



TIKSLESNIS BRANDUOLINĖS ENERGETIKOS MODELIAVIMAS



2025 rugpjūtis

SANTRAUKA

Reaguojant į visuotinį klimato kaitos iššūkį, siekiant sumažinti į atmosferą išmetamųjų teršalų kiekį ir sustiprinti energetinį saugumą ir nepriklausomybę, vis daugiau valstybių nusistato ekonomikos dekarbonizacijos tikslus, o branduolinė energetika gali tapti svarbia šių tikslų dalimi. Tačiau jos indėlis priklauso nuo įvairių veiksnių, tokių kaip naujų technologijų prieinamumas, projektų įgyvendinimo rizika, ekonominis konkurencingumas ir valstybės politika.

Didžiausią įtaką branduolinės energijos pasirinkimui scenarijuose daro naujų branduolinių elektrinių kapitalo išlaidos ir CO₂ išmetimų kainos politikos pasirinkimas. Tačiau techninis ir ekonominis pagrindumas yra nepakankami be visuomenės pritarimo – į tai reikia aiškiai atsižvelgti planuojant energetikos sektoriaus plėtrą.

Modeliuojamos atominės elektrinės šiuolaikinėmis technologijomis jau gali reguliuoti savo galią aukštyn/žemyn 2 kartus per dieną. Nauji reaktoriai gali veikti 20%–100% pajėgumu. Mažieji branduoliniai reaktoriai į modeliuojamus scenarijus kol kas nėra įtraukiami dėl informacijos stokos apie jų techninius parametrus ir kainas. Siūloma modeliuojant scenarijus iki 2040 m. jų neįtraukti dėl per didelio neapibrėžtumo.

SUMMARY

In response to the global challenge of climate change and to reduce greenhouse-gas emissions and strengthen energy security and independence, more and more countries are setting economy decarbonisation targets, and nuclear energy can be an important part of these targets. However, its contribution depends on various factors such as the availability of new technologies, the risk of project implementation, economic competitiveness and public policies.

The capital costs of new nuclear power plants and the assumptions of CO₂ pricing have the greatest influence on the choice of nuclear energy in the energy modelling scenarios. However, technical and economic feasibility are not sufficient without public acceptance, and this needs to be explicitly considered when planning the development of the energy sector.

The nuclear power plants modelled are already capable of adjusting their output (ramping up/down) 2 times a day with modern technologies. New reactors can operate at 20%–100% capacity. Small modular nuclear reactors are not yet included in the simulated scenarios due to the lack of information on their technical parameters and costs. Therefore, it is suggested to exclude them in the modelling of scenarios up to 2040 due to too much uncertainty.

Branduolinės energetikos modeliavimas: pagrindiniai aspektai

Branduolinė energetika įgauna vis daugiau dėmesio dėl pasaulinių dekarbonizacijos tikslų, senstančių elektros gamybos pajėgumų ir pažangos naujų branduolinių reaktorių projektavime. Siekiant tiksliau modeliuoti branduolinės energijos vaidmenį ateities energetikos sistemose, būtina įvertinti šiuos aspektus:

Pastovios gamybos užtikrinimas: atominės elektrinės, kaip ir kitos pastovios gamybos bei mažai teršiančios elektrinės (pvz., geoterminės, biomasės, hidroelektrinės, didelio efektyvumo kogeneracinės gamtinių dujų elektrinės), prisideda prie elektros sistemos patikimumo ir atsparumo.

- Lanksti gamyba: šiuolaikiniai branduoliniai reaktoriai pasižymi gana greitu galios aukštyn ar žemyn reguliavimu ir galimybe prisitaikyti prie kintančių elektros poreikių, kas yra ypač svarbu sparčiai augant atsinaujinančių išteklių daliai.

- Teikiamų paslaugų lankstumas: branduolinė energija gali būti naudojama ne tik elektrai gaminti, bet ir šilumai, vandenilio gamybai ar vandens gėlinimui, todėl yra ypač naudinga siekiant platesnių dekarbonizacijos tikslų.

- Kintantys CAPEX ir OPEX kaštai: kapitalo išlaidų ir veiklos išlaidų pokyčiai, papildomo finansavimo galimybės, projektų įgyvendinimo terminai ir valstybės parama daro didelį poveikį naujų branduolinių objektų plėtrai bei esamų išlaikymui.

Modeliuojant branduolinės energetikos scenarijus būtina tinkamai įvertinti jos technines, ekonomines ir politines ypatybes, taip pat galimas rizikas ir investicijų poreikį projektų saugai užtikrinti.

Branduolinės energijos vaidmuo giliosios energetikos dekarbonizacijos scenarijuose

Šiuolaikiniai giliosios energetikos dekarbonizacijos modelių scenarijai rodo, kad branduolinės energijos plėtra ateityje labai priklausys nuo technologinių sąnaudų, politikos priemonių griežtumo ir kitų technologijų apribojimų.

Energetikos modelių scenarijų rezultatams daugiausia įtakos turi šios pagrindinės prielaidos: technologijų kainų ir techninių parametrų; finansavimo galimybių ir diskonto normos; pagamintos elektros kaina ir kitų kuro ir energijos išteklių kaina; veiklos išlaidų ir galimybių dalyvauti elektros rinkoje.

Svarbu pažymėti, kad realiame gyvenime politikos ir finansinių paskatų įvairovė turi labai didelę įtaką investicijoms ir ekonominiam atominės elektrinės gyvybingumui.

Pagrindinės išvados:

- Didžiausią įtaką branduolinės energijos pasirinkimui scenarijuose daro naujų branduolinių elektrinių kapitalo išlaidos ir CO₂ išmetimų kainos politikos pasirinkimas.
- Griežtos CO₂ emisijų mažinimo priemonės paprastai leidžia išlaikyti esamus branduolinius reaktorius, tačiau nauji reaktoriai statomi tik esant reikšmingoms naujų branduolinių reaktorių kainų mažėjimo tendencijoms.
- Sparčiausią branduolinės energijos plėtrą skatina scenarijai, kai kartu taikomos žemesnės technologijų kainos, griežta klimato politika ir apribojimai kitoms technologijoms (pvz., žemės naudojimo ar elektros gamybos/perdavimo apribojimai nepastovios gamybos elektrinėms – vėjo ir saulės).
- Branduolinė energija gali padaryti energetikos sistemą saugesne ir tvaresne, jei kitų mažai taršių technologijos sąnaudos išaugs, atsiras papildomų ribojimų dėl infrastruktūros plėtros ar visuomenės palaikymo stokos.
- Naujos technologijos (pvz. elektros kaupikliai, šilumos kaupimo sistemos ir vandenilio elektrolizė) gali suteikti branduolinei energijai lankstumo ir sumažinti visos sistemos kaštus apie 15%.
- Scenarijų modeliavimo praktika rodo, kad giliosios energetikos dekarbonizacijos scenarijai yra pigesni, kai branduolinė energija yra tarp kitų modeliuojamų energetikos technologijų pasirinkimo galimybių.

Apibendrinant – didžiausias branduolinės energijos vaidmuo modeliuojamuose scenarijuose prognozuojamas ten, kur vienu metu taikomos griežtos emisijų mažinimo priemonės, sumažinamos technologinės sąnaudos ir ribojamas kitų alternatyvių švarių technologijų diegimas. Tačiau šių veiksmų sutapimo tikimybė yra mažesnė nei atskirai kiekvieno jų. Ateities branduolinės energijos plėtrą galiausiai nulems tiek ekonominiai, tiek politiniai sprendimai, taip pat technologinė pažanga ir visuomenės požiūris į branduolinę energetiką.

Branduolinės energijos vaidmuo ilgalaikėje dekarbonizacijoje

Branduolinė energija gali atlikti svarbų vaidmenį siekiant giliosios energetikos sektoriaus dekarbonizacijos, ypač, kartu su atsinaujinančiais energijos ištekliais ir pažangiomis energijos kaupimo technologijomis. Modeliuojant įvairius scenarijus, išryškėjo, kad esamos branduolinės elektrinės modeliuose dažniausiai yra išlaikomos (modeliai, parinkdami galimas elektros gamybos technologijas, jų neatsisako per anksti), o naujų statyba priklauso nuo politikos ir technologinės pažangos – ypač reikšmingi kapitalo išlaidų ir politinės aplinkos pokyčiai. Didžiausias branduolinės energijos potencialas atsiskleidžia tuomet, kai taikomi griežti emisijų apribojimai, sumažėja naujų reaktorių sąnaudos, o kitų technologijų plėtra susiduria su ribojimais (pvz., žemės naudojimo ar infrastruktūros apribojimais).

Branduolinė energija laikoma patikimu, nuolat prieinamu (pastoviu) energijos šaltiniu, pasižyminčiu aukštu išnaudojimo koeficientu, kuris gali užtikrinti elektros tiekimo stabilumą ir užpildyti trūkį, kai to padaryti nepajėgia atsinaujinantys energijos ištekliai, tokie kaip vėjo ar saulės elektrinės. Tyrimai rodo, kad kuo griežtesnės emisijų mažinimo priemonės ir kuo labiau ribojamas iškastinis kuras ar dujos, tuo yra didesnė branduolinės energijos dalis bendrame energijos derinyje.

Statant naujas branduolines elektrines, labai svarbūs yra ekonominiai veiksniai, ypač diskonto norma ir kapitalo išlaidos, kurios lemia investicijų patrauklumą. Nors ir lieka daug neapibrėžtumo dėl įvairių energijos technologijų potencialo, tyrimai sutaria, kad įtraukus branduolinę energiją į giliosios energetikos dekarbonizacijos strategijas, galima pasiekti mažesnes bendras sąnaudas ir didesnę sistemos patikimumą.

Modelių pasirinkimo įtaka branduolinės energetikos diegimui

Sudėtingesni energetikos sektoriaus modeliai, ypač su didesne laiko raiška (ne valandiniais, o 15 minučių laiko pjūviais), lemia tikslesnes investicijų prognozes ir dažnai parodo didesnę branduolinės energetikos svarbą giliajai energetikos dekarbonizacijai.

Supaprastinti modeliai, kurie neatsižvelgia į detalius laiko režius ar energetikos sistemos topologijos variacijas, paprastai nuvertina branduolinės ir kitų lanksčių technologijų vertę. Be to, tradicinių lyginamųjų sąnaudų rodiklių neužtenka objektyviai įvertinti skirtingų technologijų konkurencingumą, todėl reikalingi išsamūs sisteminiai modeliai. Taip pat, technologinės pažangos pokyčiai, modeliuojami skirtingais būdais, stipriai paveikia branduolinės energijos diegimo prognozes. Kiekvieno energetikos sistemos modelio detalumo lygis turėtų būti taikomas pagal analizuojamos situacijos tikslus ir laikotarpį.

Branduolinės energijos modeliavimo iššūkiai ir poreikiai giliosios energetikos dekarbonizacijos kontekste

Pagrindiniai iššūkiai ir poreikiai, susiję su branduolinės energetikos ir kitų technologijų modeliavimo tobulinimu, siekiant efektyvios elektros sektoriaus dekarbonizacijos.

- Duomenų trūkumas: siekiant tiksliau modeliuoti branduolinės energijos plėtrą, būtina turėti patikimų duomenų apie esamų ir naujų branduolinių jėgainių sąnaudas bei veikimo parametrus. Branduolinės energetikos ateities analizė ir vertinimas modeliuose reikalauja didesnio duomenų tikslumo bei tobulesnių modelių sprendžiant giliosios energetikos dekarbonizacijos klausimus. Svarbu turėti viešai prieinamus duomenis apie esamų ir naujų branduolinių technologijų sąnaudas, nes šios prielaidos reikšmingai veikia modeliavimų rezultatus. Šiuo metu trūksta išsamių, įvairias technologijas apimančių duomenų bazės, ypač pažangioms branduolinėms technologijoms. Tokia bazė leistų tiksliau modeliuoti skirtingų reaktorių projektų sąnaudas ir efektyvumą.

- Jautrumo analizės svarba: atsižvelgiant į didelį neapibrėžtumo lygį dėl ateities politikos, technologijų pažangos ir visuomenės reakcijos, modeliuojamuose scenarijuose būtina atlikti plačią jautrumo analizę. Tokia analizė turėtų apimti aiškų neapibrėžtumo įtraukimą taikant stochastinį arba neapibrėžtumams atsparų optimizavimą, o ne tik vertinant jautrumą skirtingiems įvestiems parametrams, nes sprendimas parinkti modelyje branduolines ir kitas technologijas, deterministinėje sistemoje gali būti nepakankamai įvertintas. Tai leistų tiksliau įvertinti, kaip skirtingi scenarijai gali paveikti branduolinės energetikos plėtrą ir vaidmenį.

- Kompleksinių hibridinių sistemų modeliavimas: siekiant nulinių emisijų energetikos srityje, svarbu modeliuoti sudėtingas hibridines sistemas, kuriose branduolinė energija derinama su kitomis technologijomis (pvz., elektrolaizeriais, saulės/baterijų sistemomis, didesne integracija su pramonės ir šilumos sektoriais). Branduolinės technologijos ypač tinkamos tokiose daugiafunkcėse sistemose, tačiau jų modeliavimas sudėtingas dėl technologijų įvairovės ir veiklos dinamikos.

- Modelių detalumo ir endogeniškumo lygio pasirinkimas: renkantis modelio detalumo laipsnį (ypač laiko raišką), būtina atsižvelgti į analizės tikslus ir energetikos sistemos topologiją ir specifiką. Laiko raiška ypač svarbi vertinant branduolinės ir kitų „pastovių“ technologijų įtaką dekarbonizacijai. Gilioji energetikos dekarbonizacija reikalauja didinti laiko rezoliuciją modeliuose, nes tai stipriai lemia investicinius sprendimus branduolinės energetikos srityje. Tuo tarpu trumpojo periodo analizėms gali būti svarbiau detaliau modeliuoti esamus įrenginius ir sistemos topologiją. Modeliuojant būtina pasirinkti tinkamą detalumo lygį – svarbus tiek laiko, tiek topologijos (erdvinės energetikos sistemos skiriamosios gebos – kaip įvairūs energijos gamybos, vartojimo, perdavimo ir skirstymo elementai fiziškai sujungti tarpusavyje) subalansavimas, priklausomai nuo analizės tikslų. Rekomenduojama modeliuose naudoti atskirus modulius, leidžiančius išbandyti skirtingus detalumo lygius.

- Rinkos paskatų atspindėjimas: svarbu atsižvelgti ir į realias rinkos paskatas, kurios dažnai yra sudėtingesnės nei optimizavimo modeliai – čia pasitelkiami agentų pagrindu veikiančys modeliai, leidžiantys įvertinti skirtingų įmonių sprendimus, rizikos toleranciją, kapitalo kainą ir rinkos sąlygas. Tai ypač aktualu branduolinei energetikai, kadangi kapitalo išlaidos ir teisingas gebėjimų vertinimas yra lemiami šiai technologijai.

Apibendrinant, norint tiksliau įvertinti branduolinės energetikos vaidmenį pereinant prie nulinių emisijų energetikos, būtina nuolat tobulinti modelius, gilinti ir plėsti duomenų bazines, atsižvelgti į neapibrėžtumus, technologinę įvairovę, sistemine integraciją ir realių rinkos sąlygų poveikį.

Rekomendacijos

- Modeliuojamos energetikos sistemos ir scenarijai turi atspindėti realią situaciją pakankamu detalumu, kad jų rezultatais remiantis galima būtų priimti pagrįstus sprendimus;
- Svarbu susiderinti pagrindines makroekonominės prielaidas – energijos poreikį, gyventojų skaičiaus augimą, BVP pokyčius, CO₂ išmetimų mažinimo ir kitus energetikos tikslus;
- Energetikos sistemų modeliavimas yra nuolatinis – situacija tiek energetikos sektoriuje, tiek politiniame kontekste keičiasi greitai, todėl reikia nuolat ugdyti ir išlaikyti kompetencijas;
- Modeliuojant branduolinę energetiką būtina atsižvelgti į šios technologijos galimybes lanksčiai reaguoti į elektros poreikį ir augančius atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo tempus;
- Modeliuojamos atominės elektrinės šiuolaikinėmis technologijomis jau gali reguliuoti savo galią aukštyn/žemyn 2 kartus per dieną. Nauji reaktoriai gali veikti 20%–100% pajėgumu;
- Mažieji branduoliniai reaktoriai į modeliuojamus scenarijus nėra įtraukiami dėl informacijos stokos apie jų techninius parametrus ir kainas. Siūloma modeliuojant scenarijus iki 2040 m. jų neįtraukti dėl per didelio neapibrėžtumo;
- Modeliuojant atominės elektrinės būtina atsižvelgti į tai, ar jos bus naudojamos tik elektrai gaminti, ar ir kitiems produktams (pvz. šiluma, vandenilis) bei paslaugoms teikti. Tai gali daryti reikšmingą poveikį ekonominiam efektyvumui.

Naudoti šaltiniai

Pixabay.com nuotrauka

Lietuvos energetikos agentūros informacija