

TARPTAUTINĖS ENERGETIKOS AGENTŪROS PASAULINĖ VANDENILIO APŽVALGA 2025

Lietuvos energetikos agentūra

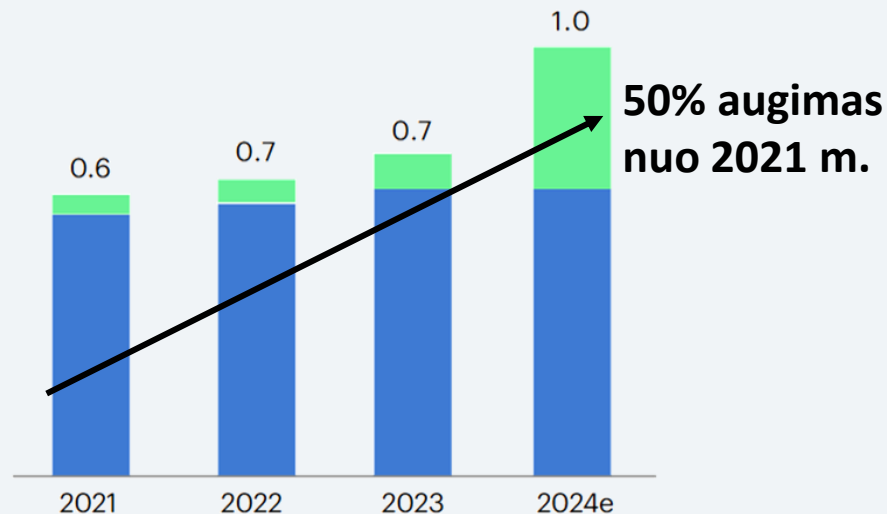
2025-12-17



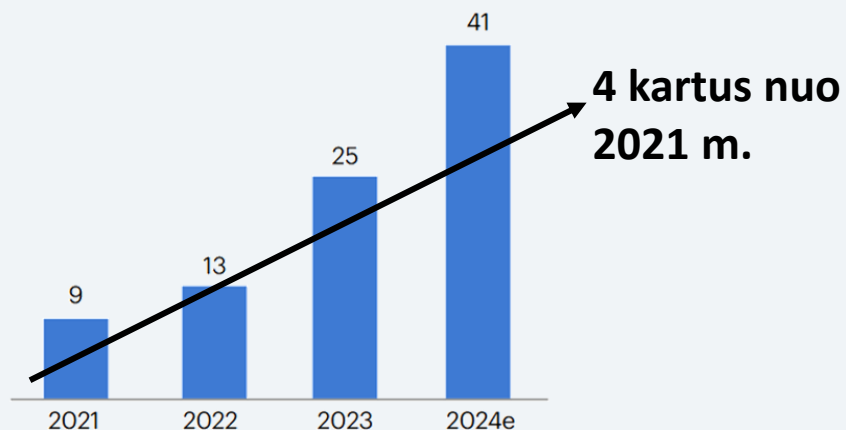
ELEKTROLIZĖS PAJĖGUMAI IŠAUGO 4 KARTUS

● Renewables ● Fossil fuels with CCUS

Žemų emisijų vandenilis (Mt/m.)

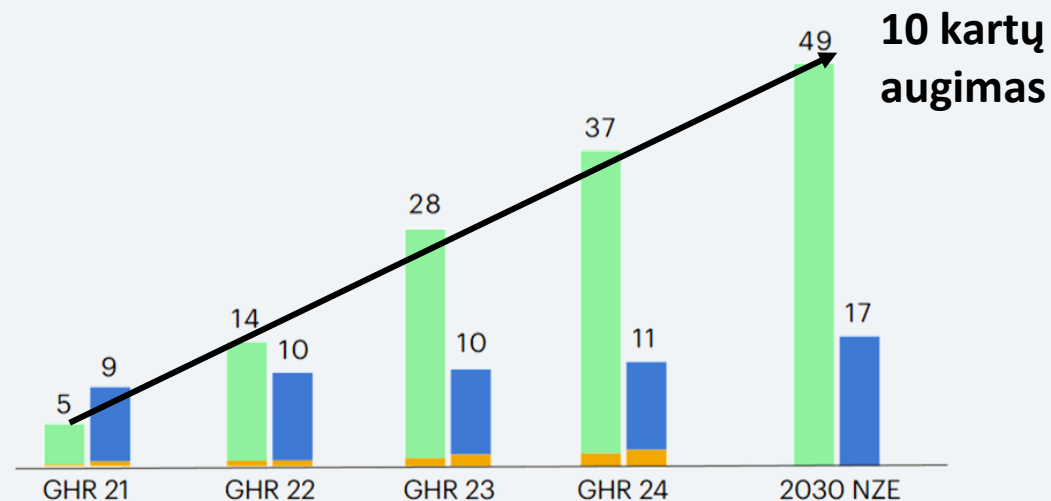


Elektrolizės gamybos pajėgumai (GW/m.)



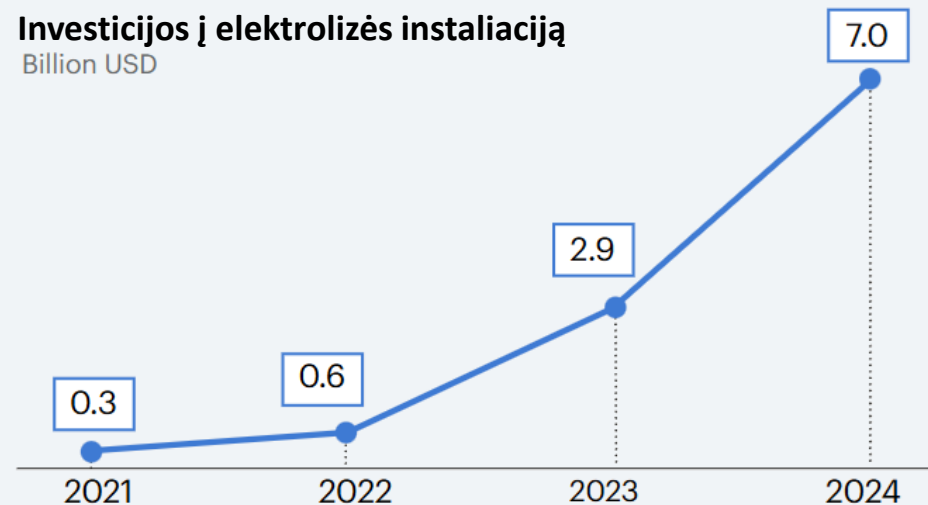
Planuojamos žaliojo vandenilio gamybos apimtys pagal paskelbtus projektus iki 2030 (Mt/m.)

● Renewables ● Fossil fuels with CCUS ● FID

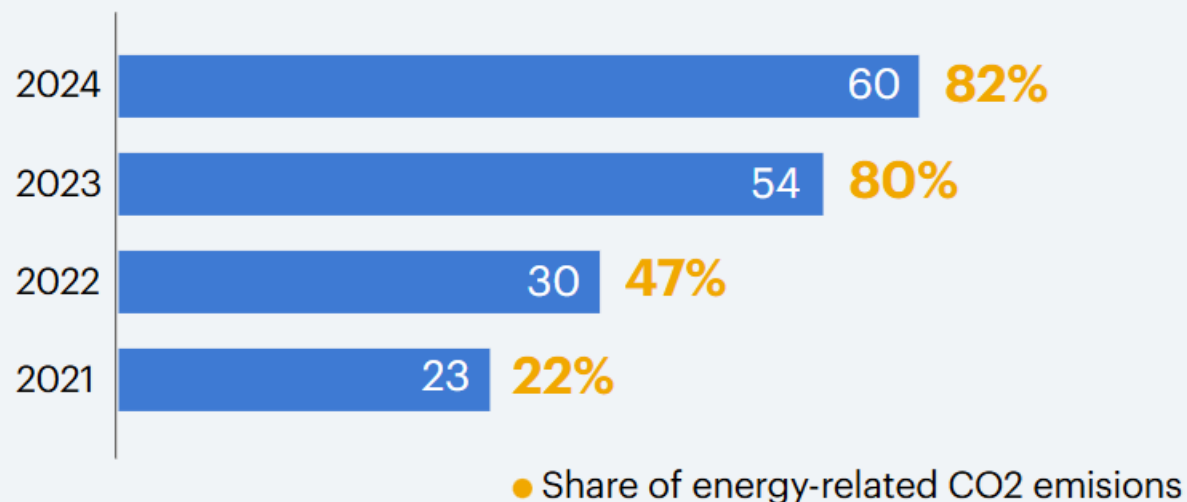


Investicijos į elektrolizės instaliaciją

Billion USD

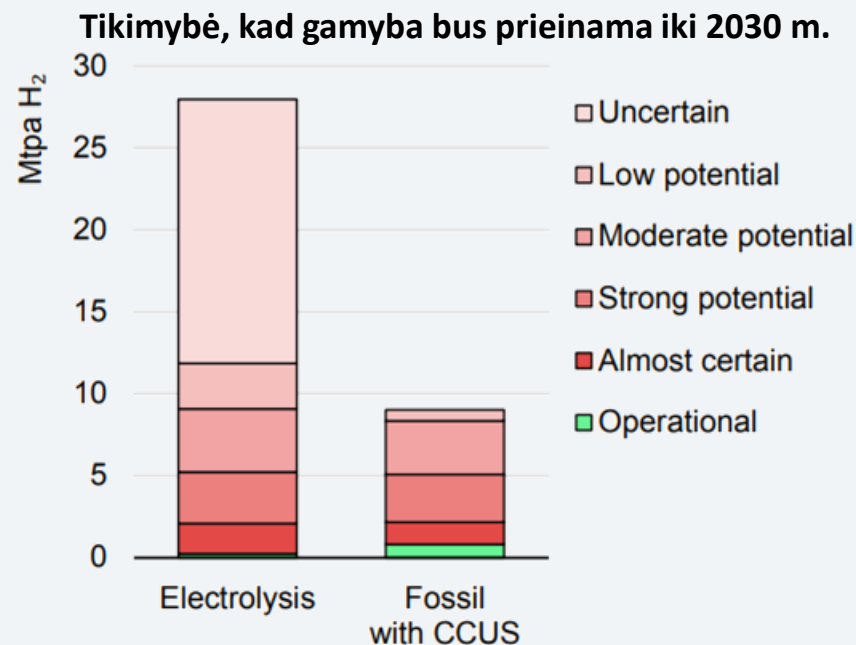
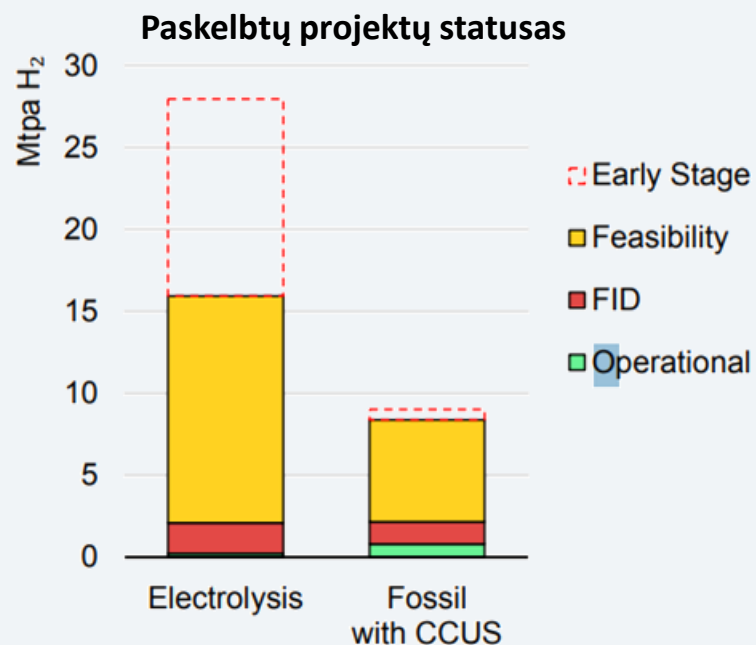


VANDENILIO STRATEGIJOS SIEJAMOS SU KLIMATO TIKSLAIS



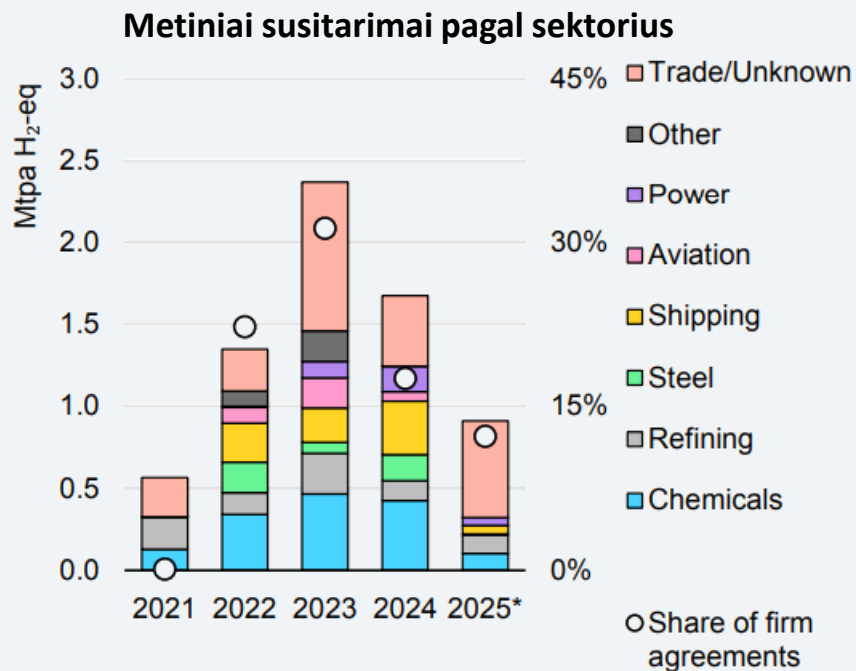
- **Politinių iniciatyvų augimas:** 2021 m. egzistavo vos 23 nacionalinės ar regioninės H₂ strategijos, o 2024 m. jų skaičius išaugo iki 60 – beveik trigubai.
- **Politinės kryptys tampa vis labiau integruotos į energetikos dekarbonizaciją:** 2021 m. tik apie 22 % strategijų siejo vandenilį su energijos sektoriaus CO₂ mažinimu, o 2024 m. jau 82 % yra tiesiogiai nukreiptos į klimato neutralumą.
- **Politikos augimas neatitinka rinkos tempo:** nors politinių strategijų daugėja, realių pirkimo sutarčių (offtake agreements) ir projekto įgyvendinimų mažėja (2024 m. tik 1,7 Mt/m. naujų sutarčių, palyginti su 2,4 Mt/m. 2023 m.).
- **Tai rodo atotrūkį tarp politikos formavimo ir rinkos įgyvendinimo.**

TIK APIE TREČDALIS ELEKTROLIZĖS PROJEKTŲ TURI POTENCIALĄ REMIANTIS KETINIMŲ PROJEKTAIS

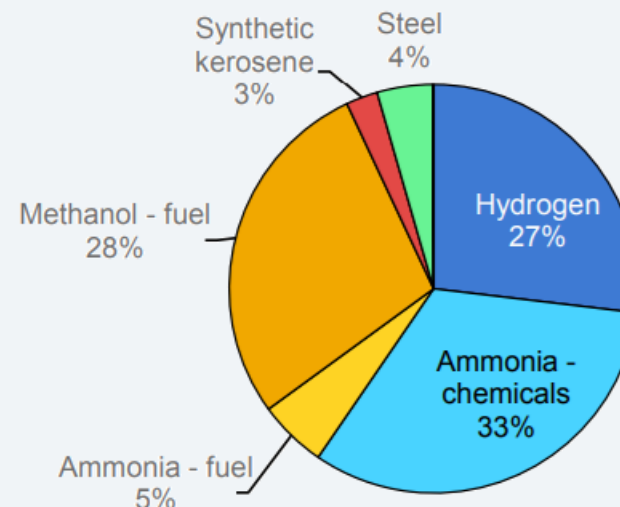


- Dauguma planuojamų elektrolizės projektų vis dar yra ankstyvoje arba galimybių vertinimo stadijoje, mažiau nei 20 % jų pasiekė investicinį sprendimą (FID) ar jau veikia.
- Projektų įgyvendinimo tikimybė iki 2030 m. išlieka ribota: tik apie trečdalis elektrolizės projektų ir dar mažesnė dalis iškastinio kuro su CCUS turi garantuotą arba beveik tikrą įgyvendinimo potencialą.
- Didžioji dalis suplanuotos gamybos (ypač elektrolizės) priskiriama kategorijoms „neaišku“ arba „mažas potencialas“, todėl be papildomų finansinių ir politinių paskatų 2030 m. tikslai gali būti nepasiekti laiku.

PASIRAŠYTŲ TIEKIMO SUTARČIŲ SKAIČIUS MAŽĖJA 2020-2025 M.



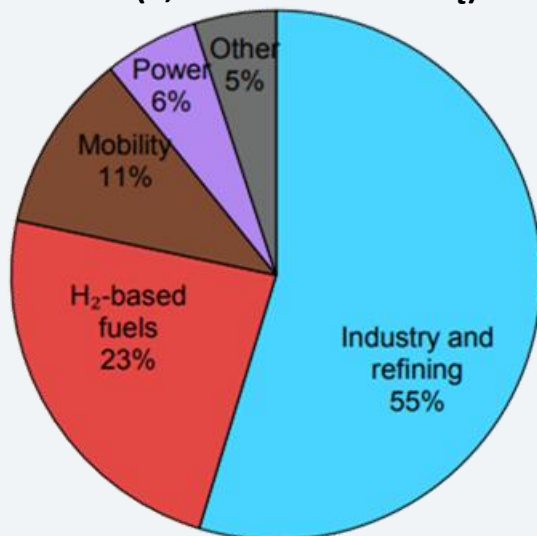
**Kaupiamieji galutinio produkto susitarimai
(2021–2025 m.)**



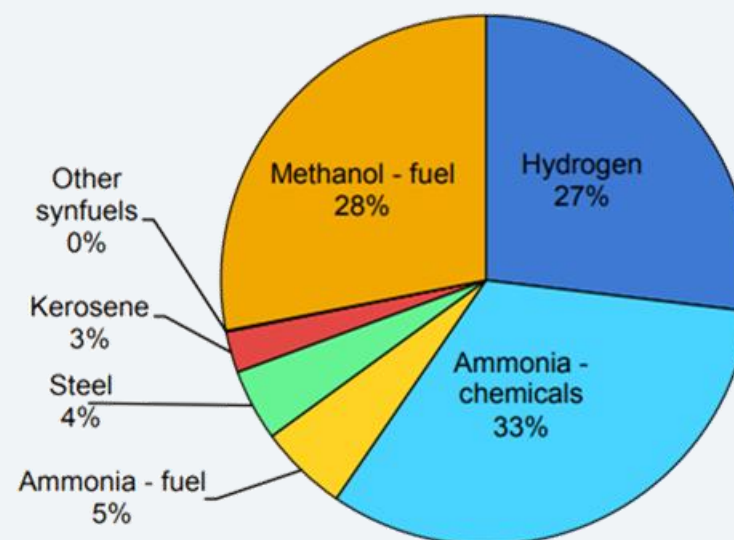
- Po trejų metų augimo, pasirašytų sutarčių kiekis sumažėjo nuo 2.4 iki 1.7 Mt/m. 2024 m. tik apie 20% susitarimų buvo galutinai patvirtinti (*firm*), 2023 m. jų buvo 30%, o kai kurios ankstesnės preliminaros sutartys netgi buvo atšauktos dėl projektų vėlavimų ar pasikeitusių prioritetų.
- 2024 m. daugiausia galutinai patvirtintų sutarčių susijusios su amoniako (33%) ir metanolio (28%) gamyba, o tiesioginis vandenilio vartojimas sudaro tik ketvirtadalį. Nauji sektoriai (plienas, laivyba, aviacija, energetika) pradeda augti, tačiau jų dalis tebėra maža — apie 0.7 Mt/m.
- Europa išlieka aktyviausias „offtake“ centras (apie 50 % visų susitarimų), o Japonija – pagrindinė vartotoja energijos sektoriuje. Dauguma kitų regionų (Lotynų Amerika, Indija, Vidurio Rytai, Afrika, Kinija) veikia kaip žaliavos tiekėjai, bet ne galutiniai vartotojai, todėl globali paklausa dar nėra tvirti.

INVESTICIJOS KONCENTRUOJASI Į PRAMONĘ IR NAFTOS PERDIRBIMĄ

Metinės investicijos į mažai emisijų vandenilio gamybą pagal numatytą panaudojimą, 2024 m. (7,9 mlrd. JAV dolerių)



Kumulaciniai patvirtinti mažai emisijų vandenilio tiekimo (offtake) susitarimai pagal galutinį produktą, 2021–2025 m. (1,6 mln. tonų)

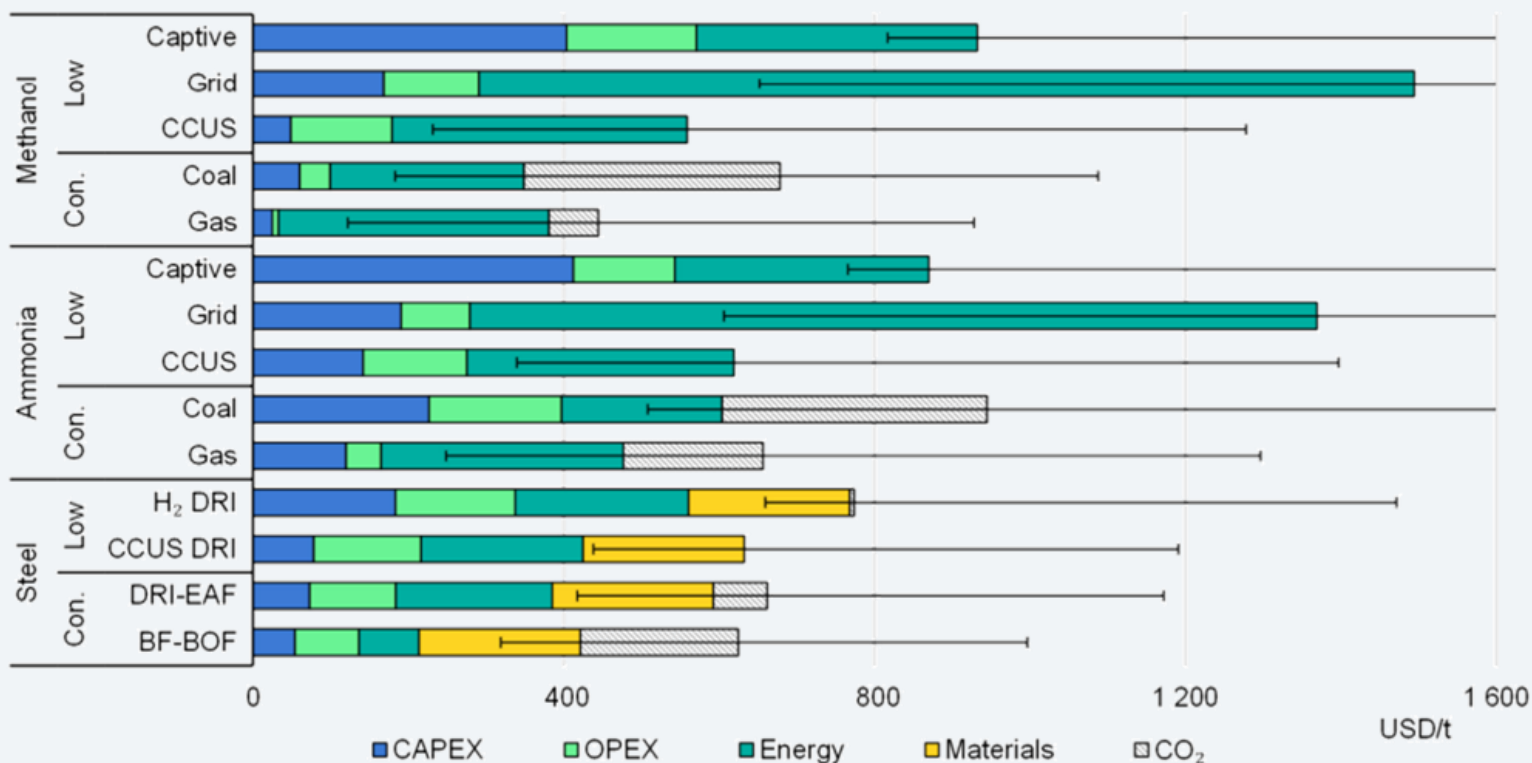


IEA. CC BY 4.0.

- Daugiau nei pusė visų investicijų (55%) 2024 m. skiriama pramonės ir naftos perdirbimo sektoriui, kuris išlieka pagrindiniu mažai emisijų turinčio vandenilio vartotoju.
- Degalų gamyba – antras svarbiausias prioritetas: 23% investicijų nukreipta į vandenilio pagrindu gaminamus degalus, o tarp konkrečių produktų dominuoja metanolis (28%) ir amoniakas (33%).
- Rinkos struktūra kol kas koncentruota į tradicinius sektorius: dauguma patvirtintų tiekimo sutarčių susijusios su esamais H₂ vartotojais – chemijos, trąšų ir degalų gamyba. Nauji sektoriai, tokie kaip plienas (4%), aviacija (3%) ar sintetiniai degalai (0%), dar tik pradinėje stadijoje.

TVARIŲ TECHNOLOGIJŲ KAPITALO SĄNAUDOS IKI 200% BRANGESNĖS

2024 m. mažų emisijų technologijos išlieka 50–200 % brangesnės už tradicines, tačiau jų konkurencingumą lemia ne tik CAPEX, bet ir energijos kainų bei CO₂ mokesčių politika.

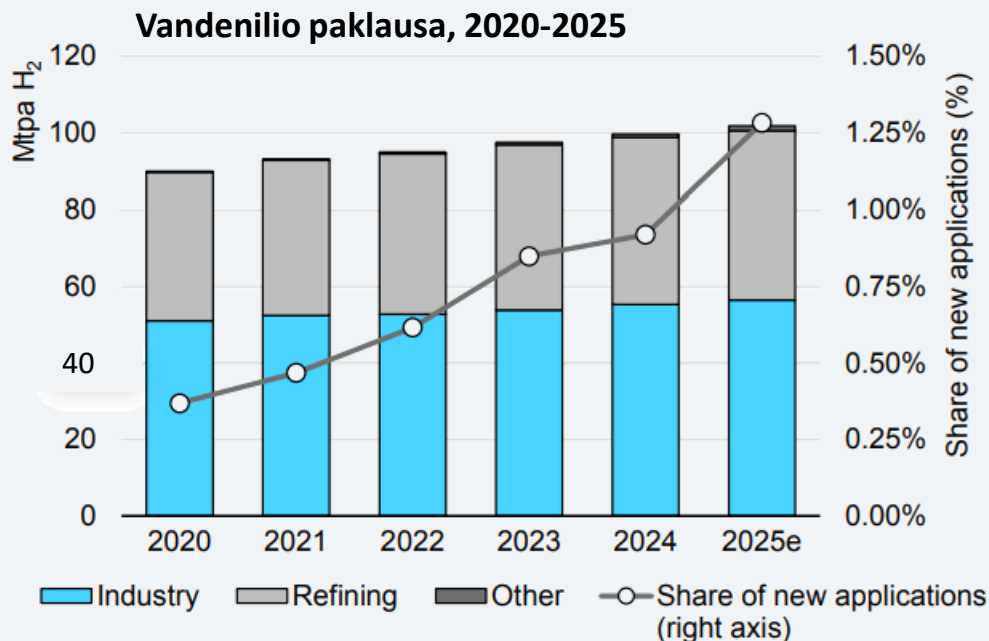


1. Pagrindiniai sąnaudų veiksniai: įrenginių investicijos, energijos kaina ir kapitalo kaina.
2. Tvarių technologijų CAPEX yra 40–140 % didesnis, tačiau energijos kaina (ypač elektros) dažnai turi didesnę įtaką galutinei gamybos kainai nei CAPEX – pigios energijos regionai turi aiškų pranašumą.
3. Metanolio gamybai reikia tiek žaliojo H₂, tiek CO₂ šaltinio. Dėl to elektrolizės metanolio gamybos kaina yra didesnė nei amoniako ar plieno.
4. Amoniako pagrindinis sąnaudų veiksnys – energija H₂ gamybai. Mažai emisijų išskirianti gamyba šiuo metu 25–220 % brangesnė už tradicinę gamybą iš gamtinių dujų.
5. Plieno gamyba naudojant vandenilį šiuo metu maždaug 50–140 % brangesnė nei tradiciniai gamybos metodai.
6. Energijos kaina – kritinis veiksnys. Elektros kaina labai skiriasi: 240 USD/MWh Vakarų Europoje ir 80 USD/MWh JAV. Dėl to regioniniai elektrolizės projektų kaštai skiriasi trigubai.

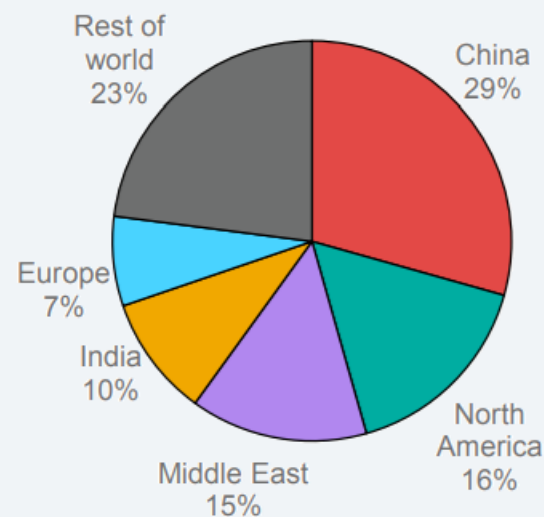
VANDENILIO PAKLAUSA

PASAULINĖ VANDENILIO PAKLAUSA AUGA

TVARUS VANDENILIS VIS DAR SUDARO MENKĄ DALĮ

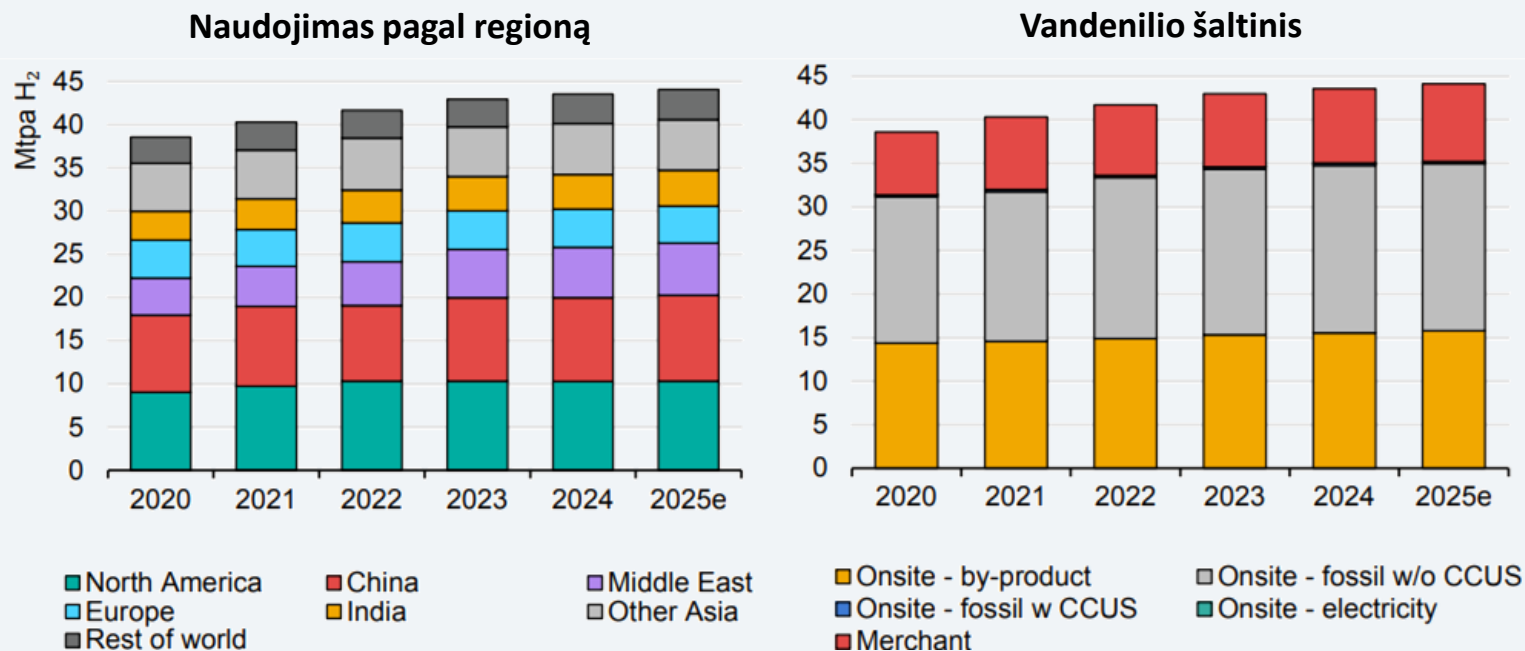


Vandenilio paklausa pagal regionus



- **2024 m. pasaulinė vandenilio paklausa pasiekė beveik 100 mln. tonų**, daugiau kaip 99% jos vis dar tenka naftos perdirbimo, chemijos (amoniako, metanolio) ir plieno gamybos sektoriams. Naujos taikymo sritys (transportas, energetika) tebėra mažiau nei 1% visos paklausos.
- **Kinija suvartoja apie 29% pasaulinio vandenilio** – beveik dvigubai daugiau nei Š. Amerika (16%). 2024 m. Vidurio Rytai ir Indija rodo sparčiausią augimą (atitinkamai +6 % ir +4 %), daugiausia dėl išaugusio vandenilio naudojimo naftos perdirbime ir chemijos pramonėje.
- Nors H₂ vartojimas 2024 m. padidėjo ~10 %, **žaliasis ir mėlynasis vandenilis sudaro mažiau nei 1 % visos rinkos**. Kainų skirtumas tarp tvaraus ir iškastinio H₂ bei ribotas galutinių technologijų prieinamumas stabdo platesnį perėjimą prie tvarių sprendimų.

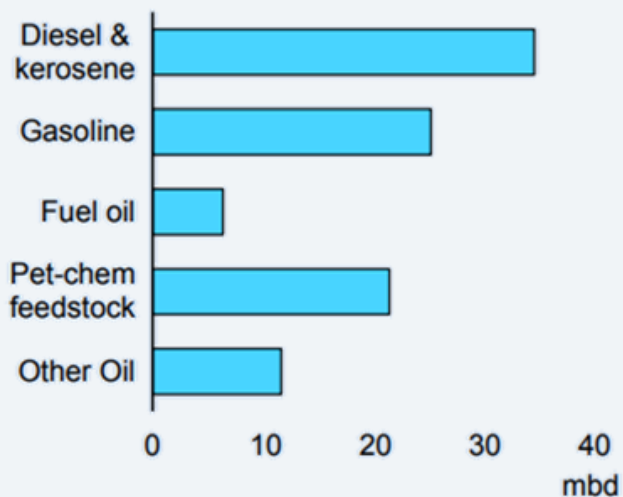
VANDENILIO PAKLAUSA NAFTOS PERDIRBIME STABILIAI AUGA



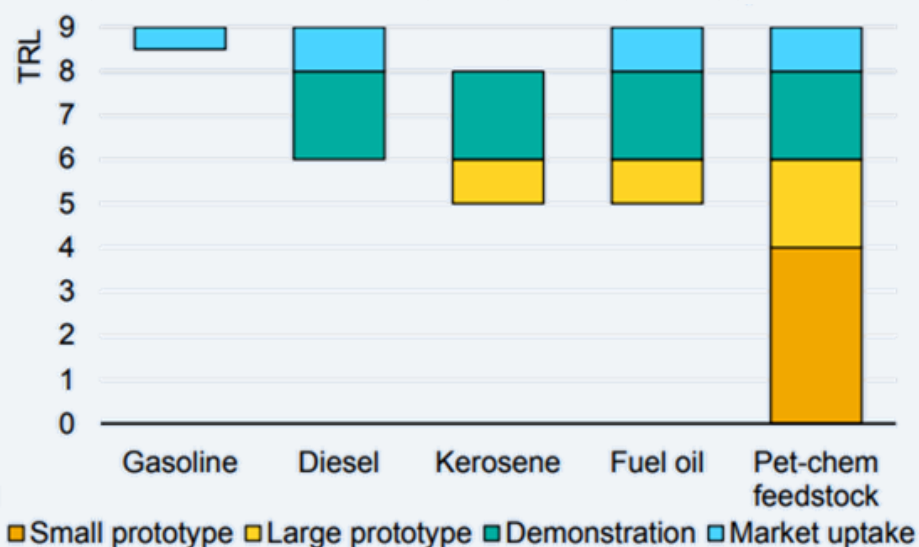
- 2024 m. naftos perdirbimo sektorius sunaudojo >43 Mt H₂, **tai antras pagal dydį vartotojas po pramonės**. Paklausa toliau auga, bet augimo tempas lėtėja – vos +0,5 Mt per metus. ~80% vandenilio vis dar gaminama iš iškastinio kuro (45% „onsite“ be CCUS + 35% kaip šalutinis produktas).
- Tvarus vandenilis – tik simbolinė dalis**: 2024 m. naudota vos 250 kt tvaraus H₂, iš kurių >90 % – gamyba su CCUS (Kanadoje, JAV). Elektrolizės būdu pagamintas vandenilis sudaro nežymią dalį, naudojamas tik keliuose pilotiniuose projektuose.
- Rinkos regioninė dinamika**: Kinija, Indija ir Artimieji Rytai plečia perdirbimo pajėgumus (dėl žemų energijos ir reguliacinių kaštų). Europa priešingai – mažina pajėgumus dėl aukštų energijos kainų ir griežtos aplinkosaugos politikos.

MAŽAI EMISIJŲ TURINTIS KURAS ARTĖJA PRIE KOMERCINIŲ PRODUKTŲ

Perdirbtų (naftos) produktų paklausa



Mažai emisijų turinčių alternatyvų perdirbtiems produktams technologinio pasirengimo lygis (TRL)

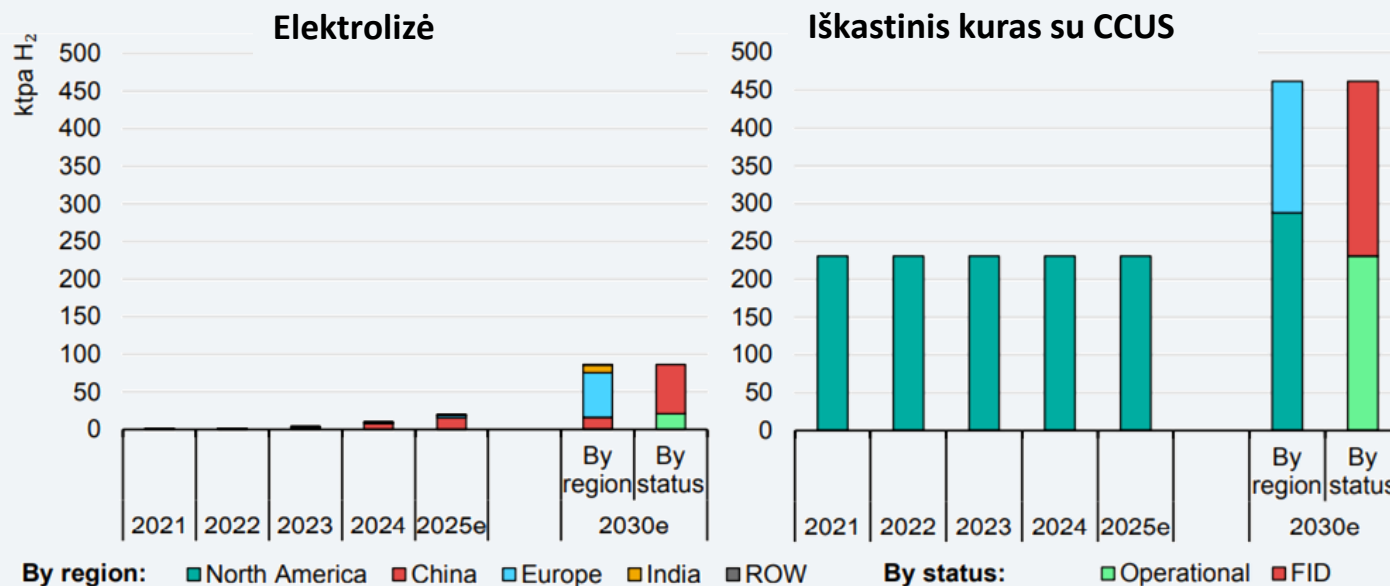


Transporto sektorius (benzinas, dyzelinas) yra labiausiai priartėjęs prie komercinio įsisavinimo, o sunkiai dekarbonizuojami sektoriai, tokie kaip aviacija ir pramonė, vis dar išlieka technologinės plėtros etape.

- Dyzelinas ir žibalas (aviacinis kuras) sudaro didžiausią paklausos dalį (~35 mbd). Benzinas – antras pagal svarbą (~25 mbd).
- TRL* skalė (1–9) parodo, kiek toli pažengusios alternatyvios mažai emisijos technologijos: TRL 8–9 komerciškai parengtos – matome tik pavienius atvejus (pvz., benzinas ir dyzelinas turi pažengusias alternatyvas). TRL 6–8 demonstraciniai ar bandomieji projektai – būdingi kerosenui ir kuro alyvai. TRL <6 ankstyvos stadijos technologijos – ypač petrochemijos žaliavų sektoriuje, kuriame vis dar dominuoja eksperimentiniai sprendimai.

*Technology readiness level

NAFTOS PERDIRBIMO GAMYKLOS TAPS ŽALIOJO KURO GAMYBOS CENTRAIS

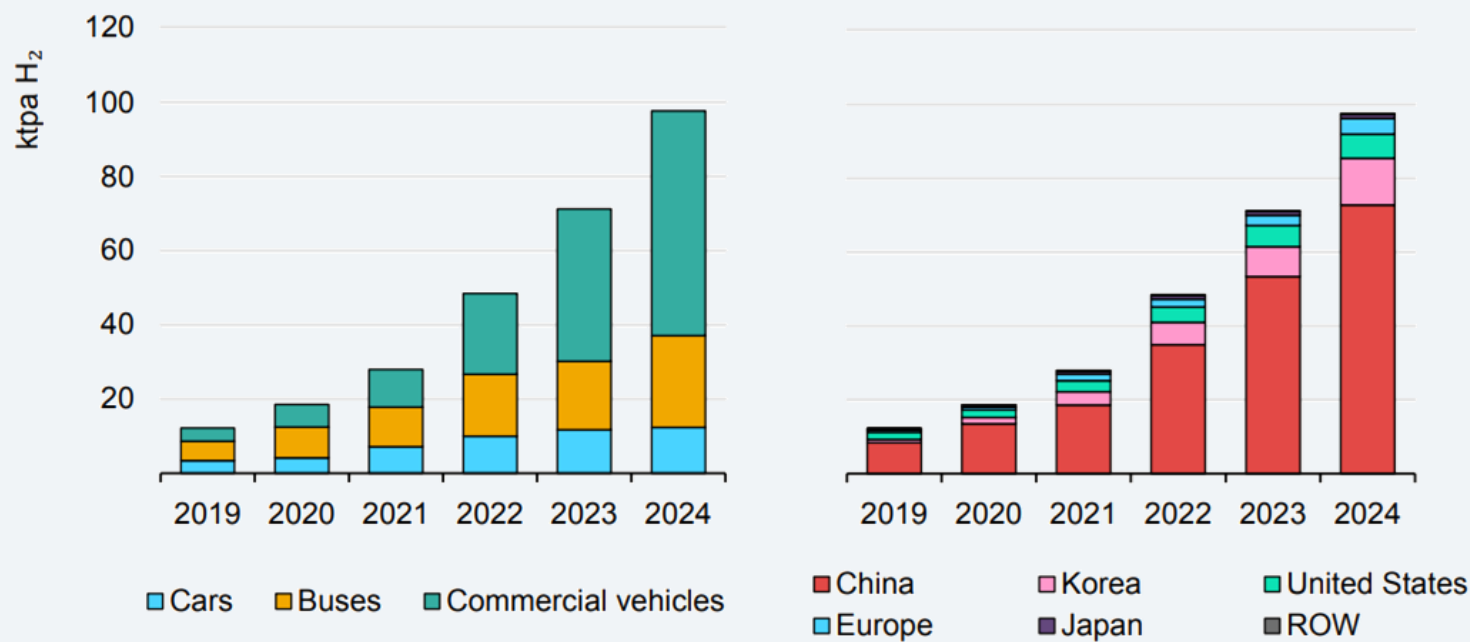


Vietoje gaminamo mažai anglies dioksido išskiriančio vandenilio kiekis naftos perdirbimui pagal technologiją ir regioną pagal paskelbtus projektus, 2021–2030 m.

- Jei bus įgyvendinti visi jau finansinius sprendimus pasiekę projektai, iki 2030 m. daugiau nei 0,5 Mt tvaraus H₂ bus naudojama naftos perdirbimo sektoriuje (+15 % nuo ankstesnių prognozių). Daugiausia projektų – Europoje, dalis – Indijoje ir Kanadoje. Pagrindinė technologija – iškastinis kuras su CCUS, o elektrolizės pagrindu pagaminto H₂ dalis išaugs iki ~15 % visos mažai emisijų turinčios gamybos.
- Numatoma transformacija sektoriaus struktūroje: Paklausa degalams (dyzelinui, benzinui) mažės po 2027 m., tačiau naftos cheminėms žaliavoms – augs. Ateities rafinavimo centrai bus integruoti su naftos chemijos gamyklomis, ypač Azijoje ir Artimuosiuose Rytuose.
- Naftos perdirbimo gamyklos taps žaliojo kuro gamybos centrais – gamins biokurą, vandenilio ir sintetinius degalus, išnaudodami esamą infrastruktūrą. Vyriausybės (pvz., Australija) jau remia perėjimą prie mažai sieros turinčių degalų gamybos, mainais už įsipareigojimus didinti žaliojo vandenilio naudojimą.
- **Potencialas Europoje:** Europoje vyksta „merchant“ komercinio vandenilio tiekimo plėtra – TotalEnergies jau sudarė >200 kt per metus sutarčių

VANDENILIO PAKLAUSA KELIŲ TRANSPORTE PADIDĖJO BEVEIK 40%

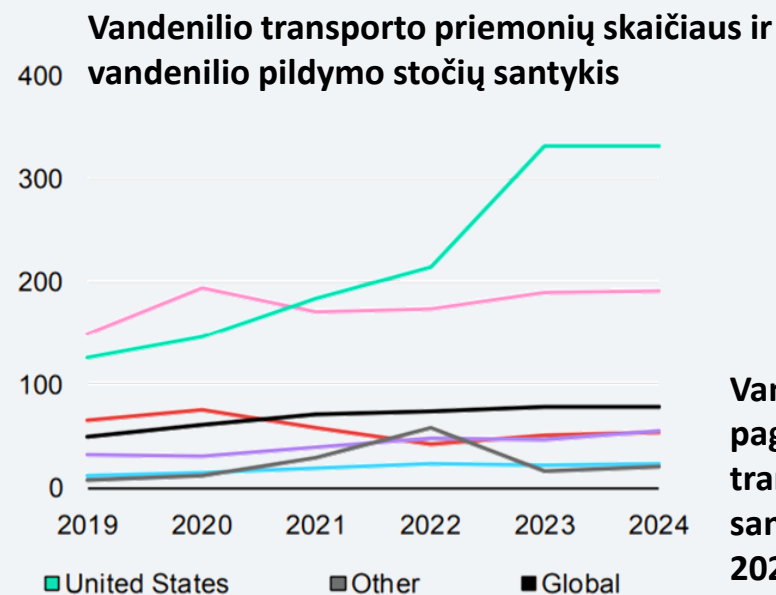
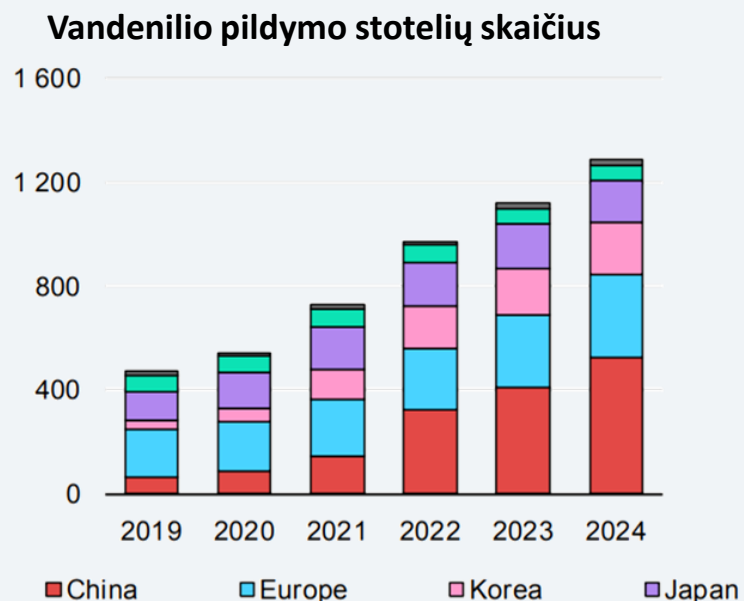
Didžioji dalis šio augimo tenka Kinijai



- **2024 m. vandenilio paklausa kelių transporte padidėjo beveik 40% ir siekė apie 100 tūkst. t H₂**, tačiau tai tebėra tik 0,1% visos pasaulinės vandenilio paklausos. Pagrindinis augimo veiksnys – sunkiasvorių vandeniliu varomų transporto priemonių (ypač vilkikų) plėtra.
- **Sunkvežimiai sudaro vos 15% pasaulinio vandenilio transporto parko, bet sunaudoja beveik 2/3 viso vandenilio kelių transporte.** Autobusai sudaro 25% paklausos, o lengvieji automobiliai – tik apie 10%.
- **2024 m. Kinija sudarė 75% visos kelių transporto H₂ paklausos.** Pietų Korėja – 15%, JAV ir Europa – apie 5% (bet augimas >50%).
- **Politikos įtaka ir perspektyvos:** Kinijos 2020–2025 m. pilotinės programos suteikė 710 mln. USD subsidijų miestams ir operatoriams. Tikslas yra 1 mln. Vandenilio transporto priemonių iki 2035 m. (dabartinis mažiau 100 000). Korėja skatina autobusų konversiją, siūlydama 3,7 USD/kg H₂ subsidiją, siekdama 10 kartų padidinti vandenilio autobusų parką iki 2030 m.

VANDENILIO PILDYMO STOTELIŲ SKAIČIUS AUGA

Kinija ir Europa išlaiko plėtros tempą

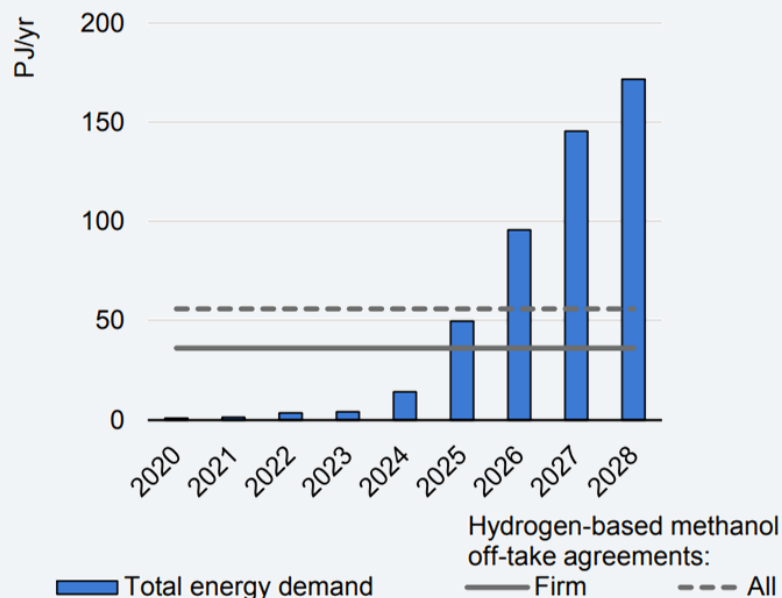


Vandenilio degalinių skaičius pagal regionus ir vandenilio transporto priemonių skaičiaus santykis su degalinėmis, 2019–2024 m.

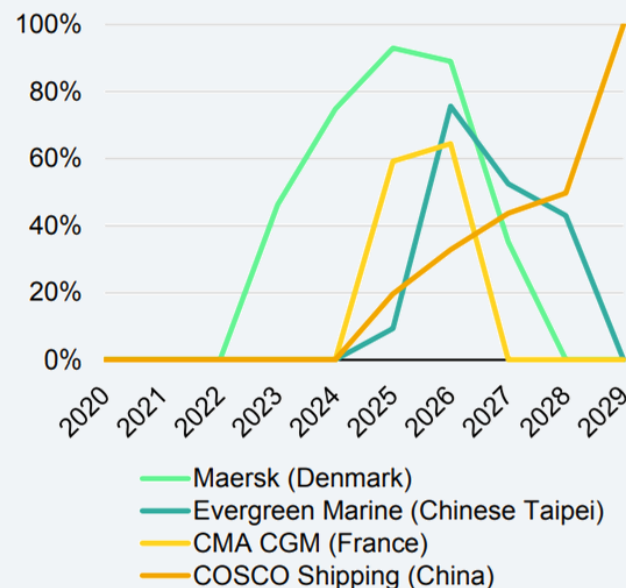
- **2024 m. pasaulyje veikė apie 1 300 vandenilio degalinių**– tai 15% daugiau nei 2023 m. Didžiausias augimas – Kinijoje (+30 %), pasiekus daugiau kaip 500 stotelių. Europa turi >300 H2 degalinių (+15 %), tačiau vis dar toli nuo 2030 m. ES tikslo – viena stotelė kas 200 km TEN-T tinkle ir visose 337 pagrindinėse miesto zonose.
- **Regioniniai skirtumai: Kinija ir Europa išlaiko plėtros tempą, tačiau Japonijoje ir JAV 2024–2025 m. pastebėtas nuosmukis.** Japonijoje liko tik ~160 veikiančių H2 degalinių – mažiausiai nuo 2020 m. (uždamos mažos stotys, koncentruojamasi į didesnes). JAV, ypač Kalifornijoje, kai kurie operatoriai (pvz., Shell) nutraukė veiklą, todėl 200 degalinių iki 2025 m. tikslas tampa nepasiekiamas.
- **Nors H2 degalinių skaičius auga, vandenilio transporto skaičiaus santykis su degalinėmis labai nevienodas:** JAV – aukščiausias rodiklis (apie 300 transporto priemonių vienai degalinei). Kinijoje ir Europoje santykis artimas 100, t. y. infrastruktūra labiau subalansuota.

METANOLIO VAROMŲ LAIVŲ PAKLAUSA LĖTĖJA, JĮ KEIČIA AMONIAKAS

Paklausa pagal esamus užsakymų portfelius



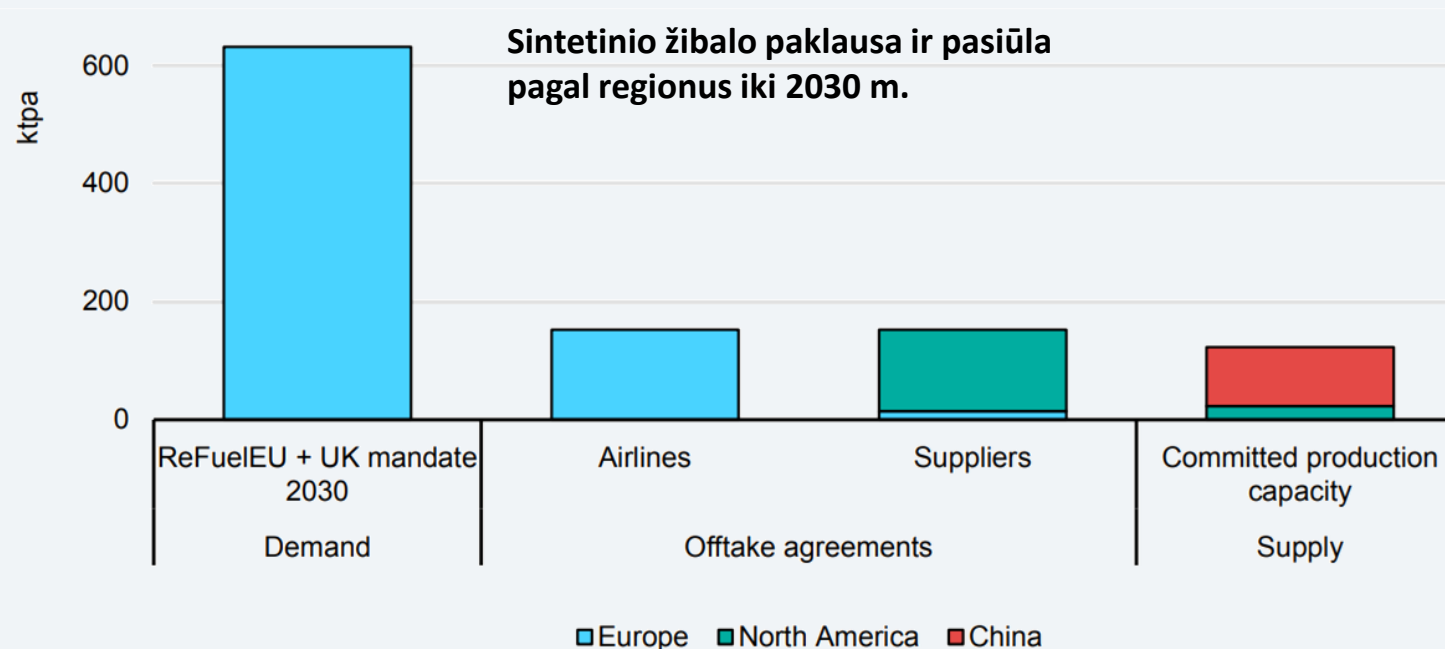
Metanoliu varomos traukos dalis bendruose užsakymuose



Energetinis metanoliu varomų užsakytų laivų poreikis ir metanolio dalis pasirinktų laivybos bendrovių užsakymų portfeliuose, 2020–2028 m.

- **Iki 2025 m. birželio jau veikia >60 metanoliu varomų laivų**, dauguma jų – cheminiai tanklaiviai, naudojančys iškastinį metanolį. Užsakyta dar apie 300 naujų metanolio laivų. Dauguma naujų laivų – dvipakopiai, galintys naudoti ir metanolį, ir įprastą kurą.
- **Metanolio varomų laivų paklausa auga, tačiau augimo tempas lėtėja** – nuo 2026 m. iki 2028 m. užsakymų dalis išlieka stabili.
- **Ateities kryptis: nuo metanolio prie amoniako ir vandenilio.** Ilgalaikėje perspektyvoje amoniakas ir vandenilis laikomi tvaresniais ir labiau išplečiamais degalais nei metanolis. Amoniako technologijos dar atsilieka, bet sparčiai artėja prie komercinio lygio.

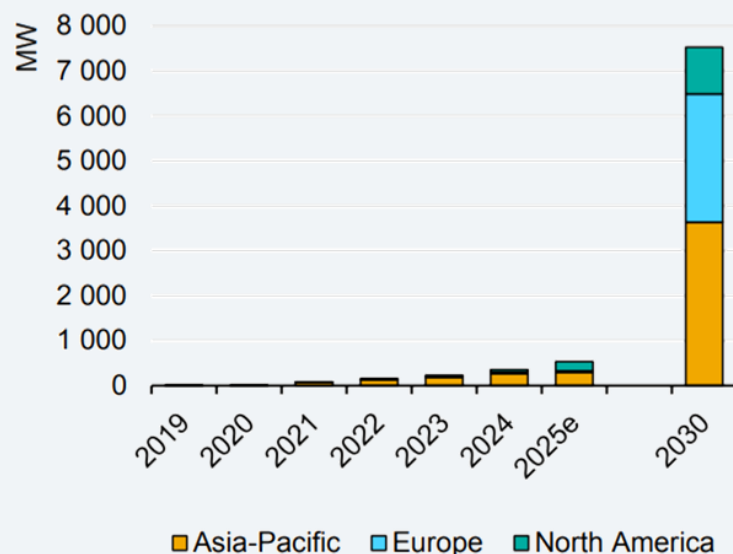
VANDENILIO PAKLAUSA AVIACIJOJE VIS DAR NEREIKŠMINGA



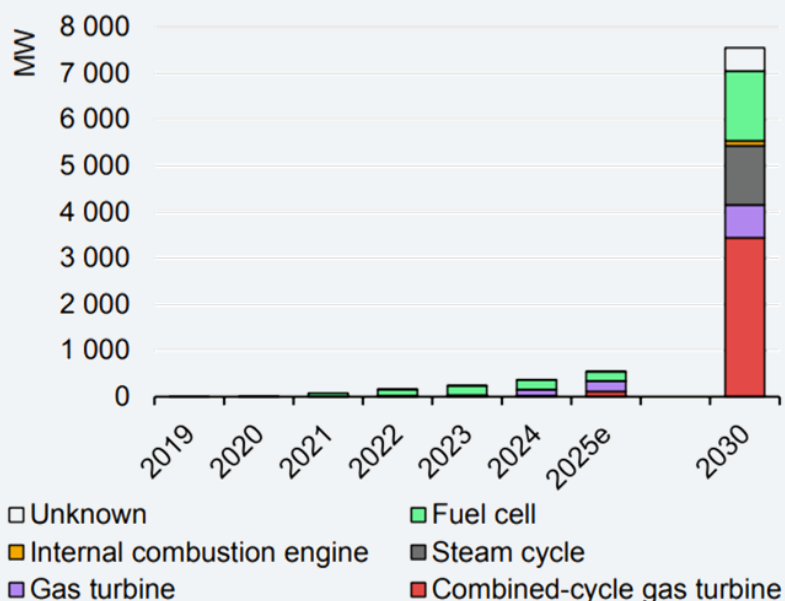
- Šiuo metu >99 % aviacijos kuro sudaro iškastinis žibalas – vandenilio paklausa aviacijoje kol kas nereikšminga. Pokytį pradeda politikos veiksmai Europoje ir JK, įvedant privalomus SAF maišymo reikalavimus.
- Europa – lyderė pagal paklausą, bet tiekimo sutartys ir gamybos pajėgumai dar ženkliai atsilieka.
- Reikia greito e-SAF gamybos masto didinimo, nes 3–4 m. užtrunka pastatyti gamyklą – jei galutiniai investiciniai sprendimai nebus priimti artimiausiais metais, 2030 m. tikslai bus sunkiai pasiekiami.
- Finansavimo, rizikos mažinimo ir ilgalaikių garantijų trūkumas stabdo projektus.
- Tiesioginis vandenilio naudojimas aviacijoje dar eksperimentinis.

VANDENILIS ELEKTROS GAMYBOJE KOL KAS YRA DEMONSTRACINIO POBŪDŽIO

Bendra įrengtoji galia pagal regionus



Bendra įrengtoji galia pagal technologijas



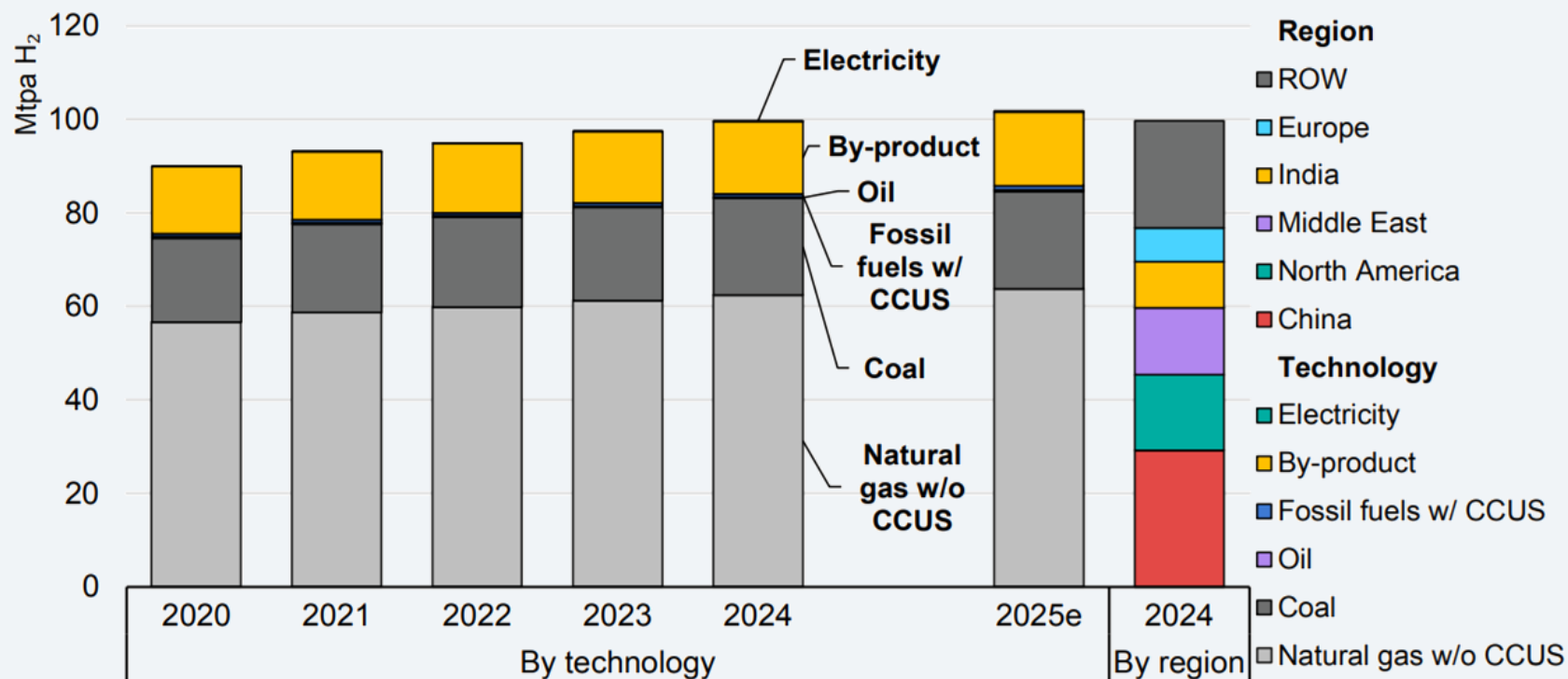
Elektros gamybos pajėgumai, naudojant vandenilį ir amoniaką, pagal regionus: istoriniai duomenys ir paskelbtų projektų prognozės, 2019–2030 m.

- **2024 m. pasaulyje veikė 360 MW vandeniliu arba amoniaku kūrenamų elektrinių galios**, t. y. +50 % lyginant su 2023 m., bet vis dar <0,01 % visos elektros gamybos galios.
- **Pagal paskelbtus projektus iki 2030 m. vandenilio ir amoniako elektrinių galia gali siekti 7,5 GW (arba ~4,9 GW, jei neįtraukiami ankstyvos stadijos projektai).** Iš jų: Azijos–Ramiojo vandenyno regionas: ~50 % (ypač Japonija ir Pietų Korėja). Europa: 38 % — antra pagal dydį rinka. Šiaurės Amerika: ~14 %.
- **ES energetikos įmonės aktyviai plėtoja „H₂-ready“ dujinių elektrinių projektus**, kurios gali kūrenti iki 100 % vandenilio, kad ateityje galėtų pereiti prie vandenilio kūrenimo.
- **Be aiškaus reguliavimo, kainų stabilumo ir investicijų į infrastruktūrą, vandenilio naudojimas elektros gamyboje Europoje išliks labiau demonstracinio nei komercinio pobūdžio.**

VANDENILIO PRODUKCIJA

65% VANDENILIO GAMYBOS – IŠ GAMTINIŲ DUJŲ BE CO₂ SURINKIMO

Išmetimai siekė 980 mln. t CO₂

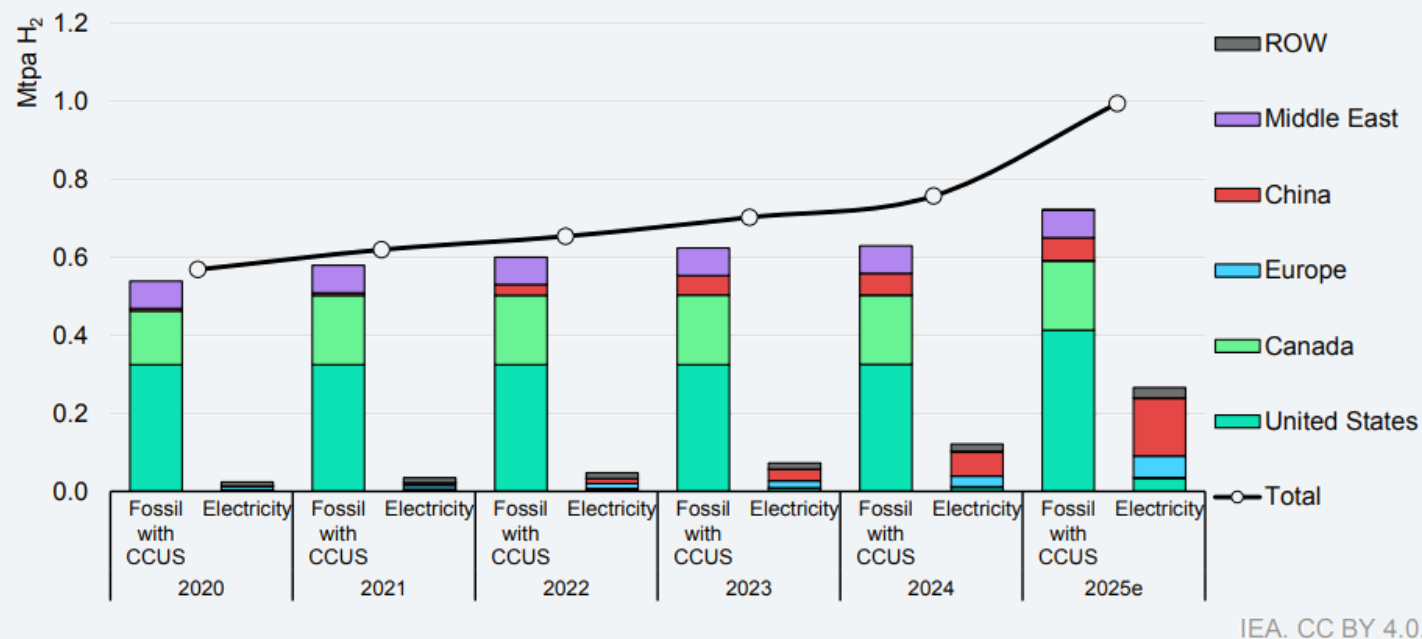


Vandenilio gamyba pagal technologiją ir pagal regioną, 2020–2025 m.
(2025 m. = prognozė)

- 2024 m. pasaulinė vandenilio gamyba pasiekė beveik 100 mln. tonų H₂ (+2 % lyginant su 2023 m.).
- Prognozuojama, kad 2025 m. bus viršyta 100 Mt H₂ riba. **Gamyba vis dar vyksta lokaliai, arti vartojimo vietų**, todėl tarptautinė prekyba yra minimali.
- Dominuojančios technologijos:** 65% gamybos yra iš gamtinių dujų be CO₂ surinkimo. Anglis – antra pagal svarbą žaliava (daugiausia Kinijoje, mažiau Indijoje). Iš elektrolizės gaunamas vandenilis sudaro tik niekinę dalį.
- 2024 m. dėl šių „nekompensuotų“ iškastinio kuro naudojimo šaltinių išmetimai siekė apie 980 mln. t CO₂ (+3 % per metus).

TVARAUS VANDENILIO GAMYBA SUDARO <1 % PASAULINĖS PASIŪLOS

Kinija – didžiausia gamintoja

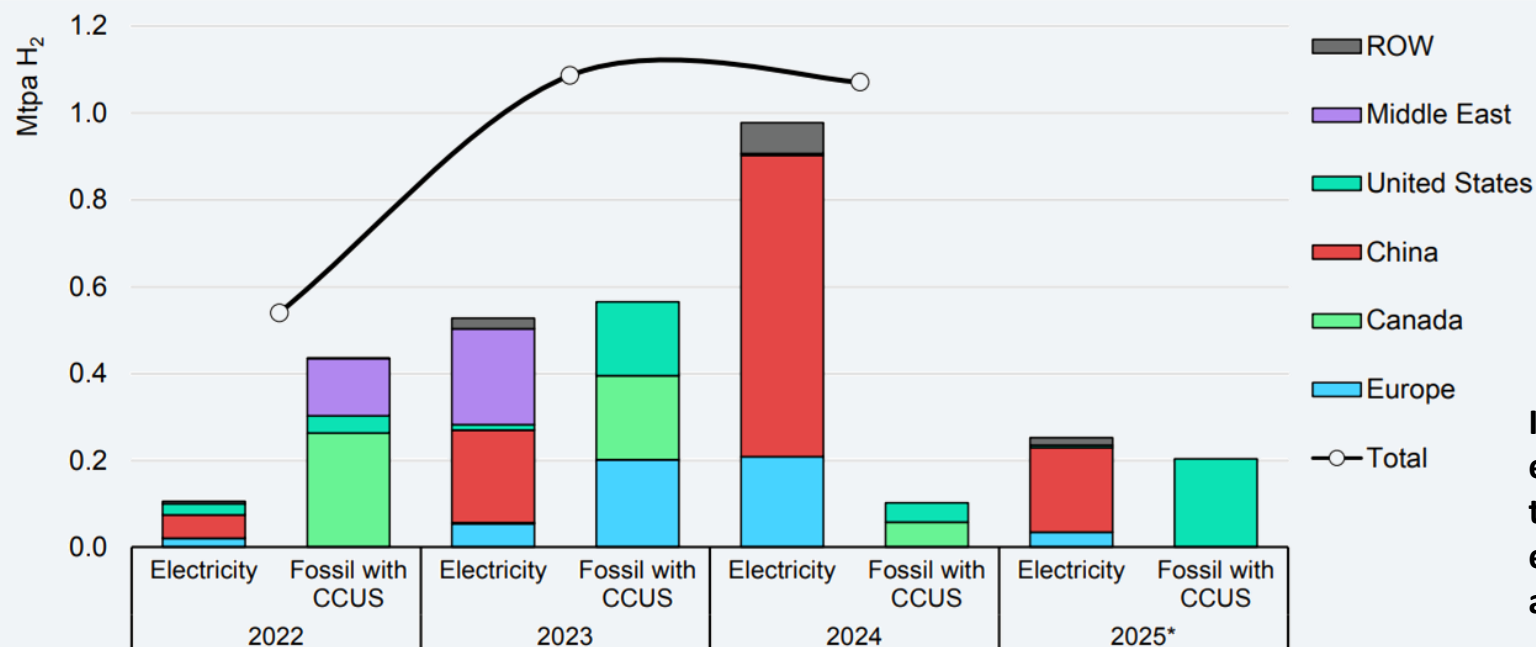


Tvaraus vandenilio produkcija,
2020-2025 m.

- 2025 m. prognozė numato 30% augimą, t. y. pirmas reikšmingesnis augimo šuolis. Didžioji dalis – iš CCUS integruotų gamyklų Š. Amerikoje.
- **Elektrolizės projektų, daugiausia Kinijoje, Europoje ir JAV. 2024 m. elektrolizės pagrindu pagamintas vandenilis išaugo +60%** (iki >100 kt H₂) ir sudarė ~1/6 visos mažos emisijos gamybos.
- **Kinija – didžiausia tiek tradicinės, tiek „žalios“ gamybos varomoji jėga (apie 30 % visos gamybos).** Šiaurės Amerika ir Artimieji Rytai – po 15% pasaulinės gamybos. Europa – viena iš pagrindinių elektrolizės plėtros sričių, bet vis dar atsilieka nuo Azijos pagal mastą.
- **Pasaulinė vandenilio gamyba toliau auga, bet esama infrastruktūra ir ekonomika stabdo tvarius pokyčius;** reikalingos ambicingos politikos priemonės ir spartesnės investicijos į elektrolizės plėtrą bei CCUS.

GALUTINIAI INVESTICINIAI TVARAUS VANDENILIO SPRENDIMAI IŠLIEKA AUKŠTI

CCUS projektų daugiausia Š. Amerikoje, elektrolizės – Kinijoje

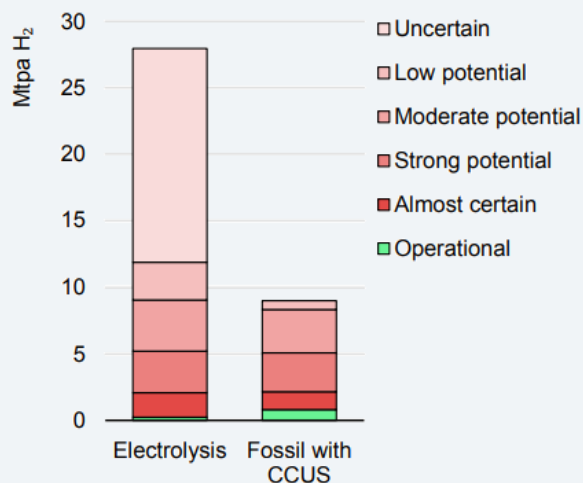


Investiciniai sprendimai dėl mažų emisijų vandenilio išlieka aukšti, tačiau technologijų dinamika keičiasi – elektrolizė perima lyderystę, o CCUS augimas stagnuoja.

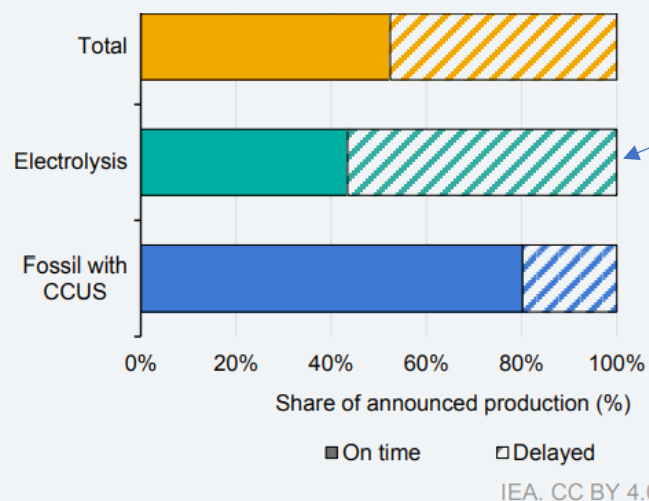
- **2023–2024 m. galutiniai investiciniai sprendimai išliko aukšti** – daugiau nei 1 Mt/m. kasmet. 2023 m. rekordas (1,1 Mt/m.) daugiausia dėl CCUS projektų ir didelio proveržio elektrolizėje. 2024 m. elektrolizės projektų galutinių investicinių sprendimų apimtys išaugo 85%, o vidutinis projektų dydis beveik padvigubėjo. CCUS galutiniai investiciniai sprendimai smarkiai sulėtėjo – patvirtinti tik 2 nauji mažesni projektai.
- **CCUS projektų daugiausia Š. Amerikoje (JAV, Kanada), kur taikomos mokesčių lengvatos. Elektrolizės galutiniai investiciniai sprendimai dominuoja Kinijoje (apie 60% per 3 m.),** tačiau dalis projektų buvo atšaukta. Europoje aktyviausi Nyderlandai dėl vyriausybės paramos schemos.

DAUGIAU NEI 50% PROJEKTŲ TURI SILPNĄ ĮGYVENDINIMO POTENCIALĄ IKI 2030

Tikimybė, kad gamyba bus pradėta iki 2030 m.

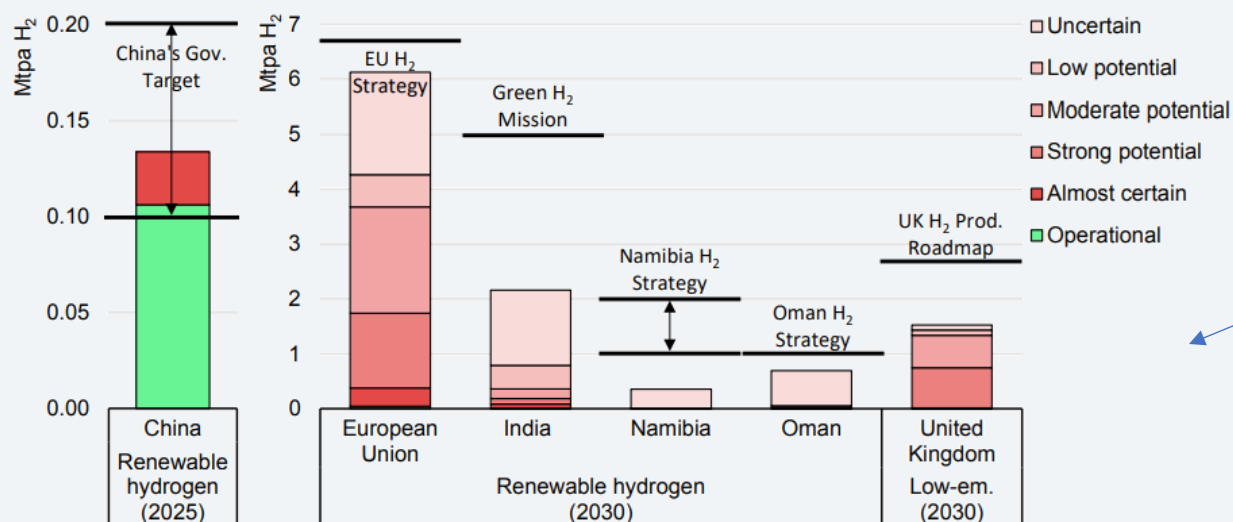


Projektų būklė lyginant su paskelbta komercinės veiklos pradžios data



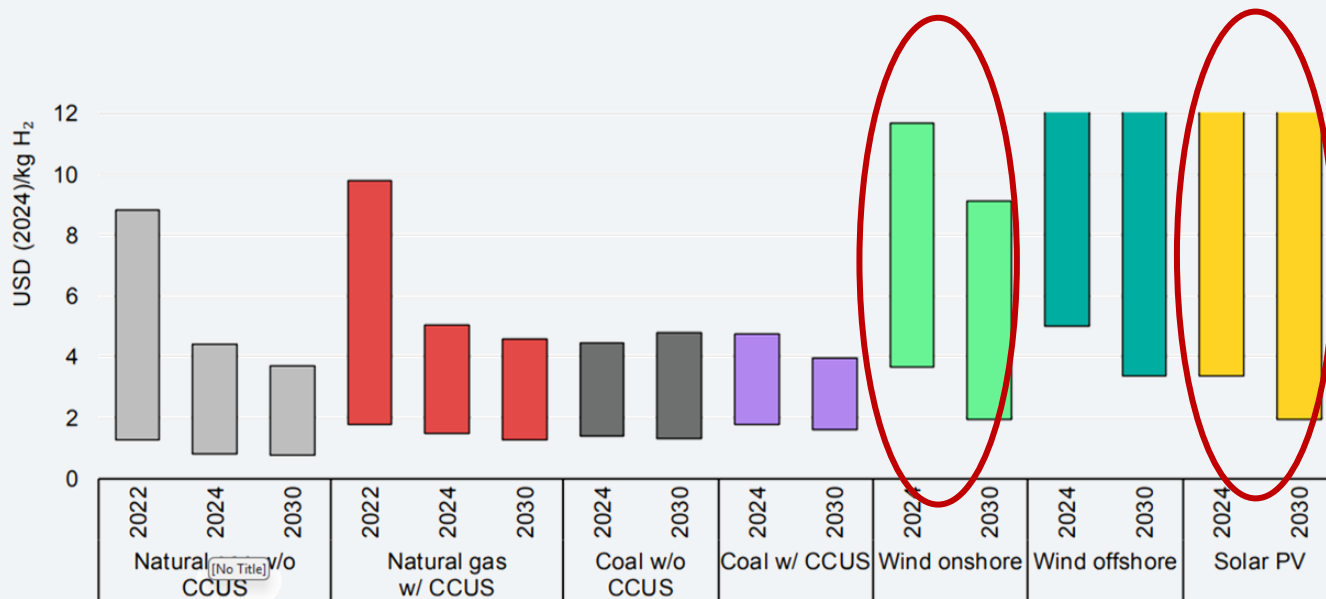
Nepaisant didelio projektų kiekio, **realus įgyvendinimas iki 2030 m. vėluoja**. Reikia **perdėti nacionalinius tikslus**, sustiprinti **reguliacinį mechanizmą**, **subsidijas ir paklausos skatinimo priemones**, kad projektai iš stadijos „ant popieriaus“ pereitų į faktinę gamybą.

- Tik apie 10 Mt/m. mažų emisijų H₂ gamybos beveik užtikrintai veiks iki 2030 m. **Daugiau nei 50% projektų turi žemą arba neaiškų įgyvendinimo potencialą.**
- Dauguma projektų vėluoja. >50% elektrolizės ir 20% CCUS projektų atsilieka nuo planuotų pradžios datų.** Didžiausi iššūkiai: reguliavimo, finansavimo ir pirkimo sutarčių spragos, ypač besivystančiose rinkose.
- Kinija jau pasiekė apatinę savo 2025 m. tikslų ribą (100 kt/m.). ES galėtų techniškai pasiekti apie 6 Mt/m. iki 2030 m., bet tik 2 Mt/m. yra realiai tikėtina.**
- JK, Indija, Namibija ir Omanas – didelis atotrūkis tarp tikslų ir realiai įmanomų apimčių.**



BE POLITINĖS PARAMOS MAŽŲ EMISIJŲ VANDENILIS IŠLIEKA NEKONKURENCINGAS

Kainų skirtumas tarp žemų ir aukštų emisijų vandenilio išlieka pagrindinis kliuvinys masinei plėtrai

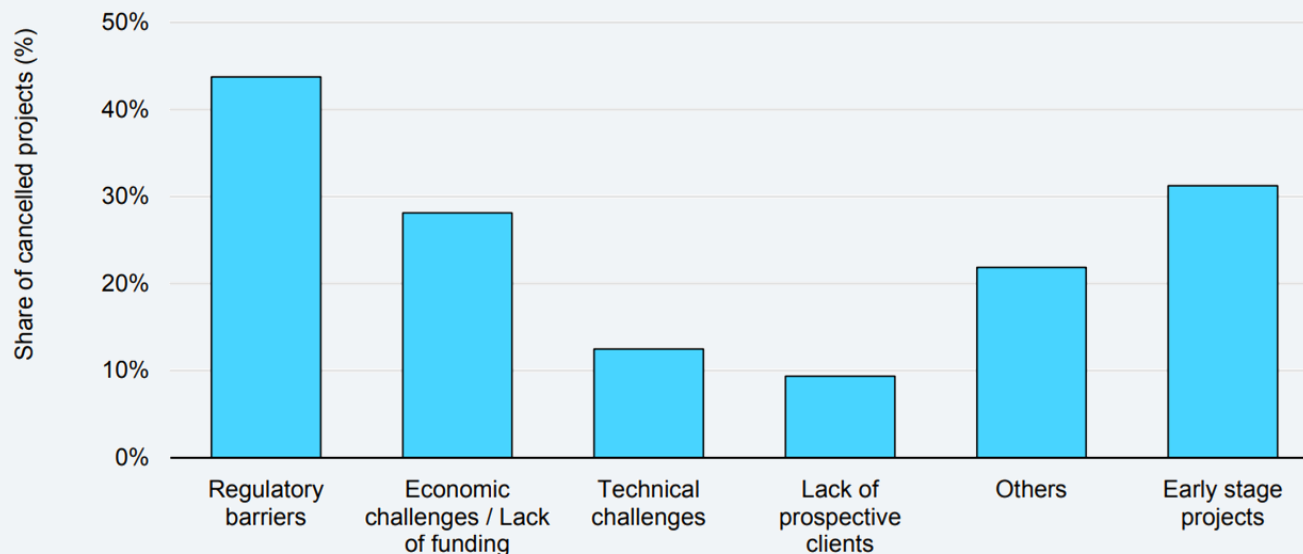


Vandenilio gamybos kaina pagal technologijas 2024 m. ir numatomuose politikos scenarijuose 2030 m.

- Iškastinio kuro vandenilis išlieka pigesnis nei mažų emisijų technologijų alternatyvos, išskyrus trumpą laikotarpį 2022 m., kai iškastinio kuro kainos smarkiai išaugo dėl geopolitinės krizės.
- 2024 m. kaina:
 - Gamtinės dujos be CCUS: 0.8–4.6 USD/kg H₂,
 - Gamtinės dujos su CCUS: 1.8–5 USD/kg H₂
 - Atsinaujinančios energijos (vėjo/saulės) vandenilis: 4–12 USD/kg H₂
- Iki 2030 m. kaštai:
 - iš gamtinių dujų be CCUS mažėja iki 0.7–3.7 USD/kg H₂;
 - Atsinaujinančių šaltinių vandenilio gamyba pinga iki 2–4 USD/kg H₂ palankiausiose vietovėse (Kinija, Australija, Artimieji Rytai, JAV, Brazilija).
- Nepaisant progreso, be politinės paramos mažų emisijų vandenilis išlieka nekonkurencingas daugumoje pasaulio regionų.

REGULIACINIAI IR EKONOMINIAI IŠŠŪKIAI STABDO PROJEKTUS

Atšauktų vandenilio projektų dalis pagal atšaukimo priežastį



Rekomendacijos:

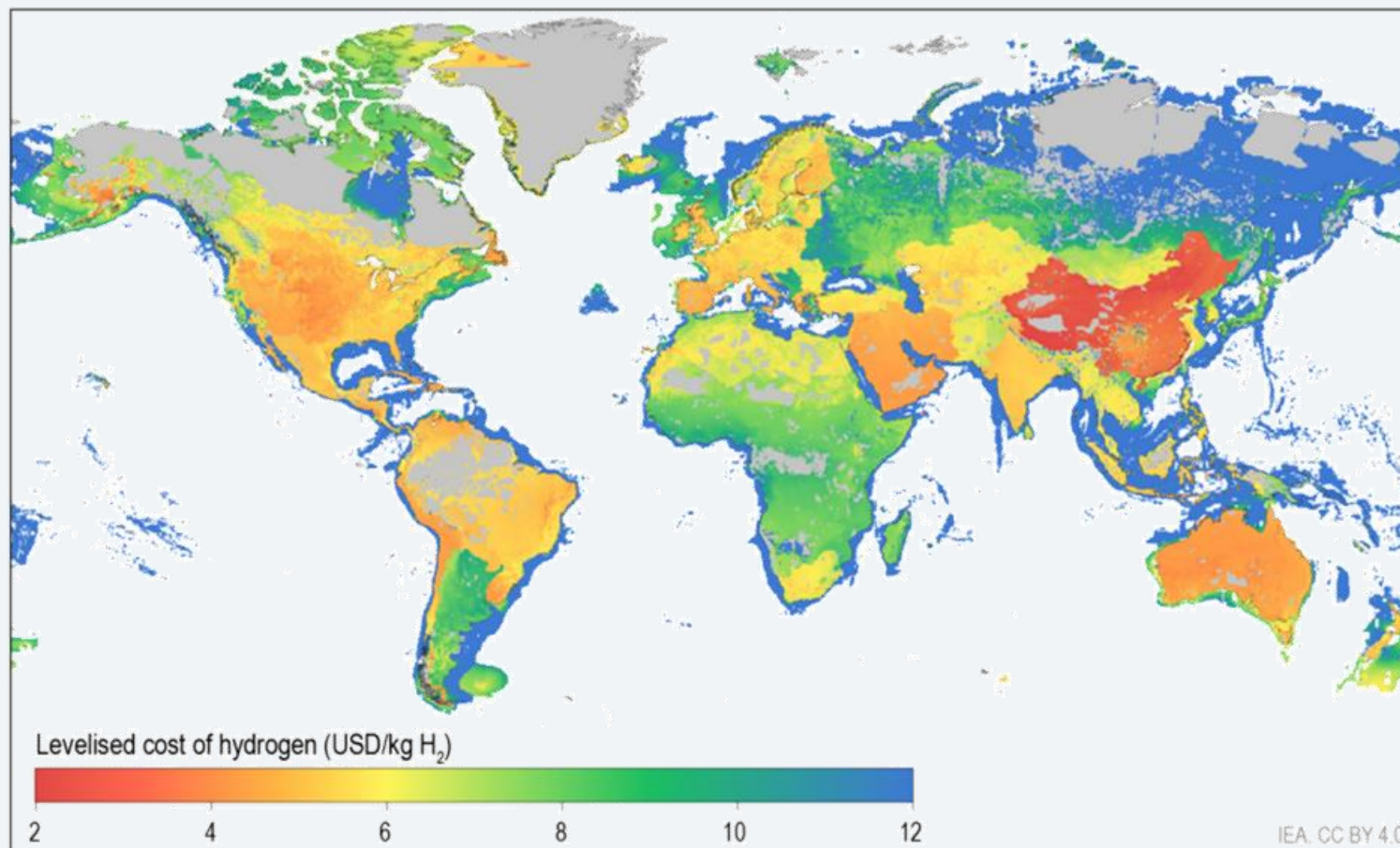
- Reikia **vieningos ir stabilios reguliacinės sistemos**, greitesnio leidimų išdavimo bei aiškių sertifikavimo taisyklių, kad investuotojai galėtų planuoti ilgalaikes investicijas.
- Investuotojai laukia **didesnio finansinio aiškumo ir ilgalaikių paskatų**, kad mažos emisijos vandenilis taptų konkurencingas prieš iškastinį.
- Reikia **valstybės garantijų ir techninių užtikrinimų**, kurie leistų finansuotojams jaustis saugiau dėl ilgalaikės technologinės rizikos.
- Reikia **stipresnių paklausos skatinimo politikų**, pvz. privalomų kvotų, „Contracts for Difference“ ar viešojo pirkimo schemų vandenilio vartotojams (plieno, transporto, trąšų sektoriuose).
- Rinkoje vyksta **konsolidacija** – išlieka tik tie projektai, kurie turi technologinį ir komercinį pagrįstumą, patikimus pirkėjus, aiškų politinį palaikymą ir finansavimo mechanizmą.

- **Pagrindinė kliūtis - reguliaciniai ir leidimų iššūkiai (44%).** Neaiškūs ar prieštaringi apibrėžimai („low-emission“ ir „renewable hydrogen“) stabdo investicinius sprendimus. Lėtos ir sudėtingos leidimų procedūros, kelia riziką prarasti subsidijas. Politiniai pokyčiai ir vėluojantis RFNBO taisyklių įsigaliojimas sukelia neapibrėžtumą.
- **Ekonominiai iššūkiai ir finansavimo trūkumas (28%).** Aukšta infliacija ir makroekonominis neapibrėžtumas lėmė investicinių planų mažinimą ar atidėjimą. Daugelis projektų negali gauti aiškaus finansavimo grafiko ar paramos išmokėjimo terminų.
- **Techniniai iššūkiai (13%).** Trūksta brandžių technologinių sprendimų, ypač didelio masto elektrolizės srityje. Kai kurie gamintojai susiduria su bankroto ar gamybos mažinimo rizika, kas kelia pasitikėjimo problemų dėl tiekimo grandinės stabilumo.
- **Nepakankama paklausa ir tiekimo (offtake) sutarčių trūkumas (9%).** Tik apie 5 % potencialios mažų emisijų vandenilio gamybos (37 Mt/m.) turi tvirtas ilgalaikes pirkimo sutartis. Didieji rinkos žaidėjai sumažino arba nutraukė planus dėl neužtikrintos paklausos.
- **Ankstyvos stadijos projektai (31%).** Dalis projektų buvo pernelyg ambicingi, paremti nepatikrintomis prielaidomis dėl kainų kritimo ar rinkos augimo. Ankstyvieji etapai dažnai nepagrįsti realiais finansiniais modeliais ar rinkos paklausa.

PREKYBA VANDENILIU IR JO PRODUKTAIS

PIGI ATSINAUJINANTI ELEKTROS ENERGIJA IR ŽEMOS KAPITALO SĄNAUDOS DIDINA KONURENCINGUMĄ RINKOJE

Vandenilio gamybos kaina iš elektrolizės, naudojant hibridinę saulės (PV) ir sausumos vėjo energiją bei jūrinį vėją, pagal dabartinės politikos scenarijus, 2030 m.



- Regionai, artėjimas prie konkurencingumo iki 2030 m.:

- 1) Kinija: dėl pigios elektros, žemo CAPEX ir didelio atsinaujinančių išteklių potencialo gali pasiekti < 2 USD/kg H₂.
- 2) Australija, Artimieji Rytai, JAV pietinės valstijos: 2–4 USD/kg H₂.
- 3) P. Europa ir Lotynų Amerika: 3–4 USD/kg H₂, bet tik su > 100 USD/t CO₂ kainodara.
- 4) Šiaurės Europa (įskaitant Baltijos regioną): 4–6 USD/kg H₂ dėl aukštesnių kapitalų kašto ir riboto saulės energijos potencialo.

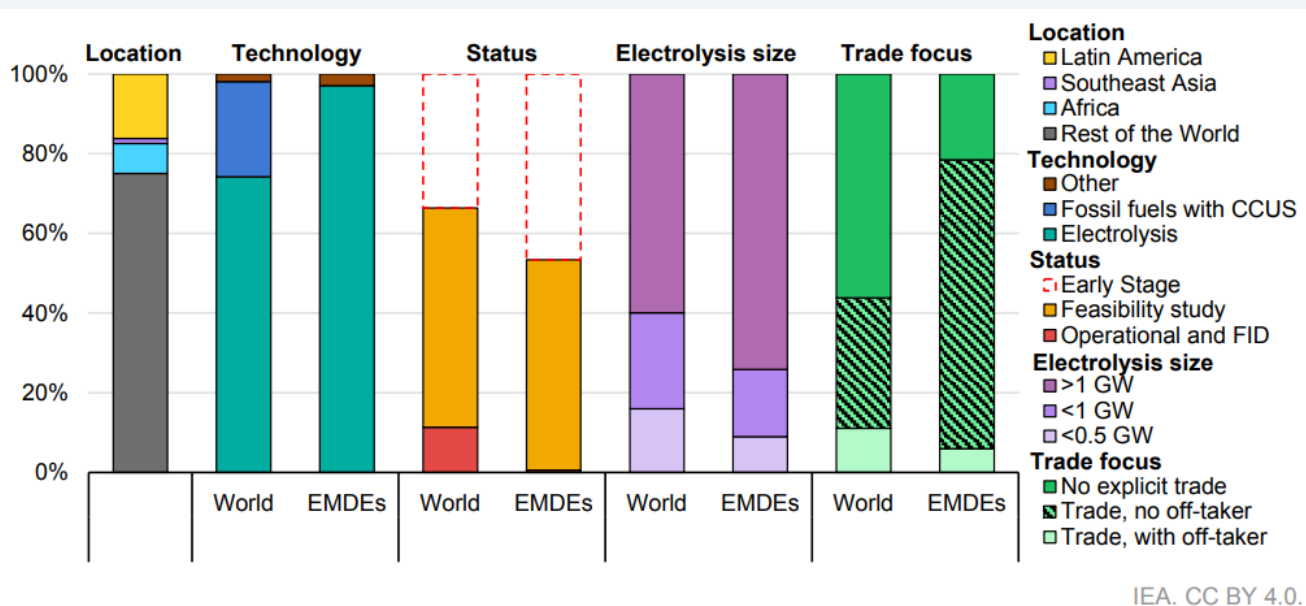
Regionai, turintys didelį atsinaujinančios energijos potencialą ir pigią kapitalo prieigą, gali tapti globaliais vandenilio eksportuotojais iki 2030 m.

Europa ir Azija, turinčios brangesnę energiją, taps pagrindinėmis importuotojomis, todėl investicijos į tarptautinę H₂ logistiką (amoniaką, vamzdynus) taps strateginėmis.

VANDENILIS – GALIMYBĖ BESIVYSTANČIOMS EKONOMIKOMS

Tvarus vandenilis suteikia besivystančioms šalims galimybę dekarbonizuoti savo ekonomiką ir tapti konkurencingais švarios energijos tiekėjais pasaulinėje rinkoje. Šie regionai turi gausų atsinaujinančios energijos potencialą ir konkurencingą darbo jėgos kainą, bet kol kas sudaro mažą pasaulinės energijos paklausos dalį (16%).

Paskelbti mažai emisijų vandenilio projektai, 2030 m.

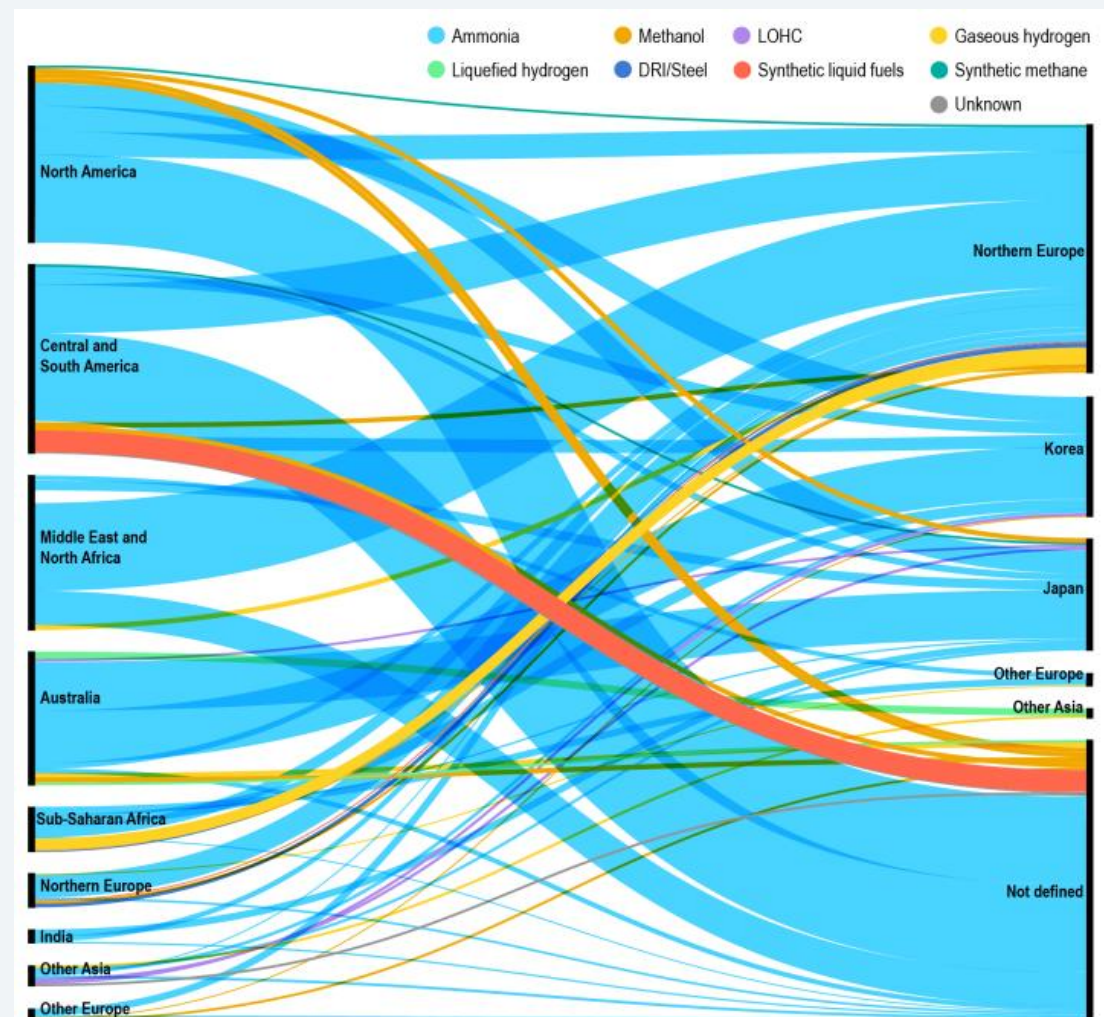


EMDEs - Emerging Markets and Developing Economies

- Lotynų Amerika turi pažangiausią AEI bazę: 63% elektros – iš AEI, beveik dvigubai daugiau nei pasaulio vidurkis. Afrika ir Pietryčių Azija – atsinaujinančios energijos dalis siekia tik 25%, o vėjo ir saulės plėtra dar labai lėta.
- Jei visi paskelbti projektai būtų įgyvendinti, šių regionų vandenilio gamyba viršytų 9 Mt/m. iki 2030 m. (ketvirtadalis pasaulinės gamybos). Tačiau tik 0,5 % projektų turi patvirtintas investicijas (pasaulio vidurkis 9%), o tik 5% projektų turi realų potencialą pradėti veiklą iki 2030 m. **Tai rodo didelį atotrūkį tarp planų ir realaus įgyvendinimo.**
- Eksporto priklausomybė: **apie 80 % projektų orientuoti į eksportą**, todėl jie priklauso nuo dar nesusiformavusios tarptautinės paklausos.
- **Lėta AEI integracija:** šie regionai 2024 m. sudarė tik 6 % pasaulinės naujos vėjo ir saulės galios, o tai riboja elektrolizės potencialą.
- Finansavimo barjerai: **vandenilio plėtrai reikėtų >1500 mlrd. USD iki 2030 m.**, tačiau investicijų srutai menki, o kapitalo kaina (iki 15 %) gerokai viršija išsivysčiusių šalių lygį (5–7 %).

45% PLANUOJAMOS TVARAUS VANDENILIO GAMYBOS SKIRTA EKSPORTUI

Dvišaliai mažai emisijų turinčio vandenilio prekybos srautai pagal nešėją, neįtraukiant ankstyvos stadijos projektų, 2030 m.



IEA. CC BY 4.0.

- Iki 2030 m. pasaulyje planuojama apie 16 Mt H₂-ekv eksporto pajėgumų (apie 45 % visos žemų emisijų H₂ gamybos). Tik mažiau nei 5% projektų jau pasiekę investicinių sprendimų arba statybų stadiją - dauguma vis dar tik idėjų ar galimybių studijų lygmenyje.
- Apie 60 % visų prekybos projektų yra besivystančiose ekonomiose, ypač Šiaurės Afrikoje, Vidurio Rytuose, Subsacharinėje Afrikoje ir Lotynų Amerikoje.
- 85 % eksporto planų numato transportą amoniako forma, o tai kelia logistikos ir uostų infrastruktūros iššūkius (amoniako srautai galėtų išaugti 4 kartus, palyginti su dabartiniais pasauliniais mastais).
- Rinkos neapibrėžtumas. Pasaulinė prekyba H₂ vis dar fragmentuota ir nebrandžiame etape: nėra aiškių taisyklių, kainodaros, patikimų tiekimo sutarčių. Tik kas ketvirtas projektas turi numatytą pirkėją, o tai stabdo galutinius investicinius sprendimus.
- Pagrindinė kliūtis - dideli projektų mastai ir reguliacinis neapibrėžtumas dėl „žaliojo“/„mažai emisijų“ apibrėžimų.

EUROPA – DIDŽIAUSIAS VANDENILIO IMPORTUOTOJAS PASAULYJE

Europa taps vandenilio importo centru, bet rizikuoja atsilikti, jei nebus užtikrintas infrastruktūros pasirengimas (uostai, amoniako skaidymo įrenginiai) ir greitesnė reguliavimo aiškumo raida.

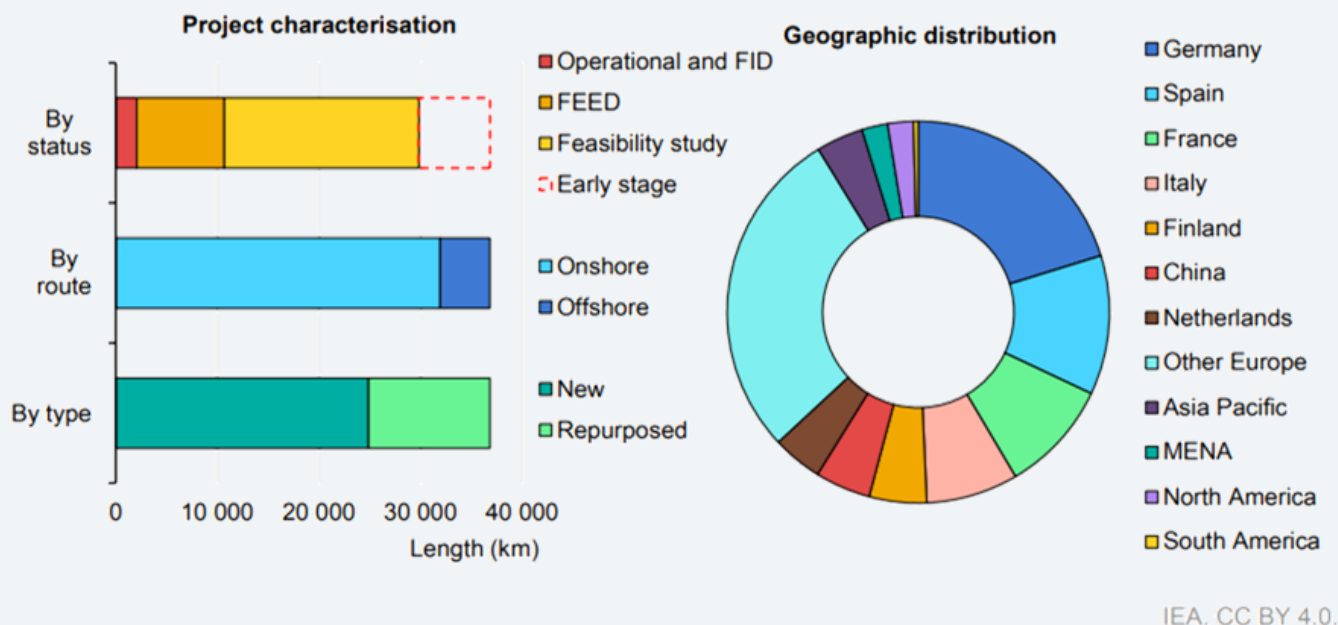


Regionas	Pagrindinis vaidmuo iki 2030 m.	Svarbiausia pastaba
Europa	Didžiausias importuotojas (Vokietija, Nyderlandai)	Griežti „žalumo“ kriterijai, aukštas reguliacinis barjeras
Japonija ir Korėja	Stiprūs importuotojai (ypač amoniako)	Lankstesni CO ₂ kriterijai, leidžia CCUS
Vidurio Rytai ir Šiaurės Afrika	Didžiausi eksportuotojai	Dauguma projektų ankstyvojoje stadijoje, priklausomi nuo užsienio kapitalo
Australija, Pietų Amerika	Augantys eksportuotojai	Geras AEI potencialas, bet dideli atstumai ir infrastruktūros trūkumas

VANDENILIO INFRASTRUKTŪRA

IKI 2035 M. PASAULYJE SUPLANUOTA APIE 37 000 KM VANDENILIO VAMZDYNŲ

Trečdalis - pernaudoti buvę dujotiekiai



Pasaulinis vandenilio perdavimo vamzdynų ilgis pagal paskelbtus projektus, pagal tipą ir regioną, 2035 m.

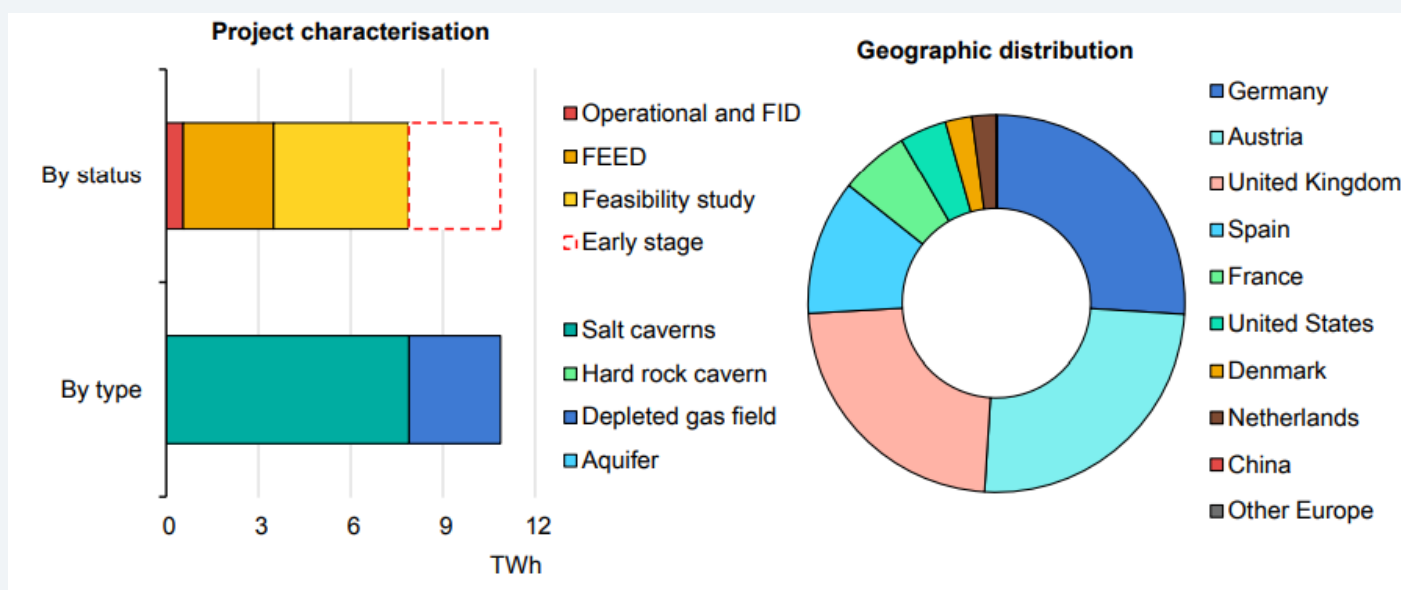
* tam tikros dalys gali vėluoti iki 2037 m.

- Europa – aiškus lyderis: suplanuota >60 % visų projektų ilgio.
- Vokietijoje 2024 m. patvirtintas 9 040 km nacionalinis H₂ tinklas, kurį planuojama užbaigti iki 2032 m.* Nyderlandai ir Belgija jau pradėjo statybas (Rotterdam, Antverpen–Gent). Dauguma projektų dar ankstyvojoje stadijoje, tik <6% pasiekė galutinio finansinio sprendimo arba statybų etapą.
- Daugiau nei 90 % vamzdynų bus sausumoje, tačiau planuojami ir ofšoriniai (šiaurės jūroje) sujungimai tarp JK, Vokietijos, Danijos ir Nyderlandų.
- Planuojami tinklai veiks didesniu slėgiu ir diametru, leis „linepack storage“ – laikinas dujų saugojimas vamzdžiuose.
- Atnaujinami standartai: ASME B31.8 (2026 m.) įtrauks vandenilio perdavimo reikalavimus, palengvins dujotiekių perorientavimą iš gamtinių dujų.
- Inicatyva European Hydrogen Backbone (EHB) jungia 33 operatorius iš visos Europos — kuriama tarpusavyje sujungta H₂ infrastruktūra.

PRIORITETINIS VANDENILIO SAUGOJIMAS - DRUSKŲ ERTMĖS

Požeminis vandenilio saugojimas tampa kritine energijos sistemos grandimi, suteikiančia trumpalaikį balansavimą tarp kintančios gamybos (vėjo/saulės) ir paklausos ir energetinio saugumo buferį – apsaugą nuo tiekimo trikdžių, kainų svyravimų ir geopolitinių rizikų. Funkcija skiriasi nuo gamtinių dujų saugyklų: vandenilio atveju akcentas – lankstumas, o ne tik sezoninė akumuliacija.

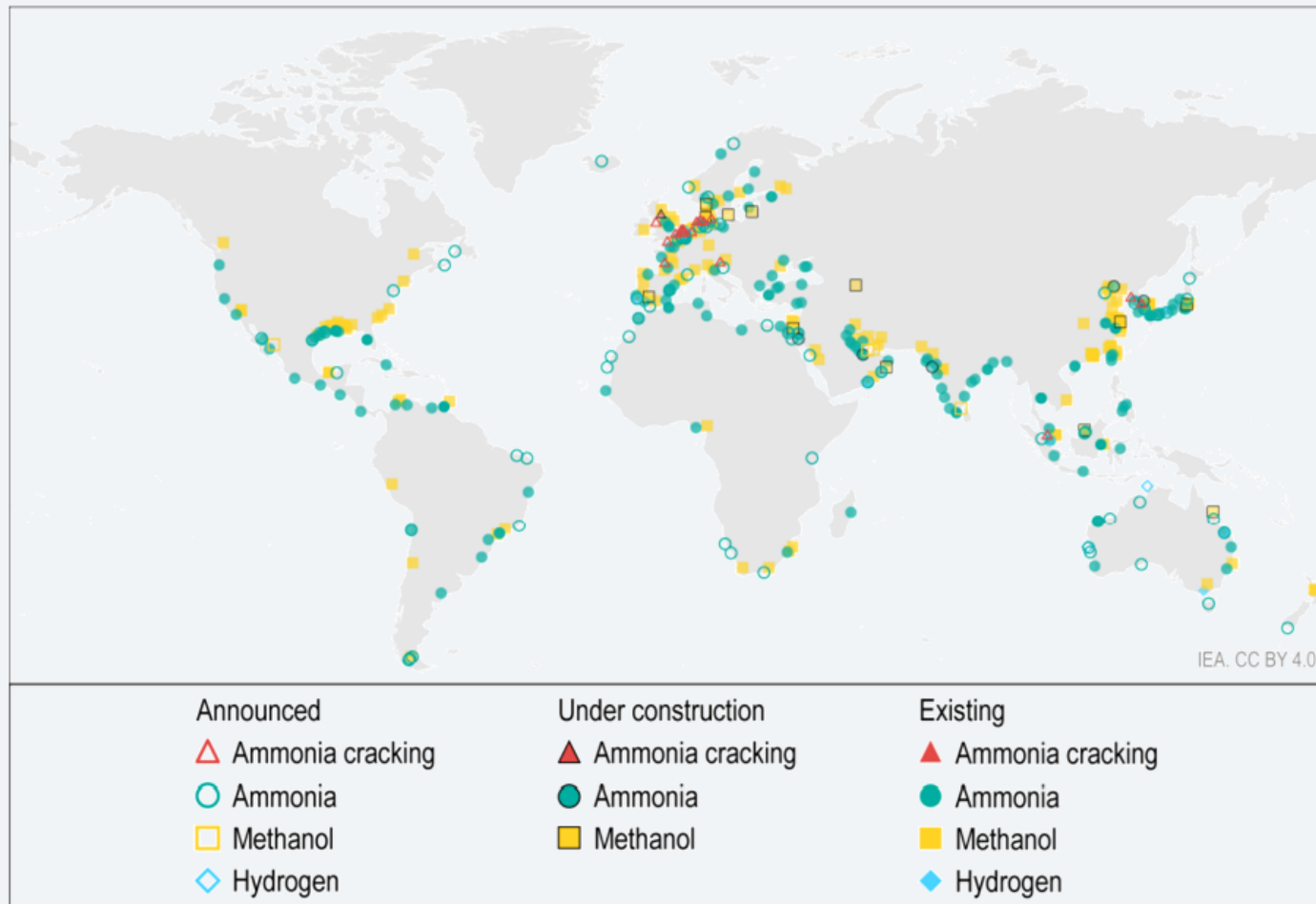
Pasaulinė požeminė geologinio vandenilio saugojimo talpa pagal paskelbtus projektus, pagal technologiją, būklę ir regioną, 2035 m.



- **Druskos ertmės** – didžiausias brandos lygis, aukštas lankstumas, intensyvus ciklinis naudojimas.
- Iki **2035 m. gali būti pasiekta iki 11 TWh** (0,3 Mt H₂) talpa, tačiau tik 5 % projektų yra pažengę (investicijų arba statybos stadijoje). Dauguma – Europoje (Vokietija, Austrija, JK). Pagal planus sudaro tik 0,2 % dabartinės globalios gamtinių dujų saugyklų talpos.
- **Pagrindiniai iššūkiai:**
 - 1) **Trūksta aiškių reguliacinių taisyklių** (ypač dėl prieigos prie infrastruktūros ir saugos).
 - 2) **Verslo modelių neapibrėžtumas** – ankstyvuoju etapu būtina vieša parama.
 - 3) **Viešos konsultacijos ir visuomenės informavimas** dar tik pradedamas (ypač ES šalyse).
- Pirmieji projektai Vokietijoje pradės veikti 2027 m., Ispanijoje pradėtos statybos, Jungtinėje Karalystėje – 2032 m.

UOSTAI RUOŠIAS PRIIMTI AMONIAKĄ IR METANOLĮ

Esami ir paskelbti uostų infrastruktūros projektai, skirti vandenilio ir vandenilio pagrindu pagamintų degalų prekybai bei bunkeriamui.



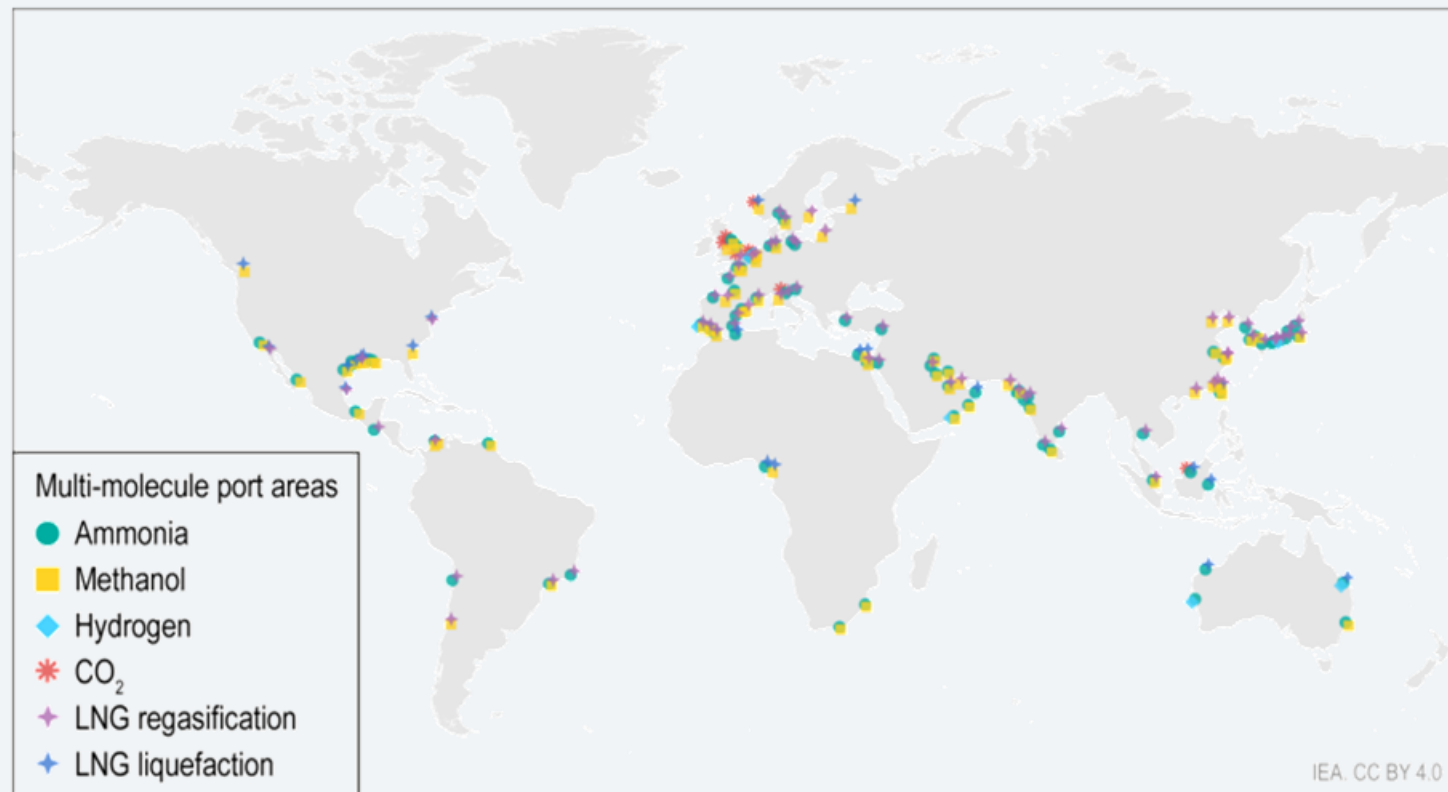
Source: [IEA Hydrogen Infrastructure Projects Database](#) (September 2025).

- Iki 2030 m. planuojama >120 naujų vandenilio ir jo išvestinių produktų terminalų visame pasaulyje.
- Didžiausias dėmesys skiriamas amoniakui (NH₃) – pagrindinei vandenilio transporto ir prekybos formai.
- Metanolio terminalai jau aktyviai statomi, ypač jūrų bunkeriamui (laivų degalų tiekimui).
- Eksporto bazės tampa vis įvairesnės geografiškai – plečiasi Afrikoje, Artimuosiuose Rytuose, Azijoje ir Pietų Amerikoje.
- Europa tampa pagrindiniu vandenilio ir jo produktų importo centru, tačiau infrastruktūros plėtra vyksta lėčiau dėl reguliacinių neapibrėžtumų.
- Šiuo metu Europoje yra apie 60 uostų su amoniako terminalais, 40 – su metanolio terminalais. Naujos investicijos koncentruotos Roterdame, Hamburge, Antverpene ir Brunsbiutelyje.
- Baltijos ir Šiaurės jūros regionai tampa logistiniais mazgais tarp Skandinavijos, Vokietijos ir Beniliukso šalių.
- Potencialas Baltijos šalyse (ypač Klaipėdos, Gdanskio, Talino uostuose) dar vertinamas – gali tapti vandenilio „entry points“ į Europos rinką.

UOSTAI - KRITINIAI MAZGAI TVARIOS ENERGETIKOS TRANSFORMACIJOS KELYJE

Uostai jungia vandenilio, amoniako, metanolio ir CO₂ srautus, kartu išlaikydami dalį tradicinės LNG infrastruktūros. Tokie daugiamolekuliniai terminalai gali tapti energetiniais centrais, palaikančiais tiek prekybą, tiek balansavimo funkcijas (pvz., bunkerio, sandėliavimo, skystinimą).

Nustatytos sinergijos tarp esamų ir paskelbtų uostų infrastruktūros projektų, galinčių sudaryti sąlygas daugiakomponenčiams terminalams

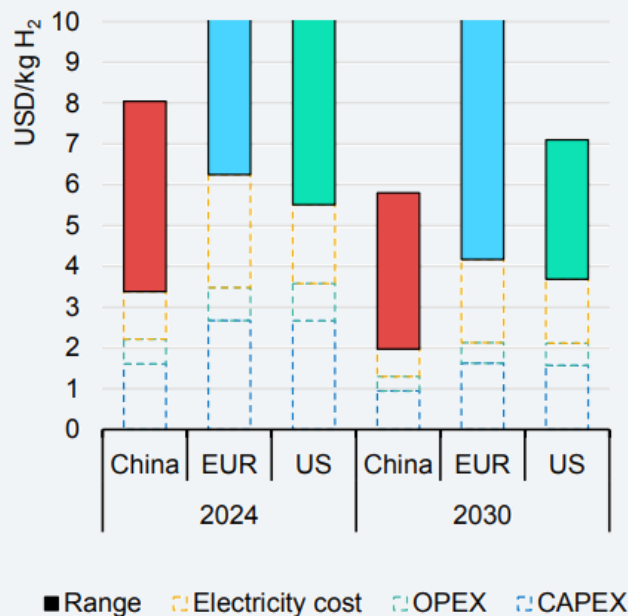
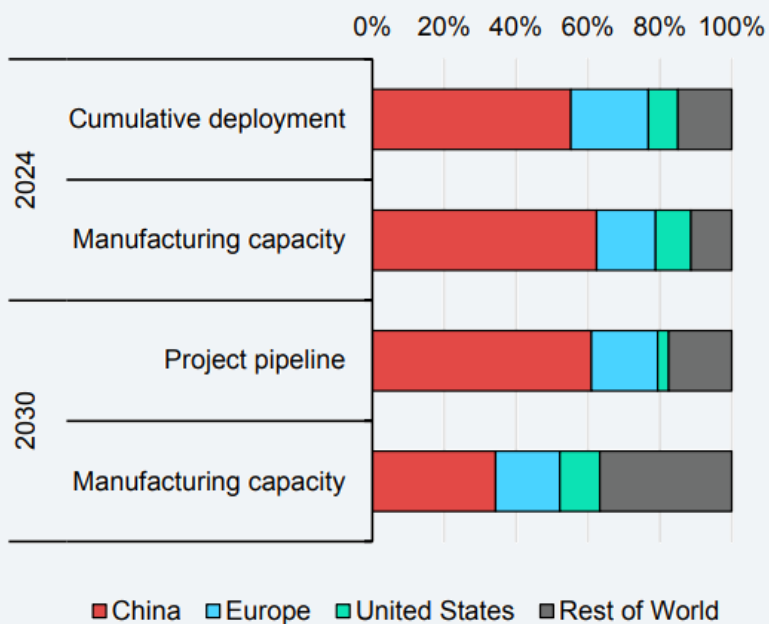


- **Lanksti perėjimo fazė** – galima laipsniškai pritaikyti esamus terminalus naujiems kurams, be poreikio iškart atsisakyti iškastinio kuro.
- **Bendros infrastruktūros panaudojimas** (pvz., krantinės, kelių prieigos, elektros tinklo jungtys) sumažina statybos laiką ir kaštus.
- **Mažesnis žemės poreikis ir greitesnis leidimų gavimas**, ypač kai infrastruktūra išplečiama esamuose uostuose. Kriogeninių procesų integracija leidžia efektyviai panaudoti šaltą energiją iš LNG garinimo CO₂ arba H₂ skystinimui.
- **Visuomenės priėmimas** – svarbus iššūkis, ypač tvarkant pavojingas ar toksiškas medžiagas (pvz., NH₃, LH₂).
- Klaipėdos uostas galėtų tapti regioniniu daugiamolekuliniu mazgu, jungiančiu esamą LNG terminalą su planuojamomis vandenilio, amoniako ir CO₂ grandinėmis; turi potencialią sąsają su CCUS projektais Baltijos jūros regione; galima integracija su Europos vandenilio koridoriumi.
- Baltijos šalių uostai (Klaipėda, Gdanskas, Talinas) gali veikti sinergijoje, kurdami bendrą Šiaurės–Vidurio Europos energijos logistikos mazgą. Tokia integracija sumažintų riziką, kad dabartinė LNG infrastruktūra taps „nuvertėjęs turtas, kai mažės dujų paklausa.

TECHNOLOGIJŲ VYSTYMOSI TENDENCIJOS

KINIJA VALDO APIE 60 % PASAULINĖS ELEKTROLIZERIŲ GAMYBOS GALIOS

Elektrolizerių gamybos pajėgumai ir diegimas (kairėje) bei atsinaujinančio vandenilio gamybos sąnaudos (dešinėje), pagal regionus, 2024–2030 m.

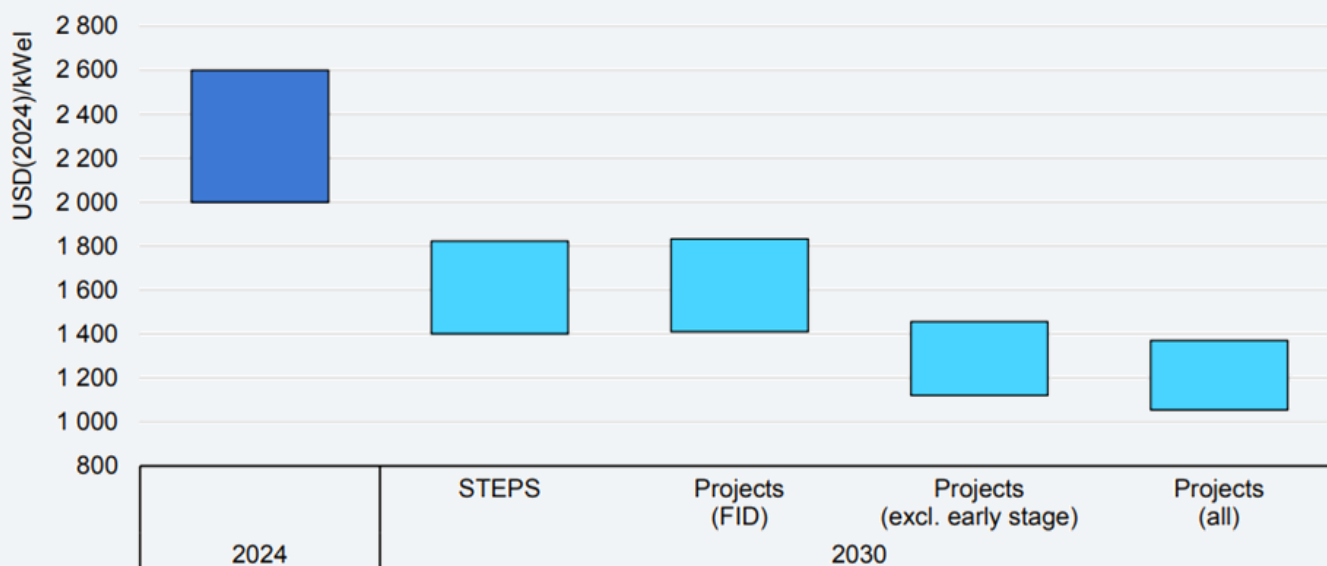


- 2024 m. Kinija valdo apie 60 % pasaulinės elektrolizerių gamybos galios. Nuo 2021 m. Kinija tapo pasaulio lydere tiek gamyboje, tiek įdiegtų pajėgumų skaičiumi, o 2023 m. turėjo daugiau nei pusę visos pasaulinės elektrolizerių galios.
- 2024 m. atpigęs AEI elektros tiekimas ir mažesni kapitalo kaštai leidžia Kinijai gaminti atsinaujinantį vandenilį 40–45 % pigiau nei Europoje ar JAV. Pagrindinė priežastis – iki 40% pigesni saulės ir vėjo projektai ir žemesnė kapitalo kaina (apie pusę Vakarų šalių lygio).
- Iki 2030 m. pasaulinė elektrolizerių gamybos rinka išaugs nuo 38 GW/m. iki 186 GW/m., tačiau Kinijos dalis sumažės apie 1/3, nes augs pajėgumai kitose šalyse.
- Skirtingai nei saulės modulių ar baterijų atveju, elektrolizerių CAPEX sudaro 80–85 % standartinės įrangos, todėl technologinės inovacijos nepakankamai mažina kainą.

IEA. CC BY 4.0.

TIKĖTINAS ELEKTROLIZERIŲ KAINŲ SUMAŽĖJIMAS IKI 30 % (2030 M.)

Už Kinijos ribų pagamintų elektrolizatorių kaina 2024 m. ir galimas kainos sumažėjimas, atsižvelgiant į diegimo mastą, suderinamą su paskelbtais projektais ir dabartinės politikos scenarijumi, 2030 m.



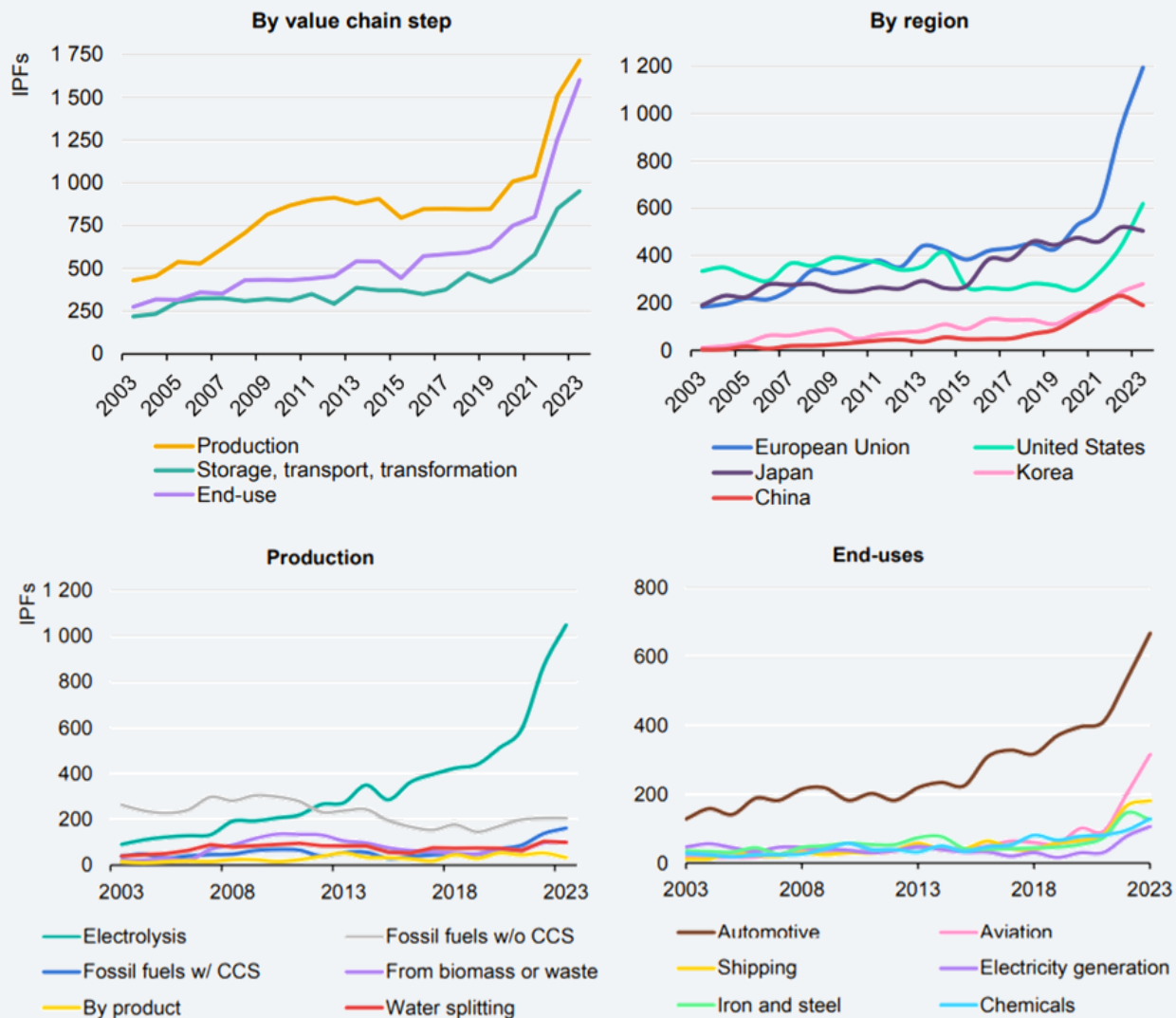
Kinijos vaidmens vertinimas:

Kinijos gamintojų elektrolizeriai šiuo metu yra iki 60 % pigesni nei europiniai ar amerikietiški analogai, o Kinijos bendrovės jau aktyviai vykdo technologijų eksportą ir licencijavimą į ES šalis (pvz., Ispaniją, Portugaliją, Švediją). Be to, planuojama ir tiesioginė gamybos plėtra Europoje – pavyzdžiui, „Hygreen Energy“ numato iki 5 GW/metus pajėgumus Ispanijoje. Nors trumpuoju laikotarpiu kiniškos įrangos naudojimas gali sumažinti vandenilio gamybos sąnaudas 3–13 %, šį CAPEX pranašumą reikšmingai mažina žemesnis efektyvumas, patikimumo rizikos ir aukštos elektros kainos Europoje. Ilgalaikėje perspektyvoje tai didina technologinės priklausomybės nuo Kinijos riziką ir gali silpninti Europos pramonės konkurencingumą bei vietos darbo vietų kūrimą.

Jei Europa ir JAV nesiims spartesnių investicijų bei pramoninės gamybos skatinimo, iki 2030 m. jos rizikuoja išlikti du kartus brangesnės nei Kinijos tiekėjai.

- Elektrolizerių įrengimo kaina pasaulyje: 2 000–2 600 USD/kW. Kinijoje 600–1 200 USD/kW, dėl masto ekonomijos, mažesnių darbo sąnaudų ir valstybės paramos.
- Daugiau nei 50% bendros CAPEX sudaro EPC (projektavimas, įsigijimas ir statyba) ir rizikos rezervai.
- Pagal TEA STEPS scenarijų numatomas 30 % kainų sumažėjimas iki 2030 m. (jei įgyvendinami tik projektai su finansiniais sprendimais). 50 % sumažėjimas įmanomas tik įgyvendinus visą pasaulinį projektų portfelį (labai mažai tikėtina dėl vėlavimų).
- Didžiausias potencialas – pagrindinės technologijų dalies (elektrodų, membranų ir kt.) inovacijose ir serijinėje gamyboje.

VANDENILIO TECHNOLOGIJŲ PATENTŲ SKAIČIUS STABILIAI AUGA



- 2023 m. pasaulyje užfiksuotas +20 % augimas vandenilio technologijų patentuose, rodantis stiprų inovacijų pagreitį po 2010-ųjų stagnacijos.
- Daugiausia patentų fiksuojama vandenilio gamybos srityje, ypač elektrolizės technologijose.
- Galutinio panaudojimo (end-use) inovacijos auga greičiausiai – ypač transporto ir aviacijos sektoriuose.
- Elektrolizė sudaro ⅓ visų gamybos patentų, tačiau augimas priklauso nuo tipo.
- Autotransportas išlieka didžiausias patentų segmentas (apie 45 % visų), tačiau jo dalis mažėja. Aviacija – sparčiausiai augantis sektorius (+55%), dabar sudaro 20% galutinio panaudojimo patentų. Chemijos pramonė +34%, ypač stiprus augimas amoniako gamybos technologijose (+60%). Laivų ir plieno sektorių patentai per 5 metus išaugo 3 kartus.
- ES ir JAV – 2023 m. stipriausi inovacijų lyderiai.

VANDENILIO POLITIKA IR REGLAMENTAVIMAS

EUROPA LYDERIAUJA PAGAL DOTACIJŲ VANDENILIUI APIMTIS

Viešasis finansavimas spartina žaliajo vandenilio tiekimo grandinę, tačiau kelia iššūkių dėl regioninės konkurencijos ir technologinės priklausomybės.

Viešasis finansavimas ir politika (iki 2024 m.):

114 politikos priemonių mažinančių investicinę riziką tiekimo pusėje

21 mlrd. USD viešasis finansavimas

Daugiausia priemonių taiko pažangios ekonomikos, Europoje dominuoja dotacijos ir CfD, JAV – mokesčių kreditai, o besivystančios šalys diegia lengvatinius režimus (mokesčių lengvatos, žemės suteikimas, paprastesnės procedūros). Europoje sutelkta 80 % viso dotacijų finansavimo.

Vokietijoje vykdoma „anglies dioksido skirtumo sutarčių“ (CCfD) programa energijai imlioms pramonės šakoms.

Regionas / šalis	Priemonė	Poveikis
Europa	Dotacijos, CfD	Investicinio rizikingumo mažinimas
JAV	IRA 45V tax credit	Stipri paskata H ₂ gamybai
Kanada	15–40 % CAPEX	13 mlrd. USD
Australija	1,3 USD/kg (10 m.)	Gamybos skatinimas
Suomija	2,3 mlrd. EUR nuo 2028 m.	Iki 60 % CAPEX

VANDENILIO SERTIFIKAVIMO PAŽANGA SPARTĖJA

2025–2026 m. taps pasaulinio suderinimo lūžio tašku.

ES ir sąjungininkės jau taiko sertifikavimo schemas, o ISO standartai ir skaitmeniniai produktų pasai atvers kelią tarptautinei žaliojo vandenilio prekybai.

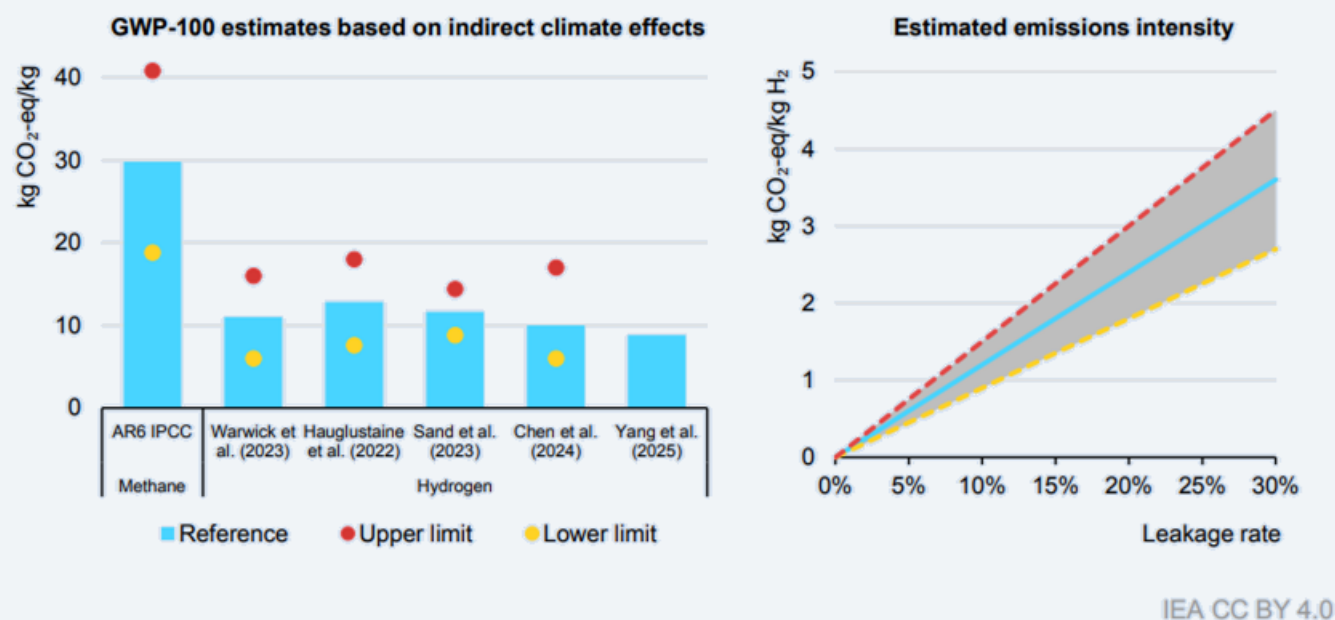
- Iki 2024 m. dauguma išsivysčiusių šalių jau sukūrė sertifikavimo schemas, tačiau vis dar trūksta bendro metodologinio pagrindo.
- Kuriami tarptautiniai ISO standartai – gamybos emisijų vertinimas turėtų tapti standartu iki 2025 m.*, o transporto dalys (LH₂, NH₃, LOHC) – iki 2026 m.
- ES veikia CertifHy, REDcertEU ir ISCC EU sistemos; pirmieji RFNBO sertifikatai išduoti Danijoje, Vokietijoje ir Nyderlanduose.
- Kuriamas skaitmeninė atsekamumo infrastruktūra (GoO, digital passport), siekiant suderinamumo tarp pasaulio šalių ir laisvesnės prekybos. Reikalinga politinių tikslų ir techninių standartų suderinta plėtra, kad sertifikavimas neapribotų prekybos, bet užtikrintų realų emisijų mažinimą.
- 12 valstybių narių prašo peržiūrėti „additionality“ taisykles ir atidėti valandinės koreliacijos reikalavimą (numatytą nuo 2030 m.).
- Lietuvai svarbu užtikrinti nacionalinės sertifikavimo sistemos suderinamumą su ES mechanizmais, kad projektai galėtų naudotis ES finansiniais instrumentais ir integruotis į žaliųjų degalų rinkas.

*Šiuo metu veikia tarptautinė metodika (ISO/TS 19870:2023), kuri leidžia apskaičiuoti vandenilio (ir jo transportavimo) emisijas pagal visą gyvavimo ciklą. 2025 m. rugsėjį GHG Protocol ir ISO paskelbė partnerystę — ketina sukurti harmonizuotą globalų emisijų apskaitos reglamentą.

GRĮŽTAMASIS NEIGIAMAS RYŠYS KLIMATUI

VANDENILIO NUTEKĖJIMO KLIMATINIS POVEIKIS: NEMATOMA RIZIKA

Vandeniliui priskiriamas GWP-100* pagal atmosferos chemijos modelius ir atitinkami emisijų intensyvumai esant skirtingiems nuotėkio lygiams



Note: The right-hand figure uses a GWP-100 value of 12 as reference, with ± 3 as the upper and lower bounds.

*GWP - šiltnamio efekto potencialas

**ENNOH - Europos vandenilio perdavimo tinklų operatorių tinklas

- Vandenilis neabsorbuoja IR spinduliuotės, tačiau reakcijos su H₂ atmosferoje didina kitų šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentraciją.
- Jam priskiriamas GWP-100 ≈ 9 -15 kg CO₂-eq/kg H₂ (100 m. laikotarpiui).
- Naujausi modeliai (2025 m.) rodo, kad šis poveikis gali būti apie 20 % mažesnis, tačiau neapibrėžtumas išlieka. **Pirmieji faktiniai matavimai (2024)** parodė **1–2 % medianinį nutekėjimą**, tačiau teoriniai modeliai rodo **0.2–20 %** intervalą.
- **Virš 13 %** nutekėjimo mastas jau viršytų **2 kg CO₂-eq/kg H₂** ribą, reikšmingai sumažindamas vandenilio klimatinį efektyvumą.
- Nutekėjimas didžiausias transportavimo, sandėliavimo ir skystinimo (boil-off) etapuose.
- Technologiniai sprendimai: naujos medžiagos, sandarinimo ir kelių sluoksnių barjerai, pažangūs vamzdynų dizainai.
- Stebėsena: reikia ypač jautrių jutiklių, nes dabartiniai saugos detektoriai aptinka tik dideles koncentracijas.

PAGRINDINĖS IŠVADOS

- Globali vandenilio rinka auga, bet reali plėtra smarkiai atsilieka nuo politinių ambicijų. Nors elektrolizės pajėgumai nuo 2021 m. išaugo 4 kartus, o planuojamos žaliojo vandenilio apimtys iki 2030 m. net 10 kartų, tik mažiau nei 20% projektų šiandien yra pasiekę galutinį investicinį sprendimą, o daugiau nei pusė turi silpną arba neaiškų įgyvendinimo potencialą iki 2030 m.
- Mažų emisijų vandenilis kol kas išlieka ekonomiškai nekonkurencingas be valstybės paramos. 2024 m. iškastinio kuro vandenilio kaina išlieka kelis kartus mažesnė nei žaliojo. Iki 2030 m. žaliojo vandenilio konkurencingumas prognozuojamas tik regionuose su itin pigia AEI elektra (Kinija, Australija, Artimieji Rytai). Tai reiškia, kad be subsidijų ir CO₂ kainodaros žaliojo vandenilio masinė plėtra neįvyks.
- Paklausa koncentruota tradiciniuose sektoriuose, o naujos taikymo sritys dar nepasiekė lūžio taško. >99% vandenilio vis dar sunaudoja naftos perdirbimas, chemija ir plienas, o transportas ir energetika nesiekia nė 1 % paklausos. Net sparčiausiai augantis sektorius, kelių transportas, išlieka nišinis, o vandenilis elektros gamyboje tebėra demonstracinio lygmens technologija.
- Europa strategiškai tampa didžiausiu pasaulio vandenilio importuotoju, bet jai gresia infrastruktūrinė ir reguliacinė rizika. Nors planuojama apie 37 000 km vandenilio vamzdynų ir >60 % visų projektų yra Europoje, mažiau nei 6% jų pasiekė finansinio sprendimo stadiją. Terminalų, saugyklų ir uostų plėtra vyksta per lėtai, kad neatsirastų struktūriniai tiekimo „butelio kakliukai“.
- Kinija įtvirtina technologinę lyderystę elektrolizėje ir formuoja ilgalaikę kainų konkurenciją Europai. Ji valdo apie 60% pasaulinės elektrolizerių gamybos, gamina įrangą iki 60% pigiau nei Europa, o žaliojo vandenilio savikaina jau šiandien yra apie 40–45% mažesnė. Tai reiškia augančią technologinę priklausomybę, jeigu Europa nespės sustiprinti savo gamybos bazės.
- Vandenilio prekyba ir logistika kol kas nebrandžiame etape, o didžioji dalis eksporto projektų remiasi dar nesusiformavusia pasauline paklausa. Iki 2030 m. planuojama apie 16 Mt H₂-ekv eksporto pajėgumų, iš jų 85% amoniako forma, tačiau tik kas ketvirtas projektas turi realų pirkėją. Tai rodo didelę riziką, kad dalis infrastruktūros gali tapti neatsiperkanti.
- Didžiausi realūs stabdžiai - ne technologijos, o reguliavimas, finansavimas ir paklausos nebuvimas. Tik 5 % potencialios mažai emisijų vandenilio gamybos turi užtikrintas ilgalaikes pirkimo sutartis. Tai reiškia, kad rinka dar nėra perėjusi į komercinio stabilumo fazę.

APIBENDRINIMAS

2025 m. pasaulinė vandenilio rinka yra tipinėje lūkesčių ir realaus įgyvendinimo atotrūkio fazėje: politiniai tikslai ir paskelbtų projektų apimtys sparčiai auga, tačiau ekonominis konkurencingumas, paklausos garantijos, infrastruktūra ir reguliacinis aiškumas atsilieka. Iki 2030 m. realų lūžį pasieks tik tie regionai, kurie sugebės vienu metu užtikrinti keturis elementus: pigią elektrą, stabilų reguliavimą, finansines garantijas ir ilgalaikes pirkimo sutartis.



Šaltinis: [*IES, Global Hydrogen Review 2025*](#)



**LITHUANIAN
ENERGY
AGENCY**

