



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Žaliojo vandenilio panaudojimas metano konversijos technologijai tobulinti

Baigiamasis magistro projektas

Vytautas Petrikas

Projekto autorius

Doc. dr. Andrius Jaskūnas

Vadovas

Kaunas, 2025



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Žaliojo vandenilio panaudojimas metano konversijos technologijai tobulinti

Baigiamasis magistro projektas

Chemijos inžinerija (6211EX020)

Konsultantai

Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai

Prof. dr. Irena Pekarskienė

Aplinkosauginis vertinimas

Prof. dr. Gintaras Denafas

Statybiniai sprendimai

Lekt. dr. Odeta Viliūnienė

Darbuotojų sauga ir sveikata

Doc. dr. Dalia Nizevičienė

Vytautas Petrikas

Projekto autorius

Doc. dr. Andrius Jaskūnas

Vadovas

Asist. dr. Kristina Jančaitienė

Recenzentė

Kaunas, 2025



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Vytautas Petrikas

Žaliojo vandenilio panaudojimas metano konversijos technologijai tobulinti

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Vytautas Petrikas

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Tvirtinu:

Cheminės technologijos fakulteto dekanė
Prof. dr. Vaida Kitrytė-Syrpa

Suderinta:

Fizikinės ir neorganinės chemijos katedros
vedėja Doc. dr. Kristina Kantminienė

Dekano potvarkis Nr.V25-02-22
2025 gegužės 20 d.

2025 m. vasario mėn. 03 d.

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Projekto tema

Žaliojo vandenilio panaudojimas metano konversijos technologijai
tobulinti

Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas – išanalizuoti metano konversijos veikimo principą ir suprojektuoti patobulinimą, siekiant sumažinti kenksmingas CO₂ emisijas į aplinką.

Darbo uždaviniai:

- atlikti literatūros analizę, išsiaiškinti, kuris žaliojo vandenilio gamybos būdas efektyviausiai pritaikomas pramonėje;
- pasitelkus cheminių procesų modeliavimo programinę įrangą „Aspen PLUS“, sumodeliuoti metano konversijos ir šarminio elektrolizerio gamybos liniją;
- parinkti optimaliausią elektrolizerio veikimo principą, sumažinant metano konversijos gamybos apimtį, tačiau išlaikant tokį patį suminį pagaminamo vandenilio kiekį;
- aprašyti esamą gamybos liniją, bei atlikti technologinės linijos pakeitimus;
- pateikti patobulinimo statybinius sprendimus, atlikti ekonominius ir finansinius skaičiavimus, įvertinti aplinkosauginius klausimus, nustatyti ir įvertinti galimą riziką darbe ir ją pašalinti.

Reikalavimai ir sąlygos

Turi būti visos privalomos baigiamojo projekto sudėtinės dalys kaip nurodyta dekanos 2024 m. kovo 6 d. potvarkiu Nr. V25-02-10 patvirtintuose „Pirmosios pakopos studijų programos Cheminė technologija ir inžinerija ir antrosios pakopos studijų programos Chemijos inžinerija baigiamųjų projektų rengimo ir gynimo metodiniuose reikalavimuose“.

Vadovas

Doc. dr. Andrius Jaskūnas

2025-02-03

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Užduotį gavau:

Vytautas Petrikas

(studento vardas, pavardė)

2025-02-03

(parašas, data)

Petrikas, Vytautas. Žaliojo vandenilio panaudojimas metano konversijos technologijai tobulinti. Magistro baigiamasis projektas vadovas doc. dr. Andrius Jaskūnas; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Inžinerijos mokslai, Chemijos inžinerija.

Reikšminiai žodžiai: žaliasis vandenilis, šarminė elektrolizė, garų metano reformingas.

Kaunas, 2025. 84 p.

Santrauka

Baigiamojo magistro projekte siekiama pasitelkus žaliąjį vandenilį optimizuoti metano konversijos procesą, didinti efektyvumą, mažinti anglies dioksido emisijas ir pereiti prie tvaresnės gamybos. Žaliasis vandenilis gaminamas elektrolizės būdu, naudojant atsinaujinančią energiją. Šaltinių analizė parodė, kad efektyviausiai pramonėje pritaikoma yra šarminė elektrolizė. Skaičiavimai atlikti cheminių procesų modeliavimo programa „Aspen PLUS“. Buvo palaipsniui mažinamos metano konversijos gamybos apimtys ir lygiagrečiai didinamas elektrolizerio gamybos kiekis, siekiant išlaikyti vandenilio gamybą 6198,50 kmol/h. Modeliavimo rezultatai atskleidė, kad norint sumažinti gamtinių dujų sunaudojimą 400 kmol/h, reikės 121,5 MW galios elektrolizerių blokų sistemos.

Nubraižyta ir detalai aprašyta technologinė schema, pateiktas technologijos atnaujinimo brėžinys ir aprašymas.

Rekonstrukcija vykdoma Jonalaukio kaime, AB „Achema“ teritorijoje. Statinio užimamas žemės plotas 2,04 ha. Nubrėžtas pastato pjūvis, sklypo ir pastato planas iš viršaus.

Be to, buvo atlikti ekonominiai skaičiavimai, pagrindžiantys rekonstrukcijos atsiperkamumą. Diskontuotas investicijų atsipirkimo laikas yra 4,76 metai.

Įvertintas aplinkosauginis poveikis, profesinės rizikos, darbuotojų sauga ir sveikata. Aprašyti elektrolizerio patalpų gaisrinės saugos reikalavimai ir parengtas evakuacijos planas.

Petrikas, Vytautas. Green Hydrogen Integration for the Improvement of Methane Conversion. Master's Final Degree Project supervisor doc. dr. Andrius Jaskūnas, Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Engineering Sciences, Chemical Engineering.

Keywords: green hydrogen, alkaline electrolysis, steam methane reforming.

Kaunas, 2025. Number of pages 84.

Summary

The final master's project aims to use green hydrogen to optimize the methane conversion process, increase efficiency, reduce carbon dioxide emissions and transition to more sustainable production. Green hydrogen is produced by electrolysis using renewable energy. Source analysis shows that alkaline electrolysis is the most effective method for industrial application. Calculations were performed using the chemical process modeling program Aspen PLUS. The methane conversion production volumes were reduced and the electrolyzer production volume increased in parallel, to maintain hydrogen production at 6198,50 kmol/h. The modeling results revealed that to reduce natural gas consumption by 400 kmol/h, a 121,5 MW electrolyzer block system would be required.

A technological scheme has been drawn and described in detail. A drawing and description of the technological upgrade have been provided.

The reconstruction is being carried out in the village of Jonalaukis, on the territory of AB Achema. The land plot occupied by the structure is 2,04 ha. A cross-section of the building, a plan of the plot and the building from above were drawn.

In addition, economic calculations were performed to substantiate the payback of the reconstruction. The discounted payback period of the investment is 4,76 years.

The environmental impact, occupational risks, safety and health of workers were assessed. The fire safety requirements for the electrolyzer premises were described and an evacuation plan was prepared.

Turinys

Lentelių sąrašas	9
Paveikslų sąrašas	11
Įvadas.....	12
1. Literatūros apžvalga	13
1.1. Vandenilio svarba ir jo paklausa pasaulyje	13
1.2. Vandenilio rūšys.....	13
1.3. Vandenilio gamybos būdai	15
1.3.1. Metano konversija vandens garais.....	15
1.3.2. Šarminė vandens elektrolizė.....	16
1.3.3. PEM elektrolizė	17
1.3.4. Kietojo oksido elektrolizė.....	19
1.3.5. Elektrolizerių palyginimas.....	19
2. Tiriamoji dalis.....	21
2.1. Metano konversijos linija	21
2.1.1. Metano konversijos technologijos „Aspen PLUS“ modelio rezultatai	26
2.2. Šilumos mainų blokas.....	28
2.2.1. Šilumos mainų bloko „Aspen PLUS“ modelio rezultatai	30
2.3. Šarminis vandens elektrolizeris žaliojo vandenilio gamybai	32
2.3.1. Šarminio elektrolizerio skaičiavimo rezultatai	35
3. Inžinerinė dalis.....	39
3.1. Technologinės schemos aprašymas	39
3.1.1. Technologinės linijos pakeitimai.....	42
3.2. Šarminis vandens elektrolizeris	43
3.3. Statybiniai sprendimai	44
3.3.1. Pradiniai duomenys projektavimui.....	44
3.3.2. Sklypo planas.....	45
3.3.3. Projektuojamo pastato sprendimai	45
3.3.4. Statinio architektūrinė, konstrukcinė sandara.....	45
3.3.5. Bendrųjų statinio (pastato) inžinerinių sistemų ir technologinės įrangos sprendimai.....	46
3.4. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai.....	46
3.4.1. Inovacijos projektavimo ir diegimo aplinkos analizė: ekonominių ir organizacinių problemų nustatymas	46
3.4.2. Projekto investicijos ir jų finansavimo šaltiniai	47
3.4.3. Produkcijos gamybos apimtys planavimas.....	48
3.4.4. Gamybos kaštai	49
3.4.5. Veiklos kaštai	55
3.4.6. Finansinės sąnaudos	56
3.4.7. Gaminių kainos skaičiavimas	56
3.4.8. Projekto pelnas	56
3.4.9. Gryųjų pinigų srautų ir pelno skaičiavimas.....	57
3.4.10. Projekto investicijų efektyvumo vertinimas.....	58
3.4.11. Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai.....	62
3.5. Aplinkosauginis vertinimas	63
3.5.1. Bendrieji duomenys.....	63

3.5.2. Atliekos.....	64
3.5.3. Aplinkos oro tarša.....	64
3.5.4. Naudojamas vanduo ir susidarančios nuotekos	65
4. Darbuotojų sauga ir sveikata	66
4.1. Projektuojamojo objekto charakteristika	66
4.2. Profesinės rizikos vertinimas.....	66
4.3. Saugi gamyba	69
4.3.1. Saugi gamyba įvertinant elektros srovės pavojų	69
4.3.2. Saugi gamyba įvertinant sprogimo ir gaisro pavojų.....	69
4.4. Darbo higiena	70
4.4.1. Cheminiai veiksniai	70
4.4.2. Fiziniai veiksniai	71
4.5. Gaisrinė sauga	72
Išvados	74
Literatūros sąrašas	75
Priedai.....	79
1 priedas. Technologinė schema.....	79
2 priedas. Sklypo planas	79
3 priedas. Pastato skersinis ir išilginis pjūvis	79
4 priedas. Įrenginių išdėstymo planas	79
5 priedas. Darbo apimties patvirtinimai	79

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Vandenilio gamybos palyginimas naudojant skirtingus elektrolizerius [25]	19
2.1 lentelė. Gamtinių dujų molinė sudėtis.....	22
2.2 lentelė. Oro – garų mišinio molinė sudėtis	23
2.3 lentelė. Įrengimų specifikacijos „Aspen PLUS“ aplinkoje	25
2.4 lentelė. Metano konversijos „Aspen PLUS“ modelio rezultatai.....	26
2.5 lentelė. Pagamintas vandenilio dujų kiekis tenkantis vienam sunaudotam 1 kmol gamtinių dujų	27
2.6 lentelė. Reikalingų pašildyti srautų parametrai, esant 2900 kmol/h gamtinių dujų debitui.....	29
2.7 lentelė. Išsiskiriančio CO ₂ kiekis priklausomai nuo sudeginamų gamtinių dujų kiekio.....	30
2.8 lentelė. CO ₂ emisijų ir gamtinių dujų sunaudojimo priklausomybė nuo srauto prisotinimo grynu deguonimi	31
2.9 lentelė. Elektrolizerio membranos parametrai	33
2.10 lentelė. Elektrodo parametrai	34
2.11 lentelė. Elektrolizerio galios, susidariusio O ₂ ir sunaudojamo H ₂ O kiekio priklausomybė nuo pagaminamo žaliojo vandenilio kiekio.....	35
2.12 lentelė. 2024 metų vidutinės elektros, gamtinių dujų kaina ir CO ₂ mokestis	36
2.13 lentelė. Duomenys skirti gamybos kaštų apskaičiavimui	37
3.1 lentelė. Bendrieji statinio techniniai rodikliai	45
3.2 lentelė. Projekto finansavimo poreikis ir šaltiniai.....	47
3.3 lentelė. Pastatų ir technologinių įrengimų vertė.....	47
3.4 lentelė. Trumpalaikio turto (apyvartinių lėšų) poreikis.....	48
3.5 lentelė. Produkcijos gamybos apimtys planavimas.....	48
3.6 lentelė. Gamtinių dujų išlaidos.....	49
3.7 lentelė. Tiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui	50
3.8 lentelė. Tiesioginės išlaidos elektros energijai.....	50
3.9 lentelė. Tiesioginės išlaidos šiluminei energijai	51
3.10 lentelė. Netiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui.....	52
3.11 lentelė. Netiesioginės išlaidos vandeniui	53
3.12 lentelė. Netiesioginės išlaidos apšvietimui	53
3.13 lentelė. Pagrindinių priemonių nusidėvėjimas (amortizacija).....	54
3.14 lentelė. Netiesioginių gamybos išlaidų sąmata	54
3.15 lentelė. Gamybos kaštai	55
3.16 lentelė. Palūkanų mokėjimo ir paskolos grąžinimo planas	56
3.17 lentelė. Gaminių kainų apskaičiavimas.....	56
3.18 lentelė. Įmonės pelno (nuostolio) ataskaita	56
3.19 lentelė. Sąnaudų pasikeitimas, įgyvendinus projektą.....	57
3.20 lentelė. Projekto grynujų pinigų srautų (GPS) skaičiavimas	58
3.21 lentelė. Projekto vertinimo rodikliai	59
3.22 lentelė. Projekto paprasti ir diskontuoti grynieji pinigų srautai (GPS)	59
3.23 lentelė. Projekto ekonominio vertinimo rodikliai	60
3.24 lentelė. Lūžio taško skaičiavimas.....	61
3.25 lentelė. Projekto balansas	61
3.26 lentelė. Projekto finansiniai ekonominiai rodikliai	62
3.27 lentelė. Duomenys apie gaminius (produkciją).....	63

3.28 lentelė. Kuro ir energijos vartojimas	63
3.29 lentelė. Duomenys apie naudojamą žaliavą, chemines medžiagas ar preparatus	63
3.30 lentelė. Atliekos, atliekų tvarkymas	64
3.31 lentelė. Stacionarių taršos šaltinių fiziniai duomenys	64
3.32 lentelė. Tarša į aplinkos orą	65
3.33 lentelė. Numatomas vandens paėmimas ir vartojimas	65
4.1 lentelė. Rizikos veiksnių identifikavimas ir kiekybinis įvertinimas [37] [38] [39] [40].....	66
4.2 lentelė. Medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliai	68
4.3 lentelė. Pastatų, patalpų ir išorinių įrenginių kategorijos pagal sprogo ir gaisro pavojų	68

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Vandenilio rūšys [7]	14
1.2 pav. Vamzdinės krosnies pjūvis [16]	15
1.3 pav. Šarminio vandens elektrolizerio principinė schema.....	17
1.4 pav. PEM elektrolizerio principinė schema	18
1.5 pav. Kietojo oksido elektrolizerio principinė schema.....	19
2.1 pav. Metano konversijos ir elektrolizerio pagaminami vandenilio kiekiai, mažinant pagrindinį gamtinių dujų suvartojimą	21
2.2 pav. „Aspen PLUS“ modelis. Metano konversijos technologinė schema	22
2.3 pav. Gamtinių dujų paskirstymas ir suslėgimas.....	22
2.4 pav. Gamtinių dujų valymo nuo sieros blokas	23
2.5 pav. Pirminis ir antrinis reformingas.....	24
2.6 pav. Garo gamyba Katiluose – utilizatoriuose	24
2.7 pav. I ir II laipsnio CO konversija.....	25
2.8 pav. CO ₂ ir CO dujų susidarę kiekiai, priklausomai nuo technologijai sunaudojamo gamtinių dujų kiekio	26
2.9 pav. Gamtinių dujų pasiskirstymas į technologiją ir sudeginimą, mažinant bendrą GD srautą, kmol/h.....	27
2.10 pav. Katilų – utilizatorių suminis vandens debito pokytis, mažinant gamtinių dujų debitą	28
2.11 pav. Šilumokaičių sistema.....	29
2.12 pav. Įeinantys į vamzdinę krosnį gamtinių dujų sudeginimui, oro ir gryno deguonies srautai. 30	
2.13 pav. CO ₂ dujų išmetimo pokytis mažinant bendrą technologijos ir skirtų sudeginimui gamtinių dujų vartojimą.....	32
2.14 pav. „Aspen PLUS“ elektrolizerio technologinė schema	33
2.15 pav. Elektrolizerio bloko schema „Aspen PLUS“ modelyje	34
2.16 pav. Energijos suvartojimas vienam kilogramui H ₂ , kWh/kg, priklausomai nuo pagaminamo vandenilio kiekio	36
2.17 pav. Vandenilio gamybos kaštų pokytis, mažinant metano konversijos gamybos apimtį ir pakeičiant pilkajį vandenolį žaliuoju, eur/h (Išskaitant elektros kainą).....	38
2.18 pav. Vandenilio gamybos kaštų pokytis, mažinant metano konversijos gamybos apimtį ir pakeičiant pilkajį vandenolį žaliuoju, eur/h (jei naudojama įmonėje gaminama žalioji energija)	38
3.1 pav. Technologinė schema	39
3.2 pav. Šarminio elektrolizerio schema	42
3.3 pav. Vienas elektrolizerio bloko elementas [29].....	43
3.4 pav. Elektrolizerio bloko sandara [30]	43
3.5 pav. Sklypo nuotrauka.....	44
3.6 pav. Diskontuoti pinigų srautai	61
4.1 pav. Įspėjamasis ženklas „Karštas paviršius“ [48].....	71
4.2 pav. Evakuacijos planas	73

Įvadas

Vandenilio dujos atlieka svarbų vaidmenį chemijos pramonėje. Jos naudojamos kaip žaliava įvairioms cheminėms medžiagoms ir kurui gaminti.

Vandenilio gamybos, transportavimo ir naudojimo poveikis aplinkai yra keliantis susirūpinimą tyrimų objektas, ypač dėl vandenilio gamybos metodų, kurie prisideda prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimų. Vandenilį galima gaminti iš įvairių išteklių. Labiausiai paplitęs metodas yra metano konversija vandens garais, kurio pagrindinė žaliava yra gamtinės dujos. Vandenilio gamyba naudojant endoterminę konversiją yra ekonomiškiausias būdas iš esamų dabartinių komercinių gamybos procesų. Taikant šį metodą, gamtinių dujų žaliavos sąnaudos paprastai sudaro apie 52–68 % galutinės vandenilio kainos didesnėse gamyklose [1]. Tačiau, vykdant gamybą šiuo būdu, yra išmetamas į aplinką didelis kiekis nuodingų dujų.

Oro tarša yra rimta visuomenės sveikatos problema visame pasaulyje, ypač išsivysčiusiose ir besivystančiose šalyse. Tenkinat energijos poreikius yra deginamas iškastinis kuras. Deginant iškastinį kurą, išsiskiria nemažai oro teršalų. Į aplinką išskiriami įvairūs pirminiai ir antriniai teršalai: SO₂, CO₂, CO, angliavandeniliai, įvairūs organiniai junginiai ir azoto oksidai (NO_x). Todėl oro tarša dėl šios veiklos ne tik kelia grėsmę oro kokybei, bet ir iš dalies yra atsakinga už klimato kaitą ir visuotinį atšilimą [2].

Taigi, vandenilio gamybai reikalinga švari technologija, kuri gali būti užtikrinta, jei vandenilis būtų gaminamas naudojant atsinaujinančius šaltinius. Integruojant žaliąjį vandenilį į metano konversijos liniją, gamyba gali tapti efektyvesnė ir ekologiškesnė. Tyrimui buvo pasirinkta elektrolizė kaip alternatyvus vandenilio gamybos būdas, nes turi keletą privalumų. Pirma, ji neišskiria šiltnamio efektą sukeliančių dujų, jei gamybos energijos poreikius patenkina atsinaujinantys ištekliai. Be to, elektrolizės būdu gaminamas vandenilis atitinka aukštus kokybės reikalavimus ir gali būti tiesiogiai naudojamas amoniako gamyboje, kuro elementuose, vidaus degimo varikliuose ar kitose srityse.

Darbo tikslas – išanalizuoti metano konversijos veikimo principą ir suprojektuoti patobulinimą, siekiant sumažinti kenksmingas CO₂ emisijas į aplinką.

Darbo uždaviniai:

- atlikti literatūros analizę, išsiaiškinti, kuris žaliojo vandenilio gamybos būdas efektyviausiai pritaikomas pramonėje;
- pasitelkus cheminių procesų modeliavimo programinę įrangą „Aspen PLUS“, sumodeliuoti metano konversijos ir šarminio elektrolizerio gamybos liniją;
- parinkti optimaliausią elektrolizerio veikimo principą, sumažinant metano konversijos gamybos apimtį, tačiau išlaikant tokį patį suminį pagaminamo vandenilio kiekį;
- aprašyti esamą gamybos liniją, bei atlikti technologinės linijos pakeitimus;
- pateikti patobulinimo statybinius sprendimus, atlikti ekonominius ir finansinius skaičiavimus, įvertinti aplinkosauginius klausimus, nustatyti ir įvertinti galimą riziką darbe ir ją pašalinti.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Vandenilio svarba ir jo paklausa pasaulyje

Vandenilis – sparčiai augančią paklausą turinčios dujos. Tarptautinės energetikos agentūros IEA duomenimis 2023 metais pasaulinė vandenilio paklausa siekė 97 Mt. Tai yra 2,5 % rinkos augimas palyginus su parėjusiais metais [3]. Naftos perdirbimas ir amoniako gamyba – tai didžiausią vandenilio kiekį sunaudojančios pramonės šakos Europoje. Kartu šie du sektoriai sunaudoja 79 % viso pagaminamo vandenilio kiekio [4].

Naftos perdirbimo gamyklose vandenilis naudojamas hidrinimo ir hidrokrekingo procesams. Hidrovalymas yra vienas iš pagrindinių dyzelino rafinavimo proceso etapų.

Amoniako gamybos procese atliekama vandenilio sintezė su azotu, sunaudojant 175–180 kg H₂ vienai tonai amoniako. Apskaičiuota, kad 2020 m. bendras vandenilio poreikis amoniako pramonei siekė 2,5 Mt, iš kurio didžioji dalis buvo skirta trąšoms gaminti [5].

Šiuo metu metano konversija vandens garais yra pagrindinis vandenilio dujų gamybos būdas [4]. 2022 metais Europos Sąjungoje 96 % vandenilio buvo pagaminta naudojant gamtines dujas, todėl išmetamas didelis CO₂ kiekis į aplinką. Vienas iš pagrindinių Europos Sąjungos prioritetų yra žaliojo kurso diegimas ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo į aplinką mažinimas. Todėl Europos komisija priėmė strategiją, kuria iki 2030 metų siekiama sumažinti CO₂ emisijas, plėtojant atsinaujinančio žaliojo vandenilio gamybą. Planuojama pagaminti bent 10 mln. tonų žaliojo vandenilio per metus [6].

Be to, iš žaliojo vandenilio pagaminti degalai gali atlikti svarbų vaidmenį sektoriuose, kuriuose sunku sumažinti išmetamųjų teršalų kiekį, o kitų mažinimo priemonių gali nebūti arba jas būtų sunku įgyvendinti. Teigiamą įtaką H₂ degalai gali turėti sunkiosios pramonės, tolimųjų reisų transporto, laivybos ir aviacijos sektoriuose. Vandenilio vaidmuo energetikos sektoriuje nuolat auga. Plėtojamos naujos žaliojo vandenilio gamybos technologijos, atliekami moksliniai tyrimai [3]. Europos komisijos duomenimis iki 2050 m. sukauptos investicijos į atsinaujinantį vandenilį Europoje galėtų siekti 180–470 mlrd eurų [7].

Vandenilis gali būti naudingas ES elektros energijos sektoriui, užtikrinant ilgalaikį ir didelio masto saugojimą. Vandenilio kaupimo potencialas ypač naudingas elektros tinklams, nes leidžia ne tik didelius kiekius, bet ir ilgą laiką išlaikyti atsinaujinančią energiją. Atsinaujinantis vandenilis gali padėti pagerinti energijos sistemų lankstumą, subalansuodamas pasiūlą ir paklausą, kai pagaminama per daug arba nepakankamai energijos, o tai padeda padidinti energijos vartojimo efektyvumą visoje ES.

„Statista“ duomenimis prognozuojama, kad bendra vandenilio paklausa gali padvigubėti per ateinančius 5–10 metų [8].

1.2. Vandenilio rūšys

Priklausomai nuo naudojamos gamybos rūšies, vandeniliui priskiriami skirtingi spalvų pavadinimai. Tačiau, nepaisant spalvos aprašymo, tarp įvairių vandenilio tipų skirtumas nėra pastebimas.

Spalva	Rudasis Vandenilis	Pilkasis Vandenilis	Mėlynasis Vandenilis	Turkio spalvos Vandenilis	Žaliasis Vandenilis	Rožinis Vandenilis
Procesas	Gazifikacija	Gamtinių dujų reformingas	Gamtinių dujų reformingas su anglies saugojimu	Pirolizė	Elektrolizė	Elektrolizė
Šaltinis	Anglis 	Gamtinės dujos 	Gamtinės dujos 	Gamtinės dujos 	Atsinaujinančioji energija 	Branduolinė energija 

1.1 pav. Vandenilio rūšys [7]

Žaliasis vandenilis

Žaliasis vandenilis gaminamas, naudojant energiją, gaunamą iš atsinaujinančių energijos išteklių: saulės šviesos, upių tėkmės, vėjo. Elektrolizeriai taiko elektrocheminę reakciją vandeniui skaidyti į vandenilį ir deguonį, šio proceso metu neišsiskiria anglies dioksidas. Žaliasis vandenilis sudaro nedidelę viso pagaminamo vandenilio dalį, nes šiuo metu gamyba yra brangi [9].

Mėlynasis vandenilis

Mėlynojo vandenilio gamybai dažniausiai yra taikoma metano konversija vandens garais, kuri naudoja gamtines dujas. Proceso metu yra gaunamas vandenilis, tačiau kaip šalutinis produktas susidaro anglies dioksido dujos. Mėlynasis vandenilis skiriasi nuo pilkojo tuo, kad į gamybos technologiją įeina anglies dioksido surinkimas ir saugojimas [9] [10].

Nors mėlynojo vandenilio gamyba beveik neišskiria CO₂ į aplinką, anglies surinkimo technologijų taikymas lemia didesnes energijos sąnaudas, palyginti su tradiciniu pilkojo vandenilio gamybos procesu. Tai padidina ir gamtinių dujų sunaudojimą. Taigi, įvertinus papildomų gamtinių dujų poreikį mėlynojo vandenilio gamybos proceso metu, išskiriama tik 9–12 % mažiau anglies dioksido, nei pilkojo vandenilio gamyboje [11].

Pilkasis vandenilis

Šiuo metu tai yra labiausiai paplitusi vandenilio gamybos forma. Pilkasis vandenilis gaminamas iš gamtinių dujų, naudojant metano konversiją vandens garais, bet nesugaunant šio proceso metu susidarančių šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Pilkasis vandenilis iš esmės yra toks pat kaip mėlynasis vandenilis, tačiau nenaudojamas anglies surinkimas, panaudojimas ar saugojimas [9].

Juodasis ir rudasis vandenilis

Juodasis ir rudasis vandenilis gaminamas, naudojant juodąją anglį arba lignitą (rudąją anglį). Šis gamybos būdas yra visiškai priešingybė žaliojo vandenilio technologijai, nes tai labiausiai teršiantis aplinką procesas [9].

Rožinis vandenilis

Rožinis vandenilis gaminamas elektrolizės būdu, kuris varomas branduoline energija. Labai aukšta branduolinių reaktorių temperatūra galėtų būti naudojama kitiems vandenilio gamybos etapams, gaminant garus efektyvesnei elektrolizei arba metano konversijai vandens garais [12].

Turkio spalvos vandenilis

Turkio spalvos vandenilis gaminamas naudojant procesą, vadinamą metano pirolizė. Metanas yra kaitinamas beorėje erdvėje, gaunant vandenilį ir kietą anglį. Skirtingai nuo žaliojo vandenilio, metano molekulės skaidymas reikalauja daug mažiau energijos nei vandens molekulės skaidymas, todėl procesas yra palyginti nebrangus. Nors gamybos būdai yra naudojamas iškastinis kuras, procesas yra mažiau teršiantis aplinką už mėlynojo vandenilio gamybos procesą, jei susidariusi anglis yra kaupiama ir efektyviai panaudojama. [9] [12].

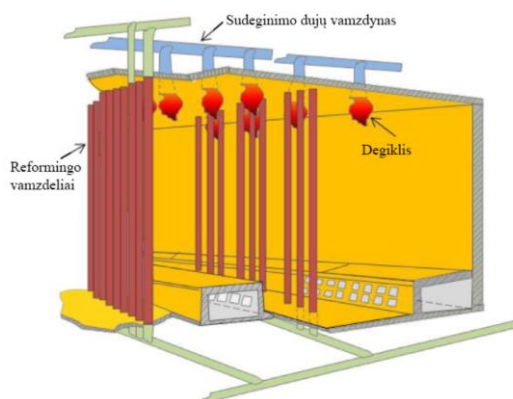
1.3. Vandenilio gamybos būdai

1.3.1. Metano konversija vandens garais

Tipiškas metano konversijos vandens garais procesas turi keturis pagrindinius įrenginius: sieros šalinimo įrenginį, pirminį ir antrinį metano konversijos įrenginius bei anglies oksido konversijos bloką [13].

Sieros yra daugumoje angliavandenilių išteklių, įskaitant naftą, gamtines dujas ir anglį. Degalų nusierinimas prieš metano konversiją yra svarbus procesas vandenilio gamybai. Degaluose esanti siera gali apnuodyti metano konversijos įrengimų katalizatorius. Todėl sieros kiekis turi būti sumažintas iki mažiau nei 1 ppm [14].

Vamzdinė krosnis paverčia gamtines dujas į vandenilį ir anglies monoksidą, vykdydama endoterminę katalizinę reakciją su vandens garais. Proceso metu susidaro vandenilio, anglies dioksido, anglies monoksido ir vandens mišinys. Mišinyje galima nesureagavusio metano frakcija, kuri priklauso nuo proceso parametrų. Produkte vandenilio ir anglies monoksido santykis paprastai yra 3–5. Jis priklauso nuo žaliavos ir proceso veikimo sąlygų, tokių kaip slėgis ir temperatūra. Mažesnis vandenilio ir anglies monoksido santykis gaunamas, padidinus temperatūrą ir sumažinus slėgį [15].

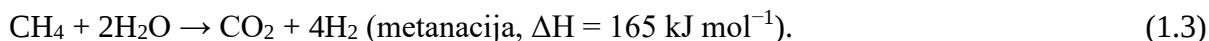
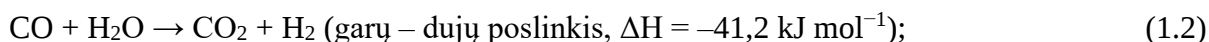


1.2 pav. Vamzdinės krosnies pjūvis [16]

Antrinė metano konversija vyksta šachtiniame konverteryje, kuriame galutinai konvertuojamos gamtinės dujos oro deguonimi ir garais, be to įmaišomas ir reikalingas amoniako sintezei azoto kiekis.

Procesui reikalingas oras imamas iš atmosferos, suspaudžiamas ir paduodamas į šachtinio konverterio degimo kamerą. Kameroje deginamas oro deguonis, išskiriant šilumą ir didinant produktų dujų temperatūrą iš pirminio reformerio. Iš dalies oksiduotos dujos praeina per katalizatoriaus zoną, kurioje vyksta vandenilio gamyba. Reaktoriaus yra pakrautas nikelio katalizatoriumi. Galiausiai dujos iš antrinio reformerio išeina per išleidimo antgalį antrinio reformerio reaktoriaus apačioje [17].

Pagrindinės metano konversijos vandens garais proceso reakcijos apima:



Bendra reakcija yra endoterminė. Tai reiškia, kad vamzdiniam kataliziniam reaktoriui reikia šilumos šaltinio, kurį generuoja krosnis [15].

Katalizatoriai, naudojami reformeriuose, dažniausiai yra pagaminti iš nikelio su kitais priedais. Dėl gero kainos ir kokybės santykio dažniausia komercinėse srityse naudojamas nikelis. Daugelis vertingų metalų, įskaitant platiną, paladį ir rodį, veikia geriau, bet yra daug brangesni. Katalizatorius turėtų užtikrinti selektyvų aktyvumą, kad reaktoriuje nevyktų koksavimo reakcijos, būtų išlaikomas didelis proceso efektyvumas aukštoje temperatūroje ir atsparumas mechaniniams įtempiams (tokiems kaip dujų ir garų srautai, aukštas slėgis ir kt.). Metano konversijos reakcija vyksta katalizatoriaus paviršiuje. Svarbu užtikrinti, kad grūdėliai turėtų didelį paviršiaus plotą. Efektyviausi katalizatoriai yra tinkelio pavidalo arba turintys didelį porėtumą, tačiau mechaniškai atspariausi ir pramonėje pageidaujami variantai yra perforuoti cilindrai arba kubeliai iš keramikos, padengti nikelio sluoksniu [18].

Angliavandenilių konversijos metu susidaręs anglies monoksidas toliau konvertuojamas dviem pakopomis vykstančioje katalizinėje reakcijoje su vandens garais.

Anglies oksido konversija vykdoma dviem laipsniais:

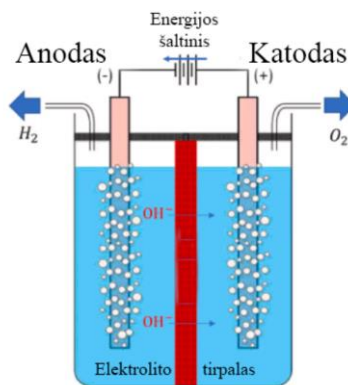
- pirmas laipsnis – vidutinės temperatūros, naudojant geležies chromo katalizatorių;
- antras laipsnis – žemos temperatūros, naudojant cinko vario katalizatorių.

konversijos procesas vyksta pagal reakciją:



1.3.2. Šarminė vandens elektrolizė

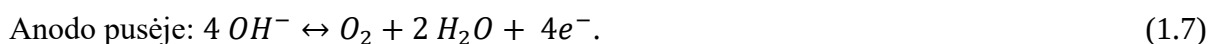
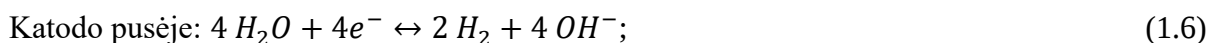
Šarminė vandens elektrolizė yra gerai žinomas elektrocheminis procesas, naudojamas vandens molekulėms padalinti į vandenilio dujas ir deguonies dujas. Elektrolizės celę paveikus elektros srovė, šalia katodo esančios vandens molekulės redukuojamos, kai vandenilio jonai iš vandens įgyja elektronus ir sudaro vandenilio dujas ir hidroksido jonus. Hidroksido jonai juda anodo link ir oksiduojasi, išskirdami deguonies dujas. Šį nuolatinį krūvininkų srautą palengvina hidroksido jonų judėjimas nuo katodo iki anodo, kuris priklauso nuo elektrolito joninio laidumo. Per išorinę elektros grandinę elektronai teka iš anodo ant katodo. Šarminė vandens elektrolizė yra patikimas ir efektyvus vandenilio gamybos metodas didelio masto pramonėje. Vandens skaidymo reakcija parodyta toliau:



1.3 pav. Šarminio vandens elektrolizerio principinė schema

Paprastai elektrocheminis elementas naudoja išorinį nuolatinės srovės maitinimo šaltinį, kad vyktų vandens skaidymo procesas. Grynam vandeniui būdingas prastas elektrinis laidumas kambario temperatūroje, todėl yra naudojami rūgštiniai arba baziniai junginiai, kurie padidina vandeninio tirpalo laidumą. Šarminės vandens elektrolizės atveju dažniausiai naudojamas kalio hidroksidas (KOH) arba natrio hidroksidas (NaOH). Plačiau yra naudojamas KOH, dėl geresnio laidumo. KOH yra disocijuoja vandenyje į K^+ ir OH^- jonus, todėl tarp elektrodų susidaro sąlygos elektros laidumui [19].

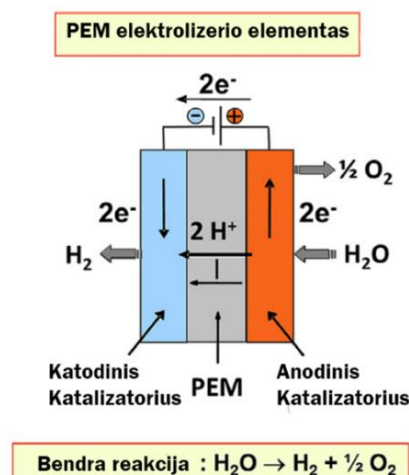
Elektrodai yra gaminami iš elektrai laidžių medžiagų arba metalų. Šarminėje vandens elektrolizėje dažniausia naudojamas nikelis. Kai šarminis vandens elektrolizės elementas gauna elektros energiją, vyksta reakcijos [14]:



Šio proceso metu pagamintoms vandenilio dujoms, paprastai būdingas didelis, maždaug 99 % grynumas, todėl tai labai pelningas gryno vandenilio gamybos būdas. Taip pat svarbu paminėti gyvybiškai svarbų šio proceso komponentą – separatoriaus membraną. Membrana atlieka dujų atskyrimo funkciją, išlaikydama vandenilio ir deguonies dujas atitinkamuose skyriuose, kad būtų išvengta bet kokio uždegimo, kuris gali atsirasti susimaišius šioms dujoms. Vandens skaidymo proceso metu, vyksta endoterminė reakcija, tai yra reakcijai reikia energijos. Iš šių reakcijų galima matyti, kad vienoje deguonies molekulėje susidaro dvi vandenilio molekulės. Be to, viso proceso metu kalio hidroksidas nėra sunaudojamas, tai rodo, kad šie jonai tik didina vandeninio tirpalo laidumą ir neturi jokio kito vaidmens cheminėje reakcijoje [19].

1.3.3. PEM elektrolizė

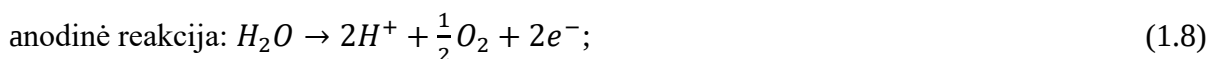
Protonų mainų membranos (PEM) elektrolizė – tai pažangi technologija, naudojama vandeniui skaidyti į vandenilį ir deguonį, naudojant elektros energiją. Šio tipo elektrolizeriuose naudojama kieta polimerinė membrana, kuri praleidžia protonus, bet neleidžia praeiti dujoms, taip užtikrinant efektyvų vandenilio atskyrimą. PEM vandens elektrolizeriai gali gaminti didelio grynumo vandenilį 70–90 °C temperatūroje [20]. Schematinis pavyzdys pateikiamas 1.4 paveikslėlyje [21]:



1.4 pav. PEM elektrolizerio principinė schema

Pagrindinę elektrolizerio konstrukciją sudaro du elementai ir juos skirianti plona protonus praleidžianti bei elektronus izoliuojanti plėvelė. Kiekvienoje membranos pusėje yra aktytas katalizatoriaus sluoksnis, kuriame vyksta reakcijos. PEM ir dvigubas katalizatoriaus sluoksnis sudaro membranos elektrodo vienetą.

Reakcijos, vykstančios PEM elektrolizeryje (anodinė, katodinė ir bendrinė) pateikiamos toliau:



Trečia lygtis yra suminė reakcija, atsirandanti dėl dviejų elektrocheminių anodinės ir katodinės reakcijų sumos, kurios vyksta prie elektrodų rūgštinėje terpėje ir kurioms įvykti reikalingas nuolatinės srovės šaltinis. Prie elektrodų prijungus nuolatinės srovės maitinimo šaltinį, vandens skilimas prasideda, kai įtampa viršija termodinaminį grįžtamąjį potencialą.

Vanduo gali būti tiekiamas į anodo arba katodo pusę. Dauguma PEM elektrolizerių veikia su vandens tiekimu į anodo pusę, nes čia vyksta H_2O skilimas. Esant grįžtamoms sąlygoms (be nuostolių), potencialų skirtumas tarp anodo ir katodo elektrodų vadinamas grįžtamuoju elemento potencialu E_0 , atitinkančiu minimalų elektros darbą, kurio reikia vandeniui suskaidyti, jei yra būtinas šiluminės energijos indėlis.

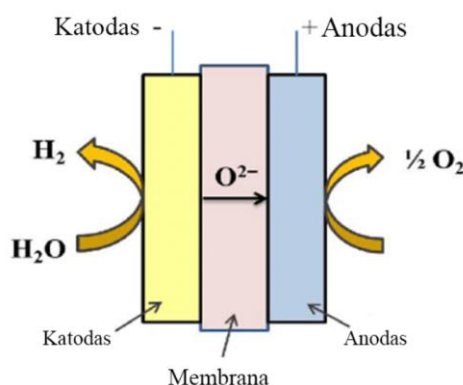
PEM elektrolizėje anodas yra gaminamas iš iridžio, dėl gero aktyvumo ir stabilumo. Katodas, vandenilio išsiskyrimo reakcijai yra padengtas platina [22].

Iridis yra vienas iš rečiausių elementų žemėje, kurio žemės plutoje yra tik $3 \cdot 10^{-6}$ milijonų dalių. Kol kas iridis laikomas antriniu kasybos metalu, todėl jo gavyba priklauso nuo pirminio metalo platinos kasimo intensyvumo. Iridžio paklausa pastaruoju metu išaugo dėl šviesos diodų gamybos, kurie naudojami išmaniuosiuose telefonuose, kompiuteriuose, televizoriuose ir automobiliuose. Todėl didelė tikimybė, kad PEM elektrolizės technologijos plėtra gali stipriai paveikti rinką ir padidinti PEM elektrolizės gamybos kaštus [23].

1.3.4. Kietojo oksido elektrolizė

Kietojo oksido elektrolizės elementai tapo pagrindine technologija elektrocheminės energijos konversijos tyrimų srityje, siūlančios tvarų būdą spręsti pasaulinius energijos poreikius ir aplinkos iššūkius. Ši naujoviška technologija išsiskiria tuo, kad vietoj įprastų metalo katalizatorių, tokių kaip nikelis, naudojama laidžioji keramika, o tai yra perspektyvus naujas gamybos procesas, kuris galėtų būti pritaikytas vandenilio gamybos pramonėje. Skirtingai nuo kitų elektrolizės technologijų, kietojo oksido elektrolizė veikia, esant aukštam slėgiui ir temperatūrai, todėl padidėja vandens skaidymo reakcijos termodinaminis efektyvumas. Be to, gaminant vandenilį kietojo oksido elektrolize pasiekiamas didesnis srovės tankis ir geresnis efektyvumas, palyginus su šarmine elektrolize, nes yra pašalinamos šios problemos: elektrolitų garavimas, korozija ir teršalų kaupimasis. [24].

Kietojo oksido elektrolizeris



1.5 pav. Kietojo oksido elektrolizerio principinė schema

Pagrindiniai kietojo oksido elektrolizės komponentai yra tankus joninis elektrolitas ir du porėti elektrodai. Kai reikalingas elektrinis potencialas taikomas elektrolizėje, vandens molekulės difunduoja į reakcijos vietas ir yra disocijuojamos, kad katodo ir elektrolito sąsajoje susidarytų vandenilio dujų ir deguonies jonai. Susidariusios vandenilio dujos pasklinda ant katodo paviršiaus ir yra surenkamos. Deguonies jonai per tankų elektrolitą yra transportuojami į anodą. Anodo pusėje deguonies jonai oksiduojami į deguonies dujas, o pagamintas deguonis per anodo poras transportuojamas per anodo paviršių. Pateikiama kietojo oksido elektrolizės bendroji reakcija:



1.3.5. Elektrolizerių palyginimas

Pateikiama 1.1 lentelė apibendrinanti ir palyginanti žaliojo vandenilio gamybos būdus [25].

1.1 lentelė. Vandenilio gamybos palyginimas naudojant skirtingus elektrolizerius [25]

Parametras	Šarminė vandens elektrolizė	Protonų mainų membranos (PEM) elektrolizė	Kietojo oksido elektrolizė
Anodinė reakcija	$2 OH^- \rightarrow H_2O + 1/2 O_2 + 2e^-$	$H_2O \rightarrow 2H^+ + 1/2 O_2 + 2e^-$	$O_2^- \rightarrow 1/2 O_2 + 2e^-$
Katodinė reakcija	$2 H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2 OH^-$	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$	$H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + O_2^-$
Bendrinė reakcija	$H_2O \rightarrow H_2 + 1/2 O_2$	$2H_2O \rightarrow H_2 + 1/2 O_2$	$H_2O \rightarrow H_2 + 1/2 O_2$

Elektrolitas	KOH/NaOH (5M)	Kietas polimerinis elektrolitas	Itrio oksidas stabilizuotas cirkoniu
Separatorius	Asbestos/Zirfon/Ni	Nafion	Kietas elektrolitas
Elektrodas (vandenilio pusė)	Nikeliu padengtas perforuotas nerūdijantis plienas	Iridžio oksidas	Ni/YSZ
Elektrodas (deguonies pusė)	Nikeliu padengtas perforuotas nerūdijantis plienas	Platina ant anglies (Pt/C)	La,Sr,Co,Fe
Dujų difuzijos sluoksnis	Nikelio tinklelis	Titano tinklelis / anglies audinys	Nikelio tinklelis/putos
Nominalus srovės tankis	0.2–0.8 A/cm ²	1–2 A/cm ²	0.3–1 A/cm ²
Įtampos diapazonas	1.4–3 V	1.4–2.5 V	1.0–1.5 V
Darbinė temperatūra	70–90 °C	50–80 °C	700–850 °C
Celės slėgis	<30 bar	<70 bar	1 bar
H ₂ grynumas	99.5–99.9998%	99.9–99.9999%	99.9%
Efektyvumas	50%–78%	50%–83%	89% (laboratorijoje)
Tarnavimo laikas (aparato)	60 000 h	50 000–80 000 h	20 000 h
Vystymosi būseną	Naudojama pramonėje	Pradėti mažos gamybos apimties projektai	Atliekami moksliniai tyrimai
Elektrodo plotas	10 000–30 000 cm ²	1500 cm ²	200 cm ²
Gamybos kaštai 1 MW	USD 270/kW	USD 400/kW	>USD 2000/kW
Gamybos kaštai mažiausiai 10 MW	USD 500–1000/kW	USD 700–1400/kW	Nežinoma

Palyginus įvairias vandens elektrolizės technologijas, šarminė vandens elektrolizė išlieka komerciškai perspektyviausia dėl mažų kapitalo sąnaudų. Nepaisant mažesnio srovės tankio, korozinio elektrolito pobūdžio ir lėtesnės reakcijos laiko apkrovos ciklo metu, ši technologija yra ypač tinkama didelio masto vandenilio gamybai. Kita vertus, protonų mainų membranos elektrolizei būdingas didelis efektyvumas ir greitas reakcijos laikas, todėl ji idealiai tinka integruoti su atsinaujinančiais energijos šaltiniais. Tačiau didelė kaina, susijusi su brangiųjų metalų katalizatoriais ir mažesniu patvarumu rūgštinėmis sąlygomis, riboja platesnį jo naudojimą [26]. Norint įveikti minėtą trūkumą, reikia sumažinti PEM elektrolizerio gamybos sąnaudas, išlaikant aukštą efektyvumą [27].

Kietojo oksido elektrolizė vis dar yra tyrimų stadijoje ir dar negali būti pritaikyta pramonėje, tačiau turi didelį potencialą dėl didelio efektyvumo ir aukštos darbinės temperatūros [25].

2. Tiriamoji dalis

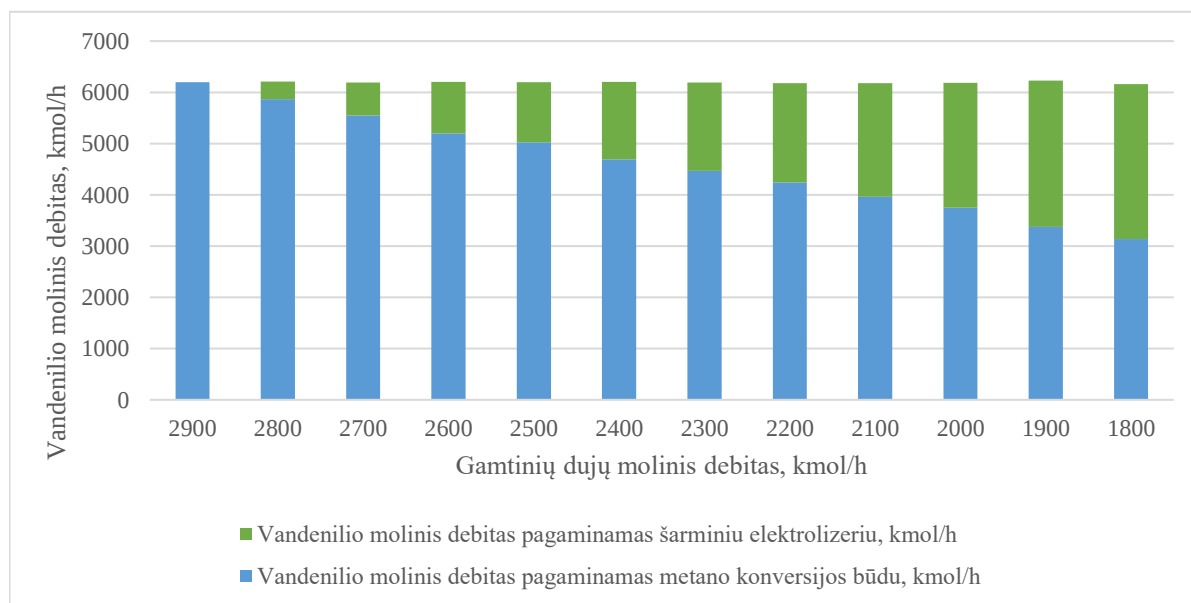
Vandenilio gamyba yra vykdoma metano konversijos būdu. Tyrimo tikslas sumažinti iškastinio kuro – gamtinių dujų suvartojimą ir kenksmingų CO₂ į aplinką išmetimą, išlaikant tą patį pagrindinio produkto – vandenilio dujų išgavimą. Šiam tikslui įdiegiamas šarminis vandenilio elektrolizeris, kuris gamina žaliąjį vandenilį.

Tyrimui pasitelkiama cheminių procesų modeliavimo programinė įranga „Aspen PLUS“.

Buvo sumodeliuota metano konversijos technologijos linija, šilumos mainų bloko sistema ir šarminio elektrolizerio blokas.

Su kiekvienu modeliu atliekama 12 skirtingų tyrimų, modelius pritaikant prie mažesnio gamtinių dujų suvartojimo. Pradedama nuo pagrindinio gamtinių dujų srauto 2900 kmol/h ir palaipsniui kas 100 kmol/h mažinama iki 1800 kmol/h.

2.1 grafike pateikti metano konversijos ir elektrolizerio pagaminami vandenilio kiekiai, mažinant pagrindinį gamtinių dujų suvartojimą:



2.1 pav. Metano konversijos ir elektrolizerio pagaminami vandenilio kiekiai, mažinant pagrindinį gamtinių dujų suvartojimą

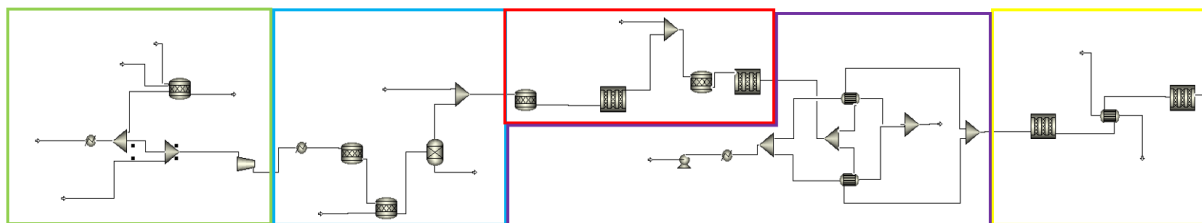
2.1. Metano konversijos linija

Modelio prielaidos:

- sieros reakcijos gamina tik H₂S;
- gamtinės dujos neturi mechaninių priemaišų;
- procesas skaičiuojamas pusiausvyros sąlygomis;
- proceso metu nėra šilumos nuostolių į aplinką;

- šiame tyrime atliekant termodinaminių savybių skaičiavimus, naudojamas Peng-Robinson modelio paketas.

Modelio technologinė schema pateikiama 2.2 paveikslėlyje.



2.2 pav. „Aspen PLUS“ modelis. Metano konversijos technologinė schema

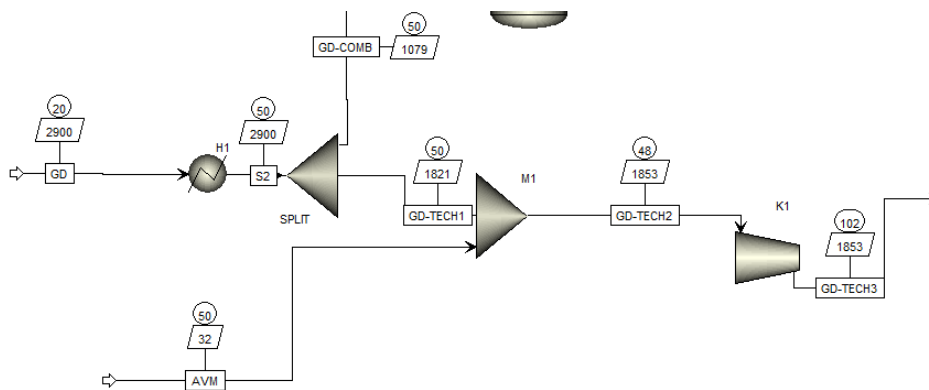
Gamtinių dujų srauto pavadinimas modelyje „GD“. Molinis debitas – 2900 kmol/h.

2.1 lentelėje pateikiama gamtinių dujų molinė sudėtis:

2.1 lentelė. Gamtinių dujų molinė sudėtis

Komponentas	Molinis debitas (kmol/h)	Molinė dalis
CH ₄	2856,33	0,99
N ₂	25,014	0,0086
C ₄ H ₆ S	9,038	0,0031
C ₂ H ₆	3,646	0,0013
C ₃ H ₈	3,351	0,0012
CO	2,212	0,00076
H ₂ O	0,265	0,000091
H ₂ S	0,140	0,000048

Pirma gamtinės dujos yra pašildomos šilumokaityje „H1“ iki 50 °C. Gamtinės dujos yra padalinamos į du srautus: sudeginimui ir technologijai. Paskirstymo metu siekiama minimizuoti gamtinių dujų kiekį į sudeginimą. Gamtinės dujos skirtos technologijai slegiamos iki 50 bar, kompresoriuje „K1“.

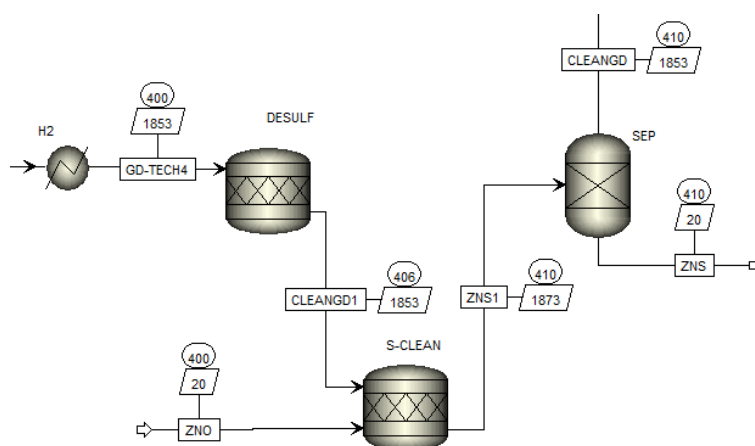


2.3 pav. Gamtinių dujų paskirstymas ir suslėgimas

Gamtinės dujos yra valomos nuo sieros. Gamtinių dujų valymas nuo sieros junginių vykdoma dviem laipsniais. Pirmame laipsnyje vykdomas organinių junginių hidrinimas į sieros vandenilį. „DESULF“ vykstanti reakcija:



Antrojo laipsnio „SCLEAN“ bloke vyksta sieros vandenilio absorbcija ant cinko oksido granulių pagal reakciją:



2.4 pav. Gamtinių dujų valymo nuo sieros blokas

Išvalytos gamtinės dujos yra sumaišomos su vandens garais. Vandens garų srauto pavadinimas modelyje – „VANDUO“. Pradinis srauto molinis debitas 7000 kmol/h, slėgis 50 bar temperatūra 200 °C.

Vandens garų debitas reguliuojamas taip, kad prieš patenkant į vamzdinę krosnį garų – dujų mišinyje H₂O sudarytų ne daugiau kaip 0,8 molinės dalies.

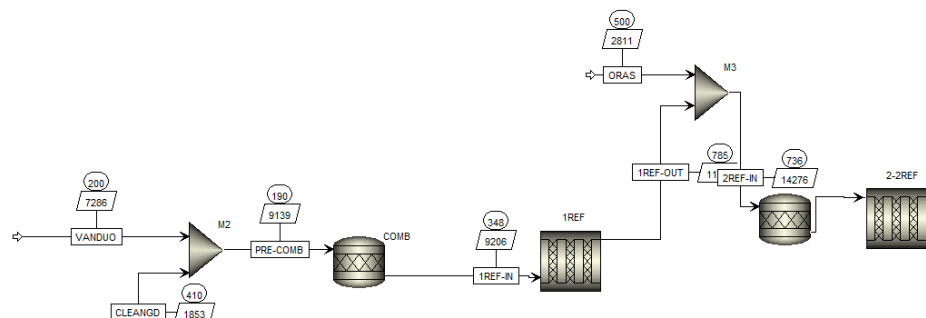
Prieš antrinę metano konversiją į nepilnai sureagavusio metano srautą yra tiekiamas oro – garų mišinys. Pradinis srauto molinis debitas – 5001 kmol/h.

Oro – garų molinė sudėtis pateikiama 2.2 lentelėje.

2.2 lentelė. Oro – garų mišinio molinė sudėtis

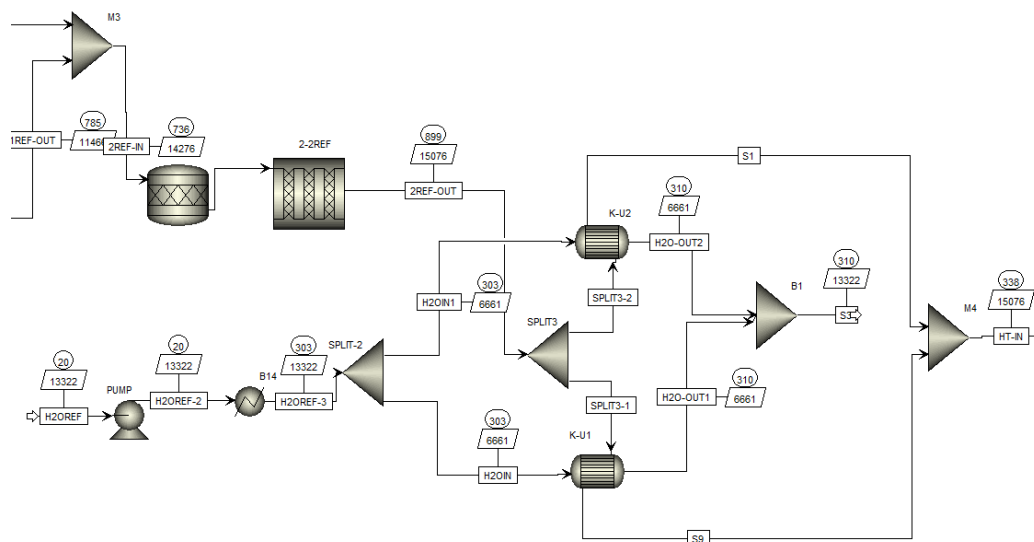
Komponentas	Molinis debitas (kmol/h)	Molinė dalis
N ₂	3549,21	0,7097
O ₂	941,19	0,1882
H ₂ O	509,10	0,1018
CO ₂	1,5	0,0003

Oro – garų mišinio debitas reguliuojamas taip, kad iš antrinio reformerio ištekančiame produkto sraute būtų bent 0,14 molinė dalis N₂ dujų, kurių reikės amoniako gamybai.



2.5 pav. Pirminis ir antrinis reformingas

Vandens srautas, kuris tiekiamas katilams – utilizatoriams („KU-1“ ir „KU-2“), pavadinimas modelyje – „H2OREF“. Svarbu išlaikyti ištekančio vandens/garų santykį 0,8–0,9, nes šis srautas yra reikalingas amoniako sintezei. Pradinis srauto debitas 13322 kmol/h.



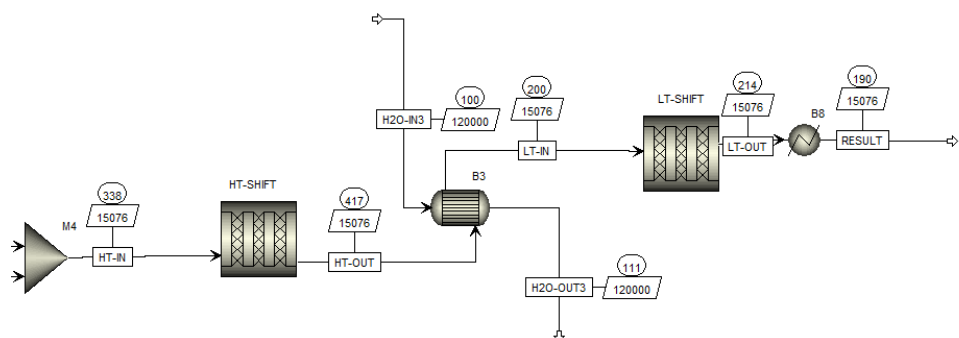
2.6 pav. Garo gamyba Katiluose – utilizatoriuose

Prieš patenkant į aukštatemperatūrę CO konversiją „HT-SHIFT“ bloke, palaikoma srauto temperatūra yra 338 °C. Atvėsinus iki 200 °C srautas tiekiamas į žematemperatūrinę CO konversiją „LT-SHIFT“.

Konversijos procesas vyksta pagal reakciją:



Rezultate gaunamos konvertuotos dujos, kurių sudėtis H_2 , CO_2 , N_2 .



2.7 pav. I ir II laipsnio CO konversija

2.3 lentelėje pateikiamos pagrindinių įrengimų specifikacijos „Aspen PLUS“ aplinkoje.

2.3 lentelė. Įrengimų specifikacijos „Aspen PLUS“ aplinkoje

Įrenginys	Pavadinimas	„Aspen PLUS“ bloko tipas	Įtekančio srauto parametrai	Reakcijos	Specifikacijos
Sieros valymo blokas	DESULF	RStoic	50 bar 400 °C	$C_2H_6S + H_2 \rightarrow C_2H_6 + H_2S$	–
	S-CLEAN	RStoic	50 bar 406 °C	$H_2S + ZnO \rightarrow ZnS + H_2O$	–
Pirminis reformeris	COMB	RStoic	50 bar 348 °C	$C_2H_6 + 2H_2O \rightarrow 5H_2 + 2CO$ $C_3H_8 + 3H_2O \rightarrow 7H_2 + 3CO$	–
	1REF	RPlug		$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$ $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$	Vamzdelių skaičius 500 Ilgis 10,7 m Vamzdelių plotis 0,102 m
Antrinis reformeris	2-1REF	RStoic	30 bar 736 °C	$CH_4 + 1,5O_2 \rightarrow CO + 2H_2O$	–
	2-2REF	RPlug		$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$ $CH_4 + 2H_2O \rightarrow CO_2 + 4H_2$	Aukštis 17 m Plotis 4 m
Aukštatemperatūrinės CO konversijos blokas	HT-SHIFT	RPlug	30 bar 338 °C	$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$	Aukštis 20 m Plotis 3,6 m
Žematemperatūrinės CO konversijos blokas	LT-SHIFT	Rplug	30 bar 200 °C	$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$	Aukštis 20 m Plotis 3,6 m

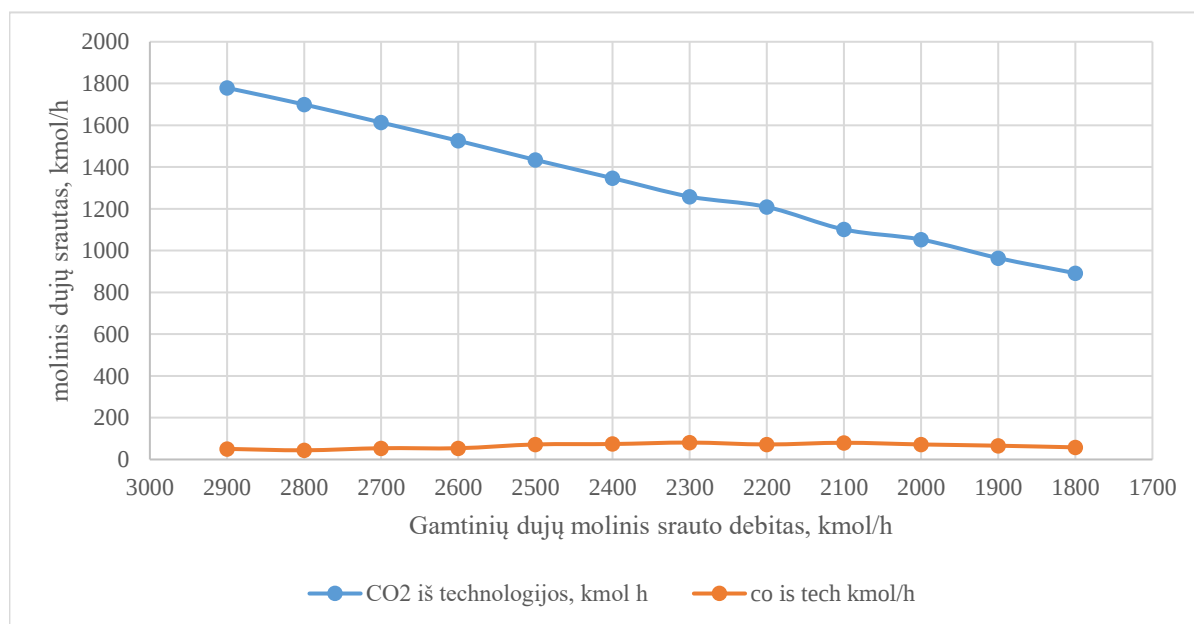
2.1.1. Metano konversijos technologijos „Aspen PLUS“ modelio rezultatai

2.4 lentelėje pateikiami metano konversijos „Aspen PLUS“ modelio rezultatai. Pateikiama reikalingos vamzdinės krosnies galios, išsiskiriančio CO₂ kiekio iš technologijos ir pagaminamo H₂ kiekio priklausomybė nuo pagrindinio gamtinių dujų molinio debito.

2.4 lentelė. Metano konversijos „Aspen PLUS“ modelio rezultatai

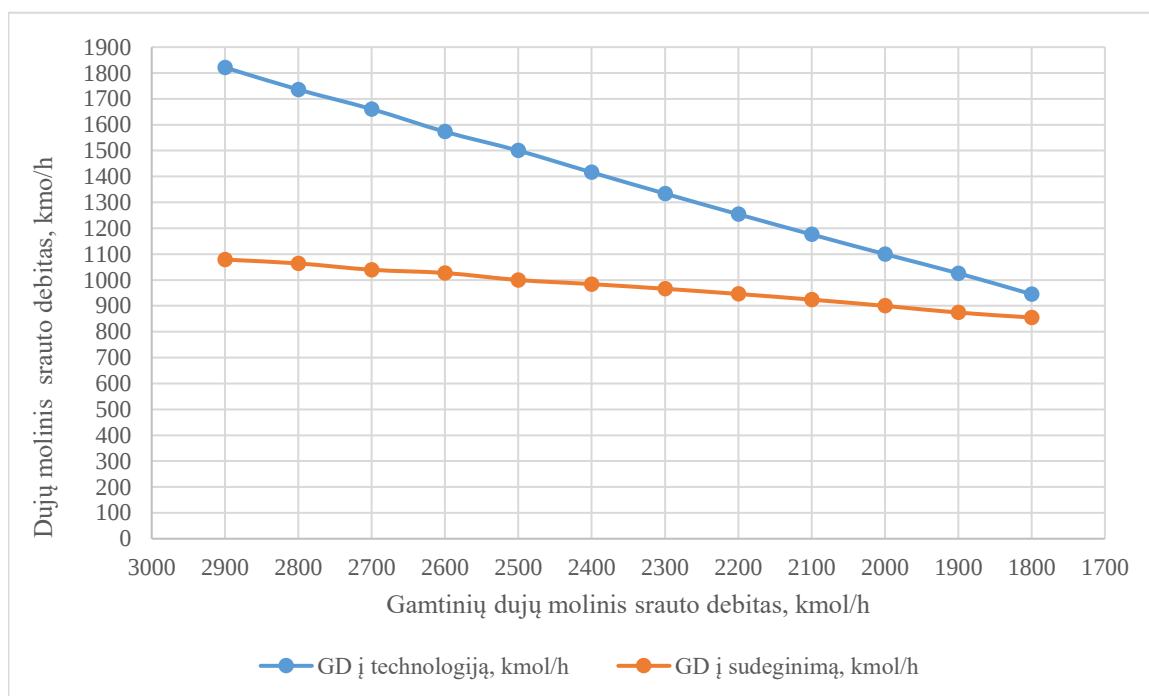
Eil. nr.	Pagrindinis suminis gamtinių dujų molinis debitas, kmol/h	Gamtinių dujų molinis debitas į technologiją, kmol/h	Gamtinių dujų molinis debitas į sudeginimą, kmol/h	Reikalinga vamzdinės krosnies galia, MW	CO ₂ molinis debitas iš technologijos, kmol/h	H ₂ molinis debitas iš technologijos, kmol/h	Katilų utilizatorių suminis vandens garų debitas kmol/h
1	2900	1821	1079	119,0	1779,29	6198,50	13322
2	2800	1736	1064	116,6	1700,00	5866,90	13322
3	2700	1661	1040	112,5	1613,37	5550,30	13322
4	2600	1573	1027	107,0	1526,00	5201,37	13322
5	2500	1500	1000	103,0	1434,29	5027,00	12000
6	2400	1416	984	98,4	1347,00	4690,60	12000
7	2300	1334	966	93,3	1258,60	4465,70	11000
8	2200	1254	946	90,0	1209,10	4241,00	10500
9	2100	1176	924	86,0	1101,40	3963,90	9800
10	2000	1100	900	82,4	1052,90	3746,69	9700
11	1900	1026	874	74,7	964,51	3377,11	9500
12	1800	945	855	70,1	891,90	3138,88	9200

Iš technologijos CO₂ išmetimas tolygiai mažėja, mažinant gamtinių dujų debitą, CO debitas išlieka beveik nepakitęs:



2.8 pav. CO₂ ir CO dujų susidarę kiekiai, priklausomai nuo technologijai sunaudojamo gamtinių dujų kiekio

Mažinant pagrindinį gamtinių dujų debitą, gamtinių dujų debitas sudegimui mažėja didesniu greičiu nei gamtinių dujų sudegimui.



2.9 pav. Gamtinių dujų pasiskirstymas į technologiją ir sudegimą, mažinant bendrą GD srautą, kmol/h

Apskaičiuojama kiek pagaminama kmol H_2 dujų, sunaudojus vieną kmol gamtinių dujų pagal formulę (2.4):

$$H_2 \text{ per } GD = \frac{H_2 \text{ tech}}{GD_{\text{visas}}}; \quad (2.4)$$

$$H_2 \text{ per } GD = \frac{6198,50}{2900} = 2,14 \text{ kmol } H_2 \text{ per 1 kmol bendrų gamtinių dujų}$$

čia $H_2 \text{ tech}$ – molinis debitas iš technologijos, kmol/h; GD_{visas} – Pagrindinis gamtinių dujų molinis debitas, kmol/h

Rezultatai pateikiami 2.5 lentelėje:

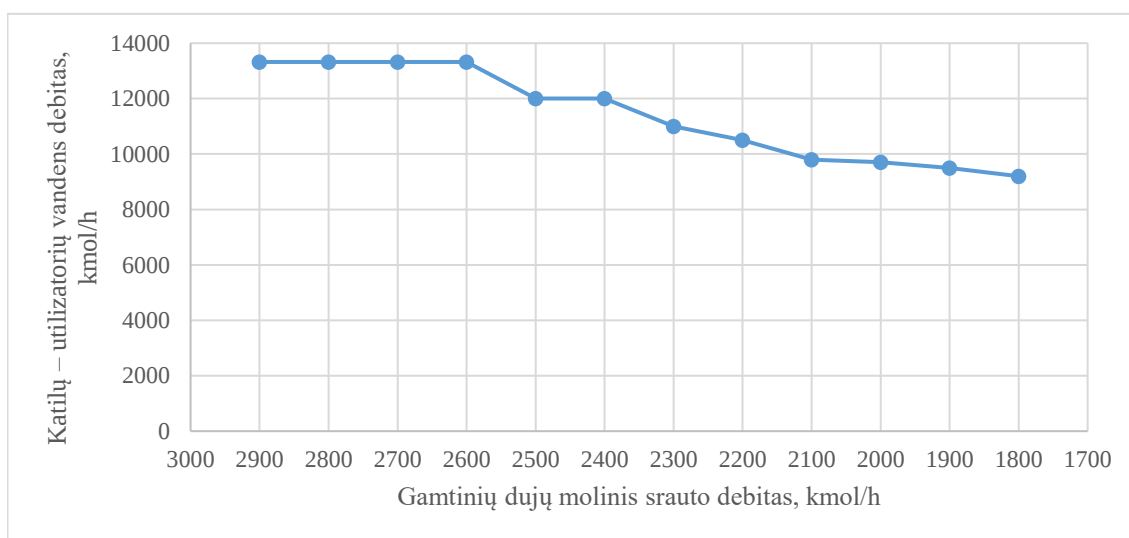
2.5 lentelė. Pagamintas vandenilio dujų kiekis tenkantis vienam sunaudotam 1 kmol gamtinių dujų

Eil. nr.	Pagrindinis gamtinių dujų molinis debitas, kmol/h	Pagamintas H_2 kmol per 1 sunaudojamą kmol bendrų gamtinių dujų
1	2900	2,14
2	2800	2,10
3	2700	2,06
4	2600	2,00
5	2500	2,01
6	2400	1,95
7	2300	1,94

8	2200	1,93
9	2100	1,89
10	2000	1,87
11	1900	1,78
12	1800	1,74

Pastebima, kad mažinant pagrindinį gamtinių dujų srautą pagamintas H_2 kmol/ 1 kmol bendrų gamtinių dujų mažėja. Tam didžiausią įtaką turi beveik nekintantis gamtinių dujų sudeginimas.

Be to, limituojantis faktorius katilų – utilizatorių vandens srautas, kurį norima išlaikyti beveik nepakitusį. Iš katilų – utilizatorių pagaminti vandens garai yra naudojami amoniako gamybai. Taigi, norint išlaikyti tas pačias amoniako gamybos apimtis, gamtinių dujų srautą galima mažinti tik iki 2500 kmol/h.



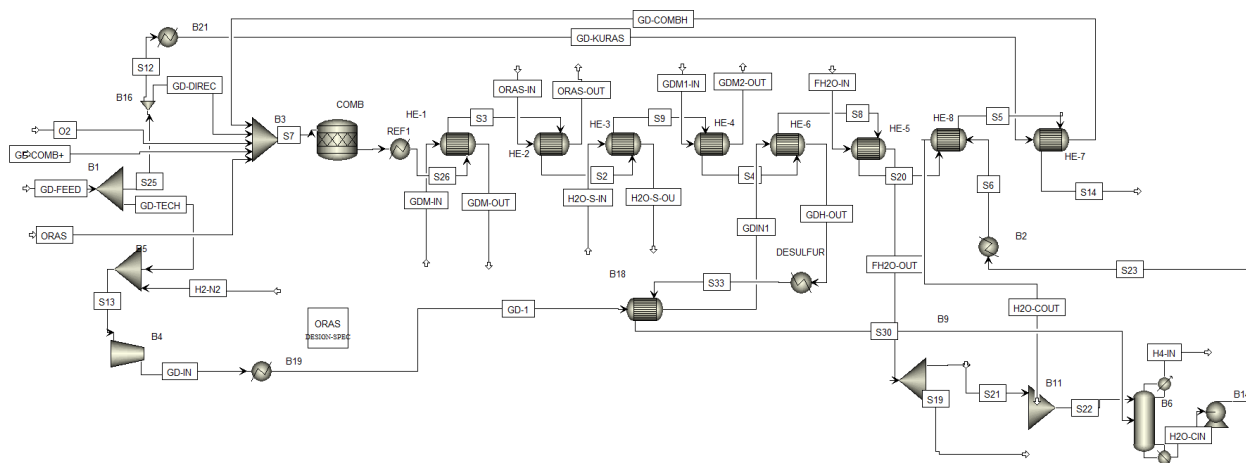
2.10 pav. Katilų – utilizatorių suminis vandens debito pokytis, mažinant gamtinių dujų debitą

2.2. Šilumos mainų blokas

Modelio prielaidos:

- nėra šilumos nuostolių į aplinką;
- taikomas Peng – Robinson skaičiavimo modelio paketas;
- naudojami apskaičiuoti pirmojo modelio duomenys, aprašant metano konversijos reakcijoms reikalingą šiluminę energiją.

2.11 paveikslėlyje pateikiama modelio technologinė schema.



2.11 pav. Šilumokaičių sistema

Gamtinių dujų srautas sudegimui reguliuojamas taip, kad degimo metu išsiskyrusios šilumos pakaktų vykdyti pirminę metano konversiją ir pašildyti srautus, reikalingus technologijai.

Į šilumos sistemą įtekančių srautų parametrai ir reikalingos pasiekti temperatūros pateikiamos 2.6 lentelėje, kai į technologiją tiekiamas bendras gamtinių dujų kiekis 2900 kmol/h. Kintant pagrindiniam GD srautui pasikeičia HE-1, HE-2, HE-4, HE-6, HE-7 debitai, tačiau reikalingos pasiekti temperatūros išlieka tos pačios.

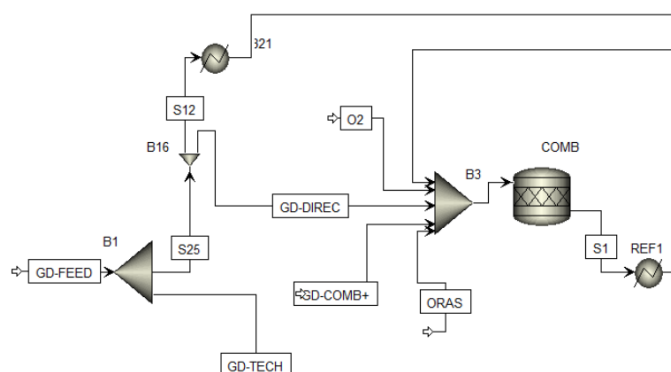
Bloke „REF-1“ aprašomas kintamas šilumos kiekis, reikalingas metano konversijos procesui, priklausomas nuo technologijai naudojamo gamtinių dujų kiekio.

2.6 lentelė. Reikalingų pašildyti srautų parametrai, esant 2900 kmol/h gamtinių dujų debitui

Šilumokaičio pavadinimas	Srauto sudėtis	Molinis srauto debitas, kmol/h	Pradinė temperatūra, °C	Pašildyto srauto temperatūra, °C
HE-1	Garų – dujų mišinys	8551,3	348,0	800,2
HE-2	Garų – oro mišinys	2898,6	249,8	457,0
HE-3	Vanduo	17544,2	311,0	490,0
HE-4	Garų – dujų mišinys	2986,1	188,5	331,0
HE-5	Vanduo	4668,9	104,0	295,0
HE-6	Gamtinės dujos	1742,5	349,0	399,0
HE-7	Gamtinės dujos sudegimui	981,0	13,8	150,0
HE-8	Cirkuliacinis vanduo	6553,6	160,0	198,0

Dujos sudegimui yra paskirstomos į du srautus: vienas tiesiogiai deginamas „GD-DIREC“, kitas iš pradžių pašildoma degimo metu išsiskyrusia šiluma ir tada tiekiamas sudegimui „S12“. Be to, yra naudojamos gamtinės dujos iš rezervuaro „GD-COMB+“. Jų pastovus debitas yra 100 kmol/h.

Oro srautas reguliuojamas, kad deguonis būtų visiškai sudeginamas. Įdiegus elektrolizerį gali būti prijungiamas papildomas gryno deguonies srautas sudeginimui.



2.12 pav. Įeinantys į vamzdinę krosnį gamtinių dujų sudeginimui, oro ir gryno deguonies srautai „COMB“ vykstančios degimo reakcijos:



2.2.1. Šilumos mainų bloko „Aspen PLUS“ modelio rezultatai

2.7 lentelėje pateikiami sunaudojamų gamtinių dujų sudeginimui ir išskiriamo CO₂ rezultatai, pagaminant atitinkamą kiekį vandenilio dujų.

2.7 lentelė. Išsiskiriančio CO₂ kiekis priklausomai nuo sudeginamų gamtinių dujų kiekio

Eil. nr.	Gamtinės dujos į sudeginimą, kmol/h	H ₂ molinis debitas iš metano konversijos technologijos, kmol/h	Reikalingas oro kiekis, kmol/h	Išskiriamas degimo metu CO ₂ , kmol/h
1	1079	6198,50	13757	1304,0
2	1064	5866,90	13600	1289,0
3	1040	5550,30	13341	1264,6
4	1027	5201,37	13209	1252,0
5	1000	5027,00	12923	1224,9
6	984	4690,60	12753	1208,9
7	966	4465,70	12563	1190,8
8	946	4241,00	12351	1170,8
9	924	3963,90	12118	1148,7
10	900	3746,69	11864	1124,6
11	874	3377,11	11589	1098,5
12	855	3138,88	11388	1079,4

Nors mažinant bendrą gamtinių dujų debitą, reikalinga galia technologijai proporcingai mažėja, tačiau norint išlaikyti kitų vamzdinėje krosnyje pašildomų srautų temperatūras, sudeginamų gamtinių dujų debitas pasikeičia nedaug (sumažinus 38% bendrą gamtinių dujų srautą, sudeginimui reikalingų gamtinių dujų kiekis sumažėja tik 21%).

Degimo proceso metu yra naudojamas aplinkos oras, kuriame yra tik 21 % O₂, o likusios dujos tokios kaip azotas nedega, tik sugeria šilumą. Taigi, padidinti vamzdinės krosnies efektyvumą galima įmaišant degimo procesą grynomis O₂ dujomis pagamintomis elektrolizeryje.

Apskaičiuojamas gamtinių dujų ir CO₂ procentinis sumažėjimas įdiegus O₂ srautą:

$$GD_{\%} = \frac{GD_{DEG} - GD_{O_2}}{GD_{DEG}} \cdot 100\%; \quad (2.8)$$

čia GD_% – GD sudeginimui sumažėjimas, įrengus O₂ srautą, %;

GD_{DEG} – sunaudojamos GD į sudeginimą, kmol/h;

GD_{O₂} – sunaudojamas DG į sudeginimą, įrengus O₂ srautą, kmol/h.

$$GD_{\%} = \frac{1064 - 1061}{1064} \cdot 100\% = 0,282 \%$$

$$CO_2 \% = \frac{CO_{2\ DEG} - CO_{2\ O_2}}{CO_{2\ DEG}} \cdot 100\%; \quad (2.9)$$

čia CO₂ % – CO₂ išsiskyrimo sumažėjimas, įrengus O₂ srautą, %;

CO₂ DEG – išsiskyręs CO₂ metano sudeginimo metu, kmol/h;

CO₂ O₂ – išsiskyręs CO₂ metano sudeginimo metu, įrengus O₂ srautą, kmol/h.

$$CO_2 \% = \frac{1289 - 1286,18}{1289} \cdot 100\% = 0,219 \%$$

Rezultatai pateikiami 2.8 lentelėje.

2.8 lentelė. CO₂ emisijų ir gamtinių dujų sunaudojimo priklausomybė nuo srauto prisotinimo grynu deguonimi

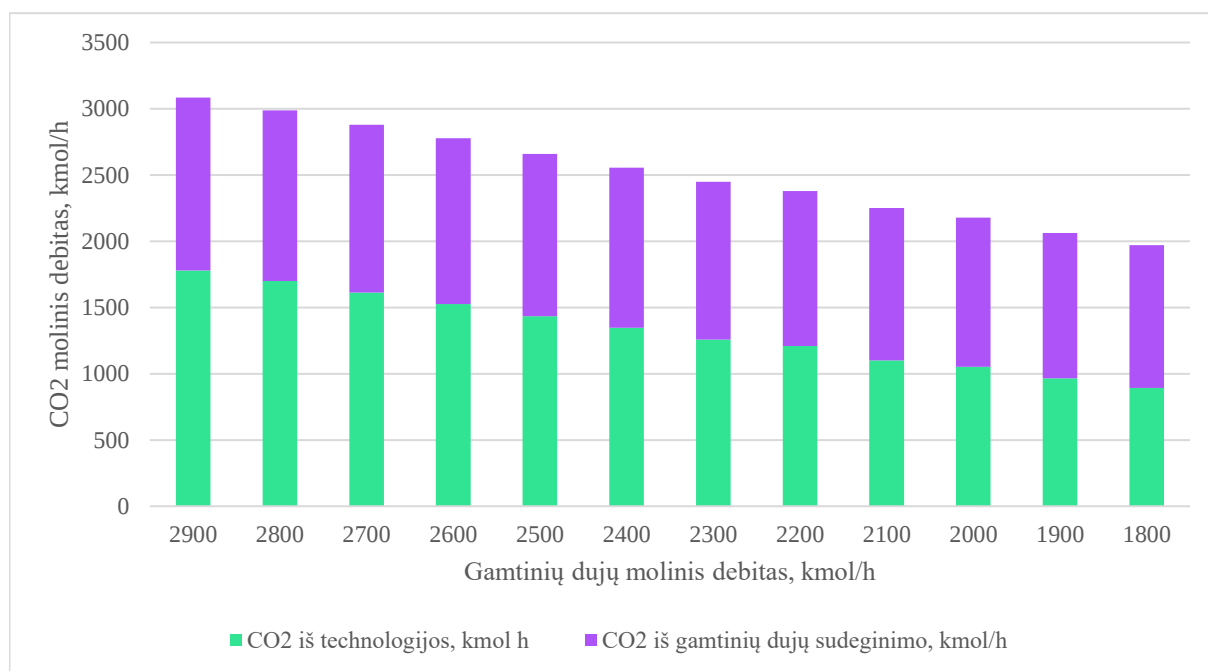
Eil. nr.	GD į sudeginimą įmaišius gryną O ₂ srautą, kmol/h	H ₂ molinis debitas iš metano konversijos technologijos, kmol/h	O ₂ srautas iš elektrolizerio, kmol/h	Išskiriamas degimo metu CO ₂ , kmol/h	GD naudojimo sudeginimui sumažėjimas, %	CO ₂ išsiskyrimo sumažėjimas sudeginant GD, %
1	–	–	–	–	–	–
2	1061	5866,90	180	1286,18	0,282	0,219
3	1034	5550,30	337	1258,75	0,529	0,466
4	1011	5201,37	525	1240,92	1,558	0,885
5	985	5027,00	612	1209,07	1,500	1,292
6	965	4690,60	793	1188,5	1,931	1,687
7	943	4465,70	904	1166,49	2,381	2,041

8	920	4241,00	1017	1147	2,748	2,033
9	892	3963,90	1160	1115,43	3,463	2,894
10	870	3746,69	1260	1092,7	3,333	2,834
11	826	3377,11	1495	1048,7	5,492	4,530
12	797	3138,88	1581	1019,4	6,784	5,558

Įdiegus iš elektrolizerio O₂ srautą galima pasiekti papildomą nuo 0,282 iki 6,784 % gamtinių dujų suvartojimo ir nuo 0,219 iki 5,558 % CO₂ išmetimo į aplinką sumažinimą, išlaikant tą patį vandenilio gamybą.

CO₂ išmetimo pokytis, susidariusio iš technologijos ir sudeginus gamtines dujas, mažinant bendrą gamtinių dujų srautą

Bendras CO₂ išmetimo pokytis, sumažinus gamtinių dujų naudojimą, apskaičiuojamas technologijos metu susidariusio ir deginant gamtines dujas susidariusio CO₂ debitus. Gamtinių dujų debitą sumažinus nuo 2900 kmol/h iki 2500 kmol/h apskaičiuotas CO₂ sumažėjimas: nuo 3083,29 kmol/h iki 2659,19 kmol/h. Rezultatai pateikti 2.13 paveikslėlyje.



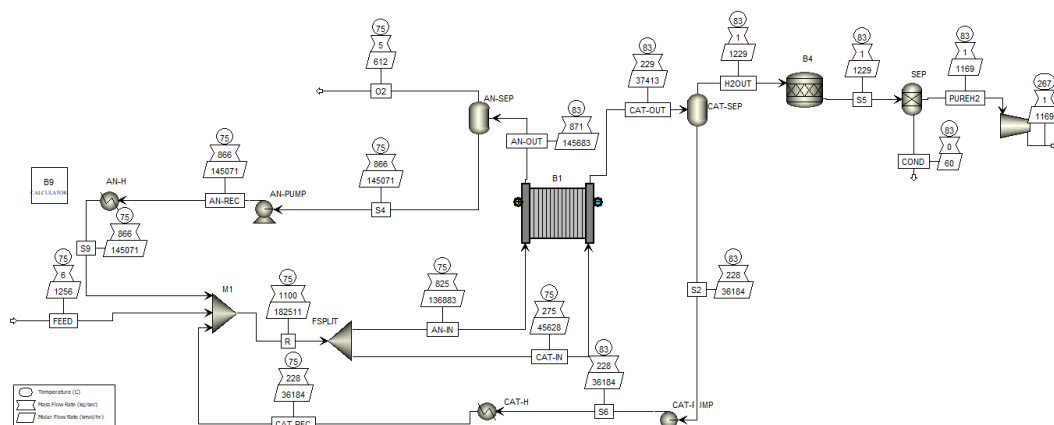
2.13 pav. CO₂ dujų išmetimo pokytis mažinant bendrą technologijos ir skirtų sudeginimui gamtinių dujų vartojimą

2.3. Šarminis vandens elektrolizeris žaliojo vandenilio gamybai

Modelio prielaidos:

- slėgio kritimas elektrolizeryje anodo ir katodo pusėje 0,3 bar;
- pritaikytas duomenų paketas NRKL-H;
- nėra energijos nuostolių į aplinką.

Paveikslėlyje 2.14 pateikiama šarminio vandens elektrolizerio „Aspen PLUS“ modelio technologinė schema.



2.14 pav. „Aspen PLUS“ elektrolizerio technologinė schema

Papildomas technologijai reikalingas vandens srautas „FEED“ apskaičiuojamas Fortran bloke „B9“ pagal formulę:

$$\text{FEED} = \text{AIN} + \text{CIN} - \text{AOUT} - \text{COUT} + \text{H2} + \text{O2} + \text{COND}; \quad (2.10)$$

čia AIN – į elektrolizerio anodo pusę įtekantis vanduo, kmol/h; CIN – į elektrolizerio katodo pusę įtekantis vanduo, kmol/h; AOUT – iš elektrolizerio anodo pusės ištekančio vanduo, kmol/h; COUT – iš elektrolizerio katodo pusės ištekančio vanduo, kmol/h; H2 – vandenilio produkte esantis vanduo, kmol/h; O2 – deguonies produkte esantis vanduo, kmol/h; COND – kondensatas, kmol/h.

Į elektrolizerio blokus tiekama elektros energija, kad vanduo galėtų būti suskaidytas į vandenilį ir deguonį per elektrocheminę reakciją, parodytą lygtyje:



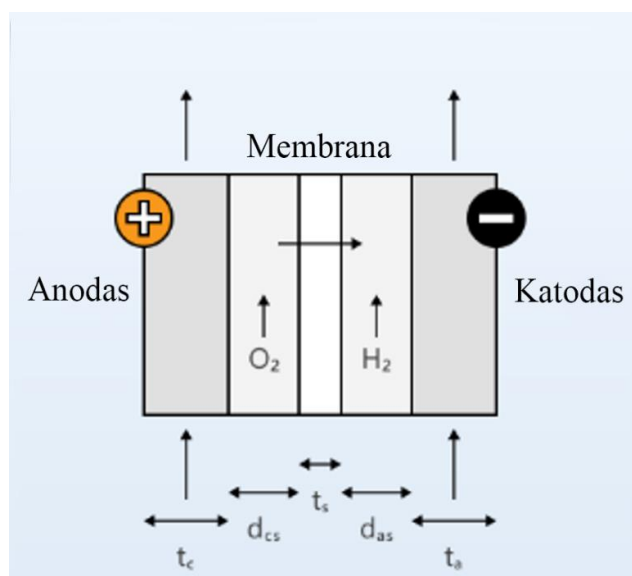
Elektrolizerio membranos ir elektrodų parametrai pateikiami 2.9 ir 2.10 lentelėse:

2.9 lentelė. Elektrolizerio membranos parametrai

Parametras	Vertė	Matavimo vienetai
Aktyvusis plotas	4	m ²
Storis (ts)	0,0005	m
Poringumas	0,42	—
Membranos vingiuotumas	2,18	—
Drėgmės faktorius	0,85	—
Deguonies difuziškumas	$1,81 \cdot 10^{-5}$	cm ² /s
Vandenilio difuziškumas	$5,63 \cdot 10^{-5}$	cm ² /s

2.10 lentelė. Elektrodų parametrai

Parametras	Anodo vertė	Matavimo vienetas	Katodo vertė	Matavimo vienetas
Aktyvusis plotas	4	m ²	4	m ²
Elektrodo plotis	2	m ²	2	m ²
Elektrodo ilgis	2	m	2	m
Poringumas	0,3	–	0,3	–
Membranos vingiuotumas	3,8	–	3,8	–
Porų spindulys	$1,6 \cdot 10^{-6}$	m	$1,6 \cdot 10^{-6}$	m
Atstumas tarp elektrodo ir separatoriaus	$1,25 \cdot 10^{-3}$	m	$1,25 \cdot 10^{-3}$	m
Storis (t_a , t_c)	0,02	m	0,02	m
Elektrodo šiurkštumo koeficientas	1,25	–	1,05	–
Elektrodo storis	0,002	m	0,002	m
Burbulų zonos plotis	$5 \cdot 10^{-4}$	m	$5 \cdot 10^{-4}$	m
Kanalo šiurkštumo koeficientas	1	–	1	–
Aktyvacijos laisvoji energija	19229,5	cal/mol	12463	cal/mol



2.15 pav. Elektrolizerio bloko schema „Aspen PLUS“ modelyje

Vandenilis katodo pusėje ir deguonis anodo pusėje, susidaręs elektrolizerių bloke, kartu su elektrolitu KOH yra nukreipiamas atitinkamai į separatorius „CATSEP“ ir „ANSEP“, kuriuose elektrolitas ir vanduo atskiriamas nuo dujų ir grąžinamas atgal recirkuliaciniais siurbliais „CATPUMP“ ir „ANPUMP“ į elektrolizerių blokus. Abu KOH ir vandens reciklai praeina per šilumokaičius (atitinkamai „CAT-H“ ir „AN-H“), kad būtų atvėsinti iki 75 °C prieš patenkant atgal į elektrolizerį.

Recikle palaikomas molinis KOH ir vandens santykis 1:4.

Vandenilio srautas yra gryninamas „B4“ ir džiovinamas „SEP“ blokuose.



Išgrynintas ir išdžiovintas H₂ srautas yra slegiamas iki 30 bar ir prijungiamas prie vandenilio dujų srauto, pagaminto metano konversijos būdu.

2.3.1. Šarminio elektrolizerio skaičiavimo rezultatai

2.11 lentelėje pateikiami rezultatai elektrolizerio galios, susidariusio O₂ ir sunaudojamo H₂O kiekio priklausomybė, nuo pagaminamo žaliojo vandenilio kiekio.

2.11 lentelė. Elektrolizerio galios, susidariusio O₂ ir sunaudojamo H₂O kiekio priklausomybė nuo pagaminamo žaliojo vandenilio kiekio

Eil. nr.	H ₂ molinis debitas, kmol/h	O ₂ molinis debitas, kmol/h	Elektrolizerio galia, MW	Sunaudojamas H ₂ O kiekis, kmol/h	HHV	LHV	Cirkuliuojamo srauto debitas, kmol/h	Elektros srovė, amp
1	–	–	–	–	–	–	–	–
2	343	180	32,0	366	0,85	0,72	66368	123315
3	643	337	66,5	691	0,78	0,66	107847	173017
4	1002	525	101,0	1065	0,79	0,67	166749	269679
5	1170	612	121,5	1256	0,77	0,65	182511	314458
6	1516	793	160,0	1629	0,75	0,63	248878	407595
7	1728	904	185,0	1861	0,74	0,63	257174	464533
8	1937	1017	210,0	2089	0,73	0,62	282062	520832
9	2216	1160	240,0	2389	0,73	0,62	323542	595687
10	2408	1260	265,0	2602	0,72	0,61	331838	647309
11	2854	1495	290,0	3066	0,78	0,66	365022	767492
12	3020	1581	310,0	3249	0,77	0,66	348430	811845

Apskaičiuojamas η energijos suvartojimas vienam kilogramui H₂, kWh/kg:

$$\eta = \frac{E}{G_s} \cdot 1000; \quad (2.13)$$

čia E – elektrolizerio galia, MW; G_s – vandenilio masės debitas, kg/h.

$$\eta = \frac{32}{686} \cdot 1000 = 46,65 \text{ kWh/kg}$$

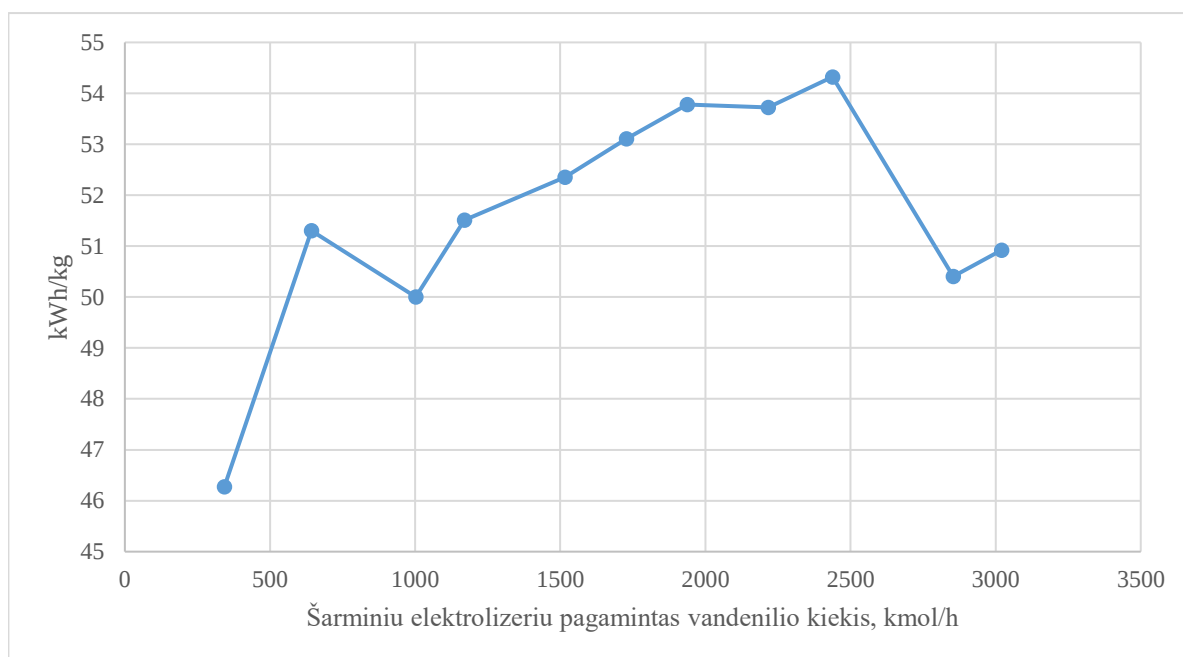
Apskaičiuojamas pagaminamo vandenilio masės debitas:

$$G_s = n_{H_2} \cdot M; \quad (2.14)$$

čia n_{H₂} – vandenilio molinis debitas, kmol/h; M – vandenilio molinė masė, 2 g/mol.

$$G_s = \frac{343 \cdot 2 \cdot 1000}{1000} = 686 \text{ kg/h}$$

Apskaičiuoti duomenys pateikiami 2.16 grafike:



2.16 pav. Energijos suvartojimas vienam kilogramui H₂, kWh/kg, priklausomai nuo pagaminamo vandenilio kiekio

Didinant elektrolizerio gamybos apimtį, proporcingai auga sunaudojamo elektrolizerio galios ir vandens kiekio sąnaudos, be to reikia įrengti daugiau elektrolizerių blokų, taigi kyla investiciniai kaštai. Didėjant gamybos mastui kyla ir energijos suvartojimas vienam kilogramui H₂.

Preliminariai apskaičiuojami gamybos kaštai. CO₂ išmetimas vertinamas tik metano konversijos linijoje iš technologijos ir dujų sudeginimo, nevykdant dujų papildomo perdirbimo ar saugojimo. Lentelėje 2.12 pareikiamos praėjusių 2024 metų vidutinės elektros, gamtinių dujų kainos ir Europos sąjungos CO₂ taršos mokestis.

2.12 lentelė. 2024 metų vidutinės elektros, gamtinių dujų kaina ir CO₂ mokestis

Elektros kaina, eur/mwh	CO ₂ mokestis eur/t	Gamtinių dujų kaina eur/mwh
87,203	67,535	35,986

CO₂ molinis debitas konvertuojamas į masės debitą (t/h):

$$G_{CO_2} = \frac{N_{CO_2} \cdot M_{CO_2} \cdot 1000}{1000}; \quad (2.15)$$

$$G_{CO_2(1)} = \frac{3083,29 \cdot 44 \cdot 1000}{1000} = 135665 \text{ kg/h} = 136,67 \text{ t/h}$$

čia G_{CO_2} – CO₂ masės debitas, kg/h; N_{CO_2} – CO₂ molinis debitas, kmol/h; M_{CO_2} – CO₂ molinė masė, 44,009 g/mol.

Gamtinių dujų molinis debitas perskaičiuojamas į masės debitą.

$$G_{CH_4} = \frac{N_{CH_4} \cdot M_{CH_4} \cdot 1000}{1000}; \quad (2.16)$$

$$G_{CH_4(1)} = \frac{2900 \cdot 19 \cdot 1000}{1000} = 55100 \text{ kg/h}$$

čia G_{CH_4} – gamtinių dujų masės debitas, kg/h; N_{CH_4} – gamtinių dujų molinis debitas, kmol/h; M_{CH_4} – CO_2 gamtinių dujų molinė masė, 19 g/mol.

Gamtinių dujų šiluminė vertė yra 45 MJ/kg. 1 MJ = 0,000278 MWh.

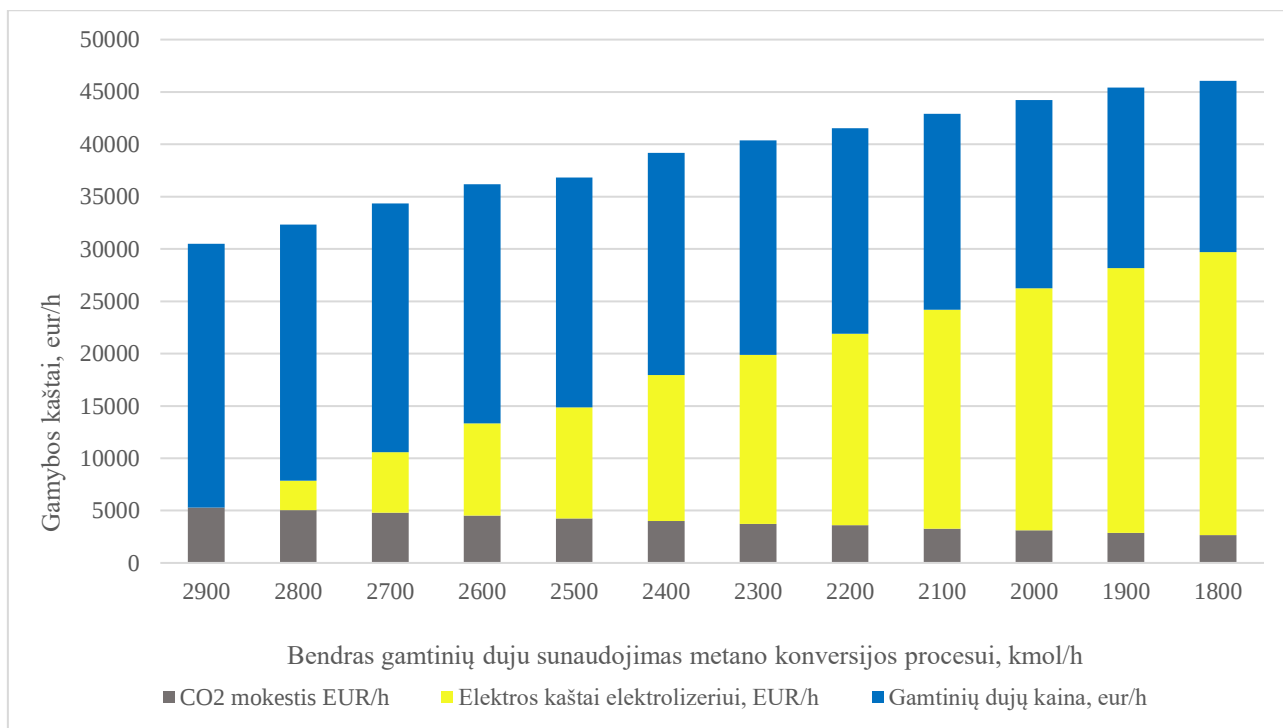
Gamtinių dujų energetinė vertė:

$$E_{GD} = 55100 \text{ kg} \cdot 45 \text{ MJ/kg} = 2479500 \text{ MJ} = 688,75 \text{ MWh}.$$

2.13 lentelė. Duomenys skirti gamybos kaštų apskaičiavimui

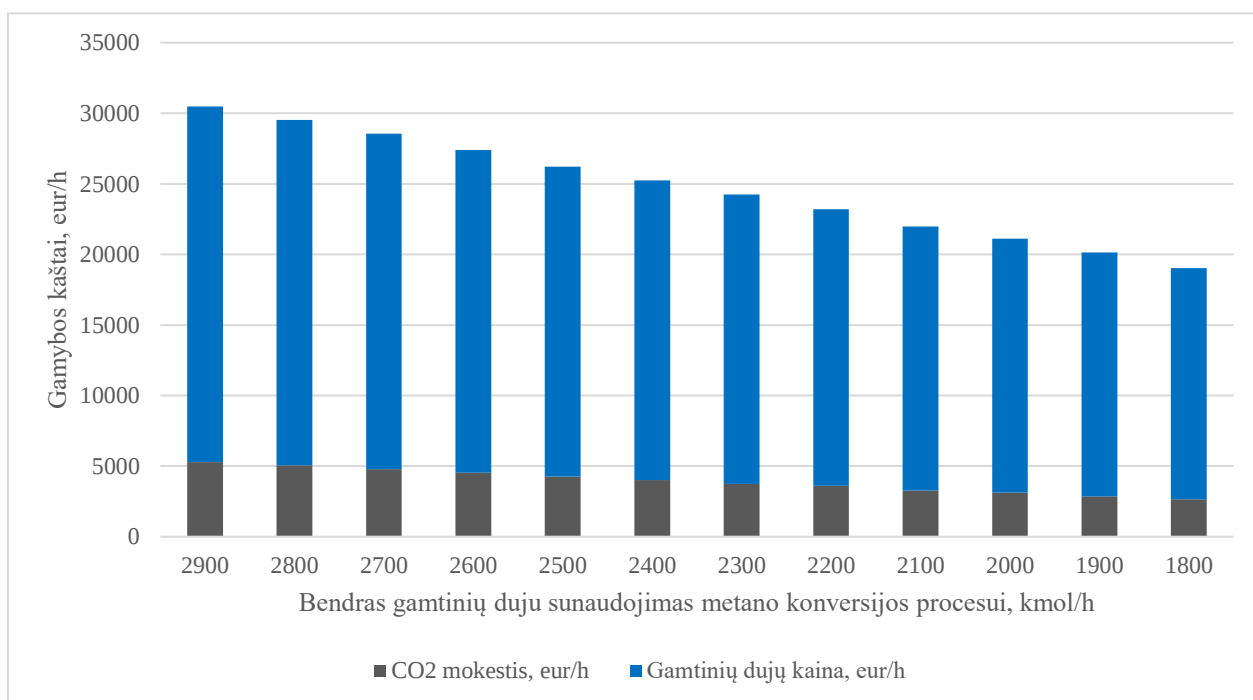
Eil. nr.	CO ₂ masės debitas ,t/h	Sunaudojama gamtinių dujų energetinė vertė, MWh	Sunaudojama elektrolizerio energija, MWh
1	135,66	688,75	0
2	131,52	665,00	32,0
3	126,63	641,25	66,5
4	122,23	617,50	101,0
5	117,00	593,75	121,5
6	112,46	570,00	160,0
7	107,77	546,25	185,0
8	104,72	522,50	210,0
9	99,00	498,75	240,0
10	95,81	475,00	267,0
11	90,77	451,25	290,0
12	86,74	427,50	310,0

2.17 grafike pateikiami valandiniai gamybos kaštai, atsižvelgiant į žaliavų, energijos ir taršos mokesčio kainą.



2.17 pav. Vandenilio gamybos kaštų pokytis, mažinant metano konversijos gamybos apimtį ir pakeičiant pilkąjį vandenolį žaliuoju, eur/h (Įskaitant elektros kainą)

Jeigu elektros energija būtų gaminama įmonėje, naudojant atsinaujinančiuosius energijos šaltinius, tiesioginiai gamybos kaštai galėtų sumažėti iki 37 %.



2.18 pav. Vandenilio gamybos kaštų pokytis, mažinant metano konversijos gamybos apimtį ir pakeičiant pilkąjį vandenolį žaliuoju, eur/h (jei naudojama įmonėje gaminama žalioji energija)

Gamtinių dujų valymas nuo sieros junginių valymas vyksta dviem etapais. Pirmas etapas vyksta hidrinimo reaktoriuje (7). Čia organiniai junginiai yra hidrinami į vandenilio sulfidą. Reaktorius užpildytas aliuminio, molibdeno ir kobalto metalų katalizatoriumi. Reakcijų metu angliavandeniliai yra išvalomi ir susidaro vandenilio sulfidas:



čia $\text{R}=\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$.

Sieros junginių hidrinimui reikalingas azoto – vandenilio mišinys yra tiekiamas prieš dujų suslėgimo kompresorių (3).

Antras etapas vykdomas sieros absorbciniuose reaktoriuose (8) ir (9). Sieros vandenilis absorbuojamas ant cinko ir vario oksido granulių:



Išvalytas srautas yra tiekiamas į prisotinimo koloną (10), kurioje technologinės dujos yra prisotintos vandens garais. Vanduo naudojamas prisotinimui kaitinamas iki garų fazės vamzdinės krosnies (12) vamzdeliuose. Nepanaudotas vanduo išteka iš kolonos apačios ir pumpuojamas siurbliu (11) į konvekcinę vamzdinės krosnies dalį. Pašildytas srautas vėl panaudojamas prisotinimo kolonoje.

Norint palaikyti gamtinių dujų mišinyje 3,5:1 garų – dujų tūrinių santykį, papildomai įvedami 4 MPa slėgio vandens garai. Esant mažesniai garų – dujų santykiui prasideda metano krekingas, kurio metu išsiskiria elementinė anglis. Anglis užkemša katalizatoriaus poras ir norimos reakcijos lėtėja. Mišinys pašildomas iki 320 °C temperatūros konvekcinėje vamzdinės krosnies zonoje. Po to srautas pasiskirstomas kolektoriuose, kuriuose sujungti 500 reakciniai vamzdžiai. Šie vamzdžiai užkrauti nikelio katalizatoriumi. Radiacinėje vamzdinės krosnies zonoje šiluma, reikalinga konversijos procesui, gaunama lubiniuose degikliuose deginant gamtines dujas. Sudegintų dujų dūmai pašalinami kaminu (13). Lubinių degiklių liepsna yra nukreipta iš viršaus į apačią. Vyksta reakcijos:



Dujų temperatūra iš reakcinių vamzdžių turi būti ne didesnė kaip 830 °C. Metano kiekis ne didesnis kaip 11,5 tūrio %. Dalinai konvertuotas dujų – garų mišinys patenka į maišytuvo šoninę dalį, esančią antrojo reformerio viršuje.

Antro laipsnio metano konversija vykdoma šachtiniame metano konvertoriuje (15). Dalinai konvertuotas garų – dujų mišinys reaguoja su deguonimi gautu iš oro ir vandens garais. Prieš tiekiant kompresoriuje (14) suslėgtą iki 3 MPa oro mišinį, jis pirma prisotinamas vandens garais ir pašildomas šilumos perdavimo aparatūros bloke iki 500 °C. Garų – oro mišinys patenka į šachtinį konverterį per maišytuvo viršutinę dalį. Laisvoje šachtinio metano konvertoriaus erdvėje vyksta likutinio metano sudeginimas:



Degimo procesas vyksta konvertoriaus laisvoje erdvėje, todėl katalizatorius neperkaista. Degimo reakcijos metu dujų temperatūra pakyla iki 1200 °C. Šios temperatūros pakanka tolimesnei endoterminei reakcijai.

Metano konversija vandens garais vyksta katalizatoriaus sluoksnyje:



Po reakcijų antriniame reformeryje temperatūra sumažėja iki 970 °C dėl endoterminio proceso.

Konvertuotos dujos atvėsinašamos dvejuose lygiagrečiai sujungtuose pirmo laipsnio (16, 17) ir viename antro laipsnio (18) katiluose – utilizatoriuose. Jų šiluma panaudojama vandens garo gamybai. 10 MPa slėgio vanduo, kuris tiekiamas katilams – utilizatoriams, pirma yra pašildomas metano konversijos tarpvamzdinėje krosnies dalyje iki artimos virimui temperatūros – 303 °C. Konvertuotos dujos atvėsindamos atiduota šiluminę energiją vandeniui. Vanduo, esantis katiluose utilizatoriuose virsta 311 °C temperatūros sočiais vandens garais, kurie yra tiekami į vandens rinktuvą (28). Susikondensavusi vandens fazė yra padalijama ir atgal tiekama į katilus – utilizatorius, o garų fazė yra naudojama amoniako gamybai.

Po pirmo laipsnio garų – dujų mišinys atvėsinašamas iki 380 °C. Po antro laipsnio katilo – utilizatoriaus atvėsintos iki 350 °C konvertuotos dujos patenka į CO konversijos bloką.

Anglies monoksido konversijos procesas vykdomas dviem etapais. Pirmas etapas – aukštatemperatūrinė CO konversija. Procesui naudojami vandens garai. Įrenginys užpildytas geležies – chromo katalizatoriumi:



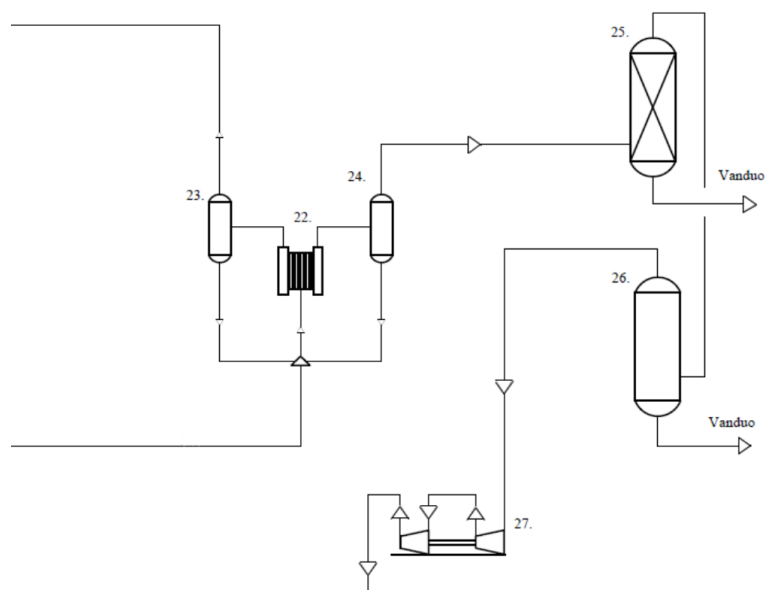
Ši reakcija yra egzoterminė, tai reiškia proceso metu išskiria šilumą. Srauto temperatūra pakyla iki 450 °C. Todėl prieš žematemperatūrinę anglies monoksido konversiją srautas vėsinašamas vandeniu aušintuve (20). Konvertuotos dujos atvėsinašamos iki 330 °C

Žematemperatūrinė anglies monoksido konversija vandens garais, panaudojant vario – cinko katalizatorių, vyksta pagal reakciją:



Po žematemperatūrinės konversijos konvertuotose dujose CO lieka labai mažai. Siekiant sumažinti organinių junginių kiekį dujiniame kondensate, katalizatoriaus sudėtyje yra iki 1% cezio. Konvertuotos dujos tiekiamos į valymą nuo anglies dioksido.

3.1.1. Technologinės linijos pakeitimai



3.2 pav. Šarminio elektrolizerio schema

Atlikus anglies monoksido konversiją, prie ištekančio srauto prijungiamas technologijos patobulinimas – šarminio elektrolizerio (22) pagamintas žaliasis vandenilis.

Žaliojo vandenilio gamybai į elektrolizerio bloką (22) yra tiekiamas demineralizuotas vanduo

Reakcijos elektrolizeryje:

Anodo pusėje vykstanti oksidacija:



Katodo pusėje vykstanti redukcija:



Susidaręs vandenilio ir šarmo mišinys patenka į vandenilio separatorių (24), o deguonies ir šarmo mišinys patenka į deguonies separatorių (23). Iš separatorių apačios išteka KOH ir vandens tirpalas, kuris tiekiamas atgal į elektrolizerį. Elektrolitas nėra sunaudojamas, proceso metu atgaunamas ir patenka į uždara grandinę, todėl nereikia papildomo tiekimo į technologiją.

Išvalytas deguonies srautas yra tiekiamas į sudeginimo sistemą.

Po separatoriaus tipinis H_2 grynumo lygis yra: 99,80–99,90 %, tačiau technologijai reikia aukštesnės vandenilio dujų koncentracijos iki 99,999 %. Šis grynumas paprastai pasiekiamas dviejų etapų valymo procese. Pirmajame etape O_2 kiekis H_2 sumažinamas iki mažiau nei 10 ppm dėl katalizinės reakcijos deoksidatoriuje (25). Vykdoma reakcija ant platinos katalizatoriaus:



Kadangi reakcija yra egzoterminė ir jos metu susidaro vanduo, gryninimas atliekamas prieš džiovinimo etapą. (23)

Antrame etape vandenilis džiovinamas adsorbcinėje kolonoje, siekiant pašalinti drėgmę (26).

Išdžiovintas grynas vandenilis slegiamas kompresoriuje (27) iki 30 barų ir prijungiamas prie vandenilio srauto pagaminto metano konversijos būdu.

3.2. Šarminis vandens elektrolizeris

Elektrolizės blokai yra modulinės konstrukcijos. Integruojant šarminį elektrolizerį į gamybos sistemas dažnai reikia derinti su įmonės gamybos našumu, įskaitant vandens valymo įrenginius, dujų valymo sistemas, vandenilio slėgimo ir saugojimo infrastruktūrą bei valdymo ir stebėjimo mechanizmus [28]. Modulinės sistemos gamybos apimtis yra nesunku reguliuoti, nes jos nepriklauso viena nuo kitos. Todėl blokinio elektrolizerio sistema yra būtina norint užtikrinti sklandų integravimą, efektyvų veikimą ir optimalų sistemos efektyvumą.

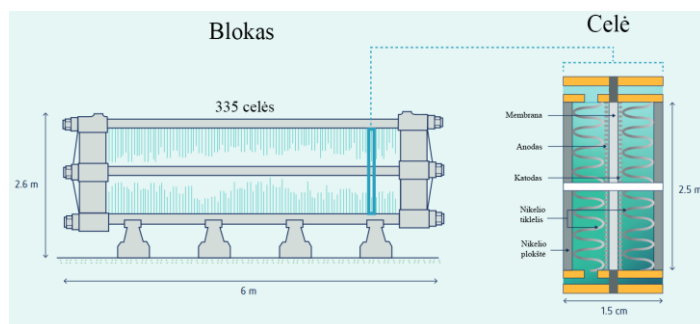
3.3 pav. pavaizduotas vienas elektrolizerio bloko elementas.



3.3 pav. Vienas elektrolizerio bloko elementas [29]

Vieną bloką sudaro keli šimtai elementų – celių, kurių kiekvienas turi nominalią galią. Taigi, visa sistema yra padalinta į keletą elektrolizeriaus elementų, kurių kiekviena turi anodo plokštę, anodo elektrodą, membraną, skiriančią anodo kamerą nuo katodo kameros, katodo elektrodą ir katodo plokštę. Kai nuolatinė srovė pajungiama į elektrolizerį, ant anodo vyksta oksidacijos reakcija, o katodo ant vyksta redukcijos reakcija. Membrana, turinti atitinkamas vandens ir oro pralaidumo charakteristikas, gali gerai izoliuoti anodo gaminamą deguonį nuo katodo gaminamo vandenilio, o po to vamzdynu cirkuliuoti į atitinkamą vandenilio-deguonies separatorių, kad gautų atitinkamas produkto dujas. Anodo ir katodo plokštės yra reikalingos atskirti celes ir neleisti dujoms išeiti iš celių. Taip yra užtikrinamas vienodas slėgio ir temperatūros pasiskirstymas visame bloke [30].

3.4 paveikslėlyje pateikiama elektrolizerio bloko sandara.



3.4 pav. Elektrolizerio bloko sandara [30]

Paprastai galimos dvi šarminio elemento celės konfigūracijos: įprastinė ir nulinio tarpo. Įprastu atveju tarp elektrodų yra tam tikras atstumas, o nulinio tarpo atveju elektrodai yra tiesiogiai prispaudžiami prie separatoriaus, o tai sumažina varžos nuostolius elektrolite. Be to, elektrolizerio efektyvumui įtakos turi separatoriaus membranos joninis laidumas, elektrodo medžiagos elektroninis laidumas, savitasis elektrolito laidumas ir dujų burbuliukų efektas. Dažniausiai yra naudojama polimerinė anijonų mainų membrana, o elektrodai yra pagaminti iš nikelio. Naudojant nikelį kaip elektrodus, atsiranda reakcijų viršįtampis, kurį galima sumažinti atitinkamai į anodo ir katodo reakcijas pridendant katalizatorių, tokių kaip geležis ir molibdenas. Kalio hidroksido vandeninis tirpalas (KOH, 20–30 % 50–80 °C temperatūroje) dažniausiai naudojamas kaip elektrolitas. Praskiestas natrio hidroksidas taip pat gali būti naudojamas kaip elektrolitas, nors jis yra pigesnis, jo laidumas mažesnis [31].

3.3. Statybiniai sprendimai

3.3.1. Pradiniai duomenys projektavimui

AB „Achema“ įkurta 1962 metais yra didžiausia azoto trąšų ir kitų pramoninių chemijos produktų gamintoja šalyje bei didžiausia tokio pobūdžio gamykla Baltijos šalyse. AB „Achema“ gamykla yra įsikūrusi apie 4 km į rytus nuo Jonavos miesto centro, netoli Neries upės, Jonalaukio kaime, Ruklos seniūnijoje. Planuojama elektrolizerio statyba laisvame sklype, esančiame įmonės teritorijoje. [49] Sklypo koordinatės 55.086535093425724, 24.337042073719932. Sklypo nuotrauka pateikiama 3.5 paveiksle. Laisvo sklypo išmatavimai: 136x150m. Plotas: 20400 m².

Vanduo elektrolizeriui imamas iš Neries upės ir išvalomas gamykloje esančiuose įrenginiuose. Reikalinga elektros energija pasigaminama naudojant atsinaujinančius energijos šaltinius – vėjo elektrinę.



3.5 pav. Sklypo nuotrauka

3.1 lentelė. Bendrieji statinio techniniai rodikliai

Eil. Nr.	Pavadinimas	Mato vienetas	Kiekis
1	I. SKLYPAS sklypo plotas; statinio užimtas žemės plotas; apželdintas žemės plotas (žaliasis plotas); automobilių stovėjimo vietų skaičius; sanitarinės (apsaugos) zonos plotis.	ha m ² m ² vnt. m	2,04 13580 6636 – 500
2	II. PASTATAI 2.1. paskirties rodikliai (gamybos (kitos veiklos), paslaugų apimtys, aptarnaujamų žmonių skaičius, kiti rodikliai). 2.2. bendrasis plotas: 2.2.1. pagrindinis; 2.2.2. pagalbinis; 2.3. pastato tūris; 2.4. aukštų skaičius; 2.5. pastato aukštis; 2.6. pastato atsparumas ugniai (I, II ar III).	 m ² m ² m ² m ³ vnt. m –	 9063,6 9063,6 – 100587,83 1 11,098 II

3.3.2. Sklypo planas

Sklypo plotas, kuriame projektuojamas pastatas yra 2,04 ha.

Kadangi įmonė gamina amoniaką, azoto trąšas ir kitą produkciją jau seniai, teritorijoje visa reikalinga infrastruktūra jau yra įrengta. Įmonės teritorijoje yra išasfaltuoti keliai. Norint automobiliu pasiekti sklypą reikia važiuoti Chemijos gatve. Jos plotis yra 7 metrai. Šalia gatvės darbuotojams vaikščioti yra trinkelėmis išklotas 5,125 metrų pločio šaligatvis. Iki sklypo teritorijos yra atvestas vamzdynas, skirtas tiekti reikalingą vandenį elektrolizerio eksploatacijai. Krūmai, prie pastatų negali viršyti 1–1,5 metro aukščio. Sklypo planas pakeikiamas 2 priede.

3.3.3. Projektuojamo pastato sprendimai

Projektuojamas elektrolizerio pastatas bus statomas AB „Achema“ įmonės teritorijoje. Pastato ilgis L= 150 m, plotis B= 60,424 m, aukštis H= 11,098 m.

Stogo konstrukcija susideda iš: išorinės stogo dangos, viršutinio apsauginio sluoksnio, šilumos izoliacijos, stogo konstrukcijos karkaso, apatinės atraminės dangos.

Grindys ir pamatas susideda iš: grindų dangos, klijų sluoksnio, išlyginamojo cementinio skiedinio sluoksnio, polistireninio putplasčio, hidroizoliacijos, sutankinto ir išlyginto grunto.

3.3.4. Statinio architektūrinė, konstrukcinė sandara

Tai yra gamybinės paskirties pastatas. Gaminamas žaliasis vandenilis. Operatorinė bus projektuojama kitame sklype, todėl sanitariniai mazgų, bei darbuotojų poilsio patalpos nėra numatytos.

Pastatas yra vieno aukšto. Pagrindinės laikančiosios konstrukcijos medžiaga yra su plieniniu karkasu.

Pastato kolonos: yra spragotosios gelžbetoninės kolonos. Kolonos išmatavimai 900x850mm.

Pastato išorinėms sienoms naudojamos daugiasluoksnės plokštės su poliuretano užpildu.

Pastato skersinis ir išilginis pjūvis pateikiamas 3 priede.

3.3.5. Bendrųjų statinio (pastato) inžinerinių sistemų ir technologinės įrangos sprendimai

Pagrindiniai įrengimai pastato viduje:

- elektrolizerio blokai (28 vienetai);
- transformatoriai (7 vienetai).

Be to, šalia pastato lauke yra kiti įrengimai, naudojami vandenilio gamybai:

- vandenilio buferinė talpa;
- H₂ 30 bar kompresorius;
- O₂ 30 bar kompresorius;
- buferinės talpos kompresorius;
- elektros skydinė;
- H₂ gryninimo įrenginys;
- O₂ gryninimo įrenginys.

Elektrolizerio blokai ir transformatoriai turi būti įrengti pastate, dėl įvairių oro sąlygų, tokių kaip lietus, sniegas, stiprus vėjas. Tai gali pažeisti elektrolizatoriaus sistemas arba sumažinti jų efektyvumą. Elektrolizerio blokams esant lauke kyla korozijos rizika.

Kiti įrengimai ir laikymo talpos projektuojamos lauke, nes vandenilis yra sprogios ir degios dujos. Taigi, įvykus vandenilio talpos sandarumo gedimui, vandenilio koncentracija greitai išsisklaido ir sumažėja lauko sąlygomis, bei nepasiekia kritinės ribos, kuri didina sprogimo riziką.

Įrenginių išdėstymas pateikiamas 4 priede.

3.4. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai

3.4.1. Inovacijos projektavimo ir diegimo aplinkos analizė: ekonominių ir organizacinių problemų nustatymas

AB „Achema“ visą reikalingą vandenilio kiekį gamina metano konversijos būdu. Ši technologija sunaudoja didelį kiekį iškastinio kuro – gamtinių dujų. Metano konversijos metu gamtinės dujos reaguoja su garais aukštoje temperatūroje, išskirdamos vandenilį ir anglies dioksidą. Nors šis metodas yra technologiškai patikimas ir ekonomiškai patrauklus, jo pagrindinis trūkumas – itin didelis CO₂ emisijų intensyvumas. Be to, priklausomybė nuo gamtinių dujų gamybą daro jautrią žaliavų kainų svyravimams, o tai didina gamybos sąnaudas ir rizikas ilgalaikėje perspektyvoje. [51]

Atsižvelgiant į augančius aplinkosauginius reikalavimus, energetikos sektoriaus dekarbonizacijos tendencijas, privaloma pereiti prie mažesnį poveikį aplinkai turinčių vandenilio gamybos būdų. Vienas iš tokių sprendimų – vandenilio gamyba naudojant vandens elektrolizę, kai vanduo skaidomas į vandenilį ir deguonį panaudojant elektros energiją.

Šiame projekte analizuojamas vandenilio gamybos sistemos plėtros sprendimas, įdiegiant 120 MW galios elektrolizerio blokų sistemą šalia esamos vandenilio gamybos įrenginių, veikiančių metano

konversijos principu. Įdiegus elektrolizerių sistemą, įmonė sumažins CO₂ emisijas, padidins veiklos lankstumą ir taps atsparesnė gamtinių dujų kainų svyravimams.

3.4.2. Projekto investicijos ir jų finansavimo šaltiniai

Projekto investicijų skaičiavimas pradedamas nuo kaštų, reikalingų ilgalaikiam turtui įsigyti nustatymo. Šiame projekte investicijos yra skiriamos elektrolizerio moduliniais blokams įsigyti ir pastato statyboms. Taip pat į bendrą projekto kaštų struktūrą įtraukiami statybos ir montavimo darbų kaštai būtini elektrolizerio integravimui.

Projekto finansavimas užtikrinamas pasitelkiant įmonės akcininkų nuosavybę, tai yra akcinį kapitalą. Įmonė į projektą investavo 25 mln. eurų. Projektas integruoja ES žaliojo kurso idėjas, tai yra efektyviai naudoja energiją ir optimizuoja gamybos procesą taip, kad mažintų kenksmingų CO₂ dujų išsiskyrimą, todėl 40 % reikiamos sumos bus padengta iš ES modernizavimo fondo. Buvo skirta 33,604 mln. eurų suma. Likusią sumą padengti bus paimta ilgalaikė paskola 25,406 mln. eurų.

3.2 lentelė. Projekto finansavimo poreikis ir šaltiniai

Projekto kaštai		Finansavimo šaltiniai	
Struktūra	mln. Eur	Struktūra	mln. Eur
1. Ilgalaikiam turtui įsigyti	42,89	1. Akcininkų nuosavybė; akcinis kapitalas, rezervai	25,00
2. Statybos ir montavimo darbų kaštai.	35,91	2. Paskolos	25,406
3. Sistemos integracijos kaštai	5,21	3. Kiti finansinių lėšų šaltiniai	33,604
Viso kaštų:	84,01	Viso šaltinių:	84,01

Ilgalaikio turto vertės skaičiavimas

4.2 lentelėje pateikiama ilgalaikio turto vertė.

„NEL hydrogen“ duomenimis nesurinkta elektrolizerio 120 MW įranga kainuoja apie 34 mln eurų [32]. Tačiau dar 35,91 mln. eurų skiriama elektrolizerio įrengimui, montavimo ir patikros darbams. 5,21 mln. yra skiriami naujos įrangos integravimui į bendrą įmonės gamybos sistemą, tai yra naujų vamzdinių integracijai ir esamų sistemų suderinimui, bei pritaikymui.

3.3 lentelė. Pastatų ir technologinių įrengimų vertė

Eil. Nr.	Pastato ir Įrengimo pavadinimas	Vieneto kaina, mln. eur.	Kiekis	Vertė, mln.eur.
1	Šarminio elektrolizerio blokas	0,487	70	34,09
2	Šarminio vandens elektrolizerio montavimo darbai	–	–	35,91
3	30 bar kompresoriai ir buferinės talpos	1,0	2	2,00
4	Elektrolizerio patalpos	6,80	1	6,80
5	Sistemos integracijos kaštai	–	–	5,21
Viso				84,01

Be to, suprojektuotas elektrolizerio patalpos plotas 9063,6 m². Rinkos duomenimis vidutinė statybų kaina už 1 m² yra 750 eur.

Apskaičiuojama elektrolizerio patalpos statybų vertė:

$$\text{Elektrolizerio patalpos} = 9063,6 \cdot 750 = 6797700 \text{ eur}$$

Trumpalaikio turto (apyvartinių lėšų) vertės skaičiavimas

Įvertinus galimą darbo užmokesčio ir žaliavų kainų kylimą, gamybos kaštai išauga po 1 % pirmais, ketvirtais ir penktais projekto gyvavimo metais.

Apyvartinio kapitalo poreikį galima nustatyti, remiantis formule:

$$AL_1 = \frac{B_{GK1}}{360 \cdot n_{ap}}; \quad (3.15)$$

čia n_{ap} – apyvartos trukmė, dienomis, 30d; B_{GK1} – 1-ųjų metų gamybos kaštai, mln. Eur.

$$AL_1 = \frac{311,49}{360 \cdot 30} = 25,96 \text{ mln. Eur}$$

Apyvartinio lėšų papildomas poreikis tam tikrais metais nustatomas pagal formulę:

$$\Delta AL_i = AL_1 - AL_{i-1}. \quad (3.16)$$

Prieš rekonstrukciją apyvartinių lėšų poreikis buvo 27,53 mln. Eur. Pirmais projekto įgyvendinimo metais pastebimas apyvartinių lėšų sutaupymas:

$$\Delta AL_1 = 25,96 - 27,53 = -1,57 \text{ mln. Eur.}$$

3.4 lentelė. Trumpalaikio turto (apyvartinių lėšų) poreikis

Rodiklis	Projekto gyvavimo metai					
	0	1	2	3	4	5
1. Gamybos kaštai, mln. Eur.	–	311,49	314,61	314,61	317,75	320,93
2. Apyvartinių lėšų metinis poreikis, mln. Eur	–	25,96	26,22	26,22	26,48	26,74
3. Apyvartinių lėšų papildomas poreikis, mln. Eur	–	–1,57	0,26	0,00	0,26	0,26
4. Apyvartinės lėšos, mln. Eur	0,00	25,96	26,22	26,22	26,48	26,74

3.4.3. Produkcijos gamybos apimties planavimas

Projekte daroma prielaida, kad pardavimų planas sutampa su gamybos planu, visa pagaminta produkcija yra einamaisiais metais yra realizuojama.

3.5 lentelė. Produkcijos gamybos apimties planavimas

Įsisavinimo koeficientas	Gamybos apimtis, natūriniais vienetais
	Vandenilis, t/metus
Prieš rekonstrukciją	
1,0	109466,50
Po rekonstrukcijos	
1,0	109466,50

3.4.4. Gamybos kaštai

Tiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas

Išlaidos pagrindinėms žaliavoms

Naudojamos žaliavos vandenilio gamybai yra: gamtinės dujos, vanduo ir azotas. Vanduo yra tiekiamas į įmonę iš Neries upės ir yra išvalomas bendrovės įrenginiuose. Azotas yra naudojamas, kuris gaunamas iš aplinkos oro. Todėl šios žaliavos nėra įtraukiamos į išlaidas. 4.5 lentelėje pateikiamos išlaidos gamtinėms dujoms. 2024 metų Europos Sąjungos biržos vidutinė dujų kaina buvo 36 eur/MWh. Gamtinėms dujoms $1 \text{ m}^3 = 0,01055 \text{ MWh}$. Todėl:

$$\text{Gamtinių dujų kaina} = 36 \frac{\text{eur}}{\text{MWh}} \cdot 0,01055 \frac{\text{MWh}}{\text{m}^3} = 0,37 \text{ eur/m}^3$$

3.6 lentelė. Gamtinių dujų išlaidos.

Žaliavos pavadinimas	Gamybos planas, t/metus	Medžiagų sunaudojimo norma gaminiui, natūriniais vienetais,m ³ /t vandenilio	Medžia- gos kaina, Eur/m ³	Medžiagos poreikis, m ³ /metus	Medžiagų kaštai	
					Gaminio, Eur/t.	Viso, mln. Eur
Prieš rekonstrukciją						
Gamtinės dujos	109466,50	3264,23	0,37	357323904	1207,77	132,21
Po rekonstrukcijos						
Gamtinės dujos	109466,50	2688,82	0,37	294336000	994,86	108,90

Įmonėje pagaminama vandenilio 6198,5 kmol/h, o tai yra 12,49 t/h. Apskaičiuojamas metinis produkto kiekis:

$$m_{H_2} = 12,49 \cdot 24 \cdot 365 = 109466,502 \text{ t/metus}$$

Pagaminamas vandenilio kiekis išlieka toks pat ir po rekonstrukcijos. Kadangi pilkasis vandenilis pakeičiamas žaliuoju, sumažėja gamtinių dujų sąnaudos.

Gamtinių dujų sąnaudos prieš rekonstrukciją:

$$V_{CH_4 1} = 40790,4 \cdot 24 \cdot 365 = 357323904 \text{ m}^3/\text{metus}$$

Gamtinių dujų sąnaudos po rekonstrukcijos:

$$V_{CH_4 2} = 33600 \cdot 24 \cdot 365 = 294336000 \text{ m}^3/\text{metus}$$

Išlaidos pagrindinių gamybinių darbininkų darbo užmokesčiui

Veikla vykdoma nenutrūkstamu režimu – 3 pamainomis per parą, 7 dienas per savaitę, įskaitant savaitgalius ir švenčių dienas. Prie metano konversijos bloko per pamainą dirba 8 operatoriai. Yra 3 pamainos per dieną, todėl reikalingas darbuotojų skaičius yra 24. Įvertinus, kad dirbama ir savaitgaliais papildomai reikės dar 4 darbuotojų.

Įdiegus patobulinimą naujų elektrolizerio parametrų sekimui prireiks 1 papildomo operatoriaus per pamainą. Kiekvienoje pamainoje dirba po vieną operatorių, todėl vienai darbo dienai užtikrinti reikalingi 3 operatoriai. Atsižvelgiant į darbuotojų teisę į poilsio dienas, atostogas, ligos atvejus bei pamainų keitimo organizavimą, papildomai reikalingi dar 2 operatoriai. Tai leidžia užtikrinti sklandų pamainų dengimą ir nenutrūkstamą darbo proceso eigą. Iš viso numatomas naujų darbuotojų poreikis – 5 operatoriai.

Vidutinis mėnesinis operatoriaus atlyginimas 1700 eur.

Be to, darbdavys sumoka socialinio draudimo įmoką, kuri sudaro 1,77 proc. apskaičiuoto bendro darbo užmokesčio.

4.6 lentelėje pateikiamos tiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui.

3.7 lentelė. Tiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui

Gaminiai	Gamybos apimtis, t/metus	Mėnesio atlyginimas, mln. eur.	Darbuotojų skaičius	Metinis darbo užmokestis, mln. eur.	Atskaitymai VSD, GF, IDIF mln. eur.
Prieš rekonstrukciją					
Vandenilis	109466,50	1700	24	0,4896	0,009
Po rekonstrukcijos					
Vandenilis	109466,50	1700	29	0,5916	0,010

Išlaidos technologinių procesų energijai.

Prieš rekonstrukciją suminis tiesioginės elektros įrengimų galingumas metano konversijos linijai yra 5 MW. Šios sąnaudos apima: kompresorius (garo, metano, H₂ suslėgimas), siurblius (aušinimo, vandens paruošimo), automatiką ir valdymą. Įdiegus šarminius elektrolizerius galios poreikis išauga iki 125 MW. Susitarus su elektros tinklais, kad bus naudojama tik žaliąji energija, priimama kaina – 62 eur už MWh.

3.8 lentelė. Tiesioginės išlaidos elektros energijai

Įrengimų variklių suminis aktyvinis galingumas, MW,	Panaudojimo koeficientas	Įrengimų metinis efektyvus darbo laikas, h	Elektros energijos poreikis, MWh	Elektros 1 MWh kaina, Eur	Išlaidos elektros energijai, mln. Eur
1	2	3	4=1×2×3	5	6=4×5
Prieš rekonstrukciją					
5	0,9	8760	39420	62	2,44
Po rekonstrukcijos					
125	0,9	8760	985500	62	61,10

Metano konversijos technologijos reakcijoms ir tekančių srautų reikalingai temperatūrai palaikyti yra naudojamos gamtinės dujos, kurios sudeginamos vamzdinėje krosnyje. Sudeginimui naudojamos tokios pačios dujos, kaip žaliava todėl jų kaina yra tokia pati – 36 eur/MWh.

Prieš rekonstrukciją sudeginama 33600 m³/h, po rekonstrukcijos 22064 m³/h gamtinių dujų.

Reikalingas gamtinių dujų masės debitas sudeginimui paverčiamas į MWh (1m³ = 0,01055 MWh).

Prieš rekonstrukciją energetinė gamtinių dujų suvartojimo norma E_{GD1} :

$$E_{GD1} = 33600 \cdot 0,01055 = 354,48 \text{ MWh}$$

Po rekonstrukcijos energetinė gamtinių dujų suvartojimo norma E_{GD2} :

$$E_{GD2} = 22064 \cdot 0,01055 = 232,78 \text{ MWh}$$

Apskaičiuojamas metinis MW energijos poreikis E.

Prieš rekonstrukciją metinis energijos poreikis:

$$E_1 = 354,48 \cdot 24 \cdot 365 = 3105244,8 \text{ MW}$$

Po rekonstrukcijos metinis energijos poreikis:

$$E_2 = 232,78 \cdot 24 \cdot 365 = 2039110,75 \text{ MW}$$

3.9 lentelė. Tiesioginės išlaidos šiluminei energijai

Gaminiai	Gamybos apimtis, vnt.	Energijos sunaudojimo norma, MWh	Energijos kaina, Eur/MWh	Energijos poreikis per metus, MW	Energijos kaštai, mln.Eur
Prieš rekonstrukciją					
Vandenilis	109466,50	354,48	36	3105244,80	111,79
Po rekonstrukcijos					
Vandenilis	109466,50	232,78	36	2039110,75	73,41

Netiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas

Netiesioginės gamybos išlaidos – tai sąnaudos, kurios nėra priskiriamos konkrečiam gaminamam produktui, bet yra būtinos visam gamybos procesui užtikrinti. Prie šių išlaidų priskiriamas darbo užmokestis darbuotojų, kurie nedirba tiesiogiai su gaminiu, bet palaiko gamybos procesą, energijos išlaidos kai energija naudojama bendriems cecho poreikiams, ilgalaikio turto amortizacija. Šios išlaidos skaičiuojamos sustambintai. Paprastai šių išlaidų suma sudaro apie 60 % apskaičiuotų tiesioginių išlaidų sumos.

Netiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui

Be tiesiogiai gamyboje dalyvaujančių darbuotojų, veiklos vykdymui būtinas ir techninis – inžinerinis personalas, kurio darbo užmokestis priskiriamas prie netiesioginių darbo užmokesčio išlaidų. Šie darbuotojai nedirba tiesiogiai prie įrengimų ar gamybos linijos, tačiau jų funkcijos yra būtinos proceso užtikrinimui, kontrolei bei tobulinimui.

Vyriausiasis inžinierius yra atsakingas už technologinių procesų valdymą, įrengimų priežiūrą ir techninės dokumentacijos rengimą. Technologai užtikrina gamybos proceso atitikimą technologinėms schemoms ir kokybės reikalavimams, vykdo parametrų stebėseną bei optimizavimą. Laborantai vykdo žaliavų ir produktų kokybės kontrolę, analizuoja bandinių rezultatus ir teikia ataskaitas.

Šių darbuotojų darbo užmokestis yra įtraukiamas į netiesiogines sąnaudas, kadangi jų darbas tiesiogiai nesusijęs su vienos konkrečios produkcijos vieneto pagaminimu, tačiau būtinas viso proceso kokybiškam funkcionavimui.

3.10 lentelė. Netiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui

Gaminiai	Gamybos apimtis, t/metus	Pozicija	Mėnesio atlyginimas, Eur	Darbuotojų skaičius	Darbo užmokestis, mln. Eur	Atskaitymai VSD, GF, IDIF tūkst. Eur*
Prieš rekonstrukciją						
Vandenilis	109466,50	Vyr. inžinierius	2500	1	0,030	0,00053
		Technologas	2000	2	0,048	0,00085
		Laborantas	1850	2	0,044	0,00079
Iš viso	–	–	–	5	0,122	0,0022
Po rekonstrukcijos						
Vandenilis	109466,50	Vyr. inžinierius	2500	1	0,030	0,00053
		Technologas	2000	3	0,072	0,0013
		Laborantas	1850	3	0,067	0,0012
Iš viso	–	–	–	7	0,169	0,0030

Į netiesiogines išlaidas energijai įtraukiamos išlaidos vandeniui (buičiai). Vandens sunaudojimą per parą imti 30 – 60 l vienam darbuotojui.

Vandens poreikis metams apskaičiuojamas:

$$V_{H_2O1} = \frac{H_{H_2O} \cdot n \cdot d}{1000}; \quad (3.17)$$

čia V_{H_2O} – metinis vandens poreikis, m^3 ; H_{H_2O} – vieno žmogaus vandens sunaudojimas per parą, l; n – dirbančiųjų skaičius; d – darbo dienų skaičius.

$$V_{H_2O1} = 45 \cdot 29 \cdot 365 = 476 \, m^3.$$

Pagal UAB “Jonavos vandenys” duomenis geriamojo vandens tiekimo ir nuotekų tvarkymo bei paviršinių nuotekų tvarkymo paslaugų kaina yra 2,52 Eur/ m^3 . [33]

3.11 lentelė. Netiesioginės išlaidos vandeniui

Išlaidų pavadinimas	Sunaudojimas per parą, l/1 darbuotojui	Darbuotojų skaičius	Poreikis metams, m^3	1 m^3 vandens kaina, Eur	Išlaidos vandeniui, mln. Eur
Prieš rekonstrukciją					
Šaltam vandeniui	45	29	476,3	2,52	0,0012
Po rekonstrukcijos					
Šaltam vandeniui	45	36	591,3	2,52	0,0015

Rekomenduojama operatorinės ir elektrolizerio patalpų apšvietimo norma yra 2,37 W/ m^2 . Apšvietimas įjungiamas nakties metu bei esant nepakankamam natūraliam lauko apšvietimui. Eksploatacinės išlaidos sudaro 15 – 20 proc. bendrųjų išlaidų.

3.12 lentelė. Netiesioginės išlaidos apšvietimui

Patalpų plotas, m^2	Apšvietimo norma, W/ m^2	Energijos kiekis patalpoms apšviesti, MWh	1 MWh kaina, Eur	Išlaidos apšvietimui per metus, mln. Eur	Eksploatacinės išlaidos, mln. Eur	Viso išlaidų, mln. Eur
Prieš rekonstrukciją						
100	2,37	0,129	81	0,00012	0,000017	0,00013
Po rekonstrukcijos						
9163,6	2,37	130,30	81	0,011	0,0016	0,012

Išlaidos amortizacijai. Įmonėje vykdoma rekonstrukcija, todėl apskaičiuojamas naujų įrenginių nusidėvėjimas. Priimama, kad ilgalaikio turto nusidėvėjimo faktorius yra 1%.

Metinė nusidėvėjimo suma apskaičiuojama, remiantis pagrindinių priemonių eksploatavimo trukme T :

$$N = \frac{V_1 - V_2}{T}; \quad (3.18)$$

čia N – metinė nusidėvėjimo vertė, mln. Eur;

V_1 – turto pradinė vertė, mln. Eur;

V_2 – turto likvidacinė vertė, mln. Eur (1% nuo pradinės vertės);

T – normatyvinė pagrindinių priemonių eksploatavimo trukmė, metais.

$$N_{1 \text{ elektrolizerio blokai}} = \frac{34,09 - (34,09 \cdot 0,01)}{20} = 1,69 \text{ mln. eur}$$

3.13 lentelė. Pagrindinių priemonių nusidėvėjimas (amortizacija)

Ilgaalaikio turto rūšis	Įsigijimo vertė, mln. Eur	Normatyvinė eksploataavimo trukmė, metai	Nusidėvėjimo suma, mln. Eur metams					Likutinė vertė, mln. Eur
			1	2	3	4	5	
Elektrolizerio patalpos	6,80	30	0,227	0,227	0,227	0,227	0,227	5,67
Elektrolizerio blokai	34,09	20	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	25,65
30 bar kompresoriai ir buferinės talpos	2	20	0,099	0,099	0,099	0,099	0,099	1,51
Viso:	42,89	–	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01	32,82

Taršos mokestis. Europos Sąjungos apyvartinių taršos leidimų prekybos sistema reikalauja, kad teršėjai susimokėtų už šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą. Įmonė turi nusipirkti taršos leidimus, o vienas leidimas suteikia teisę išleisti vieną toną CO₂. 2024 metų vidutinė kvotos kaina 67,535 eur/t. ES apyvartinių taršos leidimų prekybos sistema yra pagrįsta „viršutinės ribos ir laisvos rinkos“ principu, tai reiškia, kad ateityje bus mažinamas leidimų kiekis, tai reiškia galimai kylančią CO₂ išmetimo kainą. Vertinama tik metano konversijos linija.

Taigi, prie netiesioginių gamybos kaštų priskaičiuojamas CO₂ mokestis. Prieš rekonstrukciją CO₂ 135,66 t/h, po 117 t/h.

Apskaičiuojamas metinis CO₂ išmetimas tonomis prieš ir po rekonstrukcijos:

$$m_{CO_2 1} = 135,66 \cdot 24 \cdot 360 = 1172143,526 \text{ t/metus}$$

$$m_{CO_2 2} = 117 \cdot 24 \cdot 360 = 1010917,67 \text{ t/metus}$$

Apskaičiuojama sumokama metinė kaina už išmetamas CO₂ dujas prieš ir po rekonstrukcijos:

$$K_{CO_2 1} = 1172143,526 \cdot 67,535 = 79160713 \text{ eur} = 79,16 \text{ mln. eur / metus}$$

$$K_{CO_2 2} = 1010917,67 \cdot 67,535 = 68272324 \text{ eur} = 68,27 \text{ mln. eur / metus}$$

4.13 lentelėje pateikiama netiesioginių gamybos išlaidų sąmata.

3.14 lentelė. Netiesioginių gamybos išlaidų sąmata

Išlaidų rūšys	Prieš rekonstrukciją, mln. eur	Po rekonstrukcijos, mln. eur.
Pagalbinės medžiagos	5	5
Darbo užmokestis (<i>papildomų darb, ir cecho administracijos</i>)	0,122	0,169
Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	0,00217	0,00298
Elektros energija (apšvietimui)	0,0077	0,014
Vanduo (buičiai)	0,0012	0,0015

Šiluminė energija (šildymui)	0	0
Amortizaciniai atskaitymai	0	2,01
Pagalbinių ir aptarnaujančių tarnybų paslaugos:	12	12
Įrengimų remontas	10	10
Vidaus transporto remontas	0,5	0,5
Gamybinių cechų pastatų remontas	5	5
Kitos išlaidos	71,2	68,27
Iš viso:	103,83	102,97

Apskaičiavus visas gamybos išlaidas tiek tiesiogines (žaliavos, darbo užmokestis, energija), tiek netiesiogines (administracinės, priežiūros, nusidėvėjimo) – jos yra apibendrinamos ir pateikiamos suvestinėje gamybos kaštų lentelėje.

3.15 lentelė. Gamybos kaštai

Kaštų rūšys (komponentai)	Gamybos kaštai, mln. Eur	
	Prieš rekonstrukciją	Po rekonstrukcijos
1. Pagrindinės medžiagos	132,21	108,90
2. Energija (šiluminė, elektros)	114,23	134,51
3. Gamybinių darbininkų (pagrindinių) darbo užmokestis	0,490	0,592
4. Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	0,009	0,01
5. Gamybinės netiesioginės išlaidos	103,83	102,97
Viso gamybos kaštų, mln. eur	350,78	346,99
Produkcijos gamybos planas, t/metus	109466,50	109466,50
Gaminio gamybinė savikaina, eur/t	3204,41	3169,81

3.4.5. Veiklos kaštai

Veiklos sąnaudos (kaštai) – tai išlaidos, kurios nėra tiesiogiai susijusios su gamyba, tačiau būtinos įmonės veiklos užtikrinimui. Jos apima pagalbines medžiagas administracijos patalpoms išlaikyti, administracijos darbuotojų darbo užmokestį ir su juo susijusius mokesčius (VSD, GF, IDIF), energijos, vandens bei šildymo išlaidas, administracijos turto amortizaciją, ryšių paslaugas, produkcijos realizavimo sąnaudas, mokesčius, rinkliavas ir kitas veiklai būtinas išlaidas. Laikoma, kad šios sąnaudos sudaro apie 5 % gamybos kaštų.

$$n_{\text{veiklos kaštai}} = 0,05 \cdot n_{\text{gamyba}}; \quad (3.19)$$

čia n_{gamyba} – gamybos kaštai, mln. eur.

$$n_{\text{veiklos kaštai1}} = 0,05 \cdot 350,78 = 17,54 \text{ mln. eur.}$$

$$n_{\text{veiklos kaštai2}} = 0,05 \cdot 346,99 = 17,35 \text{ mln. eur}$$

3.4.6. Finansinės sąnaudos

Finansinės ir investicinės veiklos sąnaudos sudaro palūkanos už banko paskolą. Tikslinga imti ilgalaikę paskolą, nes tai gali padėti paskirstyti finansinę naštą per ilgesnį laikotarpį. Paskolos suma neturėtų viršyti 60 % visų projektui įgyvendinti reikalingų investicijų. Remiantis Lietuvos banko duomenimis 2024 metų gruodžio mėnesį metinė palūkanų norma įmonėms skolinantis nuo 1 mln. eurų yra 5,26 %. Paskolos ir palūkanų mokėjimas skaičiuojamas linijiniu metodu, tai yra paskolos padengimas išdėstomas proporcingai visiems metams, o palūkanas apskaičiuotas nuo likusios paskolos sumos.

3.16 lentelė. Palūkanų mokėjimo ir paskolos grąžinimo planas

Rodiklis	Projekto gyvavimo metai				
	1	2	3	4	5
1. Paskolos suma, mln. Eur.	25,41	20,32	15,24	10,16	5,08
2. Metinė palūkanų norma, proc.	5,26	5,26	5,26	5,26	5,26
3. Palūkanos, mln. Eur.	1,34	1,07	0,80	0,53	0,27
4. Paskolos padengimas, mln. Eur.	5,08	5,08	5,08	5,08	5,08
5. Palūkanos su paskolos padengimu, mln. Eur.	6,42	6,15	5,88	5,62	5,35

3.4.7. Gaminių kainos skaičiavimas

Apskaičiavus visas tiesiogines ir netiesiogines sąnaudas, nustatomos gaminių kainos. Gaminių kainos apskaičiuojamos remiantis jų pilnomis gamybos, veiklos ir finansinėmis išlaidomis ir planuojama gaminio pelno norma, kuri neturėtų būti mažesnė, negu 5 %.

3.17 lentelė. Gaminių kainų apskaičiavimas

Gaminys	Gaminio gamybinė savikaina, Eur/t	Gaminiui, tenkančios veiklos sąnaudos, Eur/t	Gaminiui, tenkančios investicinės veiklos sąnaudos, Eur/t	Gaminio pilnoji savikaina, Eur/t	Pelnas		Kaina
					%	Eur/t.	Eur/t
Prieš rekonstrukciją							
Vandenilis	3204,41	160,22	–	3364,63	11	370,11	3734,74
Po rekonstrukcijos							
Vandenilis	3169,81	158,49	18,39	3346,69	13	435,07	3781,76

3.4.8. Projekto pelnas

Šioje projekto dalyje sudaroma prognozinė pelno (nuostolio) ataskaita. Bendrasis pelnas nustatomas kaip skirtumas tarp pardavimų pajamų ir parduotos produkcijos gamybos kaštų. Veiklos pelnas apskaičiuojamas iš bendrojo pelno atėmus veiklos sąnaudas. Finansinės veiklos pajamos apima įmonės gautas palūkanas už bankuose laikomas lėšas ir suteiktas paskolas. Finansinės sąnaudos – tai palūkanos, kurias įmonė moka už banko paskolas. Grynasis pelnas yra galutinė pelno suma, liekanti įmonei po pelno mokesčio, kurio norma yra 15 %.

3.18 lentelė. Įmonės pelno (nuostolio) ataskaita

Rodiklis	Prieš rekonstrukciją, mln. Eur	Po rekonstrukcijos, mln. Eur
1. Pardavimų pajamos	408,83	413,98
2. Parduodamos produkcijos gamybos kaštai	350,78	346,99
3. Bendras pelnas (nuostolis)	58,05	66,99
4. Veiklos sąnaudos	17,54	17,35
5. Veiklos pelnas (nuostolis)	40,51	49,64
6. Finansinė ir investicinė veikla		
6.1. Pajamos	–	–
6.2. Sąnaudos	–	6,42
7. Pelnas (nuostolis) prieš apmokestinimą	40,51	43,22
8. Pelno mokestis	6,077	6,483
9. Grynasis pelnas (nuostolis)	34,44	36,74

3.4.9. Grynujų pinigų srautų ir pelno skaičiavimas

Apskaičiuojama, kaip pasikeitė sąnaudos gaminio vienetui ir kokią papildomą pelną įmonė gavo, įgyvendinusi patobulinimą.

3.19 lentelė. Sąnaudų pasikeitimas, įgyvendinus projektą

Sąnaudų rūšis	Sąnaudos prieš rekonstrukciją		Sąnaudos po rekonstrukcijos		Sąnaudų pokytis gaminio vienetui, Eur/t.
	Viso sąnaudų, mln. Eur	Sąnaudos, tenkančios produkcijos vienetui,	Viso sąnaudų, mln. Eur	Sąnaudos, tenkančios produkcijos vienetui,	
Išlaidos pagrindinėms medžiagoms	132,21	1207,77	108,90	994,86	–212,90
Išlaidos pagalbinėms medžiagoms	5,00	45,68	5,00	45,68	0,00
Energijos išlaidos	114,23	1043,55	134,51	1228,79	185,23
Amortizacija (nusidėvėjimas)	0,00	0,00	2,01	18,39	18,39
Darbo užmokesčio išlaidos	0,61	5,59	0,7602	6,94	1,35
Kitos išlaidos	103,83	948,54	102,97	940,65	–7,89

Bazinė gamybos apimtis, natūr. vnt.	109466,50
Gamybos apimtis projekte, natūr. vnt.	109466,50
Viso išlaidų ekonomija gaminio vienetui (be amortizacijos), Eur/t.	–34,20
Viso išlaidų ekonomija, mln. Eur:	–3,74

Papildoma pelno suma, įgyvendinus projektinius sprendimus nustatoma sąnaudų, tenkančių vienai tonai produkcijos, ekonomiją padauginus iš projektinės gamybos apimtys. Šis rodiklis yra svarbiausias, prognozuojant investicijų efektyvumo rodiklius. Papildomai gauta pelno suma parodo, kokią naudą įmonei atneš projektuotojo siūlomas projektas.

3.20 lentelė. Projekto grynujų pinigų srautų (GPS) skaičiavimas

Rodiklis	Projekto gyvavimo metai					
	0	1	2	3	4	5
1. Papildomai gauta pelno suma dėl einamųjų išlaidų pasikeitimo (be amortizacijos) gaminio vienetui, Eur/vnt.	–	34,20	34,20	34,20	34,20	34,20
2. Projektinė gamybos apimtis, natūriniais vienetais	–	109466,50	109466,50	109466,50	109466,50	109466,50
3. Papildomai gauta pelno suma, mln. Eur	–	3,744	3,744	3,744	3,744	3,744
4. Pelno mokesčio suma, tūkst. Eur	–	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562
5. Papildomai gauta pelno suma, atskaičius pelno mokesį, tūkst. Eur	–	3,182	3,182	3,182	3,182	3,182
6. Amortizacijos (nusidėvėjimo) pasikeitimas, tūkst. Eur	–	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01
7. Mokesčių sumažėjimas dėl amortizacijos, tūkst. Eur	–	0,302	0,302	0,302	0,302	0,302
8. Grynieji einamieji pinigų srautai gamyboje, tūkst. Eur	–	5,497	5,497	5,497	5,497	5,497
9. Papildomos investicijos į apyvartinį kapitalą (trumpalaikį turtą), tūkst. Eur	–	1,39	0,29	0,00	0,29	0,29
10. Investicijos į ilgalaikį turtą (pagrindinį kapitalą), tūkst. Eur	42,89	–	–	–	–	32,82
11. Bendri projekto GPS (5+7)	–42,89	4,111	5,208	5,497	5,205	38,027

3.4.10. Projekto investicijų efektyvumo vertinimas

Vertinant projekto efektyvumą, dėl infliacijos rizikos ir investavimo galimybių būtina atsižvelgti į laiką, todėl projekto grynieji pinigų srautai turi būti diskontuoti. Diskontuojama pagal vidutinius svertinius kaštus. Norint apskaičiuoti vidutinius svertinius kapitalo kaštus, pirmiausia reikia įsivertinti nuosavo ir skolinto kapitalo kainą.

Nuosavo kapitalo kaina yra kapitalo savininkų pageidaujamas pelningumas. Priimama, kad pageidaujamas pelningumas yra 7 %.

Skolinto kapitalo kaina (SKK) apskaičiuojama:

$$SKK = (1 - t) \cdot i; \quad (3.20)$$

čia t – yra pelno mokesčio tarifas, 15 %; i – paskolos palūkanų norma, 5,26 %.

$$SKK = (1 - 0,15) \cdot 5,26 = 4,47 \%$$

Vidutiniai svertiniai kapitalo kaštai – visų projekto investicijų (kapitalo) finansavimo šaltinių kainų svertinis vidurkis. Akcininkų nuosavybė sudaro 29,8%, o ilgalaikė paskola sudaro 30,2 %. Gauta Europos Sąjungos parama į svertinius kapitalo kaštus neįtraukiama.

$$KK = \sum_{i=1}^n w_i r_i; \quad (3.21)$$

čia W_j – finansavimo šaltinių dalis kapitalo struktūroje; r_i – finansavimo šaltinio kaina.

$$KK = (4,47 \cdot 0,302 + 7 \cdot 0,298) = 3,44 \%$$

3.21 lentelė. Projekto vertinimo rodikliai

Pavadinimas	koeficientas	Procentai, %
Paskolos palūkanų norma i	0,0526	5,26
Skolinto kapitalo kaina (SKK)	0,0447	4,47
Nuosavo kapitalo kaštai	0,0700	7,00
Vidutiniai svertiniai kapitalo kaštai (KK)	0,0344	3,44

4.21 lentelėje pateikiami projekto paprasti ir diskontuoti grynieji pinigų srautai.

3.22 lentelė. Projekto paprasti ir diskontuoti grynieji pinigų srautai (GPS)

Projekto metai	Paprasti GPS		Diskontuoti GPS	
	metiniai GPS	bendri GPS	metiniai GPS	bendri GPS
0	-42,89	-42,89	-42,89	-42,89
1	4,11	-38,78	3,97	-38,92
2	5,21	-33,57	4,87	-34,05
3	5,50	-28,07	4,97	-29,08
4	5,21	-22,87	4,55	-24,53
5	38,03	15,16	32,12	7,59

Vertinant projekto ekonominį tikslingumą skaičiuojami šie rodikliai:

- diskontuotas investicijų atsipirkimo laikas (T);
- grynoji esamoji vertė (GEV);
- vidinė pelno norma (IRR);
- modifikuota vidinė pelno norma (MIRR);
- pelningumo indeksas (PI).

Diskontuotas investicijų atsipirkimo laikas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$T = T_{t-1} + \frac{BGPS_{t-1}}{GPS_T}; \quad (3.22)$$

čia T – atsipirkimo laikas; T_{t-1} – metai prieš visišką išmokų padengimą; $BGPS_{t-1}$ – suminis pinigų srautas prieš visišką išmokų padengimą; GPS_T – visiško padengimo metų grynasis pinigų srautas.

$$T = 4 + \frac{24,53}{32,12} = 4,76 \text{ metai}$$

Sumuojant grynuosius pinigų srautus, diskontuotus pagal kapitalo kaštus, gauname grynąją esamąją vertę:

$$GEV = GPS_0 + \sum_{t=1}^n \frac{GPS_t}{(1+KK)^t}; \quad (3.23)$$

čia GPS – grynasis pinigų srautas, mln. eur; n – metai; t – metų skaičius; KK – kapitalo kaina/diskonto norma.

$$GEV = -42,89 + 3,97 + 4,87 + 4,97 + 4,55 + 32,12 = 7,59 \text{ mln. eur}$$

Vidinės pelno (grąžos) normos ir modifikuotos vidinės pelno normos skaičiavimui naudojamos Excel IRR ir MIRR funkcijos.

Pelningumo indeksas apskaičiuojamas kaip diskontuotų įplaukų sumos santykis su diskontuotų išmokų suma:

$$PI = \left| \frac{\sum_{t=1}^n (+)GPS_t}{\sum_{t=1}^n (-)GPS_t} \right|; \quad (3.24)$$

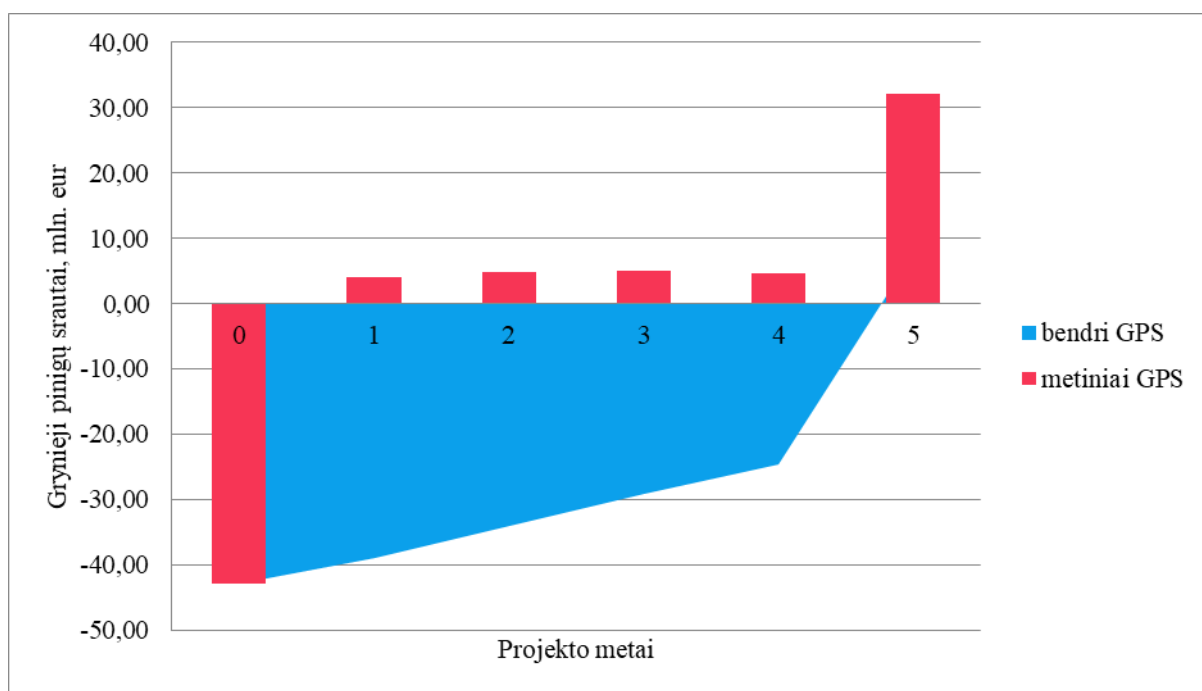
čia $(+)$ GPS – diskontuotų teigiamų GPS suma; $(-)$ GPS – diskontuotų neigiamų GPS suma.

$$PI = \left| \frac{3,97+4,87+4,97+4,55+32,12}{-42,89} \right| = 1,18.$$

3.23 lentelė. Projekto ekonominio vertinimo rodikliai

Rodikliai	Matavimo vienetai	Reikšmės
Diskontuotas atsipirkimo laikas	metai	4,76
Grynoji esamoji vertė (GEV)	mln. Eur	7,59
Vidinė pelno (grąžos) norma (IRR)	%	8,00
Modifikuota vidinė pelno norma (MIRR)	%	7,00
Pelningumo indeksas (PI)	–	1,18

4.1 paveikslėlyje pateikiamas metinių ir bendrųjų grynujų pinigų srautai projekto įgyvendinimo metais.



3.6 pav. Diskontuoti pinigų srautai

Lūžio taško gamybos apimtis apskaičiuojama pagal formulę:

$$B_{Lj} = \frac{PK_j}{(C_j - VKK_j)}; \quad (3.25)$$

čia B_{Lj} – j-ojo gaminio pardavimo apimtis lūžio taške, t; PK_j – j-ajam gaminiui priskiriama pastoviųjų kaštų suma, Eur; C_j – j-ojo gaminio vieneto kaina, Eur; VKK_j – j-ojo gaminio vidutiniai kintamieji kaštai (gamybinė savikaina), Eur.

$$B_{LVandenilio} = \frac{42890000}{3918,97 - 3169,81} = 57250,48 \text{ t}$$

3.24 lentelė. Lūžio taško skaičiavimas

Rodikliai	Vandenilis
Pastoviųjų kaštų suma, Eur	42890000,00
Gaminio kaina, Eur	3918,97
Gaminio kintamieji kaštai, Eur	3169,81
Lūžio taškas, t	57250,48
Pardavimų planas, t	109466,50

Projekto balansas parodo kiekvienų projekto metų grynuosius pinigų srautus ir būsimuosius GPS, sukaupus po atitinkamų metų.

3.25 lentelė. Projekto balansas

Projekto gyvavimo metai	0	1	2	3	4	5
0	-42,89	-42,89	-42,89	-42,89	-42,89	-42,89
1	–	4,11	4,11	4,11	4,11	4,11

2	–	–	5,21	5,21	5,21	5,21
3	–	–	–	5,50	5,50	5,50
4	–	–	–	–	5,21	5,21
5	–	–	–	–	–	38,03
Būsimieji GPS	–42,89	–38,78	–33,57	–28,07	–22,87	15,16

3.4.11. Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai

3.26 lentelė. Projekto finansiniai ekonominiai rodikliai

Rodikliai	Prieš rekonstrukciją	Po rekonstrukcijos	Pokytis
1. Produkcijos pardavimo apimtis, natūriniais vienetais brandos stadijoje:	109466	109466	0,00
2. Pardavimų pajamos, mln. Eur	408,83	413,98	5,15
3. Įmonės personalas, žmonėmis	24	29	5,00
4. Darbo našumas, mln. Eur	17,03	14,28	–2,76
5. Vidutinis metinis darbo užmokestis, Eur	1700	1700	0,00
6. Gamybos kaštai, mln. Eur	160,22	158,49	–1,73
7. Gaminių pilnoji savikaina, Eur	3364,63	3346,69	–17,94
8. Grynas pelnas, mln. Eur	34,44	36,74	2,30
9. Papildomas pelnas, gautas įgyvendinus projektinius sprendimus, mln. Eur.	–	2,30	2,30
10. Investicijų apimtis, mln. Eur	–	50,41	–
11. Bendrasis pelningumas, %	14,20	16,18	1,98
12. Veiklos pelningumas, %	9,91	11,99	2,08
13. Grynas pelningumas, %	8,42	8,87	0,45
14. Investicijų grąža (ROI) %	0	72,88	72,88
15. Veiklos rentabilumas, %	9,35	10,08	0,73
16. Apyvartų skaičius per metus	12	12	0,00
17. Apyvartos trukmė, dienomis	30	30	0,00
18. Produkcijos imlumas apyvartinėms lėšoms, Eur	0,072	0,067	–0,004
19. Projekto kapitalo kaštai, %	–	7,00	–
20. Projekto investicijų diskontuotas atsipirkimo laikas, metais	–	4,76	4,76
21. Projekto grynoji esamoji vertė, mln. Eur	–	7,59	7,59
22. Vidinė pelno norma, %	–	8,00	–
23. Modifikuota vidinė pelno norma, %	–	7,00	–
24. Pelningumo indeksas	–	1,18	–

3.5. Aplinkosauginis vertinimas

3.5.1. Bendrieji duomenys

Įmonėje vandenilis yra gaminamas metano konversijos būdu. Proceso metu išskiriami dideli kiekiai šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Siekiant sumažinti gamybinės veiklos poveikį aplinkai, projektuojama šarminio vandens elektrolizerio blokų sistema.

Įdiegus šarminį elektrolizerį, planuojama palaipsniui mažinti vandenilio gamybą metano konversijos būdu, taip sumažinant šio proceso metu išsiskiriančių kenksmingų CO₂ dujų į aplinką skleidimą. Abu gamybos būdai veiks lygiagrečiai.

Vandens elektrolizės šalutinis produktas – deguonies dujos, kurios yra tiekiamos į šiluminę krosnį degimo procesams intensyvinti.

Garų metano reformingas ir elektrolizės produktas – vandenilio dujos yra naudojamos amoniako gamyboje, kuriai vandenilis būtinas kaip reagentas. Ši cheminė medžiaga gaminama reaguojant vandeniliui su azotu, ir toliau naudojama mineralinių trąšų gamybai.

3.27 lentelė. Duomenys apie gaminius (produkciją)

Pavadinimas	Mato vnt.	Kiekis per metus
Vandenilis	t	109466,50

Dalis gamtinių dujų iš bendro įmonės tinklo yra tiekiamos į sudeginimą vamzdinėje krosnyje, siekiant išlaikyti reikiamą temperatūrą metano konversijos procesui. Sudeginamas pastovus 22064 m³/h gamtinių dujų srautas.

Elektros energija naudojama vandenilio gamybai šarminės elektrolizės būdu.

3.28 lentelė. Kuro ir energijos vartojimas

Energetiniai ir technologiniai ištekliai	Matavimo vnt.	Sunaudojamas kiekis per metus	Išteklių gavimo šaltiniai
Elektros energija	MWh	1095000	Elektros tinklai
Gamtinės dujos	m ³	19,3·10 ⁸	Bendrovės tinklas

Gamtinės dujos nėra klasifikuojamos kaip pavojingos aplinkai pagal cheminių medžiagų ir mišinių klasifikavimo CLP reglamentą, tačiau jų nuotėkis į aplinką gali prisidėti prie klimato kaitos, nes metanas yra šiltnamio efektą sukeliančių dujų komponentas. [34]

3.29 lentelė. Duomenys apie naudojamas žaliavas, chemines medžiagas ar preparatus

Žaliavos, cheminės medžiagos ar preparato pavadinimas	Kiekis, t/metus	Cheminės medžiagos ar preparato klasifikavimas ir ženklavimas		
		Kategorija	Pavojaus nuoroda	Rizikos frazės
1	2	3	4	5
Gamtinės dujos	416100	Labai degios dujos	H220 – Labai degios dujos.	P210 – Laikyti atokiai nuo karščio, karštų paviršių, kibirkščių, atviros liepsnos ir kitų uždegimo šaltinių. Nerūkyti.

			H280 – Sudėtyje yra suslėgtų dujų; gali sprogti kaitinant.	P377 – Gaisro metu dėl dujų nuotėkio: nedelsiant imtis veiksmų, jei saugu. P381 – Pašalinti visas uždegimo šaltinių vietas, jei tai saugu.
--	--	--	--	---

3.5.2. Atliekos

Vykdamas vandenilio gamybos procesą susidaro kietos agregatinės būsenos atliekos. Atliekos susidaro sieros valymo bloke, pirminiame ir antriniame reforminge, I-o ir II-o laipsnio CO konversijos bloke keičiant katalizatorius, kurie turi sunkiųjų metalų oksidų. Šios medžiagos nėra toksiškos, tačiau dėl galimo poveikio aplinkai turi būti laikomos sandariai, ženklinamos ir perduodamos licencijuotiems atliekų tvarkytojams.

Atliekų kiekiai ir katalizatoriaus keitimas priklauso nuo gamybos intensyvumo. Lentelėje pateikiamas vidutinis metinis susidarantis kiekis atliekų per metus, įrenginiams veikiant optimaliu režimu.

3.30 lentelė. Atliekos, atliekų tvarkymas

Technologinis procesas	Pavadinimas	Cheminė sudėtis	Kiekis, t/metus	agregatinis būvis	kodas pagal atliekų sąrašą	Pavojingumas
Sieros valymas	Katalizatoriaus	CoO; MoO ₃	22	Kieta	R13	Nepavojingos
		ZnO	130	Kieta	R13	Nepavojingos
Pirminis reformingas	Katalizatoriaus	NiO	25	Kieta	R13	Nepavojingos
Antrinis reformingas	Katalizatoriaus	NiO	45	Kieta	R13	Nepavojingos
I-o ir II-o laipsnio CO konversija	Katalizatoriaus	Fe; Cr; Cu	250	Kieta	R13	Nepavojingos

3.5.3. Aplinkos oro tarša

Dujinių išmetimų sudeginimui naudojamas vamzdinis fakelas su įrengtais nuolat veikiančiais degikliais ir automatiniais uždegimo įtaisais.

3.31 lentelė. Stacionarių taršos šaltinių fiziniai duomenys

Taršos šaltiniai			Išmetamų dujų rodikliai			Teršalų išmetimo trukmė, val/m
Pavadinimas	Aukštis, m	Išmetimo angos matmenys, m	Srauto greitis, m/s	Temperatūra, °C	Tūrio debitas Nm ³ /s	
Vamzdinės kornies kaminas	40	4	7,5	240	95	8760

Išmetamos dujos, tokios kaip metanas, vandenilis ir amoniakas, yra nukreipiamos į fakelo difuzorių, kuriame jos susimaišo su degimui reikalingu oru. Procesas liepsna dega atviroje aplinkoje. Dėl aukštos

temperatūros vyksta efektyvus organinių junginių skaidymas – metanas, vandenilis ir amoniakas visiškai sudega, susidarant anglies dioksidui (CO₂), vandens garams (H₂O).

Nors fakelo degimo procesas yra suprojektuotas taip, kad būtų pasiekta kuo pilnesnė degimo reakcija, tam tikri kiti oro teršalai – ypač azoto oksidai – gali būti išmetami į atmosferą. Taip pat nedideliais kiekiais gali susidaryti anglies monoksidas (CO), jei degimo sąlygos laikinai tampa neoptimalios (pvz., dėl staigaus dujų srauto pokyčio). Degimo produktai išleidžiami į atmosferą per fakelo viršutinę dalį.

3.32 lentelė. Tarša į aplinkos orą

Proceso (veiklos) pavadinimas	Taršos šaltiniai	Teršalai		Numatoma tarša			
	Pavadinimas	Pavadinimas	Kodas	Momentinis dydis			Metinė, t/m
				vnt.	vidut.	maks.	
Vandenilio gamyba	Vamzdinės krosnies kaminas	Azoto oksidai (NO _x)	6044	g/s	6,65	7,0	210
		Anglies monoksidas (CO)	6069	g/s	21,2	24,0	670

3.5.4. Naudojamas vanduo ir susidaranti nuotekos

Įmonė pati tiesiogiai ima vandenį iš Neries upės. Prieš naudojimą technologiniams tikslams vanduo valomas nuo mechaninių priemaišų ir chemiškai paruošiamas – demineralizuojamas.

Vanduo įmonės technologiniuose procesuose atlieka svarbias funkcijas. Jis naudojamas kaip pagrindinė žaliava šarminėje elektrolizėje, kur vyksta vandens skaidymas į vandenilį ir deguonį. Taip pat vanduo naudojamas garo gamybai katiluose – utilizatoriuose, kuriuose išnaudojamas procesinis šilumos perteklius. Be to, vandens garų ir oro mišinys naudojamas antriniame reformingo procese kaip žaliava reaguojanti su metanu.

Gamybinės vandens nuotekos ir nepanaudotas garas yra išvalomi ir išleidžiami į vandenų šulinius. Pavojingų nuotekų išleidžiamų į aplinką nėra.

3.33 lentelė. Numatomas vandens paėmimas ir vartojimas

Vandens šaltinis (vandenvietė ar kitas)	Didžiausias planuojamas gauto vandens kiekis			Veikla, kurioje bus naudojamas vanduo	Kiekvienoje veikloje planuojamo suvartoti vandens didžiausias kiekis		
	m ³ /m	m ³ /d	m ³ /h		m ³ /m	m ³ /d	m ³ /h
Neries upė	2135688	5851,2	243,8	Antrinei metano konversijai vandens garais	45464,4	124,56	5,19
				Elektrolizeriams vandenilio gamybai	198063,6	542,64	22,61
				Garo gamybai	1892160	5184,00	216,00

4. Darbuotojų sauga ir sveikata

4.1. Projektuojamojo objekto charakteristika

AB „Achema“ bendrovės plote prie metano konversijos linijos yra projektuojamas šarminis vandenilio elektrolizeris. Įmonė specializuojasi azoto trąšų ir pramoninių chemikalų gamyboje. Šiuo metu gaminant vandenilį metano konversijos būdu yra naudojamos šios žaliavos: gamtinės dujos, vanduo, oras, aukšto slėgio vandens garai. Įrengus elektrolizerį vandenilio gamybai naudojamas vanduo, o katalizatorius – kalio hidroksidas.

Nors abiem būdais yra pagaminamos vandenilio dujos, tačiau metano konversijos būdu šalutinis produktas – CO₂ dujos, o elektrolizės būdu šalutinis produktas – deguonies dujos.

Pagal Lietuvos Respublikos specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatymą įmonė pagal vykdomą veiklą priklauso: „Pagrindinių chemikalų, trąšų ir azoto junginių, pirminių plastikų ir pirminio sintetinio kaučiuko gamybai“ [35]. Kodas pagal ekonominės veiklos rūšių klasifikatorių 20.1. Taigi, suprojektuotas sanitarinės apsaugos zonos dydis: 500m.

4.2. Profesinės rizikos vertinimas

Profesinė rizika – traumos ar kitokio darbuotojo sveikatos pakenkimo galimybė dėl kenksmingo ar pavojingo darbo aplinkos veiksnio poveikio. Profesinės rizikos vertinimo tikslas – nustatyti ir įvertinti esamą ar galimą riziką darbe, ją pašalinti, o jei negalima pašalinti, įdiegti prevencijos priemonės, kad darbuotojai būtų apsaugoti nuo rizikos arba ji būtų kiek įmanoma sumažinta. Norint užtikrinti saugą darbo vietoje reikia įvertinti visus galimus rizikos veiksnius, esančius darbo aplinkoje. Profesinės rizikos vertinimą reikia pradėti nuo rizikos veiksnių identifikavimo ir vietų, kuriose darbuotojai gali būti veikiami rizikos veiksnių, nustatymo. Gali pasireikšti cheminiai, fizikiniai, biologiniai, fiziniai, ergonominiai ir psichosocialiniai veiksniai [36]. 6.1 lentelėje pateikiamas rizikos veiksnių identifikavimas ir kiekybinis įvertinimas.

4.1 lentelė. Rizikos veiksnių identifikavimas ir kiekybinis įvertinimas [37] [38] [39] [40]

Rizikos veiksnys, keliantis pavojų profesinei saugai ir sveikatai	Rizikos veiksnio atsiradimo ar veikimo vieta	Rizikos veiksnio dydis (lygis), matavimo vienetas	Rizikos veiksnio leidžiamas dydis (lygis), ribinė vertė, matavimo vienetas	Rizikos veiksnio poveikio trukmė, dažnis	Prevencijos priemonių būtinumas
Fiziniai veiksniai					
Karštos medžiagos ir paviršiai	Vamzdinė krosnis, vamzdynai	200 °C	–	Esant prie įrengimų atliekant patikrą	Įspėjamasis ženklavimas, apsauginės tvoros, karščiui atsparios pirštinės, karščiui atspari apranga
Slėginiai indai	Kompresoriai, buferinės talpyklos	30 bar	0,5 bar	Esant prie įrengimų atliekant patikrą	Apsauginiai vožtuvai, manometrai
Elektros įtampa	Šarminio vandens elektrolizerio patalpos	–	–	Nuolatinis	Visai elektros įrangai turi būti užtikrintas saugiklių ribotuvai, apsauga nuo neteisingo

					poliškumo ir įžeminimas
Darbo vietos priešgaisrinis parengimas	Šarminio vandens elektrolizerio patalpos	–	–	Nuolatinis	Suprojektuojamas evakuacijos planas, gesintuvai, gaisrinė signalizacija
Fizikiniai veiksniai					
Triukšmas	Technologiniai įrengimai lauke	90 dB	87 dB	Periodinis	Asmeninės apsaugos priemonės: ausų kamšteliai.
Darbo vietos apšvietimas	Elektrolizerio įrengimų patalpos	200 lx	200–500 lx	Nuolatinis	Įrengtas reguliuojamas apšvietimas
Darbo vietos šiluminė aplinka	Elektrolizerio įrengimų patalpos	–	Temperatūra šaltuoju laikotarpiu: 18–20 °C. Temperatūra šiltuoju laikotarpiu: 21–23 °C.	Nuolatinis	Gali būti taikomos apsaugos nuo užšalimo priemonės arba avarinė šildymo sistema,
Cheminiai veiksniai					
Vandenilis	Šarminio vandens elektrolizerio patalpos, metano konversijos linija	–	–	Įvykus avarijai	Izoliuojanti dujokaukė
Metanas	Metano konversijos linija	–	300 mg/m ³	Įvykus avarijai	Izoliuojanti dujokaukė
Degūonis	Šarminio vandens elektrolizerio patalpos	–	–	Įvykus avarijai	Izoliuojanti dujokaukė
Anglies monoksidas	Metano konversijos linija	–	IPRD – 40 mg/m ³ TPRD – 120 mg/m ³	Įvykus avarijai	Autonominis kvėpavimo aparatas
Anglies dioksidas	Metano konversijos linija	–	IPRD – 9000 mg/m ³	Įvykus avarijai	Izoliuojanti dujokaukė
Kalio hidroksidas	Šarminio vandens elektrolizerio patalpos	–	–	Įvykus avarijai	Apsauginiai akiniai, guminės pirštinės, respiratorius
Ergonominiai veiksniai					
Nuovargis	Rodiklių sekimas operatorinėje	–	–	Nuolatinis	10 minučių pertraukėlės kas 2 valandas

Nustatyti medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliai, siekiant užtikrinti darbuotojų saugą ir tinkamą medžiagų tvarkymą. Šie rodikliai, leidžia įvertinti, kaip medžiaga elgsis gaisro ar avarijos atveju.

Turint išsamią informaciją apie medžiagos gaisrinį pavojingumą, galima sumažinti nelaimingų atsitikimų riziką ir efektyviau valdyti galimas avarines situacijas.

4.2 lentelė. Medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliai

Medžiagos pavadinimas	Sunaudojama (pagaminama) per pamainą, t	Pliūpsnio temperatūra, °C	Sprogumo ribos, tūrio % ore		Savaiminio užsidegimo temperatūra, °C	Užsidegimo temperatūra, °C
			Apatinė	Viršutinė		
Vandenilis	12,49 t/h	–	13	65	400	–
Metanas	40,1 t/h	–188	6,3	13,5	537	–
Deguois	19,58 t/h	–	–	–	–	–
Anglies monoksidas	1 t/h	–	12,5	74	610	–

Metano konversijos įrengimai, šarminio elektrolizerio patalpos ir elektrolizerio įrengimai, esantys lauke priklauso 2 zonai [41]. Pagal gaisrinės saugos pagrindinius reikalavimus 2 zona yra vieta, kurioje dirbant normaliuoju režimu, negali susidaryti sprogios aplinka. Tačiau jei tokia aplinka susidaro, ji būna labai retai, dėl mažai tikėtinų avarių ir stichinių nelaimių ir išlieka trumpai. Kadangi yra dirbama su aukšto slėgio vandenilio dujomis yra minimali dujų nuotekio į aplinką rizika.

Atsižvelgiant į didelį pagaminamo vandenilio srautą, nedidelį reikiamą kiekį sprogstamai koncentracijai, bei nutekėjimo ar vėdinimo gedimo riziką, vandenilio elektrolizerio patalpos priskiriamos A_{sg} kategorijai [42].

Lauke esantys elektrolizerio įrengimai – 30 barų slėgio O₂ ir H₂ buferinės talpyklos priskiriamos A_{sgi} kategorijai. Vandenilio dujų nutekėjimas gali sukurti pavojingą sprogstamą aplinką. Kadangi talpos yra slėginės (30 bar), nutekėjimo atveju vandenilis gali greitai išsiskirti aplinką ir užsiliiepsnoti nuo mažiausios kibirkšties. Be to esant deguonies nutekėjimui, ypač šalia vandenilio ar kitų degių medžiagų, gali kilti gaisras ar sprogimas.

Metano konversijos įrengimai, esantys lauke yra priskiriami A_{sgi} kategorijai. Metano konversijos procesas vyksta esant labai aukštai temperatūrai (700–1000 °C), kas sukelia gaisro ir sprogimo riziką. Be to reaktoriai, yra labai jautrūs temperatūros pokyčiams, o netinkamos eksploatacijos metu tai gali sukelti nevaldomas reakcijas [42].

4.3 lentelė. Pastatų, patalpų ir išorinių įrenginių kategorijos pagal sprogimo ir gaisro pavojų

Objekto, kuriam suteikiama kategorija, klasifikuojama pavojinga vieta, pavadinimas	Požymis, nulemiantis kategoriją, pavojingos vietos zoną	Kategorija, pavojingos vietos zona
Metano konversijos įrengimai lauke	Gamyboje naudojamos ypač degios dujos	A _{sgi} , 2 zona
Šarminio elektrolizerio patalpos	Naudojamos ypač degios dujos	A _{sg} , 2 zona
Elektrolizerio įrengimai, esantys lauke	Įrangoje yra laikomos degios dujos	A _{sgi} , 2 zona

4.3. Saugi gamyba

Įrenginiai gamykloje sumontuoti ir darbo vieta paruošta pagal Darbo įrenginių naudojimo bendruosius nuostatus ir Lietuvos Respublikos darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymą. Šarminio elektrolizerio patalpose norint užtikrinti saugią gamybą ir avarinių situacijų prevenciją reikia atsižvelgti į [43] [44]:

- apsaugą nuo elektros srovės pavojų;
- vandenilio ir kitų degių medžiagų saugą, užtikrinant apsaugą nuo sprogo ir gaisro.

4.3.1. Saugi gamyba įvertinant elektros srovės pavojų

Kadangi elektrolizerio įrenginiai naudoja didelį kiekį elektros energijos, gamybos procesui, elektros srovės pavojus tampa vienu iš pagrindinių rizikos veiksnių. Ypač svarbu atsižvelgti į tai, kad elektrolizės įrenginiai veikia didele įtampa ir srovės stiprumu, o bet kokios klaidos ar įrangos gedimai gali sukelti elektros smūgį ar gaisrą [37].

Prevencinės priemonės vandens elektrolizerio patalpose:

- naudojamos izoliacijos medžiagos, kurios atitinka A_{sg} patalpų klasifikaciją;
- suprojektuota neperšlampama elektros įranga ir žemės apsauga;
- įrengti apsauginiai įtaisai, avariniai išjungimo mechanizmai, kurie atskiria įrenginius nuo elektros tiekimo šaltinio. Įvykus gedimui, kuo greičiau nutraukiamas elektros tiekimas;
- įrengtas aiškus ir matomas ženklavimas, nurodantis pavojų susijusį su elektros įrenginiais.

Pagal Saugos eksploatuojant elektros įrenginius taisyklės apsauginis įžeminimas taikomas visiems aukštesnės kaip 1000 V įtampos elektros įrenginiams. Taigi, yra įžeminami visi patalpoje esantys elektrolizeriai [45].

4.3.2. Saugi gamyba įvertinant sprogo ir gaisro pavojų

Pagal Europos standartus potencialiai degiai ir sprogiai aplinkai, elektrolizeriai padegti ugniai atspariu apgaubu [41]. Be to patalpoje įrengtas elektros įrenginių įžeminimas ir sumontuoti dujų detektoriai, kad greitai nustatytų vandenilio nutekėjimą. Patalpose užtikrinamas pakankamas natūralus arba mechaninis vėdinimas, kad būtų išvengtas sprogo mišinių susidarymas. Vamzdynai pagaminti iš atsparios sprogo medžiagos.

Šarminio elektrolizerio patalpos priskiriamos A_{sg} patalpų kategorijai, kur gali susidaryti potencialiai sprogiai aplinka, todėl elektros įrenginiai buvo parinkti pagal „Specialių patalpų ir technologinių procesų elektros įrenginių įrengimo taisyklės“. Pagal sprogo zonos tipą 2, reikiamas apsaugos lygis yra normalus, todėl naudojami elektros įrenginiai gali būti: II 1G arba II 2G arba II 3G kategorijos.

Pagal Specialiųjų patalpų ir technologinių procesų elektros įrenginių įrengimo taisyklės medžiagų, galinčių sudaryti su oru sproguosius mišinius, elektrolizeriai priklauso klasės II C kategorijai T1 temperatūrinei klasei. Aukščiausia leidžiama paviršiaus temperatūra yra 450 °C. Darbinis elektrolizerio režimas yra 75 – 85 °C. Taigi, mišinio temperatūra nekelia rizikos sprogo.

Griežtai draudžiama naudoti atvirą ugnį elektrolizės proceso zonose, kur yra degių, sprogstamųjų ar chemiškai aktyvių medžiagų. Vandenilio, metano, deguonies ar kitų pavojingų medžiagų buvimas sudaro sąlygas sprogimo ir gaisro rizikai, todėl bet kokie ugnies šaltiniai yra draudžiami.

4.4. Darbo higiena

4.4.1. Cheminiai veiksniai

Įvertinami cheminiai veiksniai. Jie yra labai svarbūs, nes jie tiesiogiai susiję su medžiagomis, kurios gali kelti pavojų sveikatai, aplinkai ar įrangai. Operatorius ir aptarnaujantis personalas tiesiogiai su cheminėmis medžiagomis neturi sąlyčio, tačiau esant dujų nuotėkiui operatorius gali būti veikiamas šių dujų.

Metanas CH_4 – bespalvės, bekvapės, lengvesnės už orą dujos, kurių tankis $0,657 \text{ kg/m}^3$. 20°C temperatūroje 100 g vandens ištirpsta 2,4 mg metano. Degus, savaiminio užsiliepsnojimo temperatūra 530°C . Inertinės dujos. Metanas įeina į gamtinių dujų, naudojamų technologijoje, sudėtį. Pagrindinis metano atsiradimo ore šaltinis – pralaidos, nesandarumas įrangoje. Poveikis žmogui: gali jomis uždusti dėl deguonies trūkumo. Naudojamos asmeninės apsaugos priemonės: respiratorius su filtrais prieš inertiškas dujas, jei patalpoje trūksta deguonies ir atspari antistatiniais elektros krūviams apranga (siekiama sumažinti sprogimo riziką). Kolektyvinė apsaugos priemonė – dujų detektorius, skirtas metano nutekėjimui identifikuoti.

Vandenilis H_2 – bespalvės, bekvapės dujos. Tankis $0,07 \text{ g/cm}^3$. Molekulinis svoris – 2,016. Dujos beveik netirpios vandenyje. Degus, savaiminio užsidegimo temperatūra 510°C . Norint užgesinti atvirame ore vandenilio fakelą būtinas nemažesnis kaip 10 kartų jo praskiedimas azotu. Vandenilis šarminio vandens elektrolizerio ir metano konversijos pagrindinis produktas. Poveikis žmogui: inertinės dujos, sukelia uždusimą dėl deguonies trūkumo. Asmeninės apsaugos priemonės: nedegus darbo kostiumas, atsparus liepsnai, apsauginiai akiniai nuo galimų mechaninių dalelių ir atspari antistatiniais elektros krūviams avalynė. Kolektyvinė apsaugos priemonė – ventiliacijos sistema, palaikanti normalią deguonies koncentraciją.

Anglies monoksidas CO – bespalvės, silpno česnako kvapo dujos. Tankis 0,967 palyginus su oru. 20°C temperatūroje 100 g vandens ištirpsta apie 2,86 mg anglies monoksido. Degios dujos. Savaiminio užsidegimo temperatūra 610°C . Su oru sudaro sprogų mišinį, kai koncentracija siekia 12,5–74 % tūrio. Apsinuodijimo simptomai: bendras silpnumas, galvos skausmas, vėmimas, padažnėjęs pulsas, sąmonės netekimas, traukuliai, dusulys.. Asmeninė apsaugos priemonė: kaukė su aktyvintos anglies filtru (B klasės).

Anglies dioksidas CO_2 – bespalvės, praktiškai bekvapės dujos. Tankis 1,57 lyginant su oru. Prie 20°C 100 g vandenyje ištirpsta 173 mg CO_2 . Nedegus. Nesproguos. Poveikis žmogui: toksiškas. Esant didelėms anglies dioksido koncentracijoms ore galima mirtis dėl uždusimo. Erzinančiai veikia odą ir kvėpavimo takus. Asmeninė apsaugos priemonė: kaukė su aktyvintos anglies filtru (B klasės).

Kalio hidroksidas KOH – tirpalas yra bespalvis, stipriai šarminis tirpalas, kuris gerai laidus elektrai, ėsdinantis, stipriai reaguoja su rūgštimis, rūgštiniais oksidais ir kai kuriais metalais, bei pasižymi egzotermine tirpimo reakcija vandenyje. Visiškai tirpus vandenyje, esant 20°C tirpumas – $1,130 \text{ g/l}$. Kenksminga prarijus. Patekus ant odos smarkiai nudegina. Patekus smarkiai pažeidžia akis.

Asmeninės apsaugos priemonės: chemiškai atsparios pirštinės ir pilnas veido skydelis, kuris apsaugoja nuo skysčio purslų.

4.4.2. Fiziniai veiksniai

Šarminio elektrolizerio ir metano konversijos linijos operatorius atlieka elektrolizės įrenginio priežiūrą, valdymą ir saugos užtikrinimą, siekdamas užtikrinti nepertraukiamą ir saugų vandenilio gamybos procesą. Atlieka smulkia profilaktinę priežiūrą: filtrų keitimą, elektrolito papildymą, elektrodų būklės stebėjimą.

Operatoriaus darbas atitinka vidutinio sunkumo fizinę IIa kategoriją – darbas, kurį dirbant žmogaus energijos sąnaudos sudaro daugiau kaip 630 kJ/h, bet ne daugiau kaip 840 kJ/h. Darbas, kuris reikalauja tam tikros fizinės įtampos vaikstant, sėdint ar stovint perkeliant krovinį iki kilogramo masės.

Darbo metu yra minimalus vienkartinis krovinio plastiko dėžių kėlimas, tačiau neviršija 25 kg, esant mažesniai nei 30 cm rankomis laikomo krovinio atstumui nuo kūno. Taigi, papildomų saugos veiksmų imtis nereikia pagal Įsakymo dėl ergonominių rizikos veiksnių tyrimo metodinius nurodymus [46].

Temperatūra patalpose atitinka Lietuvos higienos normą HN 69:2003 "Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai": Vidutinio sunkumo fizinio IIa kategorijos darbuotojui, patalpų šiluminio komforto aplinkos oro temperatūros:

- temperatūra šaltuoju laikotarpiu: 18–20 °C;
- temperatūra šiltuoju laikotarpiu: 21–23 °C.

Šarminio elektrolizerio darbo zona priskiriama prie technologinių įrenginių priežiūros ir proceso valdymo zonų, kur darbuotojas turi tiksliai stebėti valdymo parametrus (slėgį, temperatūrą, srovę), identifikuoti galimus nuotėkius ar medžiagų išsiliejimus, matyti indikatorius, ekranus ar matavimo prietaisus net ir esant intensyviai foninei šviesai (nuo ekranų, metalinių paviršių atspindžių). Rekomenduojama minimali apšvietos vertė yra 200 lx, kai operatorius tik periodiškai apžiūri įrangą, nėra reikalingas detalus stebėjimas ar tamsi aplinka. O kai operatorius reguliariai prižiūri sistemą, skaito rodmenis ar atlieka paprastus koregavimo veiksmus rekomenduojama apšvieta yra 300 – 500 lx [47].

Metano konversijos linijose yra karštų paviršių (krosnis). Atliekant patikrinimus rizika nusideginti rankas. Prie krosnies yra aiškiai pažymėti įspėjamaisiais ženklais „Karštas paviršius“. [48] Įrengta apsauginė tvorelė. Priežiūros ar remonto metu darbuotojai naudoja karščiui atsparias pirštines ir kitą apsaugos aprangą.



4.1 pav. Įspėjamasis ženklas „Karštas paviršius“ [48]

Santykinė oro drėgmė yra palaikoma 40–60 % ribose. Esant žemai drėgmei <30 %, sausėja kvėpavimo takų gleivinė, didėja statinės elektros susidarymo pavojus, o tai yra ypač pavojinga dirbant su vandeniliu ir deguonimi. Per didelė drėgmė gali skatinti kondensaciją ir įrangos koroziją.

Įvertintas įrenginių keliamas triukšmas vadovaujantis Darbuotojų apsaugos nuo triukšmo keliamos rizikos nuostatais [44]. Metano konversijos linijoje triukšmas siekia 90 dB. Ribinė ekspozicijos vertė: yra $L_{EX, 8h} = 87$ dB. Darbuotojai, aprūpinami ausų ir klausos sistemos organų apsaugos nuo triukšmo priemonėmis – ausų kamšteliais [49].

4.5. Gaisrinė sauga

Kadangi gamybos patalpos atitinka A_{sg} kategoriją pagal sprogimo ar gaisro kilimo pavojų, privaloma įrengti stacionariųjų gaisrų gesinimo sistemas pagal Stacionariųjų gaisrų gesinimo sistemų projektavimo ir įrengimo taisykles. Įrengti purkštukai ir priešgaisrinė signalizacija, kad be žmogaus veiksmų aptiktų gaisrą, perduotų pavojaus signalus kitoms sistemoms ir jį užgesintų, kol jam užgesinti bus panaudotos kitos priemonės. Be to, ši sistema automatiškai aptinka gaisro požymius (dūmus, liepsną ar staigų temperatūros padidėjimą) ir nedelsiant inicijuoja gesinimo procesą, taip apsaugodama darbuotojus, įrangą ir visą gamybos procesą nuo didesnių nuostolių. Įrengti oro aplinkos dujų signalizatoriai, turintys šviesos ir garso signalų įrenginius.

Gamybos patalpose yra dujų užsidegimo rizika. Pagal Bendrąsias gaisrinės saugos taisykles galimas C klasės gaisras. Pagal šią gaisro klasę efektyviausi yra ABC ir BC tipo milteliai gesintuvai.

Minimalūs reikalavimai A_{sg} pavojaus kategorijos gamybos patalpoms:

- 100 m² plotui turi būti du 6 kg nešiojami gesintuvai;
- 800 m² plotui turi būti vienas 40kg kilnojamas gesintuvas.

Elektrolizerio patalpos plotas yra 9063,6 m². Pagal Bendrąsias gaisrinės saugos taisykles reikia:

- 91 vnt. ABC tipo 6 kg nešiojamųjų gesintuvų;
- 12 vnt. ABC tipo 40 kg kilnojamųjų gesintuvų.

Bet patalpose, kuriose yra įrengta automatinė gaisro gesinimo sistema, gesintuvų skaičių galima sumažinti 50 proc.

Naujai paskaičiuotas įdiegtų gesintuvų skaičius:

- 46 vnt. ABC tipo 6 kg nešiojamųjų gesintuvų;
- 6 vnt. ABC tipo 40 kg kilnojamųjų gesintuvų.

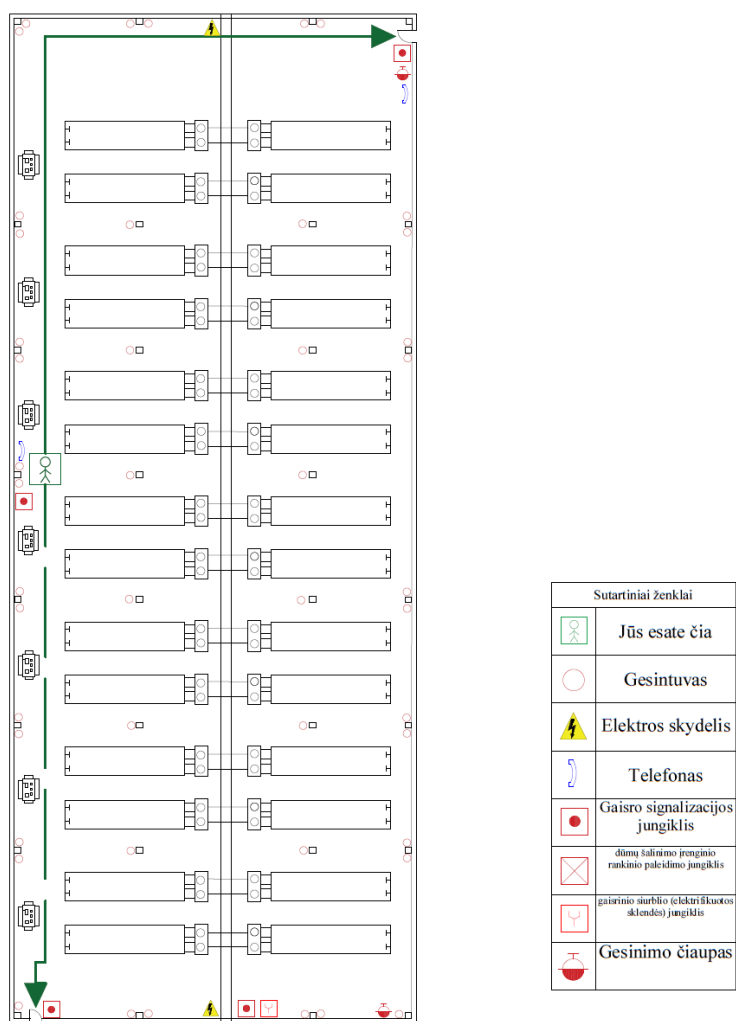
Įmonės plotas viršija 5000 m², todėl buvo įrengti specialūs stendai pirminėms gaisro gesinimo priemonėms laikyti. Kiekviename stende yra šios būtinos priemonės:

- gesintuvas;
- kibiras;
- smėlio dėžė;
- kastuvas;

- nedegus audeklas;
- 2 laužtuvai;
- 2 kirviai.

Šie stendai įrengti gerai matomose, lengvai prieinamose vietose, šalia pagrindinių išėjimų iš patalpų. Prie kiekvieno stendo taip pat įrengta smėlio dėžė, kaip reikalaujama pagal priešgaisrinės saugos taisykles.

Evakuaciniame plane aiškiai nurodytos pirminės gaisro gesinimo priemonės, kurios įrengtos pastato viduje (6.2 pav.).



4.2 pav. Evakuacijos planas

Išvados

1. Atlikta literatūros šaltinių analizė. Nustatyta, kad šiuo metu efektyviausiai pramonėje pritaikomas žaliojo vandenilio gamybos būdas – šarminė elektrolizė.
2. Naudojantis „Aspen PLUS“ programa sumodeliuota metano konversijos ir elektrolizerio gamybos linijos. Modeliavimo metu pasirinkta mažinti gamtinių dujų srautą nuo 2900 kmol/h iki 1900 kmol/h. Ištirta, kad gamtinių dujų debitą galima sumažinti iki 2500 kmol/h, išlaikant reikalingą vandens garų kiekį susidaranti katiliuose – ulilizatoriuose. Suminis technologijos ir sudeginimo dujų išmetamas CO₂ kiekis sumažėja nuo 3083,29 kmol/h iki 2659,19 kmol/h. Norint padengti sumažėjusią vandenilio gamybą, įdiegiama 121,5 MW šarminio elektrolizerių blokų sistema.
3. Sumodeliuotas papildomas patobulinimas – degimo dujos praturtinamos grynomis deguonies dujomis, pagamintomis šarminiu elektrolizeriu. Apskaičiuota, kad įdiegus patobulinimą galimas papildomas maksimalus 6,78 % reikalingų gamtinių dujų sumažėjimas ir išskiriamo CO₂ 5,56 % sumažėjimas. 121,5 MW elektrolizerio atveju, kai pagaminama 612 kmol/h O₂ dujų: sumažinamos gamtinių dujų sąnaudos 1,5 %, o CO₂ išskyrimas sumažinamas 1,29 %.
4. Aprašyta esama metano konversijos gamybos linija, bei pateikti technologinės linijos atnaujinimai. Žaliojo vandenilio gamybai reikalingi papildomi įrenginiai: elektrolizerio blokai, H₂ separatorius, O₂ separatorius, H₂ valymo blokas, adsorbcinė kolona ir 30 bar kompresorius.
5. Pateikti statybiniai sprendimai. Elektrolizerio blokams ir transformatoriams suprojektuotas gamybinės paskirties pastatas. Planuojamo statyti pastato sklypas yra AB „Achema“ teritorijoje, kurio plotas yra 2,04 ha. Pastato užimamas plotas 9063,6 m².
Atlikti ekonominiai skaičiavimai. Apskaičiuota, kad projektui įgyvendinti reikalingi kaštai yra 84,01 mln. eur. Akcininkų nuosavybė sudaro 25,00 mln. eur. paimta ilgalaikė paskola 25,41 mln. eur. ir likusi suma padengiama ES lėšomis. Po rekonstrukcijos gaminio pilnoji savikaina sumažėja 17,94 eur/t, o gamybos kaštai sumažėja 1,73 mln. eur. per metus. Grynas pelningumas padidėja 0,45 %. Diskontuotas investicijų atsipirkimo laikas 4,76 metai.
Atliktas aplinkosauginis įvertinimas. Pateiktos katalizatoriaus atliekos ir oro tarša gamybą vykdant metano konversijos būdu. Katalizatoriaus atliekos susidaro sieros valymo, pirminio ir antrinio reformingo bei I–o ir II–o laipsnio CO konversijos procesų metu.
Įvertinta darbo profesinė rizika. Nustatyti galimi fiziniai, fizikiniai, cheminiai ir ergonominiai veiksniai, įdiegtos prevencinės priemonės, kad darbuotojai būtų apsaugoti nuo galimų pavojų. Darbuotojams parinktos reikalingos asmeninės apsaugos priemonės. Nustatyta, kad elektrolizerio patalpos priskiriamos A_{sg} kategorijai pagal sprogimo ir gaisro pavojų. Suprojektuota stacionarioji gaisrų gesinimo sistema bei parinkti ABC tipo gesintuvai, kurie nurodyti evakuacijos plane.

Literatūros sąrašas

1. Ukaogo, P. O. Ewuzie, U. ir Onwuka, C. V. Environmental pollution: causes, effects, and the remedies, 2020 [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819001-2.00021-8>.
2. Balat, M. *Potential importance of hydrogen as a future solution to environmental and transportation problems*, 2008 [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.05.047>.
3. TARPTAUTINĖ ENERGETIKOS AGENTŪRA. *Global hydrogen review 2024: Hydrogen demand*, 2024 [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2024>.
4. VAN DER SPEK, M., BANET, C., BAUER, C., ir kt. *Perspective on the hydrogen economy as a pathway to reach net-zero CO₂ emissions in Europe*. *Energy & Environmental Science*, 15(3), 1034–1077, 2022, [interaktyvus] [žiūrėta 2025 04 12]. <https://doi.org/10.1039/d1ee02118d>
5. HYDROGEN EUROPE. *Clean hydrogen monitor*, 2022, [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://hydrogeneurope.eu/clean-hydrogen-monitor2022/>.
6. EUROPOS KOMISIJA. *Hydrogen*. [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: https://energy.ec.europa.eu/topics/eus-energy-system/hydrogen_en.
7. PLANET A. *Unveiling hydrogen's true colors: How clean is it really?* [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://planet-a.medium.com/unveiling-hydrogens-true-colors-how-clean-is-it-really-209480d130b6>
8. STATISTA. *Hydrogen demand worldwide from 2019 to 2021, with a forecast for 2030*, [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-12]. Prieiga per: <https://www.statista.com/statistics/1121206/global-hydrogen-demand/>.
9. SONG, C. *Introduction to Hydrogen and Syngas Production and Purification Technologies*. Clean Fuels and Catalysis Program, EMS Energy Institute, 2023, [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113941>
10. HOWARTH, R. W., JACOBSON, M. Z. How green is blue hydrogen? *Energy Science & Engineering*, 2021, [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1002/ese3.956>
11. PUCHETA, M., FERREIRA, C., GUERRA, M. Process simulations of blue hydrogen production by upgraded sorption enhanced steam methane reforming (SE-SMR) processes. *Energy Conversion and Management*, 2020, [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113144>.
12. GUNAWARDINE, K. Evolution of hydrogen energy and its potential opportunities around the globe. In *Hydrogen Energy Conversion and Management*, 2024, [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780443153297000077>.
13. DINCER, I., ROSEN, M. A., AL-ZAZEER, M. *Chemical Energy Production*. In *Comprehensive Energy Systems* (pp. 470–520), 2018, [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128095973003266?via%3Dihub>.
14. SONG, C. *Introduction to Hydrogen and Syngas Production and Purification Technologies*. In: Clean Fuels and Catalysis Program, EMS Energy Institute.
15. Ebrahimi, H., Behroozsarand, A., Zamaniyan, A. Arrangement of primary and secondary reformers for synthesis gas production. *Chemical Engineering Research & Design: Transactions*

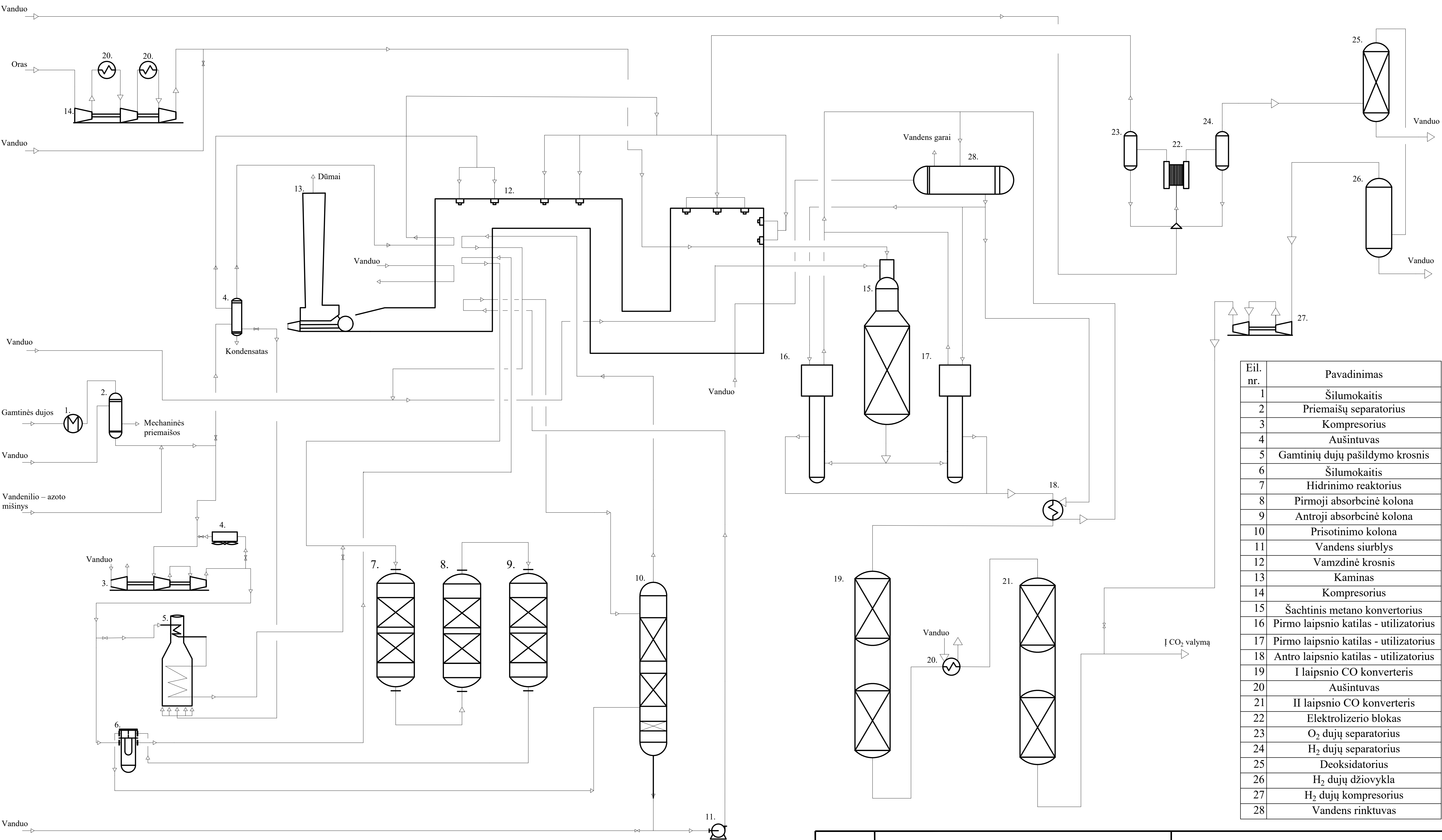
- of the Institution of Chemical Engineers, 2010, [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2010.02.021>.
16. KUMAR, A., BALDEA, M., EDGAR, T. F. A physics-based model for industrial steam-methane reformer optimization with non-uniform temperature field. *Computers & Chemical Engineering*, 2017, [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2017.01.002>.
 17. AL-DHFEERY, A., JASSEM, A. *Modeling and simulation of an industrial secondary reformer reactor in the fertilizer plants*. International Journal of Industrial Chemistry, 2012, [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1186/2228-5547-3-14>
 18. SZABLOWSKI, L., WOJCIK, M., DYBINSKI, O. *Review of steam methane reforming as a method of hydrogen production*, 2025, [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.134540>.
 19. EMAM, A. S., HAMDAN, M. O., ABU-NABAH, B. A., ELNAJJAR, E. A review on recent trends, challenges, and innovations in alkaline water electrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2024, [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.03.238>
 20. SHIVA KUMAR, S., LIM, H. An overview of water electrolysis technologies for green hydrogen production. *Energy Reports*, 2022, [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.10.127>.
 21. PANIGRAHY, B., NARAYAN, K., RAMACHANDRA RAO, B. Green hydrogen production by water electrolysis: A renewable energy perspective. *Materials Today: Proceedings*, 2022, [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.254>
 22. SHIVA KUMAR, S., HIMABINDU, V. *Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review*. Materials Science for Energy Technologies, 2019, [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.03.002>.
 23. FALCÃO, D. S., PINTO, A. M. F. R. A review on PEM electrolyzer modelling: Guidelines for beginners. *Journal of Cleaner Production*, 2020, [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.12118>.
 24. MOLINKA, T., OJONG, E. T., GARCHE, J. Hydrogen production from renewable energies—electrolyzer technologies. In: *Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing*. Elsevier, 2015, [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-62616-5.00008-5>.
 25. SHIVA KUMAR, S., LIM, H. An overview of water electrolysis technologies for green hydrogen production. *Energy Reports*, 2022, [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.10.127>
 26. SEBBAHI, S., ASSILA, A., ALAOUI BELGHITI, A., LAASRI, S. A comprehensive review of recent advances in alkaline water electrolysis for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2024, [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.07.428>
 27. EL-SHAFIE, M. Hydrogen production by water electrolysis technologies: A review. *Results in Engineering*, 2023, [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101426>.
 28. DASH, S., SINGH, A., JOSE, V. H. W. D., ELANGO VAN, S. Advances in green hydrogen production through alkaline water electrolysis: A comprehensive review. *International Journal*

- of *Hydrogen Energy*, 2024. [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.08.157>
29. CAMARGO, F. Hydrogen electrolyser stack development. *Stargate Hydrogen*, 2024, [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://stargatehydrogen.com/blog/hydrogen-electrolyser-stack-development/>.
30. KRISHNAN, S., KONING, V., DE GROOT, M. T., DE GROOT, A. Present and future cost of alkaline and PEM electrolyser stacks. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2023, [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.05.031>
31. AGHAKHANI, A., HAQUE, N., SACCANI, C., PELLEGRINI, M. Direct carbon footprint of hydrogen generation via PEM and alkaline electrolyzers using various electrical energy sources and considering cell characteristics. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2023, [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.04.083>.
32. NEL HYDROGEN. Water electrolyzers / hydrogen generators. [interaktyvus]. Prieiga per: <https://nelhydrogen.com/water-electrolyzers-hydrogen-generators/> [žiūrėta 2025-04-11].
33. JONAVOS VANDENYS. Paslaugų kainos įmonėms. [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://www.jonavosvandenys.lt/kainos-imonems/>.
34. APLINKOS APSAUGOS AGENTŪRA. CLP reglamentas – klasifikavimas, ženklavimas ir pakavimas. [interaktyvus] [žiūrėta 2025-04-11]. Prieiga per: <https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/chemines-medziagos-ir-misiniai/clp-reglamentas-klasifikavimas-zenklinimas-ir-pakavimas/clp-reglamentas/>.
35. Lietuvos Respublikos specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatymas. 2019 m. birželio 6 d. Nr. XIII2166, Vilnius TAR, 2019-06-19, Nr. 9862.
36. Profesinės rizikos bendrieji vertinimo nuostatai. Valstybės žinios, 2012, Nr. 126-6350.
37. Elektros įrenginių įrengimo bendrosios taisyklės. Valstybės žinios, 2012, Nr. 18-816.
38. HN 98:2014. Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. Apšvietos ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai. TAR, 2014, Nr. 5119.
39. Darbuotojų apsaugos nuo cheminių veiksnių darbe nuostatai. Valstybės žinios, 2001, Nr.65-2396; (Aktuali redakcija: Valstybės žinios, 2005, Nr.55-1907)
40. Darbuotojų apsaugos nuo triukšmo keliamos rizikos nuostatai. Valstybės žinios, 2005, Nr.53-180
41. Darbuotojų, dirbančių potencialiai sprogioje aplinkoje, saugos nuostatai. TAR, 2014, Nr. 2173)
42. Gaisrinės saugos pagrindiniai reikalavimai. Valstybės žinios, 2010, Nr. 146 -7510 (Aktuali redakcija: Valstybės žinios, 2011-06-21, Žin., 2011, Nr.: 75-3661; 2011-02-24, Žin., 2011, Nr. 23-1137).
43. Darbo įrenginių naudojimo bendrieji nuostatai. Valstybės žinios, 2000-01-12, Nr. 3-88
44. Lietuvos Respublikos darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymas. Valstybės žinios, 2003-07-16, Nr. 70-3170
45. Saugos eksploatuojant elektros įrenginius taisyklės. Valstybės žinios, 2010, Nr. 39-1878 (Aktuali redakcija: Valstybės žinios, 2012, Nr.: 124 -6254).
46. Ergonominų profesinės rizikos veiksnių tyrimo metodiniai nurodymai Valstybės žinios, 2005-08-06, Nr. 95- 3536 (Aktuali redakcija: Nr. A1-626/V-1933, 2021-08-25, paskelbta TAR 2021-08-25, i. k. 2021-17898).
47. HN 98:2014. Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. Apšvietos ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai. TAR, 2014, Nr. 5119.

48. LST ISO 7010:2004 „Grafiniai simboliai. Saugos spalvos ir saugos ženklai. Saugos ženklai, naudojami darbo ir viešose vietose“
49. Slėginių indų naudojimo taisyklės DT 12-02. Valstybės žinios, 2002, Nr. 115-5165
50. AICHEMA. *Veikla*. [interaktyvus]. Prieiga per: <https://www.achema.lt/veikla/> [žiūrėta 2025-04-11].

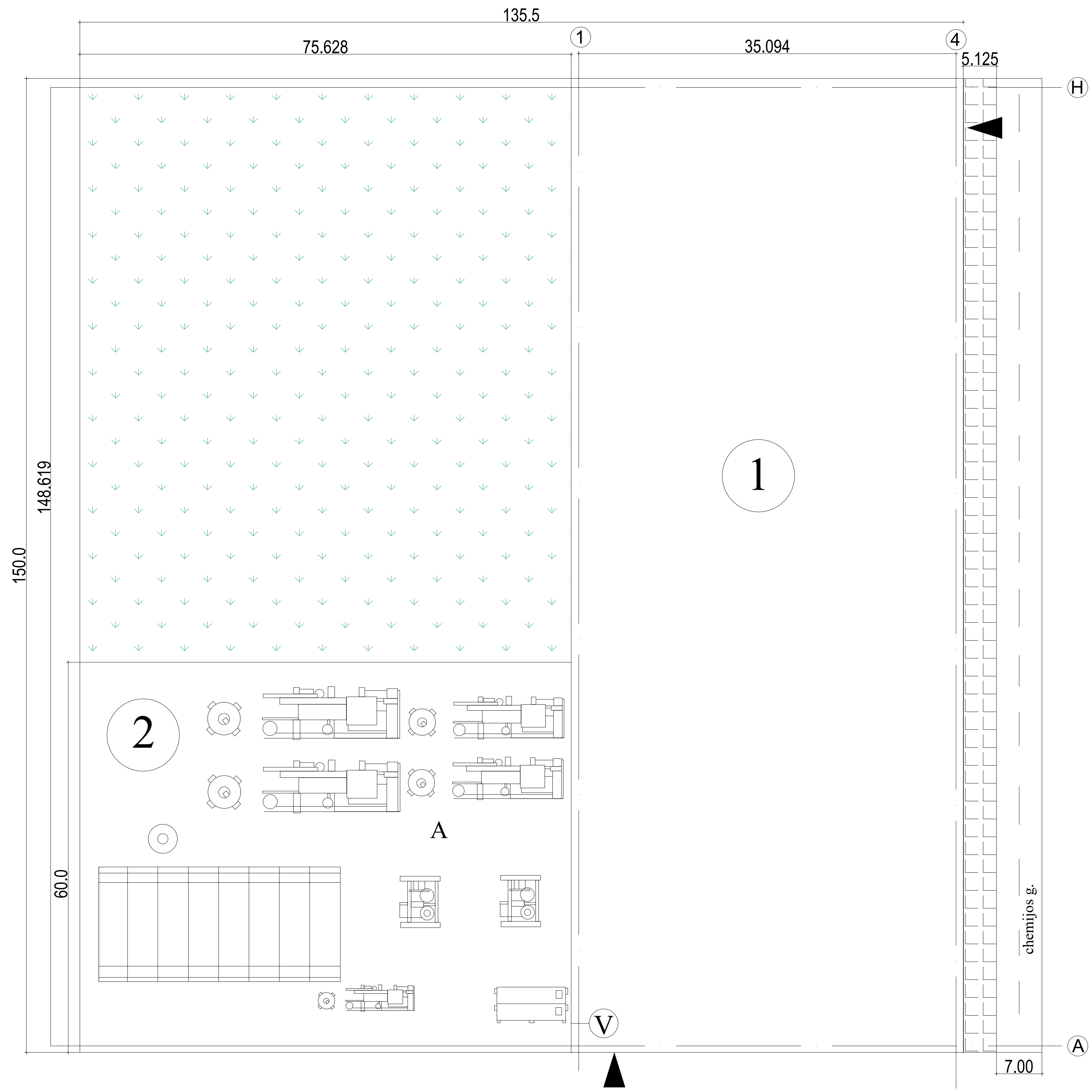
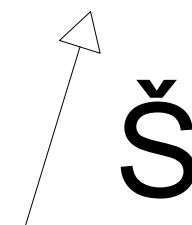
Priedai

- 1 priedas. Technologinė schema**
- 2 priedas. Sklypo planas**
- 3 priedas. Pastato skersinis ir išilginis pjūvis**
- 4 priedas. Įrenginių išdėstymo planas**
- 5 priedas. Darbo apimtys patvirtinimai**



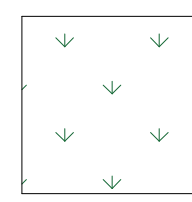
Eil. nr.	Pavadinimas
1	Šilumokaitis
2	Priemaišų separatorius
3	Kompresorius
4	Aušintuvas
5	Gamtinių dujų pašildymo krosnis
6	Šilumokaitis
7	Hidrinimo reaktorius
8	Pirmoji absorbcinė kolona
9	Antroji absorbcinė kolona
10	Prisotinimo kolona
11	Vandens siurblys
12	Vamzdinė krosnis
13	Kaminas
14	Kompresorius
15	Šachtinis metano konvertorius
16	Pirmo laipsnio katilas - utilizatorius
17	Pirmo laipsnio katilas - utilizatorius
18	Antro laipsnio katilas - utilizatorius
19	I laipsnio CO konverteris
20	Aušintuvas
21	II laipsnio CO konverteris
22	Elektrolizerio blokas
23	O ₂ dujų separatorius
24	H ₂ dujų separatorius
25	Deoksidatorius
26	H ₂ dujų džiovykla
27	H ₂ dujų kompresorius
28	Vandens rinktuvas

Grupė		KTU cheminės technologijos fakultetas		Magistro baigiamasis projektas		
TMC-3	Studentas	Vytautas Petrikas		Žaliojo vandenilio panaudojimas metano konversijos technologijai tobulinti		
	Vadovas	doc. dr. Andrius Jaskūnas				
	Recenzentas	asist. dr. Kristina Jančaitienė				
Mastelis		Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra Radvilėnų pl. 19, Kaunas, LT-50254		Technologinė schema		Lapas
						Lapų
				1		4

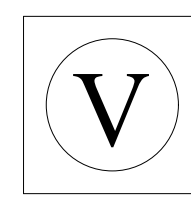


Eksplikacija		
Numeris	Pavadinimas	Plotas, m ²
1	Projektuojamas pastatas	9064
2	Lauke esantys įrengimai	4358

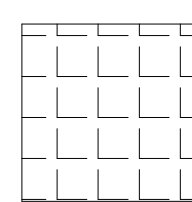
SUTARTINIAI ŽYMĖJIMAI



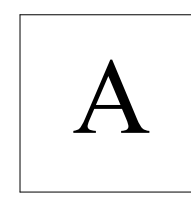
Veja



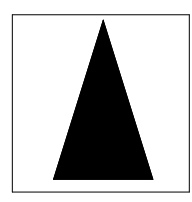
Vanduo



Trinkelų danga



Asfaltas



Įėjimas į pastatą

Grupė	KTU cheminės technologijos fakultetas			Magistro baigiamasis projektas		
TMC-3	Studentas	Vytautas Petrikas		Žaliojo vandenilio panaudojimas metano konversijos technologijai tobulinti		
	Vadovas	doc. dr. Andrius Jaskūnas				
	Dėstytoja	lekt. Odeta Viliūnienė				
	Recenzentas	asist. dr. Kristina Jančaitienė				
Mastelis	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra Radvilėnų pl. 19, Kaunas, LT-50254			Sklypo planas		Lapas
1:800						Lapų
						2
						4

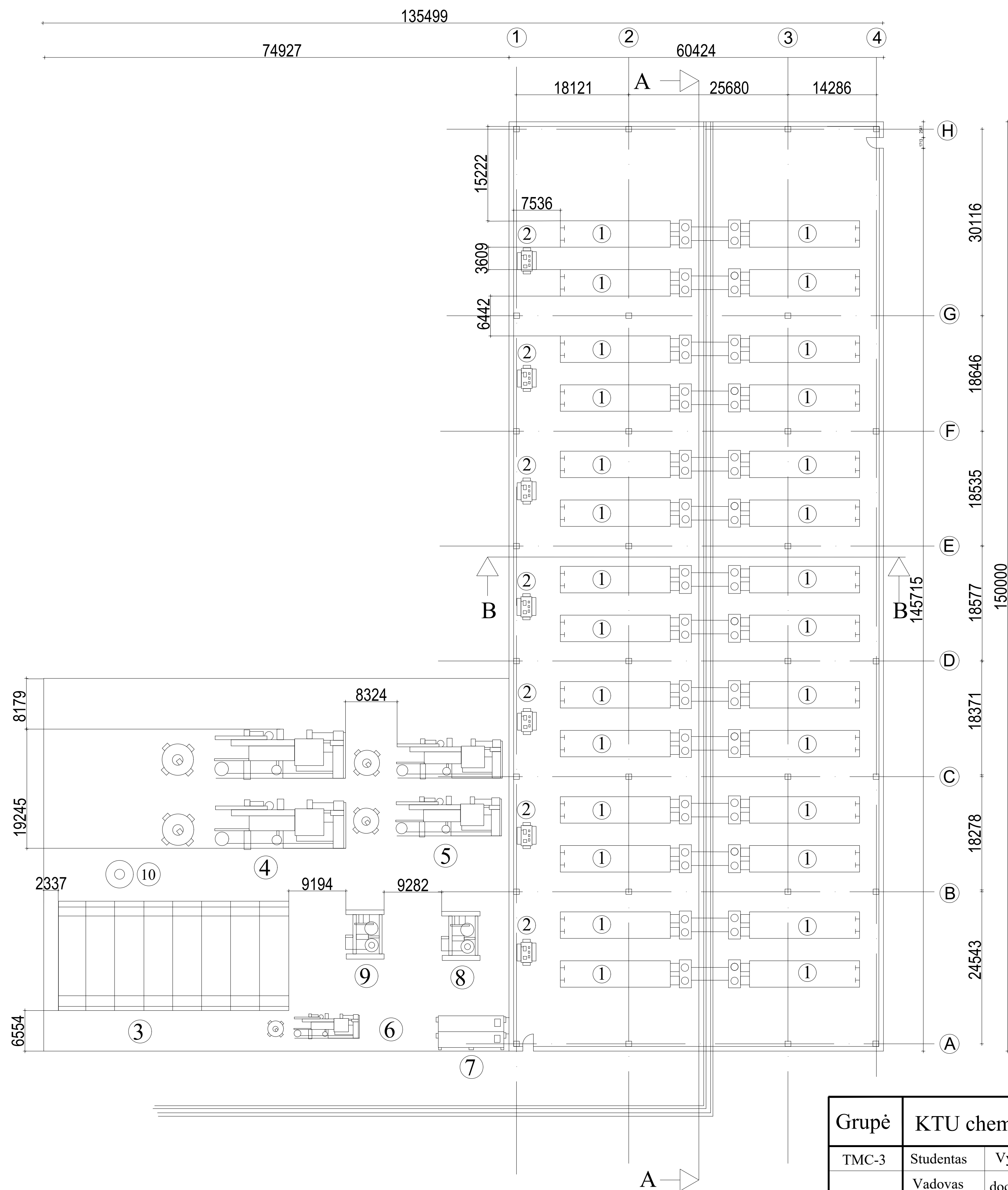
- Išorinė stogo danga;
- Viršutinis apsauginis sluoksnis;
- Šilumos izoliacija;
- Stogo konstrukcijos karkasas;
- Apatinė atraminė danga

- armuojantis sluoksnis;
- šilumos izoliacija;
- apdailos sluoksnis;
- akmens vatos plokštės.

- grindų danga;
- klijų sluoksnis;
- išlyginamasis cementinio skiedinio sluoksnis;
- polistireninis putplastis;
- hidroizoliacija;
- sutankintas ir išlygintas gruntas.

Eksplikacija		
Numeris	Pavadinimas	Kiekis
1	Elektrolizerio blokas	28
2	Transformatorius	7

Grupė	KTU cheminės technologijos fakultetas			Magistro baigiamasis projektas			
TMC-3	Studentas	Vytautas Petrikas		Žaliojo vandenilio panaudojimas metano konversijos technologijai tobulinti			
	Vadovas	doc. dr. Andrius Jaskūnas					
	Dėstytoja	lekt. Odeta Viliūnienė					
	Recenzentas	asist. dr. Kristina Jančaitienė					
Mastelis	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra Radvilėnų pl. 19, Kaunas, LT-50254			Pastato skersinis ir išilginis pjūvis		Lapas	Lapų
1:400						3	4



Eksplikacija		
Eil. nr.	Pavadinimas	Kiekis
1	Elektrolizeris	28
2	Transformatorius	7
3	Vandenilio buferinė talpa	1
4	H ₂ 30 bar kompresorius	2
5	O ₂ 30 bar kompresorius	2
6	Buferinės talpos kompresorius	1
7	Elektros skydinė	1
8	H ₂ gryninimo įrenginys	1
9	O ₂ gryninimo įrenginys	1
10	KOH talpykla	1

Grupė	KTU cheminės technologijos fakultetas			Magistro baigiamasis projektas			
TMC-3	Studentas	Vytautas Petrikas		Žaliojo vandenilio panaudojimas metano konversijos technologijai tobulinti			
	Vadovas	doc. dr. Andrius Jaskūnas					
	Dėstytoja	lekt. Odeta Viliūnienė					
	Recenzentas	asist. dr. Kristina Jančaitienė					
Mastelis	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra Radvilėnų pl. 19, Kaunas, LT-50254			Įrenginių išdėstymo planas		Lapas	Lapų
1:800						4	4

5 priedas. Darbo apimties patvirtinimai



Odeta Viliūnienė

Kam: Vytautas Petrikas

😊 ↩️ Atsakyti ↩️ Atsakyti visiems ➡️ Persiųsti 📎 📎 ...
2025-05-19, Pr 11:53

Studento **Vytauto Petriko** baigiamojo magistro projekto „**Žaliojo vandenilio panaudojimas metano konversijos technologijai tobulinti**“ skyrius „**Statybiniai sprendimai**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas lekt. Odeta Viliūnienė

Studento **Vytauto Petriko** baigiamojo magistro projekto „**Žaliojo vandenilio panaudojimas metano konversijos technologijai tobulinti**“ skyrius „**Darbuotojų sauga ir sveikata**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas doc. dr. Dalia Nizevičienė



Gintaras Denafas

Kam: Vytautas Petrikas

Kopija: Andrius Jaskūnas

😊 ↩️ Atsakyti ↩️ Atsakyti visiems ➡️ Persiųsti 📎 📎 ...
2025-05-20, An 17:50

Studento **Vytauto Petriko** baigiamojo magistro projekto „**Žaliojo vandenilio panaudojimas metano konversijos technologijai tobulinti**“ skyrius „**Aplinkosauginis vertinimas**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas **Gintaras Denafas**

Pagarbiai / Sincerely

Prof. dr. Gintaras Denafas
Kauno technologijos universitetas / Kaunas University of Technology
Cheminės technologijos fakultetas / Faculty of Chemical Technology
Aplinkosaugos technologijos katedra / Department of Environmental Technology
Radvilėnų pl. 19, LT-50254, Kaunas, Lietuva / Lithuania
Tel. / mob. +370-698-70760
Fax. +370-37-300152
E-mail: gintaras.denafas@ktu.lt
<https://fct.ktu.edu/departament-of-environmental-technologies/>



Irena Pekarskienė

Kam: Vytautas Petrikas

😊 ↩️ Atsakyti ↩️ Atsakyti visiems ➡️ Persiųsti 📎 📎 ...
2025-05-23, Pn 18:39

Laba diena,

Šiuo laišku patvirtinu, kad studento **Vytauto Petriko** baigiamojo magistro projekto „**Žaliojo vandenilio panaudojimas metano konversijos technologijai tobulinti**“ skyrius „**Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas Irena Pekarskienė

Pagarbiai / Best regards
dr. Irena Pekarskienė
Profesorė / Professor

Kauno technologijos universitetas | Kaunas university of technology
Ekonomikos ir verslo fakultetas / School of Economics and Business
Gedimino g. 50-507, LT-44239 Kaunas
irena.pekarskiene@ktu.lt / evf.ktu.edu

...

↩️ Atsakyti ➡️ Persiųsti