktyvintos fotovoltinės atliekos gali būti naudojamos kaip reaktivi žaliava vandenilio gamybai esant santykinai švelnioms sąlygoms, o susidarę šalutiniai produktai sustiprina viso proceso žiedinės ekonomikos potencialą.

Tarptautinė projekto paraiška

Projekto „Pasiruošimas rengti paraišką tikrinant MTEP idėją – nusidėvėjusių susmulkintų saulės modulių reakcijos su vandeniu testavimas generuojant vandenilį“ įgyvendinimo metu buvo parengta ir pateikta tarptautinė MTEP paraiška M-ERA.NET kvietimui pagal tematiką „Tvarios medžiagos energetikai“. Pateiktos paraiškos pavadinimas – „Hydrogen Generation from Photovoltaic Waste with Integrated Recovery of Valuable Materials“. Paraiškoje dalyvavo partneriai iš Latvijos ir Danijos, suformuojant tarpdisciplininį konsorciumą.

Paraiškoje buvo siekiama kompleksiskai spręsti dvi tarpusavyje susijusias problemas: sparčiai augantį pasenusių saulės modulių atliekų kiekį ir didėjantį poreikį tvariai pagamintam žaliajam vandeniliui. Siūloma technologinė koncepcija rėmėsi žiedinės ekonomikos principais, apjungiant vandenilio generavimą iš fotovoltinės atliekos su vertingų antrinių žaliavų susigrąžinimu.

Nors paraiška buvo įvertinta palankiai, finansavimo šiame kvietime ji negavo. Konsorciumas planuoja patobulinti projekto koncepciją ir pakartotinai teikti paraišką kitų metų analogiško pobūdžio tarptautiniam kvietimui.

Išvados

1. Projekto metu buvo sėkmingai patikrinta MTEP idėja, grindžiama nusidėvėjusių saulės modulių panaudojimu vandenilio generacijai, ir įrodyta jos techninė įgyvendinimo galimybė laboratorinėmis sąlygomis.

2. Nustatyta, kad nusidėvėjusių saulės modulių mechaninis smulkinimas ir paviršiaus aktyvinimas dujų plazmoje padidina silicio ir aliuminio reaktyvumą, sumažindami oksido sluoksnių įtaką ir sudarydami palankias sąlygas reakcijai su vandeniu.
3. Vandenilio generavimo eksperimentai parodė, kad procesas yra efektyvus esant santykinai švelnioms sąlygoms, o reakcijos intensyvumas priklauso nuo medžiagos paruošimo būdo, šarminio tirpalo koncentracijos ir temperatūros.
4. Identifikuoti reakcijos šalutiniai produktai (silicio oksidas ir aliuminio hidroksidas) yra stabilūs junginiai, tinkami tolimesniam atskyrimui ir galimam antriniam panaudojimui, taip didinant viso proceso žiedinės ekonomikos potencialą.
5. Projekto rezultatai sudarė tvirtą mokslinį ir metodologinį pagrindą tarptautinės paraiškos parengimui, buvo suburtas tarpdisciplininis konsorciumas ir pateikta paraiška tarptautiniam MTEP kvietimui. Nors finansavimas nebuvo skirtas, sukaupti rezultatai leidžia toliau tobulinti koncepciją ir planuoti jos pakartotinį teikimą ateityje.

Projektas įgyvendintas pagal Sutartyje **NR. 10-038-T-0175**, 2022-2030 metų plėtros programos valdytojos Lietuvos Respublikos švietimo, mokslo ir sporto ministerijos plėtros programos pažangos priemonės Nr. 12-001-01-02-01 „Stiprinti inovacijų ekosistemas mokslo centruose“ aprašo, patvirtinto Lietuvos Respublikos švietimo, mokslo ir sporto ministro 2023 m. rugpjūčio 8 d. įsakymu Nr. V-1049 „Dėl Švietimo, mokslo ir sporto ministro 2022 m. rugpjūčio 17 d. įsakymo Nr. V-1250 „Dėl 2022-2030 m. plėtros programos valdytojos Lietuvos Respublikos švietimo, mokslo ir sporto ministerijos mokslo plėtros programos pažangos priemonės Nr. 12-001-01-02-01 „Stiprinti inovacijų ekosistemas mokslo centruose“ aprašo patvirtinimo“ pakeitimo 9 priede „2022–2030 m. plėtros programos valdytojos Lietuvos Respublikos švietimo, mokslo ir sporto ministerijos mokslo plėtros programos pažangos priemonės Nr. 12-001-01-02-01 „Stiprinti inovacijų ekosistemas mokslo centruose“ veiklos „Parama identifikuotiems startiniams MTEP projektams ir galimybių studijoms su institucijų kelrodžiais sėkmingam dalyvavimui Europos Sąjungos mokslinių tyrimų ir inovacijų programos „Europos horizontas“ kvietimuose skatinti“ projektų finansavimo sąlygų aprašas“ (toliau – Aprašas), Projektų administravimo ir finansavimo taisyklėse (toliau – Taisyklės) ir (arba) Finansinių priemonių įgyvendinimo taisyklėse, patvirtintose Lietuvos Respublikos finansų ministro 2022 m. birželio 22 d. įsakymu Nr. 1K-237 „Dėl 2021–2027 metų Europos Sąjungos fondų investicijų programos ir Ekonomikos gaivinimo ir atsparumo didinimo plano „Naujos kartos Lietuva“ įgyvendinimo“, ir juose nurodytuose ES ir Lietuvos Respublikos teisės aktuose nustatytas sąlygas ir tvarką.

Projekto viešinimo sąlygos įgyvendintos pagal sutartyje nurodytus reikalavimus.



Finansuoja
Europos Sąjunga
NextGenerationEU



NAUJOS KARTOS
LIETUVA

Finansuoja Europos Sąjunga NextGenerationEU