



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

**Žaliojo vandenilio panaudojimo amoniako sintezei
technologinis vertinimas**

Baigiamasis magistro projektas

Dominykas Rudelis

Projekto autorius

Doc. dr. Andrius Jaskūnas

Vadovas

Kaunas, 2026



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Žaliojo vandenilio panaudojimo amoniako sintezei technologinis vertinimas

Baigiamasis magistro projektas

Chemijos inžinerija (6211EX020)

Konsultantai

Aplinkosauginis vertinimas

Prof. dr. Gintaras Denafas

Darbuotojų sauga ir sveikata

Doc. dr. Dalia Nizevičienė

Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai

Prof. dr. Irena Pekarskienė

Statybiniai sprendimai

Lekt. dr. Odeta Viliūnienė

Dominykas Rudelis

Projekto autorius

Doc. dr. Andrius Jaskūnas

Vadovas

Doc. dr. Rasa Paleckienė

Recenzentė

Kaunas, 2026



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Dominykas Rudelis

Žaliojo vandenilio panaudojimo amoniako sintezei technologinis vertinimas

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.

Dominykas Rudelis

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Tvirtinu:
Cheminės technologijos fakulteto dekanė
prof. dr. V. Kitrytė-Syrpa

Suderinta:
Fizikinės ir neorganinės chemijos katedros
vedėja doc. dr. K. Kantminienė

Dekano potvarkis Nr. V25-02-13, 2026-05-14

2026 m. kovo mėn. 18 d.

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Projekto tema

Vandenilio gamybos iš angliavandenilių technologija

Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas – ištirti žalio vandenilio panaudojimo įtaką jau veikiančioje amoniako sintezėje ir suprojektuoti optimalų technologijos patobulinimą.

Darbo uždaviniai:

atlikti vandenilio gamybos būdų literatūros apžvalgą;
panaudojant programinę įrangą Aspen HYSYS, sumodeliuoti amoniako sintezės gamybos liniją;
parinkti optimalų panaudojamą žalio vandenilio kiekį, įvertinant technologinius, energetinius ir aplinkosauginius faktorius;
pateikti gamybinio proceso vykdymo patobulintą technologinę schemą ir pagrindinio aparato brėžinį;
pateikti statybinius sprendimus, finansinius ir ekonominius skaičiavimus, aplinkosauginį vertinimą bei reikalavimus dėl darbuotojų saugos ir sveikatos.

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

2026-03-04

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Užduotį gavau:

Dominykas Rudelis

2026-03-04

(studento vardas, pavardė)

(parašas, data)

Rudelis, Dominykas. Žaliojo vandenilio panaudojimo amoniako sintezei technologinis vertinimas. 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: elektrolizė, žaliojo vandenilio, amoniakas, amoniako sintezė.

Kaunas, 2026. 69 p.

Santrauka

Baigiamajame magistro darbe yra nagrinėjamos žaliojo vandenilio optimizavimo galimybės jo integracija į amoniako sintezės procesą. Šiuo metu didžioji dalis pramonėje naudojamo vandenilio gaunama iš iškastinio kuro. Dėl šios priežasties vis daugiau dėmesio skiriama alternatyvioms technologijoms, leidžiančioms mažinti priklausomybę nuo iškastinių energijos išteklių bei didinti tvarumą.

Projekte analizuojama žaliojo vandenilio gamyba, naudojant 200 MW galios šarminį vandens elektrolizerį. Vertinamos galimybės pagamintą vandenilį integruoti į amoniako sintezės procesą, analizuojant jo poveikį proceso stabilumui, energijos sąnaudoms, gamybos efektyvumui ir inertinių dujų koncentracijos mažėjimui sintezės dujose, bei anglies dioksido emisijų mažinimui. Modeliavimo rezultatai parodė, kad integravus žaliąjį vandenilį į procesą, sudeginto srauto išmetamas CO₂ kiekis sumažėjo nuo 4,15 t/h iki 2,92 t/h.

Baigiamajame projekte taip pat yra vertinami finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai, aplinkosauginiai aspektai, darbuotojų sauga ir sveikata bei pateikiami statybiniai sprendimai. Atliktų vertinimų duomenimis, bendra projekto įgyvendinimo vertė siekia 634,81 mln. Eur, o diskontuotas investicijų atsipirkimo laikotarpis siekia 5,2 metų.

Rudelis, Dominykas. Technological Assessment of Green Hydrogen Integration into Ammonia Synthesis. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. dr. Andrius Jaskūnas; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: electrolysis, green hydrogen, ammonia, ammonia synthesis.

Kaunas, 2026. 69.

Summary

This master's thesis investigates the optimization potential of green hydrogen integration into the ammonia synthesis process. Currently, the majority of hydrogen used in industry is produced from fossil fuel sources. As a result, increasing attention is being directed toward alternative technologies capable of reducing dependence on fossil energy resources while improving sustainability.

The study examines green hydrogen production using a 200 MW alkaline water electrolyzer and evaluates the feasibility of integrating the produced hydrogen into the ammonia synthesis process. Particular attention is given to its influence on process stability, energy consumption, production efficiency, reduction of inert gas concentration in synthesis gas, and mitigation of carbon dioxide emissions. Simulation results indicate that the integration of green hydrogen into the process decreases CO₂ emissions from the combustion stream from 4.15 t/h to 2.92 t/h.

In addition, the thesis includes financial and economic assessments, environmental considerations, occupational health and safety analysis, as well as proposed engineering and construction solutions. Based on the performed evaluations, the total project implementation cost is estimated at EUR 634.81 million, while the discounted payback period of the investment is projected to be 5.2 years.

Turinys

Lentelių sąrašas	9
Paveikslų sąrašas	10
Įvadas	11
1. Literatūros apžvalga	12
1.1. Vandenilio samprata ir jo panaudojimo galimybės	12
1.2. Vandenilio tipai	13
1.3. Vandenilio gamybos procesai	14
1.3.1. Metano konversija vandens garais	14
1.3.2. Dujifikavimas.....	15
1.3.3. Šarminė vandens elektrolizė	15
1.3.4. Protonų mainų membranos elektrolizė	16
1.3.5. Kietojo oksido elektrolizė	17
1.3.6. Elektrolizerių lyginamoji analizė.....	18
1.3.7. Vandenilio saugojimas.....	18
2. Tiriamoji dalis	20
2.1. Amoniakos sintezės modelis	20
2.2. Žaliojo vandenilio įtaka proceso rodikliams.....	23
2.2.1. Amoniakos srauto pokytis	23
2.2.2. CO ₂ emisijų pokytis	25
2.2.3. Energijos sąnaudų pokytis	27
3. Inžinerinė dalis	28
3.1. Technologinės schemos aprašymas	28
3.2. Statybiniai sprendimai	32
3.2.1. Sklypo planas	33
3.2.2. Projektuojamo pastato sprendimai.....	33
3.2.3. Statinio architektūrinė, konstrukcinė sandara.....	34
3.2.4. Bendrųjų statinio (pastato) inžinerinių sistemų ir technologinės įrangos sprendimai	34
3.3. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai	34
3.3.1. Projekto investicijos ir jų finansavimo šaltiniai.....	34
3.3.2. Ilgalaikio turto vertės skaičiavimas	35
3.3.3. Trumpalaikio turto (apyvartinių lėšų) vertės skaičiavimas	36
3.3.4. Produkcijos gamybos apimtys planavimas	36
3.3.5. Tiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas.....	37
3.3.6. Netiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas	39
3.3.7. Veiklos kaštai.....	44
3.3.8. Finansinės veiklos sąnaudos	45
3.3.9. Gaminių kainos skaičiavimas	45
3.3.10. Projekto pelnas ir grynąjų pinigų srautai	46
3.3.11. Finansinės būklės pakeitimų (pinigų srautų) ataskaita	47
3.3.12. Projekto investicijų efektyvumo vertinimas	48
3.3.13. Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai	50
3.4. Aplinkosauginis vertinimas	51
3.4.1. Bendrieji duomenys	51
3.4.2. Atliekos.....	52

3.4.3.	Aplinkos oro tarša	52
3.4.4.	Naudojamas vanduo ir susidaranti nuotekos	53
4.	Darbuotojų sauga ir sveikata	54
4.1.	Projektuojamo objekto charakteristika	54
4.2.	Profesinės rizikos vertinimas	54
4.3.	Saugi gamyba.....	58
4.3.1.	Elektros srovės pavojus	58
4.3.2.	Sprogimo ir gaisro pavojus	59
4.3.3.	Technologinių įrenginių ir darbuotojų sauga.....	59
4.4.	Darbo higiena.....	60
4.4.1.	Darbo aplinkos rizikos veiksniai	60
4.4.2.	Darbo aplinkos apšvieta.....	61
4.5.	Gaisrinė sauga.....	61
	Išvados	64
	Literatūros sąrašas	65
	Priedai.....	70
1	priedas. Technologinė schema	70
2	priedas. Sklypo planas	70
3	priedas. Pastato planas iš viršaus. Įrenginių išdėstymas.....	70
4	priedas. Elektrolizerio B-B pjūvis	70
5	priedas. Konsultantų patvirtinimai.....	70

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Vandenilio panaudojimas [6, 7].....	12
2 lentelė. Vandenilio tipai [8, 9].....	13
3 lentelė. Elektrolizerių lyginamoji analizė [20, 29, 30].....	18
4 lentelė. Modelyje naudojamų srautų kiekiai	21
5 lentelė. Žaliojo vandenilio koncentracijos įtaka dujų sudėčiai po sintezės kolonos	21
6 lentelė. Dujų srautas sudeginimui	25
7 lentelė. CO ₂ kiekiui apskaičiuoti naudojama informacija	25
8 lentelė. Bendrieji statinio techniniai rodikliai	33
9 lentelė. Projekto finansavimo poreikis ir šaltiniai	34
10 lentelė. Ilgalaikio turto vertė	35
11 lentelė. Trumpalaikio turto (apyvartinių lėšų) poreikis.....	36
12 lentelė. Produkcijos gamybos apimties planavimas	36
13 lentelė. Išlaidos pagrindinėms žaliavoms ir medžiagoms	37
14 lentelė. Tiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui	38
15 lentelė. Tiesioginės išlaidos elektros energijai	38
16 lentelė. Netiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui	39
17 lentelė. Netiesioginės išlaidos vandeniui	41
18 lentelė. Netiesioginės išlaidos apšvietimui.....	41
19 lentelė. Ilgalaikio turto nusidėvėjimas (amortizacija)	42
20 lentelė. Netiesioginių gamybos išlaidų sąmata	42
21 lentelė. Gamybos kaštai.....	43
22 lentelė. Veiklos sąnaudos	44
23 lentelė. Palūkanų mokėjimo ir paskolos grąžinimo planas	45
24 lentelė. Gaminių kainų apskaičiavimas	46
25 lentelė. Įmonės pelno (nuostolio) ataskaita, mln. Eur	46
26 lentelė. Finansinės būklės pakitimų (pinigų srautų) ataskaita, mln. Eur	47
27 lentelė. Projekto paprasti ir diskontuoti grynieji pinigų srautai (GPS)	48
28 lentelė. Projekto ekonominio vertinimo rodikliai	49
29 lentelė. Lūžio taško skaičiavimas	50
30 lentelė. Projekto balansas	50
31 lentelė. Projekto finansiniai ekonominiai rodikliai	50
32 lentelė. Duomenys apie gaminius (produkciją)	52
33 lentelė. Kuro ir energijos suvartojimas	52
34 lentelė. Duomenys apie naudojamas žaliavas, chemines medžiagas ar preparatus [42]	52
35 lentelė. Stacionarių oro taršos šaltinių duomenys	52
36 lentelė. Tarša į aplinkos orą [43].....	53
37 lentelė. Numatomas vandens paėmimas ir vartojimas	53
38 lentelė. Rizikos veiksnių identifikavimas ir kiekybinis įvertinimas [46, 47, 48, 49, 50, 51]	54
39 lentelė. Medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliai.....	57
40 lentelė. Pastatų, patalpų ir išorinių įrenginių kategorijos pagal sprogimo ir gaisro pavojų [52] .	58
41 lentelė. Darbo patalpų pakankamos šiluminės aplinkos oro temperatūros, oro santykinio drėgnumo ir oro judėjimo greičio norminės vertės	61
42 lentelė. Operatoriaus darbo vietos norminė apšvieta [48]	61
43 lentelė. Gaisro klasė ir ugnį gesinanti medžiaga [56]	62

Paveikslų sąrašas

1 pav. Metano konversijos vandens garais proceso etapai [14]	14
2 pav. Dujifikavimo proceso etapai [14]	15
3 pav. Šarminės vandens elektrolizės principinė schema [19]	16
4 pav. Protonų mainų membranos elektrolizės principinė schema [25]	17
5 pav. Kietojo oksido elektrolizės principinė schema [28]	17
6 pav. Vandens saugojimo technologijos	19
7 pav. Amoniakos sintezės modelis	20
8 pav. Pirmojo separatoriaus amoniako srauto (kmol/h) priklausomybė nuo žaliojo vandens koncentracijos (%)	23
9 pav. Antrojo separatoriaus amoniako srauto (kmol/h) priklausomybė nuo žaliojo vandens koncentracijos (%)	24
10 pav. Prapūtimo dujų kondensacinės kolonos amoniako srauto (kmol/h) priklausomybė nuo žaliojo vandens koncentracijos (%)	24
11 pav. Sudeginto srauto išmetamo CO ₂ kiekio (t/h) priklausomybė nuo žaliojo vandens koncentracijos (%)	26
12 pav. Recirkuliacinio kompresoriaus galios (kW) priklausomybė nuo žaliojo vandens koncentracijos (%)	27
13 pav. Šarminio vandens elektrolizerio mazgo technologinė schema	28
14 pav. Sintezės dujų suslėgimo ir paruošimo mazgo technologinė schema	28
15 pav. Amoniakos sintezės kolonos technologinė schema	29
16 pav. Dujų aušinimo ir pirminio separavimo mazgas	30
17 pav. Amoniakos kondensavimo ir recirkuliacijos mazgas	31
18 pav. Kolonos įėjimų srautų paskirstymo parametrų nustatymas	32
19 pav. Sklypo nuotrauka	32
20 pav. Projekto diskontuoti pinigų srautai	49
21 pav. Patalpų evakuacijos planas	63

Įvadas

Temos aktualumas. Dabartiniame energetikos sektoriuje vis dar dominuoja iškastinio kuro naudojimu pagrįsti technologiniai procesai. Šie procesai turi neigiamą įtaką klimatui, t. y., išskiriamos šiltnamio efektą sukeliančių dujos, kurios lemia spartėjantį klimato atšilimą [1]. Europos Sąjungos teisėkūros organai priėmė Europos klimato teisės aktą kuris įpareigoja Europos Sąjungos šalis nars prisidėti prie ES tikslo pasiekti neutralų poveikį klimatui, t. y., išmetamųjų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio minimizavimą [2]. Vienas iš būdų pasiekti šį tikslą yra taikyti alternatyvius metodus vandenilio gamyboje, t. y., diegti pažangius elektrolizės įrenginius bei integruoti žaliaji vandenilį į kitus gamybos procesus.

Lietuvoje pramoninė vandenilio gamyba yra atliekama naudojant metano garų konversijos technologiją [3]. Atsižvelgiant į ES teisės aktą atskiros įmonės Lietuvoje jau yra paruošusios planus, kurie yra orientuoti į gamybos optimizavimą. Šie planai ne tik padidins gamybos efektyvumą, bet ir prisidės prie žaliosios energetikos plėtros.

Pagrindinė projekto problema – esami vandenilio gamybos procesai yra paremti iškastinio kuro naudojimu, kuris turi neigiamą įtaką aplinkosaugai. Dėl spartėjančios technologinės pažangos atsiranda nauji gamybos procesai, kurie ne tik užtikrina vandenilio gamybos efektyvumą, bet ir sumažina CO₂ išsiskyrimą į aplinką. Todėl yra tikslinga analizuoti pramonėje veikiančius gamybos būdus bei jų optimizavimo galimybes.

Tyrimo objektas – vandenilio gamyba diegiant elektrolizės įrenginius bei jo integracija į amoniako sintezės procesą.

Darbo tikslas – ištirti žaliojo vandenilio panaudojimo įtaką jau veikiančioje amoniako sintezėje ir suprojektuoti optimalų technologijos patobulinimą.

Darbo uždaviniai:

1. atlikti vandenilio gamybos būdų literatūros apžvalgą;
2. panaudojant programinę įrangą Aspen HYSYS, sumodeliuoti amoniako sintezės gamybos liniją;
3. parinkti optimalų panaudojamą žalio vandenilio kiekį, įvertinant technologinius, energetinius ir aplinkosauginius faktorius;
4. pateikti gamybinio proceso vykdymo patobulintą technologinę schemą ir pagrindinio aparato brėžinį;
5. pateikti statybinius sprendimus, finansinius ir ekonominius skaičiavimus, aplinkosauginį vertinimą bei reikalavimus dėl darbuotojų saugos ir sveikatos.

Tyrimo metodai: literatūros analizė, lyginamoji analizė, modeliavimas, schemų braižymas, papildomų veiksnių vertinimas.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Vandenilio samprata ir jo panaudojimo galimybės

Energetikos sektoriuje vis dar plačiai yra naudojami iškastiniu kuru pagrįsti technologiniai procesai, kurie ne visada yra efektyvūs bei turi neigiamą poveikį klimatui. Dėl didėjančio energijos poreikio bei mažėjančių neatsinaujinančių energijos šaltinių atsargų yra ieškoma alternatyvių energijos šaltinių, kurie būtų naudojami technologiniuose procesuose. Šių alternatyvių energijos šaltinių paieška ne tik pakeistų iškastinį kurą, bet ir prisidėtų prie atskirų valstybių pagrindinio klimato kaitos tikslo, t. y., šiltnamio efekto sukeliančių dujų kiekio sumažinimo.

Vandenilis yra vienas iš svarbiausių šiuolaikinių energijos šaltinių, kuris gali prisidėti prie energetikos sektoriaus transformacijos bei išmetamųjų šiltnamio efekto sukeliančių dujų kiekio minimizavimo. Dėl savo unikalių savybių, vandenilis yra laikomas perspektyvia alternatyva iškastiniam kurui [5].

Vandenilis yra universali priemonė, kuri gali būti panaudojama įvairiuose sektoriuose. Unikalioms vandenilio savybėms gali ne tik prisidėti prie klimato kaitos mažinimo, bet ir tam tikri technologiniai procesai gali tapti efektyvesni. Pagrindinės vandenilio pritaikymo sritys yra pateikiamos 1 lentelėje.

1 lentelė. Vandenilio panaudojimas [6, 7]

Panaudojimo sritis	Vandenilio pritaikymo galimybės
Energetikos sektorius	Vandenilis panaudojamas kaip alternatyvi kuro rūšis, gaminant elektrą, kuri neišskiria kenksmingų dujų.
Transporto sektorius	Vandenilis potencialiai panaudojamas kaip alternatyvi kuro rūšis įvairioms transporto priemonėms, t. y., sunkvežimiams, autobusams, traukiniams ir pan.
Pramonė	Vandenilis, kaip žaliava, naudojamas esamuose technologiniuose procesuose, pavyzdžiui amoniako gamyboje.
Šilumos gamyba	Vandenilis maišomas su gamtinėmis dujomis ir naudojamas šildymui bei karšto vandens gamybai.
Karinė pramonė	Vandenilis panaudojamas kaip tvirtas iškastinio kuro alternatyva, skirta bepiločiams orlaiviams, transporto priemonėms bei energijos generavimo sistemoms.

Vandenilio taikymo galimybės apima visą energetikos ir pramonės grandinę. Energetikos sektoriuje vandenilis gali būti naudojamas kaupiant perteklinę elektros energiją iš atsinaujinančių šaltinių bei užtikrinant tinklų balansą. Transporto sektoriuje vandenilis tampa perspektyvia alternatyva stambiagabaritiniam transportui kelyje, ore ar net laivyboje. Pramonėje vandenilis išryškėja kaip realiausias sprendimas dekarbonizuoti technologinius sprendimus. Šilumos gamyboje, t. y., pastatų šildymo srityje vandenilis yra maišomas su gamtinėmis dujomis, taip užtikrinant mažesnę priklausomybę nuo iškastinio kuro. Vandenilis vis plačiau yra naudojamas karinės technologijos sektoriuje. Šiame sektoriuje vandenilis palaipsniui pakeičia iškastinį kurą ir yra naudojamas transporto priemonėms. Apibendrinant galima teigti, jog įvairiuose sektoriuose yra ieškoma inovatyvių būdų, kurie ne tik sumažintų priklausomybę nuo iškastinio kuro, bet ir prisidėtų prie aplinkos taršos mažinimo iniciatyvų.

1.2. Vandenilio tipai

Vandenilis gali būti skirstomas į skirtingus tipus, kurie priklauso nuo dviejų pagrindinių dalykų, t. y., medžiagų, kurios yra naudojamos vandenilio gamybai bei jo išgavimo procesui. Išskiriami šeši pagrindiniai vandenilio tipai: pilkasis, rudasis, mėlynasis, turkio spalvos, žaliasis bei rožinis vandenilis (žr. 2 lentelę).

2 lentelė. Vandenilio tipai [8, 9]

Tipas	Apibūdinimas	Išskiriamas anglies dioksido kiekis
Rudasis vandenilis	Vandenilis yra gaunamas naudojant anglį	Aukštas
Pilkasis vandenilis	Vandenilis yra gaunamas iškastinio kuro vykdant gamtinių dujų reformingą	Aukštas
Mėlynasis vandenilis	Vandenilis yra gaunamas iškastinio kuro vykdant gamtinių dujų reformingą, o susidaręs anglies dioksidas yra surenkamas ir saugomas	Žemas
Turkio spalvos vandenilis	Vandenilis yra gaunamas vykdant metano pirolizę	Nulinė
Žaliasis vandenilis	Vandenilis yra gaunamas naudojant atsinaujinančią energiją elektrolizės būdu	Nulinė
Rožinis vandenilis	Vandenilis yra gaunamas naudojant branduolinę energiją	Nulinė

Rudasis vandenilis yra gaminamas naudojant rudąją anglį. Gaminant šį vandenilio tipą į aplinką yra išmetama didelis kiekis teršalų, todėl rudasis vandenilis yra labiausiai teršiantis aplinką [10]. Rudasis vandenilis vis dar plačiai yra naudojamas šalyse, kuriuose yra gausūs anglies ištekliai.

Vienas iš labiausiai paplitusių vandenilio tipų pasaulyje yra **pilkasis vandenilis**. Šis vandenilio tipas yra išgaunamas iš iškastinio kuro, o jam išgauti yra vykdomas gamtinių dujų reformingas. Nors tai yra plačiausiai naudojamas vandenilio tipas pasaulyje, tačiau jo išgavimo būdas yra pigiausias bei nėra suderinamas su šiuolaikiniais tvarumo tikslais.

Mėlynasis vandenilis yra išgaunamas tokiu pat būdu kaip ir pilkasis vandenilis, tačiau susidaręs anglies dioksidas yra surenkamas bei saugomas. Naudojant šį būdą yra sumažinama aplinkos tarša, t. y., sumažinamas anglies dioksido kiekis, kuris patektų į aplinką, jei nebūtų surenkamas. Mėlynajam vandeniliui yra skiriama daug dėmesio, nes tai padeda palaipsniui pereiti prie žaliojo vandenilio [11].

Turkio spalvos vandenilis yra išgaunamas vykdant metano pirolizę. Vykiant šį procesą susidaro šalutinis produktas – kietoji anglis, o ne anglies oksidai [10]. Turkio spalvos vandenilio gamyba susilaukia investicijų dėl savo pagrindinės savybės, jog vandenilio gamybos metu yra sumažinama aplinkos tarša [9].

Žaliasis vandenilis aplinkosaugos požiūriu palankiausias vandenilio tipas [12]. Šis vandenilio tipas yra išgaunamas vykdant elektrolizę, kurios metu yra naudojama atsinaujinantys energetiniai ištekliai. Šiuo metu žaliasis vandenilis yra tvariausias vandenilio tipas, nes jo gamybos metu nėra išskiriamos aplinkai kenksmingos medžiagos.

Rožinio vandenilio gamybos procesas yra panašus į žaliojo vandenilio, tačiau išgaunant rožinį vandenilį yra naudojama branduolinė energija. Nors rožinio vandenilio gamybos metu nėra išskiriamas anglies dioksidas, tačiau yra susiduriama su kitais aplinkai kritiniais neigiamais

veiksniais, t. y., radiacija, atliekų tvarkymas bei avarių rizika [9]. Rožinio vandenilio išgavimas elektrolizės būdu nėra priklausomas nuo oro sąlygų, priešingai nei išgaunant žaliąjį vandenilį, naudojant atsinaujinančius energetikos išteklius.

Apibendrinant galima teigti, jog vandenilis gali būti skirstomas į atskirus tipus, kurie priklauso tiek nuo išgavimo būdo, tiek nuo naudojamų žaliavų jo išgavimui. Nors yra ieškoma alternatyvių vandenilio išgavimo būdų ir jie yra nuolatos tobulinami, tačiau iki šiol populiariausias yra pilkasis vandenilis, kurio gamybos metu yra išskiriamas aukštas anglies dioksido kiekis.

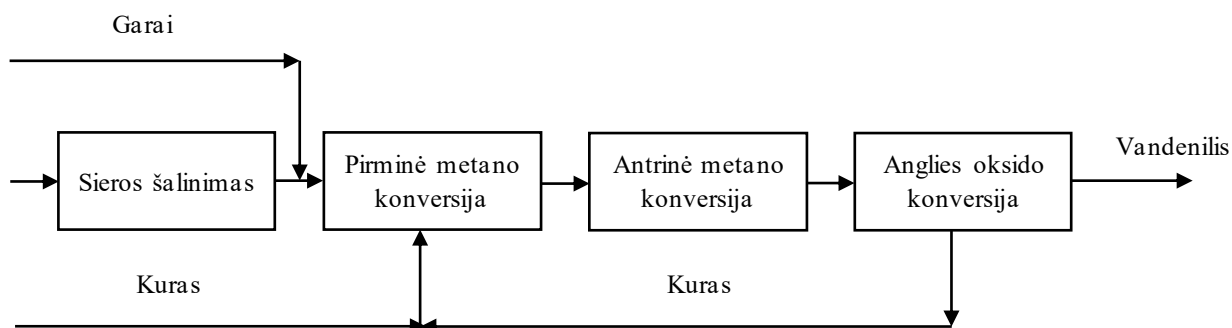
1.3. Vandenilio gamybos procesai

Didžioji dalis vandenilio yra gaminama naudojant terminius procesus, tokius kaip reformingą ir dujų fosforavimą [13]. Prie vandenilio gamybos būdų taip pat priskiriamos šarminė vandens elektrolizė, protonų mainų membranos (PEM) elektrolizė bei kietojo oksido elektrolizė.

1.3.1. Metano konversija vandens garais

Metano konversija vandens garais yra labiausiai paplitęs vandenilio gamybos procesas pasaulyje. Šio proceso paplitimą lemia mažesni kaštai, efektyvumo lygis ir technologinio išvystytumo lygis lyginant su kitais vandenilio gamybos procesais.

Metano konversijos vandens garais procesas yra sudarytas iš keturių pagrindinių etapų: sieros šalinimo, pirminės metano konversijos, antrinės metano konversijos ir anglies oksido konversijos. Šio proceso etapų schema yra pateikiama 1 paveiksle.



1 pav. Metano konversijos vandens garais proceso etapai [14]

Pirmojo etapo metu iš gamtinių dujų yra pašalinami sieros junginiai, jog būtų užtikrinta, kad katalizatoriai nėra užteršiami [14]. Sieros šalinimo procesas yra svarbus, nes tolimesniuose metano konversijos etapuose katalizatorius vykdo katalizines reakcijas esant aukštai temperatūrai ir slėgiui. Užtikrinus tinkamą sieros junginių pašalinimą, reformingo reaktorių veikia stabiliai viso vandenilio išgavimo proceso metu.

Antrojo etapo metu gamtinės dujos, iš kurių buvo pašalinti sieros junginiai, yra sumaišomos su garais ir tiekiamos į vamzdinę krosnį. Krosnies vamzdeliai yra užpildyti Ni/Al₂O₃ katalizatoriumi, kuriuose vyksta endoterminė reakcija [15]. Kadangi šiame etape vyksta endoterminė reakcija, jai reikia nuolatinio šilumos tiekimo, kuris užtikrinamas deginant kuro dujas. Šio etapo metu susidaro vandenilio, anglies dioksido, anglies oksido bei vandens mišinys.

Trečiuoju etapu vyksta antrinė metano konversija. Šis etapas vyksta šachtiniame konverteryje, kurio paskirtis – konvertuoti likusį metaną su deguonies oru ir garais, ir pridėti azoto, kuris reikalingas tolimesniems procesams, pvz. amoniako sintezei [13, 15]. Šiam etapui reikalingas oras gaunamas iš atmosferos, suslegiamas ir tiekiamas į šachtinio konverterio degimo kamerą. Joje deginamas oro deguonis, išsiskiria šiluma, o iš pirminio reformerio tekančių dujų temperatūra padidėja.

Ketvirtuoju etapu anglies monoksidas, susidaręs metano konversijos metu, yra toliau konvertuojamas dviejų etapų katalizinėje reakcijoje su vandens garais. Šis etapas taikomas, kad būtų sumažintas anglies monoksido kiekis dujose [16]. Anglies monoksido konversija yra atliekama dviem etapais:

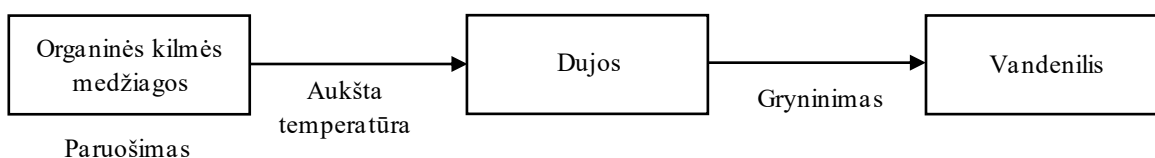
- aukštos / vidutinės temperatūros konversija, naudojant geležies-chromo katalizatorių;
- žemos temperatūros konversija, naudojant vario-cinko katalizatorių.

Pasibaigus keturiems metano konversijos vandens garais proceso etapams, gaunamas vandenilis. Po adsorbcijos likusios dujos yra nukreipiamos atgal į krosnį ir panaudojamos kaip kuras šilumos gamybai.

1.3.2. Dujifikavimas

Dujifikavimas yra vienas iš alternatyvių procesų išgauti vandenilį. Dujifikavimas yra terminis procesas, kurio metu organinės kilmės medžiagos, aukštoje temperatūroje, iš dalies oksiduojasi ir yra paverčiamos sintezės dujomis [13]. Organinės kilmės medžiagos apima biologinius organizmus, komunalines atliekas, žemės ūkio atliekas, pavojingas medicininės atliekas ir pan. [17]. Organinės kilmės medžiagos yra atsinaujinančios ir gali prisidėti prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo mažinimo. Šių medžiagų savybės tiesiogiai paveikia sintezės dujų kokybę ir vandenilio išeią.

Dujifikavimo procesas vykdomas itin aukštoje temperatūroje, kuri gali siekti nuo 700 °C iki 1200 °C [14]. Šio proceso metu yra naudojami dujinimo agentai, pvz.: deguonis, oras, garas, anglies dioksidas. Dujifikavimo proceso pagrindiniai etapai yra pateikiami 2 paveiksle.



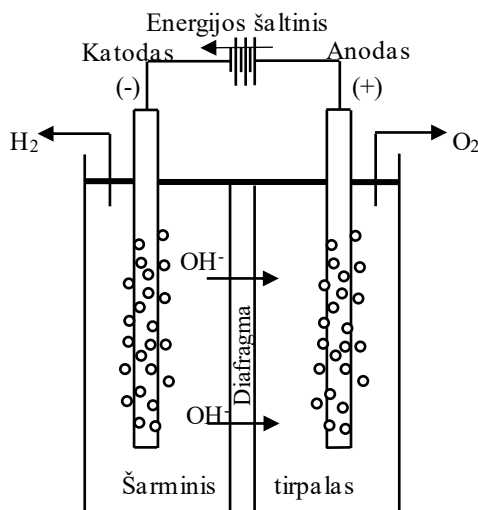
2 pav. Dujifikavimo proceso etapai [14]

Aplinkosauginiu požiūriu, dujifikavimo procesas yra mažiau taršus, lyginant su kitais vandenilio išgavimo būdais. Šis procesas yra efektyvus, greitas, o organinės kilmės medžiagos yra priskiriamos prie atsinaujinančių energijos šaltinių [18]. Todėl šis būdas gali padėti užtikrinti tvarią vandenilio gamybą.

1.3.3. Šarminė vandens elektrolizė

Šarminė vandens elektrolizė yra vienas iš labiausiai ištobulintų ir plačiausiai naudojamų procesų vandenilio gamybai. Šarminės vandens elektrolizės metu vanduo yra elektrochemiškai suskaidomas į vandenilio ir deguonies dujas [19]. Vandens molekulės padalinamos naudojant šarminį elektrolitą, dažniausiai kalio hidroksidą, dėl geresnio jonų laidumo. Katodas ir anodas yra panardinami į

elektrolizės kamerą, kuri yra užpildyta šarminiu elektrolitu. Katodas ir anodas atskiriami diafragma, kuri neleidžia dujoms susimaišyti, bet leidžia hidroksido jonams judėti [20]. Vandens molekulės, esančios šalia katodo, yra redukuojamos, kai elektrolizės celė yra paveikiama elektros srovės. Tuomet susidaro vandenilio dujos ir hidroksido jonai. Hidroksido jonai, judantys anodo link, yra oksiduojami ir susidaro deguonies dujos. Šarminės vandens elektrolizės principinė schema yra pateikiama 3 paveiksle.



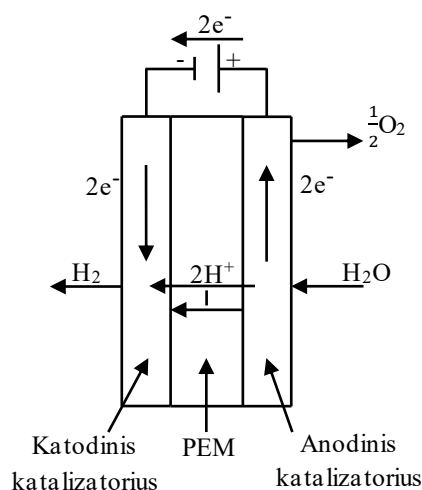
3 pav. Šarminės vandens elektrolizės principinė schema [19]

Vienas iš pagrindinių šarminės vandens elektrolizės privalumų yra tai, jog galima naudoti nebrangius elektrodus, pagamintus iš nikelio arba nikelio lydinių, dėl jų palankaus reakcijų greičio šarminėje terpėje [21]. Šarminės vandens elektrolizės sistemos pasiekia aukštą vandenilio grynumą, kuris gali siekti iki 99 % [19].

Šarminė vandens elektrolizė yra vienas iš pagrindinių ekologiško vandenilio gamybos procesų. Šiam procesui yra vykdomi moksliniai tyrimai, kurie padėtų geriau integruoti atsinaujinančios elektros energijos panaudojimą [22]. Sėkmingas atsinaujinančių elektros energijos šaltinių panaudojimas ne tik padėtų sumažinti šarminės vandens elektrolizės kaštus, bet ir prisidėtų prie ekologiškesnės vandenilio gamybos.

1.3.4. Protonų mainų membranos elektrolizė

Ekologiško vandenilio gamybai yra taikomas ir protonų mainų membranos elektrolizės procesas. Šis procesas veikia rūgštinėmis sąlygomis, kurio metu yra naudojama kieta polimerinė elektrolitų membrana, o protonai yra kaip krūvio nešikliai [23]. Protonų mainų membranos elektrolizės procesas leidžia pagaminti itin aukšto grynumo vandenilį, kurio grynumas gali siekti iki 99 % [24]. Protonų mainų membranos elektrolizeriai paprastai veikia 50–80 °C temperatūros intervale, o tai leidžia pasiekti gerą elektrocheminį efektyvumą, kartu išlaikant membranos ir kitų komponentų ilgaamžiškumą. Protonų mainų membranos elektrolizės principinė schema yra pateikiama 4 paveiksle.

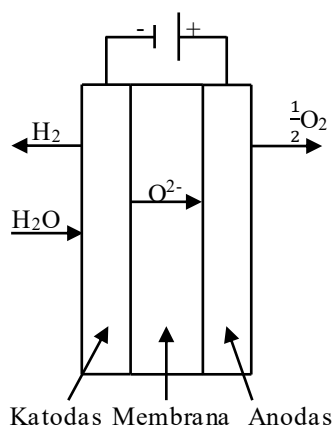


4 pav. Protonų mainų membranos elektrolizės principinė schema [25]

Protonų mainų membranos elektrolizėje anodui naudojami iridžio katalizatoriai. Tai lemia išskirtinai geras iridžio oksidų katalitinis aktyvumas bei aukštas elektrocheminis stabilumas. Katode, kuriame vyksta vandenilio išskyrimo reakcija, naudojami platinos pagrindu pagaminti katalizatoriai. Platina pasižymi itin greita reakcijos kinetika ir puikiu stabilumu, todėl tai leidžia pasiekti didelį vandenilio grynumą.

1.3.5. Kietojo oksido elektrolizė

Žaliojo vandenilio gamybos kontekste kietojo oksido elektrolizė tapo perspektyvia aukštos temperatūros technologija dėl savo efektyvumo, o vietoj įprastų metalo katalizatorių, naudojama laidžioji keramika [26]. Kietojo oksido elektrolizės procesas veikia esant aukštai temperatūrai, kuri gali siekti 700–800 °C. Didėjant temperatūrai, mažėja vandens skilimui reikalinga elektros energija, todėl didėja bendras efektyvumas, lyginant su žemos temperatūros elektrolizės technologijomis [27]. Kietojo oksido elektrolizės principinė schema yra pateikiama 5 paveiksle.



5 pav. Kietojo oksido elektrolizės principinė schema [28]

Kietojo oksido elektrolizės proceso veikimas priklauso nuo efektyvaus oksido jonų transportavimo per tankų keraminį elektrolitą. Vandens garai pasiekia porėtą katodą, kuriame vyksta elektrocheminė vandens reakcija, tuomet susidaro vandenilio dujos ir oksido jonai. Susidaręs vandenilis difunduojamas per katodo poras ir yra išvedamas iš sistemos. Oksido jonai yra transportuojami į anodą, ten jie oksiduojami ir pašalinami iš elektrocheminės celės.

1.3.6. Elektrolizerių lyginamoji analizė

Pagrindinės aktyviai vystomos vandens elektrolizės technologijos yra šarminė vandens elektrolizė, protonų mainų membranos elektrolizė bei kietojo oksido elektrolizė. Šios technologijos skiriasi veikimo principu, naudojamomis medžiagomis, darbinėmis temperatūromis. Elektrolizerių lyginamoji analizė pateikiama 3 lentelėje.

3 lentelė. Elektrolizerių lyginamoji analizė [20, 29, 30]

Parametras	Šarminė vandens elektrolizė	Protonų mainų membranos elektrolizė	Kietojo oksido elektrolizė
Elektrolitas	KOH arba NaOH	Kieta protonams laidi membrana (Nafion)	Kieta keraminė oksido jonų membrana (YSZ)
Anodas	Ni, NiFe	IrO ₂	La, Sr, Co, Fe
Katodas	Ni, Ni dengtas plienas	Pt/C	Ni/YSZ
Srovės tankis	0,2–0,45 A/cm ²	1–3 A/cm ²	0,3–1 A/cm ²
Darbinė temperatūra	40–90 °C	50–80 °C	700–800 °C
Vandenilio grynumas	99,9–99,9998 %	99,9–99,999 %	99,9 %
Efektyvumas	60–70 %	80 %	90 %
Technologinis brandumas	Naudojama pramonėje	Mažos gamybos apimties projektai	Demonstracinė/Ankstyva stadija
Tarnavimo laikas	100000 val.	70000–90000 val.	20000 val.
Investicinės išlaidos	900–1700 USD/kW	1100–1800 USD/kW	Nežinoma

Atlikta vandens elektrolizės technologijų lyginamoji analizė parodė, kad kiekviena iš jų pasižymi savitais privalumais. Šarminė vandens elektrolizė išlieka technologiškai brandžiausia ir ekonomiškai patraukliausia alternatyva didelio masto vandenilio gamybai, tačiau jai būdingas mažesnis pasiekiamas srovės tankis [30].

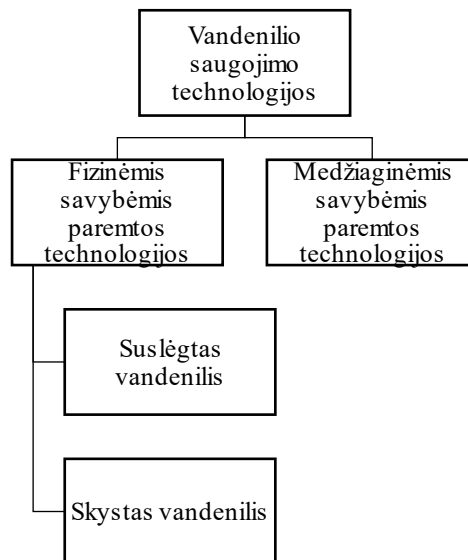
Protonų mainų membranos elektrolizė yra ypač tinkama integracijai su atsinaujinančiais energijos šaltiniais dėl greitos reakcijos į apkrovos pokyčius. Vis dėlto platesnį šios technologijos taikymą riboja didesnės investicijos bei tauriųjų metalų katalizatorių poreikis ir kaina [20, 29].

Kietojo oksido elektrolizė vis dar yra ankstyvojoje stadijoje ir nėra galimybės ją pritaikyti pramonėje.

1.3.7. Vandenilio saugojimas

Vandenilis yra laikomas vienas iš perspektyviausių energetikos sektoriaus komponentų, kuris galėtų prisidėti prie anglies dioksido sumažinimo bei iškastinio kuro pakeitimo. Praktinis vandenilio technologijų diegimas yra ribojamas dėl iššūkių, kurie yra susieti su sudėtingomis vandenilio saugojimo sąlygomis.

Pagrindinės vandenilio saugojimo technologijos gali būti suskirstytos į dvi grupes, t. y., fizinėmis savybėmis paremtos ir medžiaginėmis savybėmis paremtos vandenilio saugojimo technologijos. Vandenilio saugojimo technologijų skirstymas yra pateikiamas 6 paveiksle.



6 pav. Vandenilio saugojimo technologijos

Suslėgto vandenilio saugojimas yra laikomas vienu iš pagrindinių vandenilio saugojimo būdų ypač pramonės srityje. Šiuo būdu vandenilis yra saugomas aukšto slėgio talpyklose, veikiančiose nuo 35 iki 70 MPa slėgio [31]. Pagrindinis šio saugojimo būdo trūkumas yra tai, jog yra mažas tūrinis energijos tankis ir suslėgimas reikalauja didelių energijos kaštų [32].

Skysto vandenilio saugojimo būdas yra saugesnis bei pašalina suslėgto vandenilio saugojimo būdo trūkumus [33]. Vandenilio suskystinimo technologija yra sudėtinga ir reikalauja daugiau energijos nei vandenilio suspaudimas [31]. Šiuo būdu vandenilis yra skystinamas esant $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir tuomet yra suspaudžiamas į talpyklas.

Vandenilio saugojimas medžiagose laikomas viena iš alternatyvų, galinčių sumažinti suslėgto ir skysto vandenilio saugojimo technologijų trūkumus. Šiuo būdu vandenilis yra saugomas įvairiose medžiagose, kur susidaro cheminiai junginiai, dažniausiai metalų hidriduose. Šis metodas pasižymi didesniu saugumu, nes nereikalauja labai aukšto slėgio ar itin žemos temperatūros palaikymo. Tačiau praktinį šios technologijos taikymą riboja didesnė sistemos masė bei sudėtingesnis vandenilio išskyrimo procesas [34].

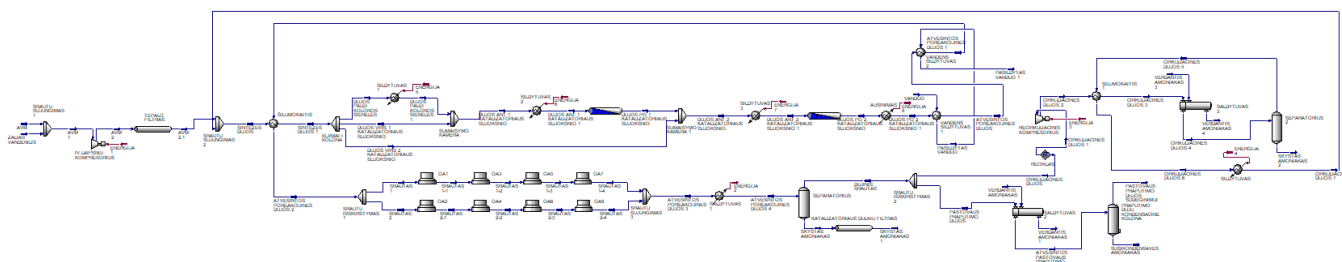
Apibendrinant galima teigti, kad nors suslėgto ir skysto vandenilio saugojimo būdai šiuo metu yra plačiai taikomi, tačiau vis daugiau dėmesio skiriama alternatyviems vandenilio saugojimo metodams.

2. Tiriamoji dalis

Šiame skyriuje nagrinėjama amoniako sintezės technologija ir jos integracija su žaliuoju vandeniliu. Tyrimo tikslas – įvertinti, kaip dalinis iškastinio kuro pagrindu gaunamo vandenilio pakeitimas žaliuoju vandeniliu paveikia esamos amoniako gamybos technologijos darbą, energijos sąnaudas ir CO₂ emisijas.

2.1. Amoniako sintezės modelis

Naudojant chemijos inžinerinių procesų projektavimui skirtą „Aspen HYSYS“ programinę įrangą, buvo sumodeliuotas realios amoniako sintezės technologijos modelis.



7 pav. Amoniako sintezės modelis

Modeliavimui pasirinktas termodinaminių savybių paketas „Peng-Robinson“, nes jis tinkamiausiai apibūdina nagrinėjamo proceso charakteristikas, nes visos sistemoje esančios medžiagos yra dujinės fazės. Srautų slėgio, temperatūros parametrai ir įrenginių išdėstymas buvo sumodeliuoti remiantis AB „Achema“ antrojo amoniako cecho technologiniais duomenimis.

Azoto-vandenilio mišinys, kurio molinis debitas 7500 kmol/h, su atitinkamais medžiagų kiekiais: 74 % H₂, 24 % N₂, 1,5 % CH₄, 0,5 % Ar, yra įvedamas į keturių laipsnių kompresorių suslėgti. Modelyje atvaizduojamas iškart ketvirtas laipsnis. Po suslėgimo, dujos nukreipiamos į tepalo filtrą, kuriame pašalinamos suslėgimo metu patekusios alyvos priemaišos. Toliau suslėgtas dujų srautas patenka į šilumokaitį, kuriame yra pašildomas iki 126 °C temperatūros. Po to, dujos tiekiamos į amoniako sintezės koloną. Modelyje numatyta, kad įeinantis srautas pirmiausia teka palei kolonos sienes ir vykstant šilumos mainams, yra papildomai pašildomas. Vėliau dujos patenka į pirmąją maišymo kamerą, kur susimaišo su papildomu dujų srautu ir yra nukreipiamos ant pirmojo katalizatoriaus sluoksnio ir paskirstomos tolygiai. Praėjus pirmąjį katalizatoriaus sluoksnį, dujos patenka į antrąją maišymo kamerą, kur vėl susimaišo su papildomu dujų srautu ir yra nukreipiamos ant antrojo katalizatoriaus sluoksnio ir paskirstomos tolygiai. Po antrojo katalizatoriaus sluoksnio dujos yra išvedamos iš sintezės kolonos ir nukreipiamos į du vandens šildytuvus, kuriuose, atvėsdamos, perduoda šilumą maitinimo vandeniui. Toliau srautas patenka į šilumokaitį, kuriame vyksta šilumos mainai su karta tik kompresoriuje suslėgtomis šviežiomis dujomis. Po to srautas aušinamas aštuoniuose oro aušintuvuose, papildomai atšaldomas šaldytuve ir tiekiamas į separatorių. Jame atsiskyręs skystas amoniakas praleidžiamas per katalizatoriaus dulkių filtrą ir nukreipiamas į talpyklą. Likęs dujinis srautas padalijamas į prapūtimo ir cirkuliacinį srautus.

Pastovaus prapūtimo dujos pirmiausia atšaldomos šaldytuve, o po to tiekiamos į prapūtimo dujų kondensacinę koloną. Joje susikondensavęs amoniakas atskiriamas ir nukreipiamas į talpyklą, o likusios dujos sudeginamos krosnyje. Šis etapas būtinas inertinių komponentų, tokių kaip metanas ir

argonas, pašalinimui, nes jie nedalyvauja sintezės reakcijoje ir kaupdamiesi sistemoje daro neigiamą įtaką įrenginių darbui bei eksploatacijos trukmei.

Cirkuliacinės dujos gražinamos į recirkuliacinį kompresorių. Po suslėgimo jos tiekiamos į šaldytuvą, kuriame yra atvėsintos ir tuomet įvedamos į antrąjį separatorių. Atsiskyres amoniakas nukreipiamas į talpyklą, o likęs dujų srautas teka per šilumokaitį, kuriame apsikeičia šiluma su į šaldytuvą tekančiomis cirkuliacinėmis dujomis. Galiausiai šis srautas gražinamas prieš sintezės koloną, kur susimaišo su šviežiu dujų mišiniu.

4 lentelė. Modelyje naudojamų srautų kiekiai

	Azoto-vandenilio mišinys	Žalioji vandenilis	Sintezės dujos
Srautai (0% žalio vandenilio)	7500 kmol/h	0 kmol/h	26487 kmol/h
Srautai (1% žalio vandenilio)	7425 kmol/h	75 kmol/h	26487 kmol/h
Srautai (2% žalio vandenilio)	7350 kmol/h	150 kmol/h	26487 kmol/h
Srautai (5% žalio vandenilio)	7125 kmol/h	375 kmol/h	26487 kmol/h
Srautai (10% žalio vandenilio)	6750 kmol/h	750 kmol/h	26487 kmol/h
Srautai (15% žalio vandenilio)	6375 kmol/h	1125 kmol/h	26487 kmol/h
Srautai (20% žalio vandenilio)	6000 kmol/h	1500 kmol/h	26487 kmol/h
Srautai (25% žalio vandenilio)	5625 kmol/h	1875 kmol/h	26386 kmol/h
Srautai (30% žalio vandenilio)	5250 kmol/h	2250 kmol/h	26150 kmol/h

4 lentelėje yra nurodyti srautų kiekiai. Pateikti rezultatai atspindi srautų pokyčius keičiant žaliojo vandenilio dalį. Azoto-vandenilio mišinio ir žalio vandenilio stipuliai nurodo kiekį įeinantį į ciklą, prie skirtingo žalio vandenilio padavimo procento. Sintezės dujų stipulyje pateiktas bendras į sintezės koloną tiekiamų dujų srautas. Jį sudaro šviežiai paduodamos žaliavinės dujos ir po separacijos į procesą gražinamos nesureagavusios recirkuliacinės dujos.

5 lentelė. Žaliojo vandenilio koncentracijos įtaka dujų sudėčiai po sintezės kolonos

Žaliojo vandenilio koncentracija	Medžiagų pavadinimai	Medžiagų kiekiai po sintezės kolonos, %
0 %	Vandenilis	62,23
	Amoniakas	13,89
	Azotas	18,60
	Metanas	4,05
	Argonas	1,22
1 %	Vandenilis	62,23
	Amoniakas	13,90

	Azotas	18,60
	Metanas	4,05
	Argonas	1,22
2 %	Vandenilis	62,23
	Amoniakas	13,91
	Azotas	18,60
	Metanas	4,04
	Argonas	1,22
5 %	Vandenilis	62,23
	Amoniakas	13,92
	Azotas	18,61
	Metanas	4,03
	Argonas	1,21
10 %	Vandenilis	62,22
	Amoniakas	13,95
	Azotas	18,62
	Metanas	4,01
	Argonas	1,21
15 %	Vandenilis	62,21
	Amoniakas	13,98
	Azotas	18,62
	Metanas	3,98
	Argonas	1,20
20 %	Vandenilis	62,21
	Amoniakas	14,01
	Azotas	18,63
	Metanas	3,69
	Argonas	1,19
25 %	Vandenilis	62,19
	Amoniakas	14,11
	Azotas	18,70
	Metanas	3,84
	Argonas	1,15
30 %	Vandenilis	62,05
	Amoniakas	14,73
	Azotas	19,29
	Metanas	3,01
	Argonas	0,92

5 lentelėje pateikti dujų sudėties pokyčiai po sintezės kolonos, didinant žaliojo vandenilio koncentraciją nuo 0 % iki 30 %. Didėjant žaliojo vandenilio daliai nuo 0 iki 30 %, amoniako

koncentracija po sintezės kolonos padidėjo nuo 13,89 % iki 14,73 %, t. y. 0,84 %. Tai rodo, kad žaliasis vandenilis suteikia palankesnes sąlygas amoniako sintezei. Taip pat, didėjant žaliojo vandenilio koncentracijai, mažėja inertinių dujų koncentracijos. Metano kiekis sumažėjo nuo 4,05 % iki 3,01 %, o argono nuo 1,22 % iki 0,92 %. Šis pokytis rodo mažesnę inertinių dujų kaupimąsi sistemoje, todėl būtų galima sumažinti pastovaus prapūtimo dujų srautą. Azoto koncentracija padidėjo nuo 18,60 % iki 19,29 %, tai nutiko būtent dėl sumažėjusių inertinių dujų kiekio.

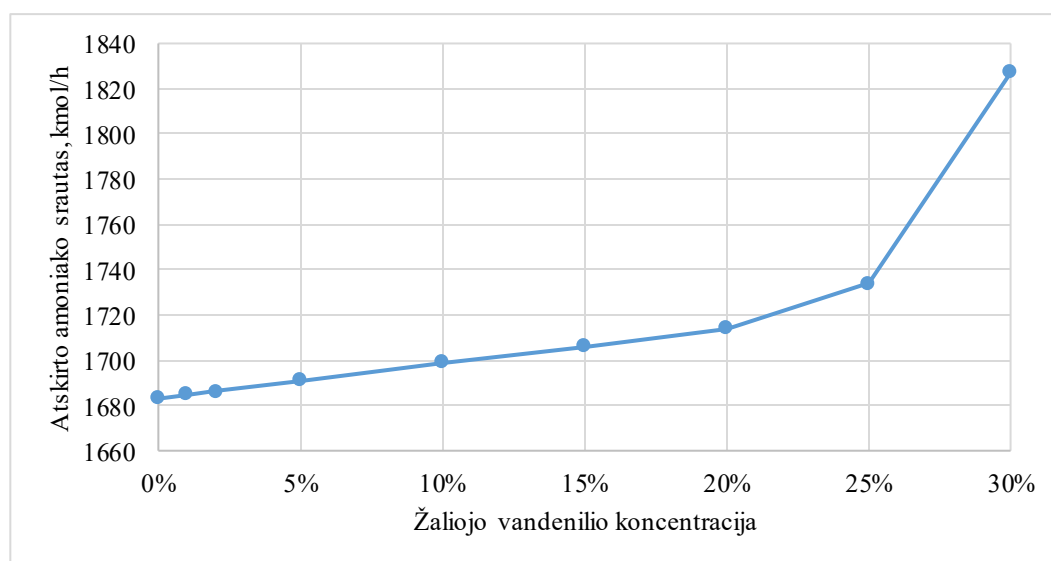
Atlikus amoniako sintezės su integruotu žaliuoju vandeniliu modeliavimą nustatyta, kad optimali žaliojo vandenilio koncentracijos riba yra iki 30 %. Didesnė žaliojo vandenilio koncentracija didina proceso energetinius poreikius. Modeliuojant pastebėta, kad peržengus 30 % žaliojo vandenilio koncentracijos ribą, sintezės koloną reikia papildomai šildyti, o tai lemia papildomas eksploatacines sąnaudas. Be to, žaliojo vandenilio gamyba šarminės elektrolizės būdu yra tiesiogiai priklausoma nuo elektros energijos kainos, todėl esant aukštomis elektros kainoms dideli žaliojo vandenilio kiekiai tampa ekonomiškai neefektyvūs. Taip pat, didėjant žaliojo vandenilio koncentracijai modelis tapo jautresnis proceso parametrų pokyčiams, o stabiliam veikimui nebeužteko koreguoti vien srautų kiekių. Todėl taip pat buvo koreguojami į sintezės koloną tiekiamų ir į prapūtimo dujų kondensacinę koloną srautų santykiai. Toks parametrų derinimas buvo sudėtingas ir reikalaujantis daugkartinio proceso parametrų koregavimo.

2.2. Žaliojo vandenilio įtaka proceso rodikliams

Šiame skyriuje vertinami srautų pokyčiai, įskaitant amoniako gamybos srautą, CO₂ emisijas bei energetinius parametrus su atitinkamu žaliojo vandenilio procentu.

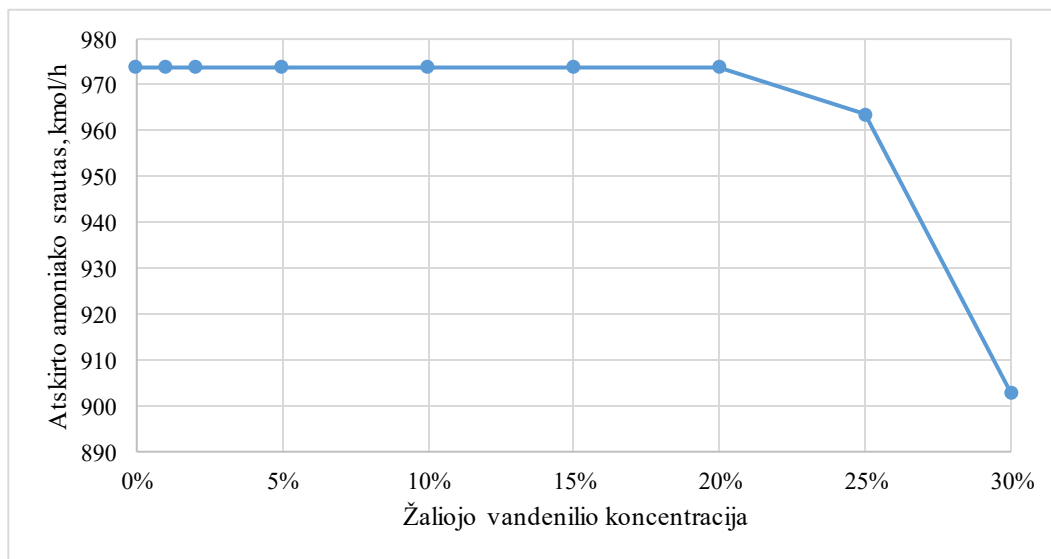
2.2.1. Amoniako srauto pokytis

Žemiau pateiktuose grafikuose yra vaizduojama, kaip kinta amoniako srautai skirtingose technologijos linijos vietose (pirmajame separatoriuje, antrajame separatoriuje, prapūtimo dujų kondensacinėje kolonoje). Amoniako srautų pokyčiai yra atvaizduojami priklausomai nuo žaliojo vandenilio koncentracijos.



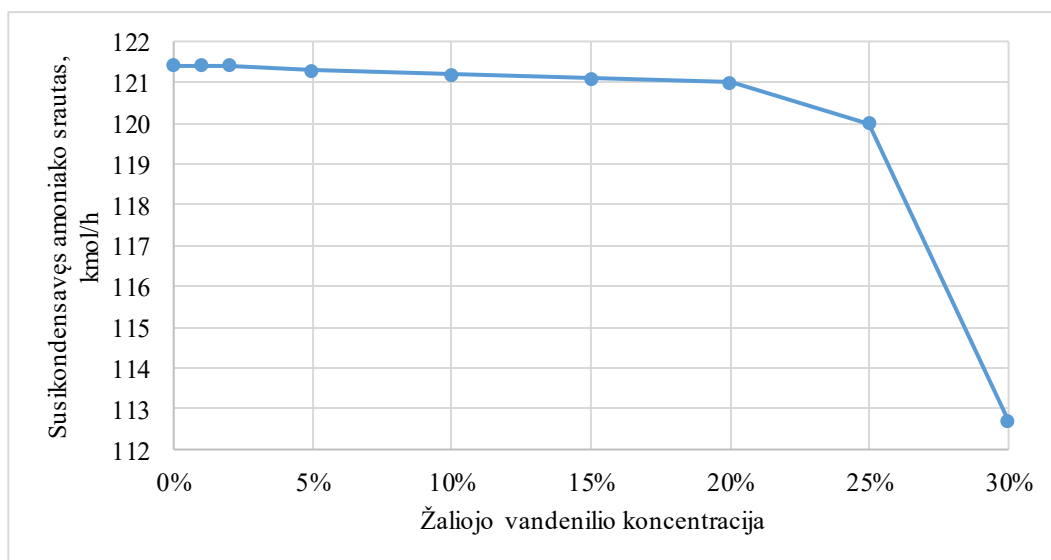
8 pav. Pirmojo separatoriaus amoniako srauto (kmol/h) priklausomybė nuo žaliojo vandenilio koncentracijos (%)

8 paveiksle galima įžvelgti, jog žaliojo vandenilio koncentracijai keičiantis nuo 0 % iki 25 % yra išvelgiamas tolygus ir nežymus amoniako srauto pokytis. Amoniako srautas padidėja nuo 1683 kmol/h iki 1734 kmol/h. Žaliojo vandenilio koncentracijai keičiantis nuo 25 % iki 30 % yra matomas aiškus amoniako srauto šuolis, kuris prie 30 % žaliojo vandenilio koncentracijos padidėja iki 1827 kmol/h. Galima teigti, jog didesnis žaliojo vandenilio kiekis reikšmingai padidina atsiskiriančio amoniako srautą pirmajame separatoriuje.



9 pav. Antrojo separatoriaus amoniako srauto (kmol/h) priklausomybė nuo žaliojo vandenilio koncentracijos (%)

9 paveiksle matoma, jog žaliojo vandenilio koncentracijai keičiantis nuo 0 % iki 20 % amoniako srautas išlieka nepakitęs, t. y., 973,8 kmol/h. Žaliojo vandenilio koncentracijai keičiantis nuo 20 % iki 30 % yra matomas atskirto amoniako srauto sumažėjimas nuo 973,8 kmol/h iki 902,8 kmol/h. Taip yra todėl, nes daugiau amoniako srauto buvo atskirta pirmajame separatoriuje.



10 pav. Prapūtimo dujų kondensacinės kolonos amoniako srauto (kmol/h) priklausomybė nuo žaliojo vandenilio koncentracijos (%)

10 paveiksle galima įžvelgti, jog žaliojo vandenilio koncentracijai keičiantis nuo 0 % iki 20 % yra išvelgiamas nežymus amoniako srauto pokytis. Amoniako srautas sumažėja nuo 121,4 kmol/h iki 121

kmol/h. Žaliojo vandenilio koncentracijai didėjant nuo 20 % iki 25 % amoniako srautas sumažėja nuo 121 kmol/h iki 120 kmol/h. Žaliojo vandenilio koncentracijai keičiantis nuo 25 % iki 30 % galima matyti ryškų amoniako srauto kritimą. Amoniako srautas sumažėja nuo 120 kmol/h iki 112,7 kmol/h.

Apibendrinant galima teigti, jog didėjant žaliojo vandenilio koncentracijai modelyje stebimas amoniako pasiskirstymo pokytis tarp skirtingų technologinio proceso etapų. Pirmajame separatoriuje amoniako srautas nuosekliai didėja, o esant didesnei nei 25 % žaliojo vandenilio koncentracijos daliai – amoniako srautas ženkliai padidėja. Tuo tarpu antrajame separatoriuje ir kondensacinė kolonoje žaliojo vandenilio koncentracijai esant apie 20 %, amoniako srautų pokyčiai yra minimalūs. Šiuose dviejuose etapuose žaliojo vandenilio koncentracijai didėjant nuo 20 % iki 30 % yra matomas akivaizdus amoniako srauto sumažėjimas. Šios tendencijos gali būti siejamos ne tik su žaliojo vandenilio koncentracijos didėjimu, bet ir su mažesniu inertinių medžiagų kiekiu technologiniame procese. Žaliojo vandenilio koncentracijai didėjant, bet ir su mažesniu inertinių medžiagų kiekiu technologiniame procese. Žaliojo vandenilio koncentracijai didėjant, bet ir su mažesniu inertinių medžiagų kiekiu technologiniame procese. Žaliojo vandenilio koncentracijai didėjant, bet ir su mažesniu inertinių medžiagų kiekiu technologiniame procese. Žaliojo vandenilio koncentracijai didėjant, bet ir su mažesniu inertinių medžiagų kiekiu technologiniame procese.

2.2.2. CO₂ emisijų pokytis

Tiriamajoje dalyje taip pat svarbu išanalizuoti sudeginamo dujų srauto pokytį bei išmetamą CO₂ kiekį.

6 lentelė. Dujų srautas sudeginimui

Žaliojo vandenilio koncentracija	Srautas sudeginimui
0 %	2085 kmol/h
1 %	2085 kmol/h
2 %	2085 kmol/h
5 %	2084 kmol/h
10 %	2083 kmol/h
15 %	2082 kmol/h
20 %	2080 kmol/h
25 %	2068 kmol/h
30 %	1963 kmol/h

6 lentelėje pateikiamas sudeginamų dujų srauto kitimas priklausomai nuo žaliojo vandenilio dalies. Galima matyti, kad nuo 0 % iki 2 % žaliojo vandenilio koncentracijos, sudeginamų dujų kiekis išlieka nepakitęs. Žaliajam vandeniliui siekiant nuo 5 % iki 25 % sudeginamų dujų srautas mažėja nežymiai, nuo 2084 kmol/h iki 2068 kmol/h. Žaliojo vandenilio koncentracijai padidėjus nuo 25 % iki 30 % galima matyti ryškų pokytį, kuomet dujų srautas sudeginimui sumažėja nuo 2068 kmol/h iki 1963 kmol/h.

7 lentelė. CO₂ kiekiui apskaičiuoti naudojama informacija

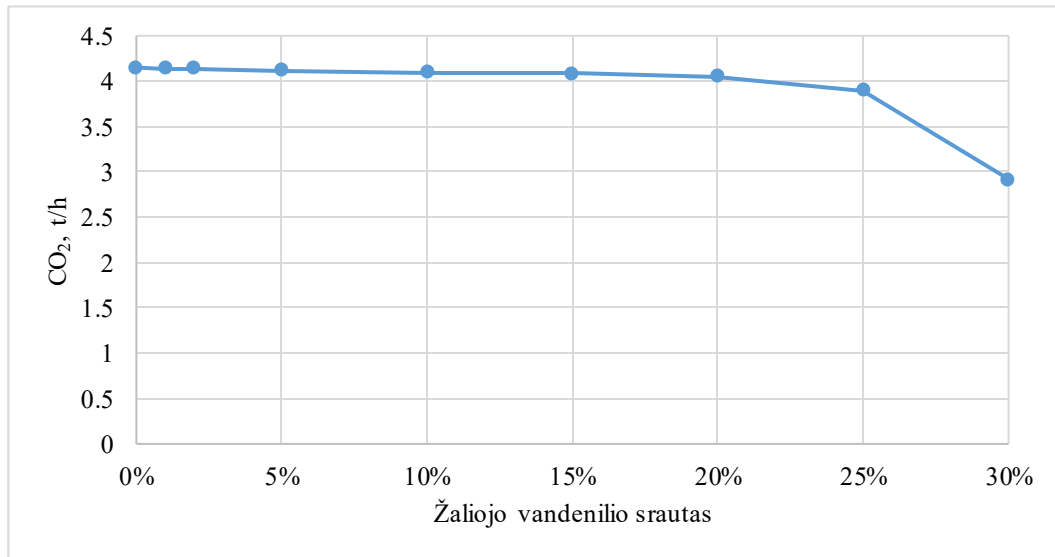
Srautas sudeginimui	Metano molinė dalis	CO ₂ molinė masė
2085 kmol/h	0,0452	44,01 kg/kmol

Apskaičiuoti CO₂ kiekį buvo naudojami duomenys pateikti 7 lentelėje.

$$\dot{n}_{CO_2} = 2085 \cdot 0,0452 = 94,24 \frac{kmol}{h}$$

$$\dot{m}_{CO_2} = 94,24 \cdot 44,01 = 4146,6 \frac{kg}{h}$$

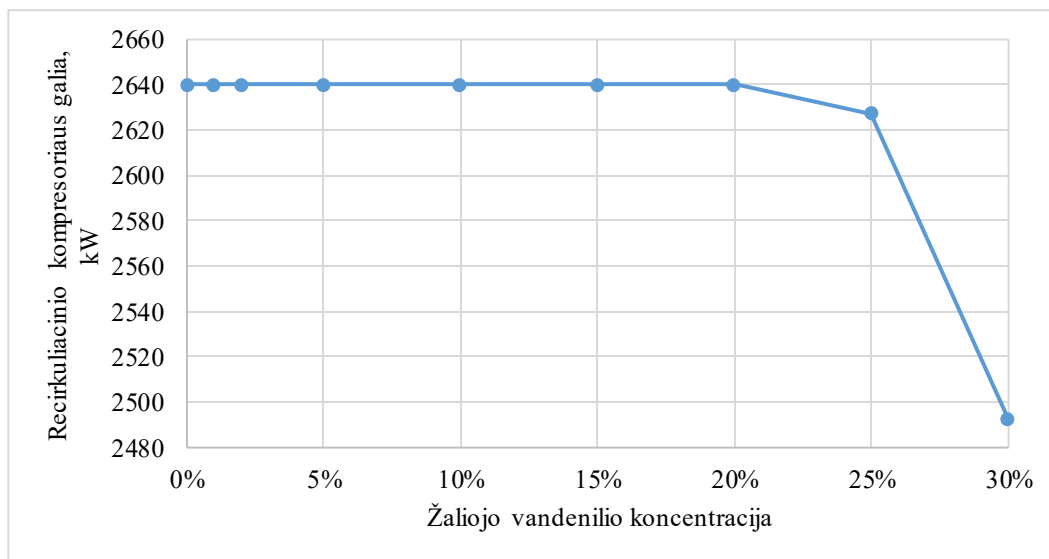
$$4146 \frac{kg}{h} \approx 4,15 \frac{t}{h}$$



11 pav. Sudeginto srauto išmetamo CO₂ kiekio (t/h) priklausomybė nuo žaliojo vandenilio koncentracijos (%)

11 paveiksle pavaizduotas sudeginto srauto išmetamas CO₂ kiekis priklausomai nuo žaliojo vandenilio koncentracijos. Nuo 0 % iki 25 % žaliojo vandenilio koncentracijos, sudeginto srauto išmetamo CO₂ emisijų pokytis yra neryškus, jis keičiasi nuo 4,15 t/h iki 3,9 t/h. Tai gali būti grindžiama tuo, kad esant mažesnei žaliojo vandenilio daliai, procese vis dar išlieka didelis metano reformingo poreikis, todėl sudeginamo kuro srautas ir jo išmetamos emisijos kinta nežymiai. Nuo 25 % iki 30 % žaliojo vandenilio koncentracijos, matomas staigus CO₂ emisijų kritimas nuo 3,9 t/h iki 2,92 t/h. Tikėtina, kad šiame intervale žaliojo vandenilio koncentracija tampa pakankamai didelė, jog reikšmingai sumažėtų iškastinio kuro poreikis, todėl mažėja ir išmetamas CO₂ kiekis. Tendencija rodo, kad didesnės žaliojo vandenilio koncentracijos integravimas į amoniako gamybos procesą turi reikšmingą naudą mažinant šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas.

2.2.3. Energijos sąnaudų pokytis

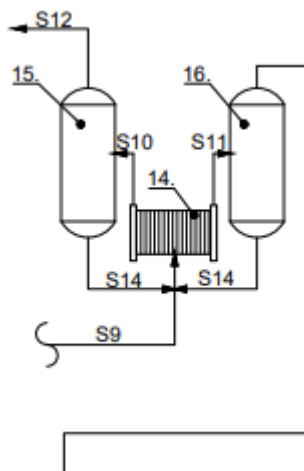


12 pav. Recirkuliacinio kompresoriaus galios (kW) priklausomybė nuo žaliojo vandenilio koncentracijos (%)

12 paveiksle atvaizduojama recirkuliacinio kompresoriaus galios kitimas priklausomai nuo žaliojo vandenilio koncentracijos. Matoma, jog žaliojo vandenilio koncentracijai keičiantis nuo 0 % iki 20 % recirkuliacinio kompresoriaus galia išlieka nepakitusi, t. y., 2640,31 kW. Žaliojo vandenilio koncentracijai keičiantis nuo 20 % iki 30 % yra matomas akivaizdus galios sumažėjimas nuo 2640,31 kW iki 2492,31 kW. Ši tendencija rodo, kad esant didesnėms žaliojo vandenilio dalims, mažėja recirkuliacijos poreikis, todėl kompresoriui reikia mažiau energijos.

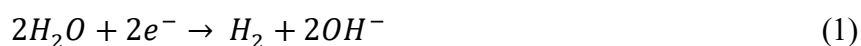
3. Inžinerinė dalis

3.1. Technologinės schemos aprašymas

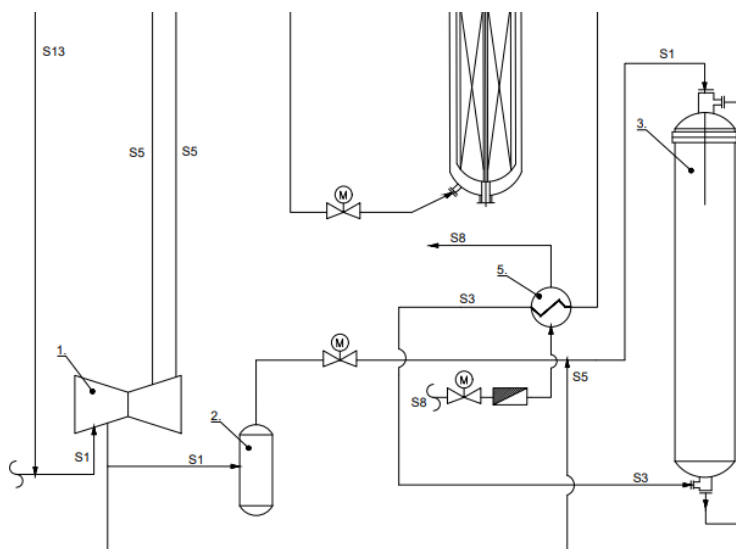


13 pav. Šarminio vandens elektrolizerio mazgo technologinė schema

Vandens su 20 % KOH elektrolitu srautas S9 paduodamas į šarminį vandens elektrolizerį 14. Veikiant elektros energijai, vyksta reakcijos:

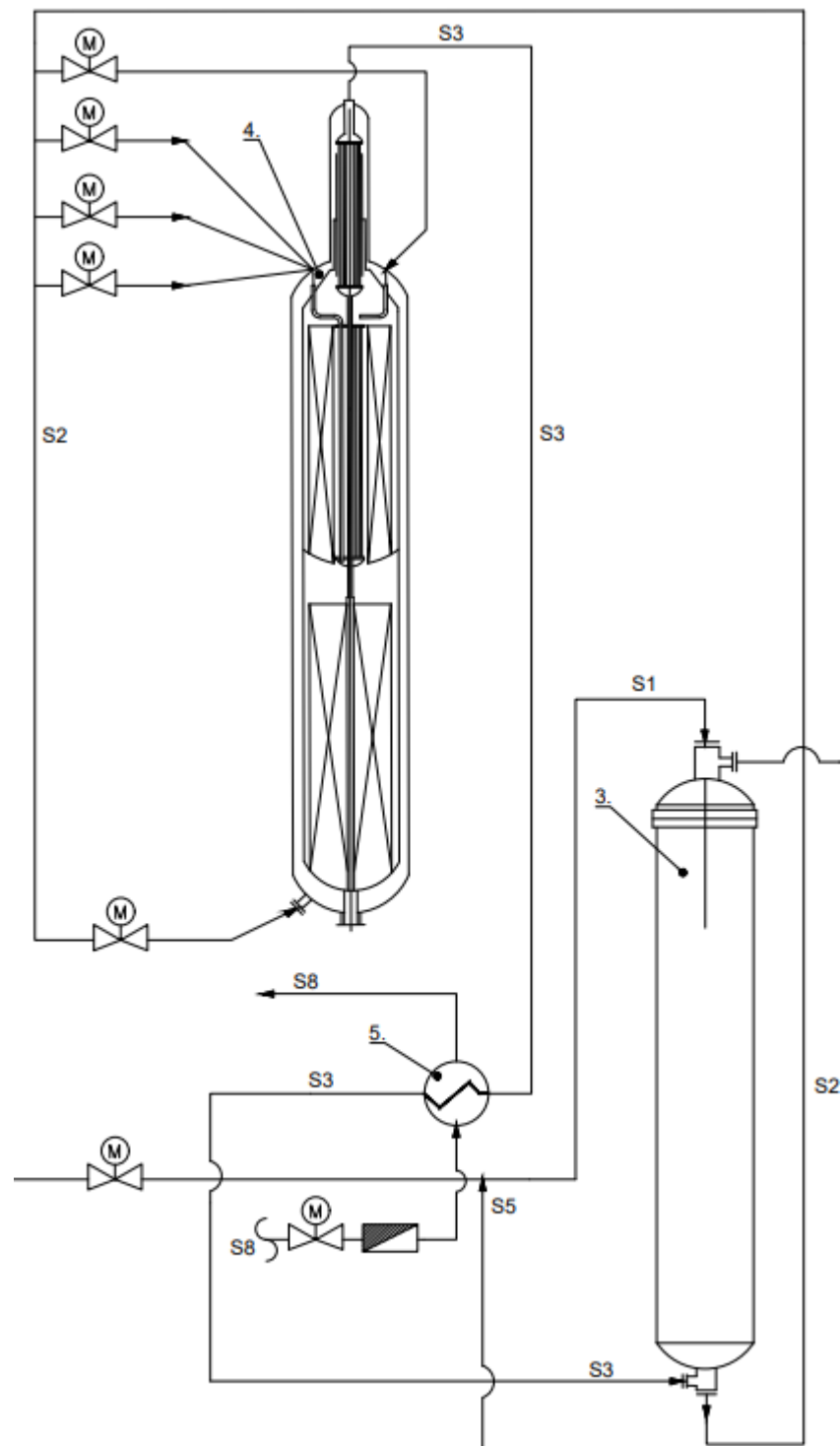


Ant anodo susidaro drėgnas deguonis S10, kurio srautas teka į deguonies separatorių 15. Po atskyrimo vanduo grąžinamas į elektrolizerį, o deguonies dujos išmetamos į atmosferą. Ant katodo susidaro drėgnos vandenilio dujos S11, kurių srautas teka į vandenilio separatorių 16. Po atskyrimo vanduo grąžinamas į elektrolizerį, o vandenilio dujos įteka į azoto-vandenilio mišinį S1.



14 pav. Sintezės dujų suslėgimo ir paruošimo mazgo technologinė schema

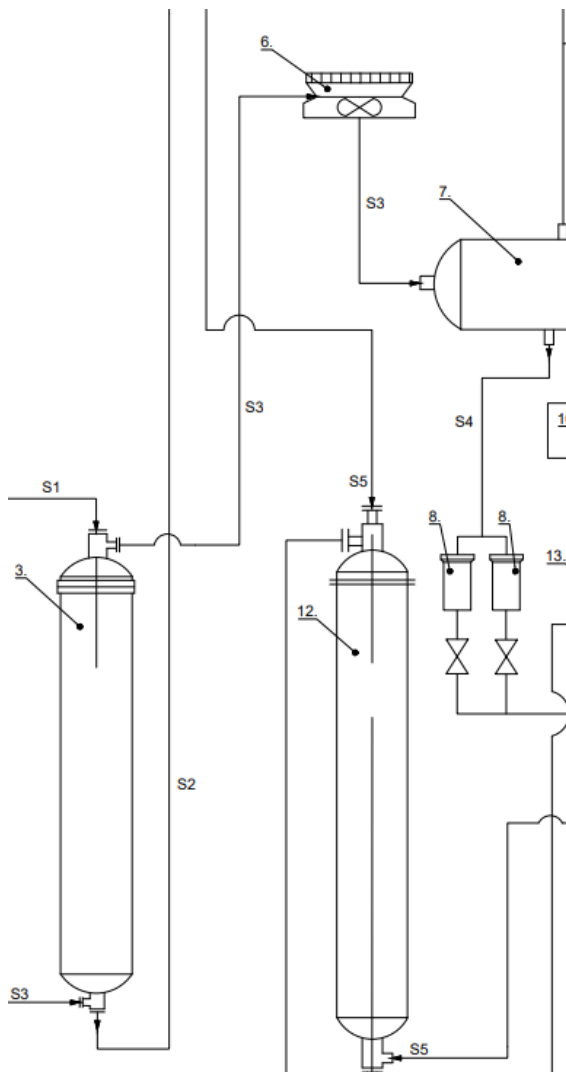
S1 srautas teka į IV-ųjų laipsnių kompresorių, kuriame dujos suslegiamos iki 21 MPa slėgio. Po suslėgimo, srautas S1 teka per tepalo filtrą, kuriame pašalinamos suslėgimo metu patekusios alyvos priemaišos. Toliau, suslėgtas dujų srautas S1 patenka į vertikalų korpusinį šilumokaitį 3, kuriame pašildo iki 126 °C.



15 pav. Amonjako sintezės kolonos technologinė schema

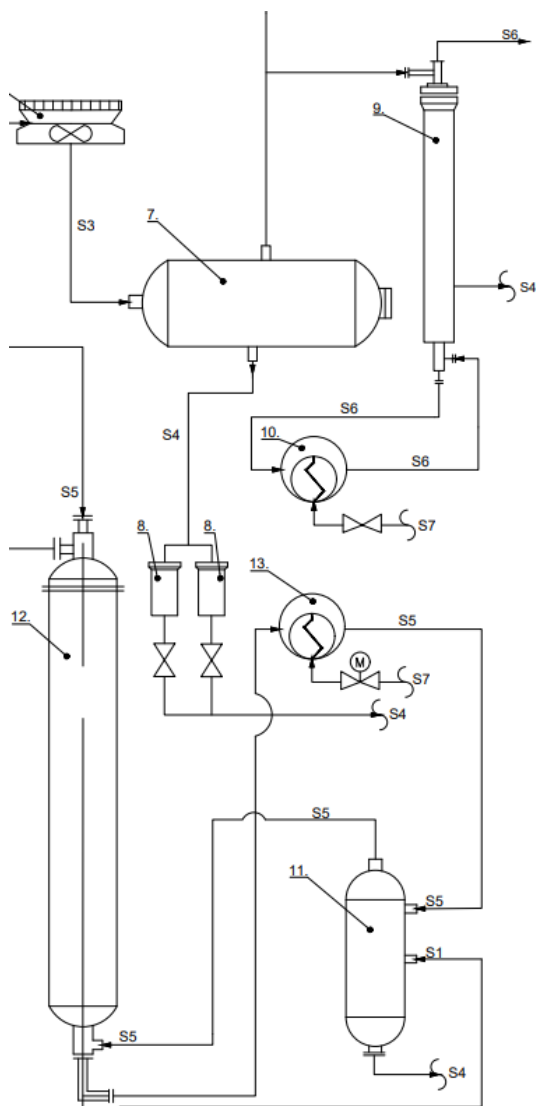
Sintezės dujos S2 teka į sintezės koloną 4 per pagrindinę eigą ir keturis šaltus apvadus. Kolonos viršuje sintezės dujos patenka į viduje kolonos sumontuoto šilumokaicio tarpvamzdinę ertmę, kurioje dėl segmentinių pertvarų keičia tekėjimo kryptį, pašyla ir patenka virš pirmojo katalizatoriaus sluoksnio. Tekančios dujos patenka į dujų paskirstymo vamzdžius, kurie iš katalizatoriaus pusės turi

daug siaurų kalibruotų plyšių. Per katalizatoriaus sluoksnį dujos teka radialine kryptimi nuo išorės link kolonos centro. Dujos, perėjusios pirmąjį katalizatoriaus sluoksnį patenka į išorę ir toliau keliauja į šilumokaičio, esančio kolonoje, tarpvamzdinę erdvę. Dujos, tekėdamos žemyn šilumokaičio tarpvamzdine erdve, patenka virš antrojo katalizatoriaus sluoksnio. Toliau viskas vyksta analogiškai kaip ir pirmajame katalizatoriaus sluoksnyje. Dujos po antrojo katalizatoriaus sluoksnio patenka į perforuotą centrinį vamzdį ir per šilumokaičio vamzdinę ertmę, atiduoda šilumą ateinančioms dujoms ir yra išvedamos iš kolonos. Srautas S3 pirmiausia pasiekia maitinimo vandens šildytuvus 5, kur atiduoda dalį savo šilumos, nuo 330 °C iki 141 °C, kad pašildytų įtekantį maitinimo vandenį.



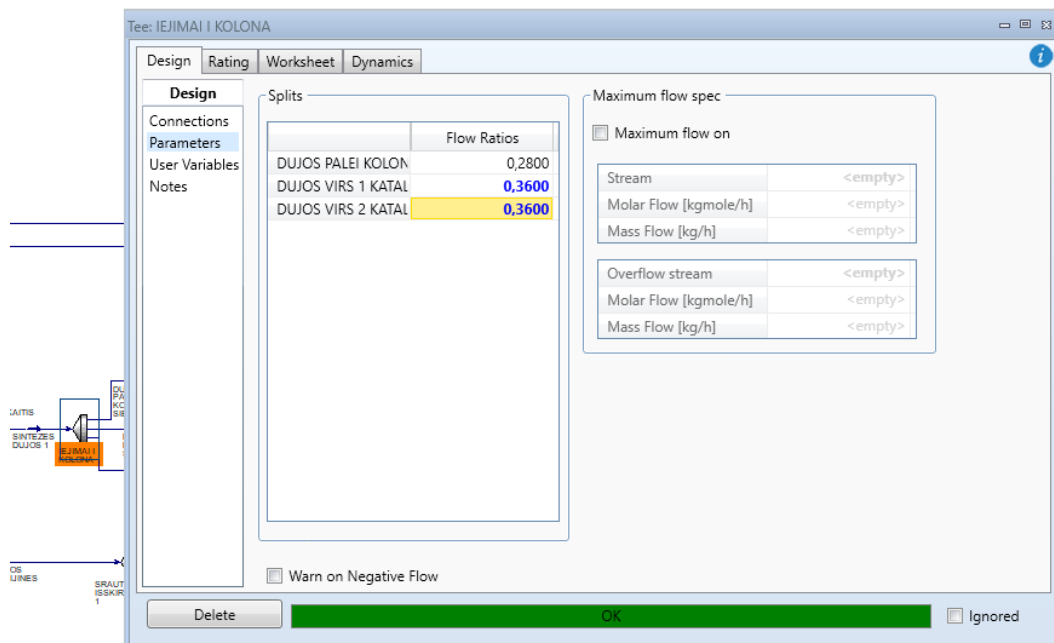
16 pav. Dujų aušinimo ir pirminio separavimo mazgas

Iš šildytuvų dujos patenka į vertikalų korpusinį šilumokaitį 3, kur atiduodama šiluma dujoms, tekančioms kolonos link. Toliau dujos, 54 °C temperatūra patenka į orinius aušintuvus 6, kur susikondensuoja dalis amoniako. Dujos srautu S3 patenka į skysto amoniako separatorių 7, kur atskirtas amoniakas, prateka pro magnetinius filtrus 8, kad būtų surinktos katalizatoriaus dulkės ir yra išvedamas į amoniako rinktuvą.



17 pav. Amoniako kondensavimo ir recirkuliacijos mazgas

Likęs dujų srautas S5 yra išskirstomas, dalis dujų patenka į prapūtimo dujų kondensacinę koloną 9, dalis grįžta į recirkuliacinį kompresorių. Iš prapūtimo dujų kondensacinės kolonos 9, dujos teka į prapūtimo dujų šaldytuvą 10, kuriame dujos vėsta nuo verdančio amoniako srauto tarpvamzdinėje erdvėje ir yra grąžinamos atgal į prapūtimo dujų kondensacinę koloną. Separacinėje dalyje sukamuoju judesiu dujų srautas kyla į viršų per žiedų įkrovą, susikondensavusi dalis yra atskiriama ir išvedama į amoniako rinktuvą, likusi dalis nuvedama sudeginti į krosnį. Dujų srautas S5 iš recirkuliacinio kompresoriaus patenka į šilumokaičio 12 vamzdinę ertmę, kuriame dujos vėsta, toliau jos nukreipiamos į skysto amoniako garintuvo 13 vamzdinę ertmę, kuriame dujos atšaldomos verdančio amoniako srautu tarpvamzdinėje ertmėje. Atšaldytos dujos patenka į skysto amoniako separatorių 11, susikondensavęs skystas amoniakas atsiskiria nuo dujų ir yra išvedamas į amoniako rinktuvą. Čia dujų judėjimo ratas užsidaro ir ciklas kartojasi. Šviežių dujų srautas S1 patekęs į separatoriaus 11 apatinę dalį, pereina skysto amoniako sluoksni, prasivalo nuo tepalo priemaišų ir kildamos į viršų susimaišo su cirkuliacinėmis dujomis. Dujų srautas S5 išvedamas į šilumokaitį 12, kuriame pasišildo ir toliau prisijungia prie S1 srauto.



18 pav. Kolonos įėjimų srautų paskirstymo parametrų nustatymas

Kaip matyti 18 paveiksle proceso modeliavimo metu buvo keičiami ne tik srautų kiekiai, bet ir į koloną tiekiamų srautų santykiai. Toks srautų proporcijų reguliavimas buvo taikomas siekiant subalansuoti procesą ir užtikrinti efektyvų kolonos darbą.

3.2. Statybiniai sprendimai

AB „Achema“ yra azoto trąšų ir pramoninės chemijos produktų gamybos bendrovė, kurios pagrindinė veikla apima azoto trąšų, amoniako, azoto rūgšties, formalino, karbamido-formaldehidinių dervų, angliarūgštės, deguonies, azoto bei bazinio aliuminio sulfato tirpalo gamybą ir prekybą [35]. Įmonė įsikūrusi Jonalaukio kaime, Jonavos rajone, netoli Neris ir Šventosios upių santakos, o jos gamybinė teritorija užima apie 360 ha plotą.

Vykdamas modernizaciją yra planuojama įrengti elektrolizerį, siekiant optimizuoti vandenilio gamybą ir efektyvinti esamą amoniako sintezės plotą. Sklypo plotas apytiksliai 3,5 ha. Statybos vieta pasirinkta strategiškai – dėl teritorijoje esančio laisvo ploto bei šalia esančio amoniako cecho. Komunikacijos, vamzdynai, kurie skirti dujoms bei vandeniui transportuoti yra išvedžioti.



19 pav. Sklypo nuotrauka

Projektuojamo statinio ir sklypo pagrindiniai techniniai rodikliai nurodyti 8 lentelėje. Joje nurodyta esminė informacija apie sklypą, užstatymo plotą bei kitus projektinius sprendinius.

8 lentelė. Bendrieji statinio techniniai rodikliai

Eil. Nr.	Pavadinimas	Mato vienetas	Kiekis
1	I. SKLYPAS		
	1.1. sklypo plotas	ha	3,5
	1.2. statinio užimtas žemės plotas	m ²	630
	1.3. apželdintas žemės plotas (žaliasis plotas)	m ²	24774
	1.4. automobilių stovėjimo vietų skaičius	vnt.	–
	1.5. sanitarinės (apsaugos zonos plotis)	m	500
2	II. SKLYPAS		
	2.1. paskirties rodikliai (gamybos (kitos veiklos), paslaugų apimtys, aptarnaujamų žmonių skaičius, kiti rodikliai)		
	2.2. bendrasis plotas:	m ²	8400
	2.2.1. pagrindinis	m ²	8400
	2.2.2. pagalbinis	m ²	–
	2.3. pastato tūris	m ³	105000
	2.4. aukštų skaičius	vnt.	1
	2.5. pastato aukštis	m	12,5
	2.6. pastato atsparumas ugniai (I, II, III)	MJ/m ²	II

Iš pateiktų duomenų matyti, kad projektuojamas statinys numatytas vieno aukšto, 8400 m² bendrojo ploto ir 12,5 m aukščio, o jo apskaičiuotas tūris siekia 105000 m³. Vertinant sklypo plotą ir užstatymo intensyvumą, galima teigti, kad teritorija yra pakankama planuojamai infrastruktūrai įrengti.

3.2.1. Sklypo planas

Elektrolizerio vieta parinkta strategiškai, įvertinus šalia amoniako cecho esantį laisvą plotą. Kadangi įmonė vykdo amoniako, azoto trąšų ir azoto rūgšties gamybą, teritorijoje jau yra paruošta visa būtina infrastruktūra – įrengtos komunikacijos bei dujų ir vandens transportavimo vamzdynai. Įmonės teritorijoje taip pat nutiesti asfaltuoti keliai, sudarantys sąlygas efektyviam žaliavų tiekimui, produkcijos transportavimui, darbuotojų patekimui į patalpas bei operatyviam avarinių tarnybų privažiavimui avarijų atvejais. Kelių plotis siekia 6 metrus, o minimalus pravažiavimo aukštis po vamzdynais turi būti ne mažesnis kaip 4,5 metro.

3.2.2. Projektuojamo pastato sprendimai

Projektuojamas elektrolizerio įrenginys ir pastatas numatyti AB „Achema“ teritorijoje. Pastato ilgis – 150 m, plotis – 56 m, aukštis – 12,5 m. Pagrindinė laikančiųjų konstrukcijų medžiaga yra plieninis

karkasas, o kolonos – spragotosios gelžbetoninės. Pastatas priskiriamas gamybinės paskirties statiniams. Kadangi įrenginio eksploatavimas ir valdymas bus vykdomi nuotoliniu būdu, sanitarinių mazgų bei darbuotojų poilsio patalpų įrengimas nenumatomas.

3.2.3. Statinio architektūrinė, konstrukcinė sandara

Gamybinės paskirties pastatas projektuojamas greta esamų gamybos įrenginių. Projektuojamo statinio gabaritas plane 150x56. Aukštis 12,5 m. Pastatas numatomas vieno aukšto, jame sanitarinių mazgų ir darbuotojų poilsio patalpos neprojektuojamos. Pastato sienoms naudojamos daugiasluoksnės plokštės su poliuretano užpildu. Grindų ir pamatų konstrukciją sudaro grindų danga, klijų sluoksnis, išlyginamasis betonas, polistireninis putplastis, hidroizoliacinis sluoksnis bei sutankintas ir išlygintas gruntas. Stogo konstrukcija formuojama iš išorinės dangos, viršutinio apsauginio sluoksnio, šilumos izoliacijos, karkaso ir apatinės atraminės dangos, sudarytos iš metalinio profilio.

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

Statinyje numatyti įrenginiai – 24 elektrolizeriaus blokai ir 3 transformatoriai. Šie įrenginiai projektuojami pastato viduje, siekiant apsaugoti juos nuo neigiamo atmosferos poveikio, tokio kaip krituliai, stiprus vėjas ar temperatūrų svyravimai, kurie gali daryti neigiamą įtaką sistemų veikimui arba sumažinti jų efektyvumą. Netoliese esantis operatorinės pastatas užtikrina visas įrenginių aptarnaujančio personalo reikmes. Operatorinės pastate įrengti trys sanitariniai mazgai, persirengimo kambariai, dušai, prausyklos bei atskiri tualetai moterims ir vyrams. Darbuotojų valgymo ir poilsio patalpose vienam darbuotojui skiriamas ne mažesnis kaip 1 kv. metro plotas, o bendras šių patalpų plotas yra didesnis nei 22 kv. metrai.

3.3. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai

Griežtėjant klimato kaitos reikalavimams, įmonės turi daugiau dėmesio skirti technologiniams sprendimams, kurie padėtų sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išskyrimą. Vienas iš perspektyviausių sprendimų yra žaliojo vandenilio gamyba naudojant šarminę vandens elektrolizę, kuomet vandenilis išgaunamas skaidant vandenį elektros energijos pagalba. Šiame projekte planuojamas 200 MW galios šarminis vandens elektrolizeris, kurio pagamintas žaliasis vandenilis bus integruojamas į amoniako sintezės procesą. Planuojama, kad šios technologijos pagalba bus sumažinamos CO₂ emisijos. Šiame skyriuje bus atliekami finansiniai ir ekonominiai vertinimai, siekiant nustatyti ar planuojamas projektas yra ekonomiškai efektyvus.

3.3.1. Projekto investicijos ir jų finansavimo šaltiniai

Vertinant projektą yra svarbu išskirti pagrindinius projekto kaštus bei finansavimo šaltinius. 9 lentelėje yra pateikiama planuojamo projekto finansavimo poreikis bei šaltiniai.

9 lentelė. Projekto finansavimo poreikis ir šaltiniai

Projekto kaštai		Finansavimo šaltiniai	
Struktūra	Mln. Eur	Struktūra	Mln. Eur
Ilgalaikiam turtui įsigyti	431,37	Akcininkų nuosavybė	153,63
	5,93	ES dotacijos	153,63

Trumpalaikiam turtui įsigyti, tarp jo žaliavoms ir pagrindinėms medžiagoms		Paskolos	130,04
Viso	437,3	Viso	437,3

Projekto kaštus sudaro ilgalaikis bei trumpalaikis turtas. Ilgalaikį turtą sudaro patalpos bei įranga, kuri skirta gamybai. Prognozuojami ilgalaikio turto kaštai siekia 431,37 mln. Eur. Trumpalaikį turtą sudaro žaliavos bei pagrindinės medžiagos, kurios yra skirtos gamybai. Trumpalaikio turto kaštai siekia 5,93 mln. Eur.

Finansavimo šaltinius sudaro akcininkų nuosavybė, ilgalaikė paskola bei ES dotacijos. Planuojama, jog akcininkų nuosavybė sudarys 35,13 %, ES dotacijos – 35,13 % ir ilgalaikė paskola – 29,74 % finansavimo šaltinių struktūros.

3.3.2. Ilgalaikio turto vertės skaičiavimas

Projekto vykdymui reikalingas ilgalaikio turto vertės apskaičiavimas, kuris yra pateikiamas 10 lentelėje. Ilgalaikio turto vertės skaičiavimas buvo atliktas remiantis šaltiniais ir rinkos tendencijomis.

10 lentelė. Ilgalaikio turto vertė

Eil. nr.	Pastato ir įrengimo pavadinimas	Vertė, mln. Eur
1.	Šarminio vandens elektrolizerio patalpos	14,42
2.	Slėginės vandenilio saugojimo talpyklos	1,8
3.	Šarminis vandens elektrolizeris	415
4.	Infrastruktūra	0,15
	Viso	431,37

Preliminari šarminio vandens elektrolizerio patalpų kaina nustatyta remiantis UAB „Sistela“ statinių palyginamųjų ekonominių rodiklių duomenimis [36]. Planuojama jog, patalpų plotas sieks 8400 m². Slėginių vandenilio saugojimo talpyklų vertė nustatyta remiantis preliminarium cheminių procesų įrenginių kainų vertinimu ir analogiškų slėginių indų kainomis. Projekte numatytos dvi 30 bar darbinio slėgio talpyklos, kurių talpa – 10 tonų. Elektrolizerio preliminari kaina nustatyta remiantis European Hydrogen Observatory pateikiamais elektrolizerių kapitalinių investicijų rodikliais [37]. Atsižvelgiant į projektuojamo elektrolizerio galią, kuri siekia 200 MW bei taikant vidutinę 2075 Eur/kW kainą, orientacinė elektrolizerio įrangos vertė siekia 415 mln. Eur. Projektuojamo kelio asfaltavimo kaina nustatyta pagal rinkos asfaltavimo darbų įkainius Lietuvoje. Projektuojamas dviejų juostų kelias, kurio ilgis siekia – 200 metrų, o plotis – 6 metrus, bendras asfaltuojamas plotas sudaro 1200 m². Orientacinė kelio asfaltavimo kaina 40 Eur/m², todėl preliminari asfaltavimo darbų vertė sudaro apie 48 tūkst. Eur. Taip pat, numatomas sklypo reljefo paruošimas. Objektas įrengiamas esamoje pramoninėje teritorijoje, kur pagrindinės komunikacijos jau yra paruoštos, numatyti tik minimalūs reljefo koregavimo darbai. Rinkoje įkainiai nurodyti apie 50 Eur/val., o atsižvelgiant į darbų apimtį ir esamą infrastruktūrą, preliminari teritorijos paruošimo darbų trukmė vyktų apie 2 savaites.

3.3.3. Trumpalaikio turto (apyvartinių lėšų) vertės skaičiavimas

Trumpalaikio turto poreikis yra nustatomas norint užtikrinti nepertraukiamą gamybos procesą. Skaičiavimai yra atliekami remiantis metiniais gamybos kaštais. Trumpalaikio turto (apyvartinių lėšų) poreikis yra pateikiamas 11 lentelėje.

11 lentelė. Trumpalaikio turto (apyvartinių lėšų) poreikis

Rodiklis	Projekto gyvavimo metai					
	0	1	2	3	4	5
1. Gamybos kaštai, mln. Eur	–	237,2	298	302	276,85	250,73
2. Apyvartinių lėšų metinis poreikis, mln. Eur	–	29,65	37,25	37,75	34,61	31,34
3. Apyvartinių lėšų papildomas poreikis, mln. Eur	5,93	23,72	7,6	0,5	-3,14	-3,27

Pirmaisiais metais apyvartinių lėšų poreikis siekia 29,65 mln. Eur. Antraisiais ir trečiaisiais projekto gyvavimo metais apyvartinių lėšų poreikis padidėja dėl numatomų gamybos kaštų didėjimo. Ketvirtaisiais ir penktaisiais projekto metais pastebimas apyvartinių lėšų poreikio sumažėjimas, todėl apyvartinių lėšų papildomas poreikis tampa neigiamas. Tai rodo, jog ketvirtaisiais ir penktaisiais metais finansavimo poreikis gali sumažėti.

3.3.4. Produkcijos gamybos apimties planavimas

Planuojant produkcijos gamybos apimtis yra daroma prielaida, jog pardavimų planas sutampa su gamybos planu, t. y., visa pagaminta produkcija einamaisiais metais yra realizuota. Šiuo atveju brandos stadijai yra pasirinkti antrieji ir tretieji gamybos metai, kur įsisavinimo koeficientas yra lygus vienam. Apimtys pateikiamos 12 lentelėje.

12 lentelė. Produkcijos gamybos apimties planavimas

Projekto metai	Įsisavinimo koeficientas	Gamybos apimtis, mln. t/metus
		Žalioji amoniakas
1	0,8	0,44
2	1,0	0,55
3	1,0	0,55
4	0,9	0,495
5	0,8	0,44

Brandos stadijos metais numatyta, kad žaliojo amoniako bus pagaminta 0,55 mln. tonų per metus. Pirmaisiais ir penktaisiais metais pasirinkta, jog įsisavinimo koeficientas yra 0,8, todėl žaliojo amoniako bus pagaminta 0,44 mln. tonų per metus. Ketvirtaisiais projekto metais įsisavinimo koeficientas yra 0,9, o žaliojo amoniako gamybos apimtis sieks 0,495 mln. tonų per metus.

3.3.5. Tiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas

Produkcijos gamybos apimties planavimui yra būtina įvertinti pagrindinius tiesioginius gamybos kaštus, kurie yra tiesiogiai susiję su gamybos procesu. Tiesioginiams gamybos kaštams yra priskiriamos išlaidos žaliavoms, pagrindinių gamybinių darbininkų darbo užmokesčiui technologinių procesų energijai. 13 lentelėje yra pateikiamos išlaidos pagrindinėms gamybinėms žaliavoms bei medžiagoms.

13 lentelė. Išlaidos pagrindinėms žaliavoms ir medžiagoms

Medžiagos (žaliavos) pavadinimas	Žaliojo amoniako gamybos planas, mln. t/metus	Medžiagų sunaudojimo norma gaminiui, m ³ /t	Medžiagos kaina, Eur/m ³	Medžiagos poreikis, m ³	Medžiagų kaštai	
					Gaminio, Eur/t	Viso, mln. Eur
<i>1 ir 5 metai</i>						
Kalio hidroksidas, 20 %	0,44	0,000742	1547	326,48	1,15	0,5
Gamtinės dujos		424,45	0,62	186758000	263,16	115,79
<i>2 ir 3 metai</i>						
Kalio hidroksidas, 20 %	0,55	0,000742	1547	408,1	1,15	0,63
Gamtinės dujos		424,45	0,62	233447500	263,16	144,74
<i>4 metai</i>						
Kalio hidroksidas, 20 %	0,495	0,000742	1547	367,29	1,15	0,56
Gamtinės dujos		424,45	0,62	210102750	263,16	130,26

Žaliavų poreikis apskaičiuotas remiantis nustatytais sunaudojimo normomis vienai produkto tonai bei planuojama gamybos apimtimi. Žaliavų kainos nustatytos pagal rinkos duomenis: gamtinių dujų kaina priimta pagal AB „Ignitis“ duomenis ir sudaro 0,62 Eur/m³, o kalio hidroksido kaina nustatyta pagal UAB „Lerochem“ duomenis – 5,8 Eur/kg 90 % grynumo kietosios būsenos medžiagai [38, 39]. Brandos stadijos metais (antraisiais ir trečiaisiais projekto metais), kai žaliojo amoniako gamybos apimtis siekia 0,55 mln. tonų per metus, gamtinių dujų poreikis sudaro 233,45 mln. m³, o išlaidos – 144,74 mln. Eur. Kalio hidroksido poreikis šiuo laikotarpiu sudaro 408,1 m³, o išlaidos – 0,63 mln. Eur. Pirmaisiais ir penktaisiais projekto metais, sumažėjus gamybos apimčiai iki 0,44 mln. tonų per metus, gamtinių dujų sąnaudos sumažėja iki 115,79 mln. Eur, o kalio hidroksido – iki 0,50 mln. Eur. Ketvirtaisiais projekto metais, esant 0,495 mln. tonų per metus gamybos apimčiai, bendros žaliavų sąnaudos užima tarpinę padėtį, t. y. gamtinių dujų išlaidos sudaro 130,26 mln. Eur, o kalio hidroksido – 0,56 mln. Eur.

Prie tiesioginių gamybos išlaidų yra priskiriamas ir darbo užmokestis gamybos darbuotojams, t. y., operatoriams. Detalios tiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui yra pateikiamos 14 lentelėje.

14 lentelė. Tiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui

Gaminiai	Gamybos apimtis, mln. t/metus	Valandinis atlyginimas, Eur	Darbuotojų skaičius	Darbo užmokestis, tūkst. Eur	Atskaitymai VSD, GF, IDIF tūkst. Eur
<i>1 metai</i>					
Amoniakas	0,44	12,29	24	646,22	11,44
<i>2 metai</i>					
Amoniakas	0,55	12,91	24	678,79	12,01
<i>3 metai</i>					
Amoniakas	0,55	14,07	24	739,67	13,09
<i>4 metai</i>					
Amoniakas	0,495	14,64	24	769,59	13,62
<i>5 metai</i>					
Amoniakas	0,44	15,81	24	831,15	14,71

Planuojama, jog tiesiogiai prie gamybos proceso bus įdarbinti 24 darbuotojai, kurie dirbs keturiomis pamainomis po šešis darbuotojus kiekvienoje pamainoje. Prognozuojama, jog valandinis darbo užmokestis nuosekliai didės kiekvienais metais. Didžiausias augimo tempas yra prognozuojamas brandos stadijoje (antraisiais ir trečiaisiais projekto metais), kai valandinis atlyginimas padidės apie 9 %, lyginant su ankstesniais metais. Kitais projekto metais valandinis darbo užmokesčio augimas prognozuojamas 4–8 % intervale.

Prognozuojant tiesioginius gamybos kaštus yra svarbu apskaičiuoti ir tiesiogines išlaidas elektros energijai, kurios yra skirtos įrenginių veikimui. 15 lentelėje yra pateikiamos prognozuojamos išlaidos elektros energijai.

15 lentelė. Tiesioginės išlaidos elektros energijai

Įrenginių variklių suminis aktyvinis galingumas, MW	Variklių galingumo 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=1x2x3	5	6=4x5
<i>1 metai</i>					
220	0,80	8400	1478400	75	110,88
<i>2 metai</i>					
220	1	8400	1848000	77	142,30
<i>3 metai</i>					
220	1	8400	1848000	79	145,99
<i>4 metai</i>					
220	0,90	8400	1663200	81	134,72
<i>5 metai</i>					
220	0,80	8400	1478400	83	122,71

Tiesioginės išlaidos elektros energijai apskaičiuotos įvertinus įrenginių variklių suminį aktyvinių galingumą, variklių galingumo panaudojimo koeficientą bei metinį efektyvų darbo laiką. Skaičiavimuose priimta, kad šarminio vandens elektrolizerio ir pagalbinės įrangos suminė aktyvinė galia sudaro 220 MW, o metinis efektyvus darbo laikas – 8400 h. Elektros energijos kaina nustatyta remiantis Nordpool elektros biržos duomenimis Lietuvos kainų zonoje, taikant prognozuojamą kainos augimą nuo 75 Eur/MWh pirmaisiais metais iki 83 Eur/MWh penktaisiais metais [40].

Didžiausias elektros energijos poreikis numatytas antraisiais ir trečiaisiais projekto metais, kai įrenginių panaudojimo koeficientas lygus 1,0, o elektros energijos poreikis sudaro 1848000 MWh/metus, o išlaidos siekia 142,30 mln. Eur ir 145,99 mln. Eur. Pirmaisiais ir penktaisiais projekto metais, esant 0,80 panaudojimo koeficientui, elektros energijos poreikis sumažėja iki 1478400 MWh/metus, o išlaidos sudaro 110,88 mln. Eur ir 122,71 mln. Eur. Ketvirtaisiais projekto metais elektros energijos poreikis sudaro 1663200 MWh/metus, o išlaidos – 134,72 mln. Eur.

3.3.6. Netiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas

Vertinant projekto kaštus yra svarbu atsižvelgti ne tik į tiesioginius gamybos kaštus, bet ir netiesioginius gamybos kaštus, kurie nėra tiesiogiai susiję su gamybos procesu. Vertinant netiesioginius gamybos kaštus yra svarbu įvertinti darbo užmokesčių netiesiogiai su gamybos procesu susijusiems darbuotojams, energijai bei įrenginių nusidėvėjimui (amortizacijai). 16 lentelėje yra pateikiama netiesioginių išlaidų darbo užmokesčiui skaičiavimai.

16 lentelė. Netiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui

Projekto gyvavimo metai	Profesijos pavadinimas	Darbuotojų skaičius	Mėnesio alga, Eur/mėn. prieš mokesčius	Darbo užmokestis per metus, tūkst. Eur	Atskaitymai socialiniam draudimui
	1	2	3	4=2x3x12 mėn.	5=1,77 % nuo 4
1 metai	Cecho viršininkas	1	4500	54	0,96
	Vyr. inžinierius	1	3800	45,60	0,81
	Technologas	1	3300	39,60	0,70
	Skyriaus inžinierius	1	3100	37,20	0,66
	Elektrikas	4	2700	129,60	2,29
	Valytojas	2	1153	27,67	0,49
2 metai	Cecho viršininkas	1	4800	57,60	1,02
	Vyr. inžinierius	1	4050	48,60	0,86
	Technologas	1	3500	42	0,74
	Skyriaus inžinierius	1	3300	39,60	0,70
	Elektrikas	4	2875	138	2,44
	Valytojas	2	1280	30,72	0,54
3 metai	Cecho viršininkas	1	5150	61,80	1,09

	Vyr. inžinierius	1	4350	52,20	0,92
	Technologas	1	3750	45	0,80
	Skyriaus inžinierius	1	3550	42,60	0,75
	Elektrikas	4	3075	147,60	2,61
	Valytojas	2	1421	34,10	0,60
4 metai	Cecho viršininkas	1	5500	66	1,17
	Vyr. inžinierius	1	4650	55,80	0,99
	Technologas	1	4000	48	0,85
	Skyriaus inžinierius	1	3800	45,60	0,81
	Elektrikas	4	3300	158,40	2,80
	Valytojas	2	1577	37,85	0,67
5 metai	Cecho viršininkas	1	5900	70,80	1,25
	Vyr. inžinierius	1	5000	60	1,06
	Technologas	1	4300	51,60	0,91
	Skyriaus inžinierius	1	4050	48,60	0,86
	Elektrikas	4	3550	170,40	3,02
	Valytojas	2	1750	42	0,74

Netiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui apskaičiuotos įvertinus papildomų darbuotojų bei cecho administracijos personalo poreikį projekto vykdymo laikotarpiu. Darbo užmokesčio fondą sudaro cecho viršininko, vyr. inžinieriaus, technologo, skyriaus inžinieriaus, elektrikų bei valytojų darbo užmokesčiai ir su juo susiję socialinio draudimo atskaitymai (VSD, GF ir IDIF), sudarantys 1,77 % nuo darbo užmokesčio fondo.

Didžiausios darbo užmokesčio išlaidos tenka elektrikų grupei dėl didžiausio darbuotojų skaičiaus, o mažiausios – valytojų pareigybei. Vertinant penkerių metų laikotarpį numatytas darbo užmokesčio augimas, atsižvelgiant į darbo rinkos tendencijas ir prognozuojamą minimalios mėnesinės algos didėjimą. Dėl to bendras darbo užmokesčio fondas padidėja nuo 333,67 tūkst. Eur pirmaisiais metais iki 443,40 tūkst. Eur penktaisiais metais, o socialinio draudimo atskaitymai atitinkamai išauga nuo 5,91 tūkst. Eur iki 7,84 tūkst. Eur.

Netiesioginių išlaidų vandeniui skaičiavimai pateikiami 17 lentelėje. Vandens poreikis apskaičiuotas įvertinus buitiniams poreikiams tenkantį šalto vandens sunaudojimą vienam darbuotojui per parą bei vidutinį darbuotojų skaičių objekte. Skaičiavimuose priimta, kad vienam darbuotojui tenka 60 l vandens per parą, o remiantis UAB „Jonavos vandenys“ duomenimis, vandens kaina siekia 2,91 Eur/m³ [41].

17 lentelė. Netiesioginės išlaidos vandeniui

Išlaidų pavadinimas	Sunaudojimas per parą, l/1 dirb.	Poreikis metams, m ³	1 m ³ vandens kaina, Eur	Išlaidos vandeniui, tūkst. Eur
1	2	3	4	5=3x4
Šaltam vandeniui	60	419,33	2,91	1,22

Metinis šalto vandens poreikis sudaro 419,33 m³, o išlaidos vandeniui siekia 1,22 tūkst. Eur per metus. Kadangi šios išlaidos susijusios tik su darbuotojų būtinais poreikiais, jos sudaro nedidelę bendrųjų netiesioginių kaštų dalį.

Netiesioginių kaštų apšvietimui skaičiavimai pateikiami 18 lentelėje. Elektros energijos poreikis patalpoms apšviesti apskaičiuotas įvertinus patalpų plotą, apšvietimo normą bei apšvietimo veikimo trukmę per metus. Skaičiavimuose priimta, kad bendras patalpų plotas sudaro 8500 m², apšvietimo norma – 3,2 W/m², o metinis apšvietimo veikimo laikas – 5500 h. Elektros energijos kaina nustatyta remiantis Nordpool elektros biržos duomenimis, taikant prognozuojamą kainos augimą projekto laikotarpiu.

18 lentelė. Netiesioginės išlaidos apšvietimui

Projekto metai	Patalpų plotas	Apšvietimo norma, W/m ²	Energijos kiekis patalpoms apšviesti, MWh	1 MWh kaina, Eur	Išlaidos apšvietimui per metus, tūkst. Eur	Ekspluatacinės išlaidos, tūkst. Eur	Viso išlaidų, tūkst. Eur
1	2	3	4	5	6=4x5	7=6x(15–20 %)	8=6+7
1	8500	3,2	149,60	75	11,22	1,68	12,90
2	8500	3,2	149,60	77	11,52	1,73	13,25
3	8500	3,2	149,60	79	11,82	1,77	13,59
4	8500	3,2	149,60	81	12,12	1,82	13,94
5	8500	3,2	149,60	83	12,42	1,86	14,28

Energijos kiekis patalpoms apšviesti visais projekto metais išlieka pastovus ir sudaro 149,60 MWh per metus, kadangi nesikeičia nei patalpų plotas, nei apšvietimo parametrai. Dėl prognozuojamo elektros energijos kainos didėjimo apšvietimo išlaidos padidėja nuo 11,22 tūkst. Eur pirmaisiais metais iki 12,42 tūkst. Eur penktaisiais metais. Įvertinus eksploatacines išlaidas, bendros apšvietimo sąnaudos išauga nuo 12,90 tūkst. Eur iki 14,28 tūkst. Eur per metus.

Pagrindinių priemonių nusidėvėjimas (amortizacija)

Ilgalaikio turto nusidėvėjimo (amortizacijos) skaičiavimai pateikiami 19 lentelėje. Projekte taikomas tiesinis ilgalaikio turto nusidėvėjimo apskaičiavimo metodas, kai metinė nusidėvėjimo suma apskaičiuojama remiantis turto įsigijimo verte, likvidacine verte bei normatyvine eksploatacine trukme:

$$N = \frac{V_1 - V_2}{T} \quad (4)$$

čia N – metinė nusidėvėjimo vertė, Eur;

V₁ – turto pradinė vertė, Eur;

V₂ – turto likvidacinė vertė, Eur;

T – normatyvinė turto eksploatavimo trukmė, metais.

Skaičiavimuose taikyta 4,5 % metinė nusidėvėjimo norma technologinei įrangai ir slėginėms vandenilio saugojimo talpykloms bei 3 % metinė nusidėvėjimo norma elektrolizerio patalpoms, įvertinus 10 % likvidacinę vertę.

19 lentelė. Ilgalaikio turto nusidėvėjimas (amortizacija)

Ilgalaikio turto rūšis	Įsigijimo vertė, mln. Eur	Normatyvinė eksploatavimo trukmė, metai	Nusidėvėjimo suma, mln. Eur metams					Likutinė vertė, mln. Eur
			1	2	3	4	5	
Šarminis vandens elektrolizeris	415	20	18,68	18,68	18,68	18,68	18,68	321,6
Šarminio vandens elektrolizerio patalpos	14,42	30	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	12,27
Slėginės vandenilio saugojimo talpyklos	1,8	20	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	1,4
Viso:	431,22	–	19,19	19,19	19,19	19,19	19,19	335,27

Kaip nurodyta 19 lentelėje, didžiausi amortizaciniai atskaitymai tenka šarminiam vandens elektrolizeriui, kurio įsigijimo vertė sudaro 415 mln. Eur, o metinė nusidėvėjimo suma – 18,68 mln. Eur. Elektrolizerio patalpų amortizacija sudaro 0,43 mln. Eur per metus, o slėginių vandenilio saugojimo talpyklų – 0,08 mln. Eur per metus. Vertinant bendrą ilgalaikio turto nusidėvėjimą, metinė amortizacijos suma visais projekto metais išlieka pastovi ir sudaro 19,19 mln. Eur, kadangi taikomas tiesinis nusidėvėjimo metodas. Tuo tarpu bendra likutinė turto vertė projekto pabaigoje sudaro 43,12 mln. Eur.

Netiesioginių gamybos išlaidų sąmata pateikiama 20 lentelėje. Į netiesiogines gamybos išlaidas įtrauktos pagalbinių medžiagų, papildomų darbuotojų ir cecho administracijos darbo užmokesčio bei su juo susijusių socialinio draudimo atskaitymų, apšvietimo, buitinio vandens, amortizacijos, pagalbinių ir aptarnaujančių tarnybų paslaugų, įrengimų ir vidaus transporto remonto, gamybinių cechų pastatų remonto bei kitų veiklai būtinų išlaidų sąnaudos.

20 lentelė. Netiesioginių gamybos išlaidų sąmata

Išlaidų rūšys	Projekto metai				
	1	2	3	4	5
	Išlaidos, tūkst. Eur.				
Darbo užmokestis (papildomų darb. ir cecho administracijos)	333,67	356,52	383,3	411,65	443,4

Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	5,91	6,3	6,77	7,29	7,84
Elektros energija (apšvietimui)	12,90	13,25	13,59	13,94	14,28
Vanduo (buičiai)	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22
Amortizaciniai atskaitymai	19,19	19,19	19,19	19,19	19,19
Pagalbinių ir aptarnaujančių tarnybų paslaugos	1080	1112,40	1145,77	1180,14	1215,54
Iš viso:	1452,89	1508,88	1569,84	1633,43	1701,47

Didžiausią netiesioginių gamybos išlaidų dalį visais projekto metais sudaro pagalbinių ir aptarnaujančių tarnybų paslaugos. Reikšmingą sąnaudų dalį taip pat sudaro darbo užmokestis. Vertinant bendrą netiesioginių gamybos išlaidų pokytį, matomas jų didėjimas – nuo 1452,89 tūkst. Eur pirmaisiais projekto metais iki 1701,47 tūkst. Eur penktaisiais metais, daugiausia dėl darbo užmokesčio, pagalbinių ir aptarnaujančių tarnybų paslaugų bei amortizacinių atskaitymų.

Bendri gamybos kaštai apskaičiuoti įvertinus pagrindinių medžiagų, energijos technologijai, pagrindinių gamybos darbuotojų darbo užmokesčio ir su juo susijusių atskaitymų bei netiesioginių gamybos išlaidų sąnaudas. Gamybos kaštai pateikiami 21 lentelėje.

21 lentelė. Gamybos kaštai

Kaštų rūšys (komponentai)	Gamybos kaštai, mln. Eur
<i>1 metai</i>	
1. Pagrindinės medžiagos	116,29
2. Energija technologijai	110,88
3. Gamybinių darbininkų (pagrindinių) darbo užmokestis	0,65
4. Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	0,011
5. Gamybinės netiesioginės išlaidos	1,45
Viso gamybos kaštų, mln. Eur	229,28
Produkcijos gamybos planas, mln. t/metus	0,44
Gaminio gamybinė savikaina, Eur/t	521,09
<i>2 metai</i>	
1. Pagrindinės medžiagos	145,37
2. Energija technologijai	142,30
3. Gamybinių darbininkų (pagrindinių) darbo užmokestis	0,68
4. Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	0,012
5. Gamybinės netiesioginės išlaidos	1,51
Viso gamybos kaštų, mln. Eur	289,87
Produkcijos gamybos planas, mln. t/metus	0,55
Gaminio gamybinė savikaina, Eur/t	527,04
<i>3 metai</i>	

1. Pagrindinės medžiagos	145,37
2. Energija technologijai	145,99
3. Gamybinių darbininkų (pagrindinių) darbo užmokestis	0,74
4. Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	0,013
5. Gamybinės netiesioginės išlaidos	1,57
Viso gamybos kaštų, mln. Eur	293,63
Produkcijos gamybos planas, mln. t/metus	0,55
Gaminio gamybinė savikaina, Eur/t	534,42
<i>4 metai</i>	
1. Pagrindinės medžiagos	130,82
2. Energija technologijai	134,72
3. Gamybinių darbininkų (pagrindinių) darbo užmokestis	0,77
4. Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	0,014
5. Gamybinės netiesioginės išlaidos	1,63
Viso gamybos kaštų, mln. Eur	267,95
Produkcijos gamybos planas, mln. t/metus	0,495
Gaminio gamybinė savikaina, Eur/t	541,31
<i>5 metai</i>	
1. Pagrindinės medžiagos	116,29
2. Energija technologijai	122,71
3. Gamybinių darbininkų (pagrindinių) darbo užmokestis	0,83
4. Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	0,015
5. Gamybinės netiesioginės išlaidos	1,7
Viso gamybos kaštų, mln. Eur	241,55
Produkcijos gamybos planas, mln. t/metus	0,44
Gaminio gamybinė savikaina, Eur/t	548,98

Didžiausią gamybos kaštų dalį visais projekto metais sudaro pagrindinių medžiagų ir energijos technologijai išlaidos. Didžiausi bendri gamybos kaštai nustatyti trečiaisiais projekto metais ir sudaro 293,63 mln. Eur, o mažiausi – pirmaisiais metais, kai siekia 229,28 mln. Eur.

3.3.7. Veiklos kaštai

Analizuojant projekto ekonominį vertinimą yra svarbu išskirti ir veiklos sąnaudas. Veiklos sąnaudos apibrėžiamos kaip tokios išlaidos, kurios tiesiogiai nėra susijusios su gamyba, tačiau yra būtinos užtikrinti sklandžią įmonės veiklą. Šios sąnaudos sudaro apie 1,5 % gamybos kaštų. Veiklos sąnaudos yra pateikiamos 22 lentelėje.

22 lentelė. Veiklos sąnaudos

Išlaidų rūšys	Suma, mln. Eur
<i>1 metai</i>	
Administracinės ir bendrosios veiklos sąnaudos	3,44
<i>2 metai</i>	

Administracinės ir bendrosios veiklos sąnaudos	4,35
<i>3 metai</i>	
Administracinės ir bendrosios veiklos sąnaudos	4,41
<i>4 metai</i>	
Administracinės ir bendrosios veiklos sąnaudos	4,02
<i>5 metai</i>	
Administracinės ir bendrosios veiklos sąnaudos	3,62

Pirmaisiais projekto metais administracinės ir bendrosios veiklos sąnaudos sudaro 3,44 mln. Eur. Antraisiais ir trečiaisiais projekto metais šios sąnaudos atitinkamai siekia 4,35 mln. Eur ir 4,41 mln. Eur. Veiklos sąnaudų padidėjimą gali lemti padidėjusios gamybos apimtys ir administracinių procesų intensyvėjimas. Ketvirtaisiais ir penktaisiais projekto metais yra numatomas veiklos sąnaudų sumažėjimas. Šios tendencijos gali rodyti efektyvesnę išteklių panaudojimą bei optimizaciją valdymo procesuose.

3.3.8. Finansinės veiklos sąnaudos

Finansinėms veiklos sąnaudoms yra priskiriamos palūkanos už banko suteikiamą paskolą. Projekto įgyvendinimui bei ilgalaikio turto įsigijimui yra tikslinga rinktis ilgalaikę banko paskolą. Palūkanų mokėjimo ir paskolos grąžinimo planas yra pateikiamas 23 lentelėje.

23 lentelė. Palūkanų mokėjimo ir paskolos grąžinimo planas

Rodiklis	Projekto gyvavimo metai				
	1	2	3	4	5
1. Paskolos suma, mln. Eur	130,04	104,03	78,02	52,01	26,01
2. Metinė palūkanų norma, proc.	4,56	4,56	4,56	4,56	4,56
3. Palūkanos, mln. Eur	5,93	4,74	3,56	2,37	1,19
4. Paskolos padengimas, mln. Eur	31,94	30,75	29,57	28,38	27,19

Projekto gyvavimo laikotarpiu yra numatyta paskolą grąžinti lygiomis dalimis, t. y., paskolos ir palūkanų mokėjimas yra apskaičiuojamas linijiniu būdu. Metinė palūkanų norma yra pasirinkta remiantis Lietuvos banko 2026 m. kovo mėnesio duomenimis. Mažėjant negrąžintos ilgalaikės paskolos sumos likučiui, atitinkamai mažėja ir palūkanų suma, t. y., nuo 5,93 mln. Eur pirmaisiais projekto metais iki 1,19 mln. Eur penktaisiais projekto metais. Ši paskolos grąžinimo struktūra leidžia sumažinti finansinę naštą ir užtikrinti stabilesnį pinigų srautų valdymą.

3.3.9. Gaminių kainos skaičiavimas

Remiantis anksčiau atliktais skaičiavimais yra nustatoma amoniako pilnoji savikaina. Rezultatai yra pateikiami 24 lentelėje.

24 lentelė. Gaminių kainų apskaičiavimas

Gaminiai	Gaminio gamybinė savikaina, Eur/t	Gaminiui tenkančios veiklos sąnaudos, Eur/t	Gaminiui tenkančios investicinės veiklos sąnaudos, Eur/t	Gaminio pilnoji savikaina, Eur	Pelnas		Kaina
					%	Eur/t.	Eur/t
<i>1 metai</i>							
Amoniakas	521,09	7,82	13,48	542,39	24	130,17	672,56
<i>2 metai</i>							
Amoniakas	527,04	7,91	8,62	543,57	26	141,33	684,89
<i>3 metai</i>							
Amoniakas	534,42	8,02	6,47	548,91	28	153,69	702,60
<i>4 metai</i>							
Amoniakas	541,31	8,12	4,79	554,22	30	166,26	720,48
<i>5 metai</i>							
Amoniakas	548,98	8,23	2,71	559,92	34	190,37	750,29

Atsižvelgiant į apskaičiuotą gaminio pilnąją savikainą, galima teigti, jog amoniako pilnoji savikaina svyruoja nuo 542,39 Eur/t iki 559,92 Eur/t viso projekto laikotarpiu. Nustačius pelningumo normą, apskaičiuota amoniako pardavimo kaina didėja nuo 672,56 Eur/t iki 750,29 Eur/t.

3.3.10. Projekto pelnas ir grynąjų pinigų srautai

Norint įvertinti projekto ekonominį efektyvumą yra sudaroma įmonės pelno (nuostolio) ataskaita, kurioje yra pateikiami pagrindiniai finansiniai rodikliai. Pagrindinė šios ataskaitos esmė yra įsivertinti projekto grynąjį pelną (nuostolius).

25 lentelė. Įmonės pelno (nuostolio) ataskaita, mln. Eur

Rodiklis	Projekto gyvavimo metai				
	1	2	3	4	5
1. Pardavimų pajamos	295,93	376,69	386,43	356,64	333,13
2. Parduodamos produkcijos gamybos kaštai	229,28	289,87	293,63	267,95	241,55
3. Bendras pelnas (nuostolis)	66,65	86,82	92,80	88,69	91,58
4. Veiklos sąnaudos	3,44	4,35	4,41	4,02	3,62
5. Veiklos pelnas (nuostolis)	63,21	82,47	88,39	84,67	87,96
6. Finansinė ir investicinė veikla (sąnaudos)	5,93	4,74	3,56	2,37	1,19

7. Pelnas (nuostolis) prieš apmokestinimą	57,28	77,73	84,83	82,30	86,77
8. Pelno mokestis	9,74	13,21	14,42	13,99	14,75
9. Grynas pelnas (nuostolis)	47,54	64,51	70,41	68,31	72,02

25 lentelėje yra pateikiama projekto pelno (nuostolio) ataskaita penkeriems metams. Iš rezultatų galima matyti, jog grynas pelnas kiekvienais metais turi tendenciją didėti nuo 47,54 mln. Eur iki 72,02 mln. Eur.

3.3.11. Finansinės būklės pakitimų (pinigų srautų) ataskaita

Norint įvertinti piniginių lėšų judėjimą projekto laikotarpiu, sudaroma finansinės būklės pakitimų (pinigų srautų) ataskaita. Pinigų srautų analizė yra būtina norint įvertinti projekto ekonominį efektyvumą. Grynujų metų pinigų srautai yra pateikiami 26 lentelėje.

26 lentelė. Finansinės būklės pakitimų (pinigų srautų) ataskaita, mln. Eur

Eil. Nr.	Rodikliai	Projekto metai					
		0	1	2	3	4	5
I.	Pinigų srautai iš įmonės įprastinės veiklos						
1.1.	Grynas pelnas (nuostolis)	0	47,54	64,51	70,41	68,31	72,02
1.2.	Nusidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudos	0	19,19	19,19	19,19	19,19	19,19
1.3.	Papildomos investicijos į apyvartinį kapitalą	5,93	23,72	7,6	0,5	-3,14	-3,27
1.4.	Finansinės veiklos sąnaudų eliminavimas	0	31,94	30,75	29,57	28,38	27,19
	Grynieji pinigų srautai iš įmonės įprastinės veiklos (1.1+ 1.2 - 1.3 - 1.4)	-5,93	11,12	45,42	59,61	62,37	67,37
II.	Pinigų srautai iš investicinės veiklos						

2.1.	Ilgalaikio turto perleidimas (įsigijimas)	-431,37	0	0	0	0	335,27
	Grynieji pinigų srautai iš investicinės veiklos	-431,37	0	0	0	0	335,27
III.	Grynieji metiniai pinigų srautai (I+II)	-437,3	11,12	45,42	59,61	62,37	402,64

Įprastinės veiklos grynujų pinigų srautas pirmaisiais projekto metais yra neigiamas, tačiau nuo antrųjų metų jis tampa teigiamas ir nuosekliai didėja. Investicinės veiklos grynujų pinigų srautai didžiausią neigiamą poveikį turi nuliniiais metais dėl ilgalaikio turto įsigijimo (-431,37 mln. Eur), o penktaisiais metais fiksuojama teigiama suma (335,27 mln. Eur) dėl likutinės ilgalaikio turto vertės. Vertinant bendrus grynujų metinių pinigų srautus nustatyta, jog projektas antraisiais metais generuoja teigiamus pinigų srautus.

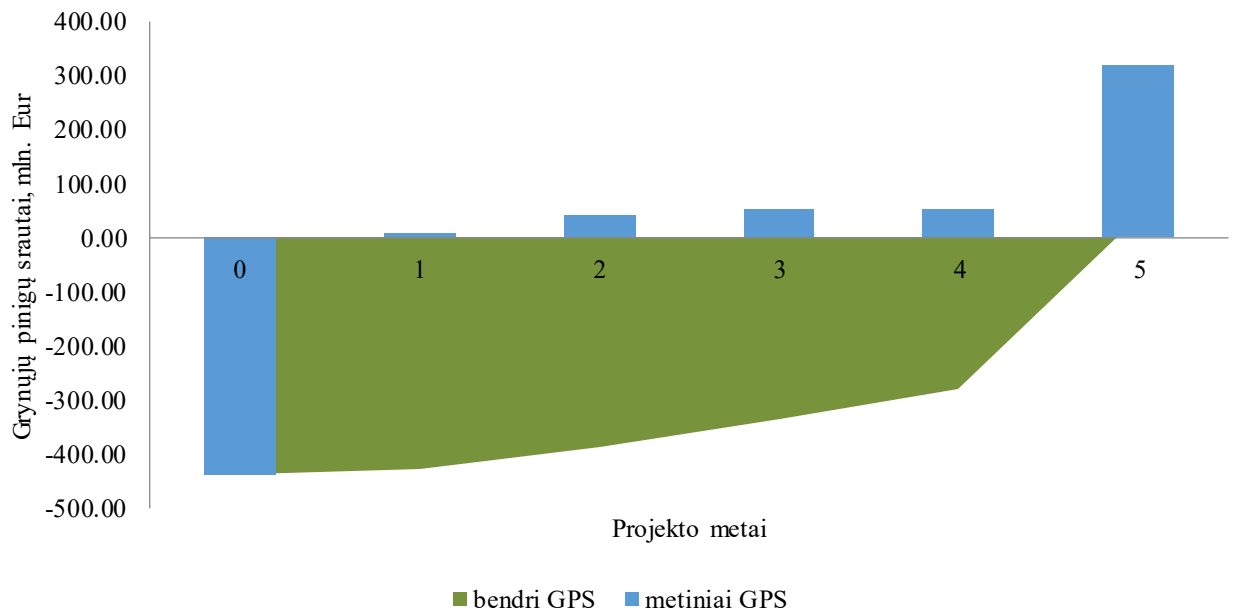
3.3.12. Projekto investicijų efektyvumo vertinimas

Atliekant projekto investicijų efektyvumo vertinimą yra svarbu apskaičiuoti projekto paprastųjų ir diskontuotų grynujų pinigų srautus. Skaičiavimai pateikiami 27 lentelėje.

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

Projekto metai	Paprasti GPS		Diskontuoti GPS	
	Metiniai GPS	Bendri GPS	Metiniai GPS	Bendri GPS
0	-437,30	-437,30	-437,30	-437,30
1	11,12	-426,18	10,63	-426,67
2	45,42	-380,76	41,48	-385,19
3	59,61	-321,15	52,03	-333,17
4	62,37	-258,78	52,02	-281,14
5	402,64	143,62	320,75	39,61

Remiantis lentelėje pateikiamais duomenimis galima matyti, kad grynieji pinigų srautai iki ketvirtųjų metų išlieka neigiami dėl investicijų į ilgalaikį turtą. Išvelgiama, jog diskontuoti grynujų pinigų srautai tampa teigiami penktaisiais projekto metais, o tai reiškia, kad projektas atsiperka.



20 pav. Projekto diskontuoti pinigų srautai

20 paveiksle yra pateikiamas diskontuotų grynujų pinigų srautų grafikas. Matoma, kad penktaisiais projekto metais grynieji pinigų srautai tampa teigiami.

28 lentelėje yra apskaičiuojami ekonominio vertinimo rodikliai, kurie padeda įvertinti projekto ekonominę naudą. Vertinant projektą apskaičiuojamas diskontuotas atsipirkimo laikas, grynoji esamoji vertė, vidinė pelno (gražos) norma, modifikuota vidinė pelno norma bei pelningumo indeksas.

28 lentelė. Projekto ekonominio vertinimo rodikliai

Rodikliai	Matavimo vienetai	Reikšmės
Diskontuotas atsipirkimo laikas	metai	4,88
Grynoji esamoji vertė (GEV)	mln. Eur	39,61
Vidinė pelno (gražos) norma (IRR)	%	6,8
Modifikuota vidinė pelno norma (MIRR)	%	6,5
Pelningumo indeksas (PI)	koeficientas	1,09

Projektas per nagrinėjamą penkerių metų laikotarpį atsiperka, prognozuojamas diskontuotas atsipirkimo laikas siekia 4,88 metų. Grynoji esamoji vertė yra neigiama ir siekia 39,61 mln. Eur. Pelningumo indeksas lygus 1,09, t. y. didesnis už vieneta, todėl projektas yra ekonomiškai efektyvus.

Lūžio taškas parodo tokią gamybos ir pardavimų apimtį, kai bendrosios pajamos yra lygios bendriesiems kaštams, o įmonės pelnas yra lygus nuliui. Šis taškas parodo, kiek įmonei yra būtina pagaminti produkcijos, kad įmonė pradėtų veikti pelningai. Lūžio taško skaičiavimo rezultatai pateikiami 29 lentelėje.

29 lentelė. Lūžio taško skaičiavimas

Rodikliai	Gaminio pavadinimas
Pastoviųjų kaštų suma, priskirta gaminiui Eur	431370000
Gaminio kaina, Eur	684,89
Gaminio kintamieji kaštai, Eur	527,04
Lūžio taškas, t	2732784
Pardavimų planas, t	550000

Apskaičiavus lūžio tašką gauta, jog turi būti pagaminta 2,7 mln. tonos produkcijos, kad būtų padengtos visos projekto sąnaudos. Tai parodo, jog projektas bus ekonomiškai efektyvus tik ilguoju laikotarpiu.

Taip pat yra sudaromas projekto balansas, kuriame yra pateikiami grynųjų ir būsimųjų pinigų srautai kiekvienų projekto gyvavimo metų laikotarpiu. Projekto balanso duomenys pateikiami 30 lentelėje.

30 lentelė. Projekto balansas

Projekto gyvavimo metai	0	1	2	3	4	5
0	-437.30	-437.30	-437.30	-437.30	-437.30	-437.30
1		11.12	11.12	11.12	11.12	11.12
2			45.42	45.42	45.42	45.42
3				59.61	59.61	59.61
4					62.37	62.37
5						402.40
Būsimieji GPS	-437.30	-426.18	-380.76	-321.15	-258.78	143.62

Įžvelgiama, jog nuo antrųjų projekto metų yra generuojami teigiami grynųjų pinigų srautai. Būsimieji pinigų srautai penktaisiais metais tampa teigiami ir siekia 143,62 mln. Eur, tai parodo, kad projektas per analizuojamą laikotarpį pasiekia teigiamą finansinį rezultatą.

3.3.13. Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai

Apibendrinimui yra pateikiami pagrindiniai projekto finansiniai ir ekonominiai rodikliai, kurie padeda įvertinti projekto ekonominį efektyvumą. 31 lentelėje yra pateikiami suvestiniai duomenys.

31 lentelė. Projekto finansiniai ekonominiai rodikliai

Rodikliai	Reikšmė
1. Produkcijos pardavimo apimtis, natūriniais vienetais brandos stadijoje:	550000
2. Pardavimų pajamos, mln. Eur	376,69
3. Įmonės personalas, žmonėmis	34
tame skaičiuje darbininkai	24
4. Darbo našumas, tūkst. Eur	

Darbuotojo	11,10
Darbininko	15,72
5. Vidutinis metinis darbo užmokestis, Eur	
Darbuotojo	30450
Darbininko	28283
6. Gamybos kaštai, mln. Eur	289,87
7. Gaminio pilnoji savikaina, Eur	543,57
8. Grynasis pelnas, mln. Eur	64,51
9. Investicijų apimtis, mln. Eur	437,3
10. Bendrasis pelningumas, %	23
11. Veiklos pelningumas, %	21,9
12. Grynasis pelningumas, %	17,1
13. Investicijų grąža (ROI) %	14,75
14. Veiklos rentabilumas, %	21,93
15. Apyvartų skaičius per metus	8
16. Apyvartos trukmė, dienomis	45
17. Produkcijos imlumas apyvartinėms lėšoms, Eur	0,096
18. Projekto kapitalo kaštai, %	4,64
19. Projekto investicijų diskontuotas atsipirkimo laikas, metai	4,88
20. Projekto grynoji esamoji vertė, mln. Eur	39,61
21. Vidinė grąžos norma, %	6,8
22. Modifikuota vidinė grąžos norma, %	6,5
23. Pelningumo indeksas	1,09

Apibendrinant galima teigti, jog planuojama gamybos ir pardavimų apimtis siekia 550 tūkst. tonų per metus, o pardavimų pajamos sudaro 376,69 mln. Eur. Planuojama jog, prie projekto prisidės 34 darbuotojai, iš kurių 24 dirbs tiesiogiai gamybos procese. Apskaičiuota, jog gaminio pilnoji savikaina siekia 543,57 Eur/t, o grynasis pelnas brandos metais sudaro 64,51 mln. Eur. Projekto ekonominio efektyvumo vertinimas rodo, kad diskontuotas investicijų atsipirkimo laikotarpis siekia 4,88 metų. Grynoji esamoji vertė yra teigiama, t. y. 39,61 mln. Eur, finansiniai ir ekonominiai rodikliai indikuoja, kad projektas yra efektyvus.

3.4. Aplinkosauginis vertinimas

Aplinkosauginis vertinimas padės įvertinti planuojamo projekto poveikį aplinkai. Tai yra svarbu nustatyti, kadangi yra keliami griežtesni aplinkosauginiai reikalavimai gamybinėms įmonėms. Šiame skyriuje pateikiamos susidaranti atliekos, oro tarša, vandens poreikis ir nuotekų susidarymas.

3.4.1. Bendrieji duomenys

Projektuojamas įrenginys – 200 MW galios šarminis vandens elektrolizeris, skirtas žaliojo vandenilio gavybai ir jo integracijai amoniako sintezės procese. Elektrolizės proceso metu vanduo, naudojant elektros energiją, skaidomas į vandenilį ir deguonį. Vandenilio dujos tiekiamos ir sumaišomos su

šviežiu azoto-vandenilio mišiniu, naudojamu amoniako sintezėje. Deguonies dujos tiekiamos į krosnį sudeginimui. Pagamintas amoniakas naudojamas mineralinių trąšų gamybai.

32 lentelė. Duomenys apie gaminius (produkciją)

Pavadinimas	Mato vnt.	Kiekis per metus, mln.
Amoniakas	t	0,55

Integravus žaliąjį vandenilį yra pagaminama 0,55 mln. tonos amoniako per metus.

33 lentelė. Kuro ir energijos suvartojimas

Energetiniai ir technologiniai ištekliai	Matavimo vnt.	Sunaudojamas kiekis per metus	Išteklų gavimo šaltiniai
Elektros energija	MWh	1848000	Elektros tinklai

Visas elektros energijos kiekį naudoja elektrolizeris, žaliojo vandenilio gamybai.

34 lentelė. Duomenys apie naudojamas žaliavas, chemines medžiagas ar preparatus [42]

Žaliavos, cheminės medžiagos ar preparato pavadinimas	Kiekis per metus	Cheminės medžiagos ar preparato klasifikavimas ir ženklavimas		
		Kategorija	Pavojaus nuoroda	Rizikos frazės
Kalio hidroksidas, 20 %	408,1 m ³	Met. Corr. 1 Acute Tox. 4 Skin Corr. 1A Eye Dam. 1	GHS05, GHS07	H290, H302, H314, H318

3.4.2. Atliekos

Gamybos procese atliekos nesusidaro. Kalio hidroksidas, kuris yra naudojamas kaip elektrolitas, teoriškai nėra sunaudojamas.

3.4.3. Aplinkos oro tarša

Atliekant aplinkos oro taršos vertinimą, pirmiausia yra nustatomi stacionarių oro taršos šaltinių parametrai. Duomenys reikalingi teršalų išmetimų skaičiavimams ir galimo poveikio aplinkai vertinimui. Stacionarių oro taršos šaltinių parametrai pateikiami 35 lentelėje.

35 lentelė. Stacionarių oro taršos šaltinių duomenys

Pavadinimas	Aukštis, m	Angos skersmuo, m	Srauto greitis, g/s	Temperatūra, °C	Debitas, Nm ³ /s	Teršalų išmetimo trukmė, val/metus
Vietinė žvakė	25	0,2	0,45	18	0,014	–

Nustatyta, kad išmetamų dujų temperatūra yra 18 °C, o debitas siekia 0,014 Nm³/s. Šie rodikliai naudojami taršos į aplinkos orą skaičiavimams.

Taip pat yra vertinami momentiniai ir metiniai teršalų kiekiai. Tarša į aplinkos orą pateikta 36 lentelėje.

36 lentelė. Tarša į aplinkos orą [43]

Proceso (veiklos) pavadinimas	Taršos šaltiniai	Teršalai		Numatoma tarša			
	Pavadinimas	Pavadinimas	Kodas	Momentinis dydis			Metinė, t/m
				Vnt.	Vidut.	Maks.	
Gamyba	Vietinė žvakė	Amoniakas	134	mg/m ³	58,9	200	0,026

Nustatyta, kad vidutinis momentinis amoniako taršos kiekis sudaro 58,9 mg/m³, o maksimalus – 200 mg/m³. Metinis išmetamas teršalų kiekis siekia 0,026 tonos per metus.

3.4.4. Naudojamas vanduo ir susidaranti nuotekos

Norint įvertinti planuojamos technologijos vandens išteklius, nustatomas planuojamas maksimalus gauto vandens kiekis bei planuojamo suvartoti vandens didžiausias kiekis. Numatomas vandens paėmimas ir vartojimas pateikiamas 37 lentelėje.

37 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	500000	1369,86	59,52	Elektrolizeriams vandenilio gamybai	330000	904,11	39,29

Remiantis lentelėje pateikiamais duomenimis, planuojamas paimamo vandens kiekis iš Neries upės sudaro 500000 m³ per metus, arba 1369,86 m³ per parą. Didžioji vandens dalis numatoma naudoti elektrolizeriams vandenilio gamybai, kurių poreikis siekia 330 000 m³ per metus. Skirtumas tarp paimamo ir planuojamo suvartoti vandens kiekio yra siejamas su vandens paruošimo procesais bei pagalbinėmis reikmėmis.

4. Darbuotojų sauga ir sveikata

4.1. Projektuojamo objekto charakteristika

AB „Achema“ bendrovės teritorijoje, šalia amoniako cecho, yra projektuojamas naujas įrenginys – šarminis vandenilio elektrolizeris. Procese yra naudojamas kalio hidroksidas, vanduo ir elektros energija, o pagrindiniai gaunami produktai yra vandenilio ir deguonies dujos. Integravus žaliąjį vandenilį į esamą amoniako sintezės technologiją, sumažėja energijos sąnaudos, sudeginamų dujų CO₂ išmetamas kiekis, inertinių dujų kiekis sintezės dujose, taip pat padidėja amoniako išeiga.

Šarminio vandens elektrolizės procesas kelia pavojų darbuotojų saugai, todėl būtina užtikrinti tinkamą technologinių procesų kontrolę bei prevencines saugos priemones. Vandenilio dujos pasižymi dideliu degumu, todėl net ir nedideli nuotėkiai gali sudaryti sprogimo riziką. Deguonis, nors pats nėra degus, tačiau gali intensyvinti degimo procesus. Be to, kalio hidroksido elektrolitas yra šarminė medžiaga, kurios kontaktas su oda ar akimis gali sukelti cheminius nudegimus.

Remiantis Lietuvos Respublikos specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatymo 2 priedu, dujų (išskyrus biodujas) gamybai taikoma 500 m. sanitarinės apsaugos zona [44].

4.2. Profesinės rizikos vertinimas

Profesinės rizikos vertinimas yra svarbus aspektas siekiant užtikrinti darbuotojų saugą ir sveikatą bei sudaryti saugias darbo sąlygas. Jeigu profesinės rizikos veiksnių negalima pašalinti, tuomet būtina diegti prevencijos priemones, kurios sumažintų profesinę riziką iki toleruotinos arba priimtinos ir užtikrintų darbuotojų saugą. Remiantis Lietuvos Respublikos darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymu 2 straipsniu profesinė rizika yra apibrėžiama kaip pavojų ir rizikos veiksnių galimai sukeltos žalos sveikatai sunkumo ir žalos pasireiškimo tikimybės santykis [45]. 38 lentelėje pateikiami rizikos veiksnių identifikavimas ir kiekybinis įvertinimas.

38 lentelė. Rizikos veiksnių identifikavimas ir kiekybinis įvertinimas [46, 47, 48, 49, 50, 51]

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
Cheminiai veiksniai					
Anglies dioksidas	Amoniako sintezės technologijos linija	–	IPRD – 9000 mg/m ³	Avarijos metu	Kvėpavimo sistemos apsaugos įrenginiai (suslėgtojo oro kvėpavimo aparatai, žeminės dujokaukės)
Anglies monoksidas	Amoniako sintezės technologijos linija	–	TPRD – 40 mg/m ³ IPRD – 120 mg/m ³	Avarijos metu	Kvėpavimo sistemos apsaugos įrenginiai (filtruojanti dujokaukė su

					„CO“ markės dujų filtru)
Amoniakas	Amoniakos sintezės technologijos linija	–	TPRD – 36 mg/m ³ IPRD – 14 mg/m ³	Avarijos metu, gamybos proceso metu	Chemškai atsparios nuo šaltio apsaugančios pirštinės, chemškai atsparūs hermetiniai apsauginiai akiniai, veido apsaugos skydelis, apsauginiai drabužiai, kvėpavimo sistemos apsaugos įrenginiai (autonominis kvėpavimo aparatas, filtruojanti dujų kaukė su „K“ tipo markės filtru)
Metanas	Amoniakos sintezės technologijos linija	–	–	Avarijos metu	Kvėpavimo sistemos apsaugos įrenginiai (suslėgto oro kvėpavimo aparatai, žaminės dujų kaukės)
Kalio hidroksido tirpalas	Šarminis vandens elektrolizeris	–	–	Avarijos metu	Apsauginės pirštinės, apsauginiai akiniai, uždari apsauginiai akiniai, apsauginiai drabužiai, kvėpavimo sistemos apsaugos įrenginiai (respiratorius)
Vandenilis	Šarminis vandens elektrolizeris	–	–	Avarijos metu	Kvėpavimo sistemos apsaugos įrenginiai (suslėgto oro kvėpavimo aparatai, žaminės dujų kaukės)
Ergonominiai veiksniai					

Nuovargis	Parametrų stebėjimas operatorinėje	–	–	Nuolatinis 12 val.	Specialios 5 (10) minučių trukmės pertraukos primas 8 val., likusias 4 val. – 15 minučių trukmės pertraukos
Darbo poza	Parametrų stebėjimas operatorinėje, darbas gamybos ceche	–	Sėdint – nugara tiesi, išlaikomi natūralūs stuburo linkiai ir ta isykingi dubens bei klubų kampai, kojų sąnariai sulenkti buku kampu, pėdos remiasi į pagrindą. Stovint – nugara tiesi, išlaikomi natūralūs stuburo linkiai, galima keisti pozą, kūnas nepatiria papildomos statinės apkrovos, o judesiai netrikdo pusiausvyros.	Nuolatinis / periodinis 12 val.	Tinkamas stalo ar kėdės aukštis, specialios pertraukos, pozų kaita
Fizikiniai veiksniai					
Darbo vietos apšvietimas	Elektrolizerio įrengimų patalpos	200 lx	>300 lx	Periodinis 12 val.	Reguliuojamas apšvietimas, natūralus apšvietimas
Triukšmas	Technologiniai įrengimai lauke	87 dB	80 dB	Periodinis	Klausos apsaugos priemonės
Darbo vietos šiluminė aplinka	Elektrolizerio įrengimų patalpos	–	Šiltuoju metų laikotarpiu komfortinė temperatūra: 22–24 °C. Šaltuoju metų laikotarpiu komfortinė temperatūra: 21–23 °C. Santykinis drėgnis: 40–60 %	Periodinis	Šildymo ir vėdinimo sistemos
Fiziniai veiksniai					
Transporto ir priėjimo keliai, pastoliai	Elektrolizerio įrengimų patalpos, technologiniai įrengimai lauke	–	–	Nuolatinis	Įspėjamieji ženklai, apsauginiai šalmai

Kritimo iš aukščio šalia laiptų, landų (kopėčių) žemyn	Technologiniai įrengimai lauke, operatorinės patalpos	–	–	Nuolatinis	Įspėjamieji ženklai, aplink kopėčias įrengti apsauginiai lankai, apsauginiai šalmai
Karštos medžiagos ir/ar paviršiai	Technologiniai įrengimai lauke	200 °C	–	Periodinis	Įspėjamieji ženklai, apsauginės pirštinės, apsauginiai drabužiai
Slėginiai indai	Technologiniai įrengimai lauke	30 bar	0,5 bar	Periodinis	Apsauginiai vožtuvai, manometrai

Atlikus profesinės rizikos veiksnių identifikavimą ir vertinimą, nustatyti pagrindiniai veiksniai, galintys turėti įtakos darbuotojų saugai ir sveikatai. Tinkamai taikomos prevencinės apsaugos priemonės sudaro sąlygas palaikyti saugią darbo aplinką ir užtikrinti darbuotojų saugos bei sveikatos reikalavimų įgyvendinimą.

Eksplotacijos metu naudojamos medžiagos pasižymi skirtingomis gaisrinėmis ir sprogo savybėmis, todėl svarbu įvertinti jų pavojingumo rodiklius. 39 lentelėje pateikti pagrindiniai naudojamų medžiagų sprogo ribos ir gaisrinio pavojingumo duomenys.

39 lentelė. Medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliai

Medžiagos pavadinimas	Sunaudojama (pagaminama) per pamainą, t	Pliūpsnio temperatūra, °C	Sprogo ribos, tūrio % ore		Savaiminio užsidegimo temperatūra, °C	Užsidegimo temperatūra, °C
			Apatinė	Viršutinė		
Amoniakas	1240	–	16	25	651	–
Anglies monoksidas	160	–	12,5	74	609	–
Gamtinės dujos	860	–	5	15	610	–
Vandenilis	210	–	4,1	74,2	400	–

Naudojamos medžiagos pasižymi skirtingomis gaisrinio ir sprogo pavojingumo savybėmis. Galima sakyti, kad pavojingiausia medžiaga pagal sprogo ribas yra vandenilis, nes jo sprogo ribos ore yra plačiausios (4,1–74,2 %), todėl net nedidelė koncentracija sudaro sprogią aplinką. Be to, vandeniliui būdinga žema savaiminio užsidegimo temperatūra (400 °C), todėl esant užsidegimo šaltiniui didėja gaisro ar sprogo rizika. Taip pat ir gamtinės dujos pasižymi padidintu gaisrinio pavojumi, dėl ypač žemos apatinės sprogo ribos (5 %). Amoniako sprogo intervalas yra siauresnis (16–25 %), todėl sprogi koncentracija susidaro rečiau, bet dėl didelių naudojamų kiekių pavojus išlieka reikšmingas.

40 lentelėje pateikiami pastatų, patalpų ir išorinių įrenginių kategorijos pagal sprogo ir gaisro pavojų.

40 lentelė. Pastatų, patalpų ir išorinių įrenginių kategorijos pagal sprogo ir gaisro pavojų [52]

Objekto, kuriam suteikiama kategorija, klasifikuojama pavojinga vieta, pavadinimas	Požymis, nulemiantis kategoriją, pavojingos vietos zoną	Kategorija, pavojingos vietos zona
Amoniako sintezės įrengimai lauke	Gamyboje naudojamos ypač degios dujos	A _{sg} , 2 zona
Šarminio vandens elektrolizerio pastatas	Pastato patalpoms priskiriama A _{sg} kategorija ir jos sudaro daugiau nei 5 % viso pastato ploto	A _{sg} , 2 zona
Šarminio vandens elektrolizerio patalpos	Naudojamos ypač sprogios vandenilio dujos bei susidaro deguonis	A _{sg} , 2 zona

Amoniako sintezės įrenginiai lauke bei šarminio vandens elektrolizės patalpos ir pastatas priskiriami A_{sg} kategorijai ir 2 pavojingumo zonai dėl naudojamų ypač sprogių dujų. Šarminio vandens elektrolizės procesuose papildomą riziką kelia aukštas proceso slėgis bei susidaranti vandenilio ir deguonies dujos, kurios gali sudaryti sprogius mišinius. Amoniako sintezės įrenginiuose pavojų taip pat didina aukšta (400–525 °C) proceso temperatūra ir aukštas slėgis (20–21 MPa).

4.3. Saugi gamyba

Svarbu išskirti žaliojo vandenilio gamybos ir amoniako sintezės proceso metu kylančius pavojus bei numatyti prevencines priemones saugiai technologinio proceso eksploatacijai užtikrinti. Pagrindiniai pavojingi veiksniai procesuose yra susiję su slėginiais indais, karštais paviršiais, judančiomis ar besisukančiomis dalimis bei galimu sprogo ar gaisro pavojumi.

4.3.1. Elektros srovės pavojus

Šarminio vandens elektrolizerio veikimui reikalingas didelis elektros energijos kiekis, todėl vienas iš svarbesnių rizikos veiksnių yra elektros srovės pavojus. Netinkamas įrenginių eksploatavimas ar įrangos gedimai gali sukelti elektros smūgį ar gaisro pavojų.

Remiantis Dėl saugos taisyklių eksploatuojant elektros įrenginius patvirtinimo ir jų įsigaliojimo įsakymu visi technologiniai įrenginiai žeminami [53]. Apsauginis žeminimas taikomas visiems aukštesnės kaip 1000 V įtampos elektros įrenginiams.

Šarminio vandens elektrolizerio patalpose numatomos apsaugos priemonės:

- apsauginis žeminimas;
- automatinio elektros tiekimo atjungimo įtaisai;
- avarinio stabdymo sistema;
- izoliuoti elektros kabeliai;
- apsauga nuo drėgmės ir korozijos;
- elektros įrenginių ženklavimas.

Šarminio vandens elektrolizerio patalpose naudojama įranga turi būti atspari drėgmei, cheminei aplinkai bei galimam sprogių dujų susidarymui. Todėl visa įranga parenkama pagal A_{sg} kategorijos patalpoms taikomus reikalavimus.

4.3.2. Sprogimo ir gaisro pavojus

Sekantis svarbus pavojus žaliojo vandenilio gamybos procese yra vandenilio dujų degumas ir sprogumas. Vandenilis pasižymi plačiomis sprogumo koncentracijos ribomis ore, todėl net nedidelis dujų nuotėkis gali sudaryti pavojingą sprogia aplinką.

Amoniako sintezės procese taip pat naudojamos degios bei pavojingos medžiagos, o procesai vykdomi aukštame slėgyje bei temperatūroje. Dėl to būtina užtikrinti įrenginių sandarumą bei nuolatinę proceso kontrolę.

Remiantis Dėl specialiųjų patalpų ir technologinių procesų elektros įrenginių įrengimo taisyklių patvirtinimo įsakymu technologinės zonos, kuriose gali susidaryti sprogi aplinka, priskiriamos 2 sprogimo zonai [54]. Tokiose zonose, naudojama elektros įranga turi atitikti II 1G arba II 2G, arba II 3G apsaugos kategorijos reikalavimus. Vandenilio ir kitų degių dujų mišiniams taikoma II C kategorija bei T1 temperatūrinė klasė. Kadangi aukščiausia leidžiama paviršiaus temperatūra yra 450 °C, o darbinė elektrolizerio temperatūra yra 40–90 °C, mišinio temperatūra rizikos sprogimui nesukelia.

Siekiant sumažinti sprogimo ir gaisro riziką, numatomos šios prevencinės priemonės:

- nuolatinis technologinių įrenginių sandarumo užtikrinimas;
- dujų detektoriai;
- vėdinimo sistemos;
- avarinio stabdymo sistema;
- apsauginiai vožtuvai.

Norint išvengti pavojingų situacijų, įrenginiai turi būti periodiškai tikrinami pagal Potencialiai pavojingų įrenginių įstatymą.

4.3.3. Technologinių įrenginių ir darbuotojų sauga

Technologinio proceso metu naudojami siurbliai bei ventiliatoriai turi judančių dalių, kurios gali kelti pavojų darbuotojams eksploatacijos ar remonto metu. Dėl šios priežasties visos judančios mechanizmų dalys turi būti apsaugotos gaubtais ar aptvarais.

Darbuotojai, dirbantys technologinėse zonose, privalo naudoti asmenines apsaugos priemones:

- apsauginius šalmus;
- apsauginius akinius;
- apsaugines pirštines;
- apsauginius batus;
- apsauginius drabužius;
- turėti dujokaukę lengvai pasiekiamoje vietoje.

Procesų zonose draudžiama naudoti atvirą ugnį, rūkyti arba naudoti kibirkštis galinčius sukelti įrankius. Įeiti ir būti procesų zonose gali tik autorizuoti darbuotojai. Siekiant užtikrinti saugią eksploataciją, darbuotojai turi būti periodiškai instruktuojami bei apmokomi dirbti su potencialiai pavojingais įrenginiais ir cheminėmis medžiagomis.

4.4. Darbo higiena

Analizuojami žaliojo vandenilio gamybos bei amoniako sintezės proceso metu darbuotojus veikiantys darbo aplinkos rizikos veiksniai. Vertinami cheminiai bei fizikiniai veiksniai, kadangi jie yra tiesiogiai susiję su procesuose esančiomis medžiagomis, kurios gali turėti įtakos darbuotojų saugai bei sveikatai.

4.4.1. Darbo aplinkos rizikos veiksniai

Analizuojant darbo aplinkos rizikos veiksnius yra svarbu išskirti chemines žaliavų ir gatavos produkcijos charakteristikas. Charakteristikos sudarytos remiantis AB „Achema“ technologiniu reglamentu [43].

Amoniakas (NH_3) – skaidrus, bespalvis, aštraus kvapo skystis. Virimo temperatūra esant atmosferiniam slėgiui – $-33,5^\circ\text{C}$. Prie $-77,8^\circ\text{C}$ amoniakas sukietėja, sudarydamas kubo formos kristalus. Skysto amoniako tankumas prie -12°C ir 1,732 bar slėgio – 654 kg/m^3 . Amoniakas gerai tirpsta vandenyje, jungimosi reakcijos metu susidaro amoniakinis vanduo ir išsiskiria daug šilumos. Prie 20°C ir 101325 Pa (760 mm gyvsidabrio stulpelio) viename vandens tūryje ištirpsta 760 tūrių amoniako. Skystas amoniakas chemiškai nudegina odą, gleivines, ant odos susidaro pūslės. Kolektyvinės apsaugos priemonės: uždujinimo detektorius, garsinė ir šviesos signalizacija, asmeninės apsaugos priemonės: filtruojanti dujokaukė, apsauginiai drabužiai, chemiškai atsparios nuo šalčio apsaugančios pirštinės, chemiškai atsparūs hermetiniai apsauginiai akiniai, veido apsaugos skydelis, apsauginiai drabužiai.

Anglies monoksidas (CO) – bespalvės, beveik bekvapės, toksiškos dujos, net nedidelės koncentracijos gali būti pavojingos gyvybei. Degios dujos, dega melsva spalva, ore sudaro sprogius mišinius. Savaiminio užsiliepsnojimo temperatūra – 609°C . Asmeninė apsaugos priemonė: dujokaukė su su „CO“ markės dujų filtru.

Anglies dioksidas (CO_2) – bespalvės, bekvapės dujos, sunkesnės už orą. Nedegios ir nesprogios. Gerai tirpsta vandenyje. Didelės koncentracijos gali sukelti deguonies trūkumą ir dusulį uždaroje patalpose. Asmeninės apsaugos priemonės: suslėgtojo oro kvėpavimo aparatai, žarninės dujokaukės.

Gamtinės dujos – bespalvės, bekvapės dujos. Susideda iš 97,94 % metano (CH_4) ir nedidelio kiekio kitų degių dujų priemaišų. Degios ir sprogios. Metano sprogimo ribos mišinyje su oru – 5–15 %. Kolektyvinės apsaugos priemonės: uždujinimo detektorius, asmeninės apsaugos priemonės: žarninės dujokaukės, autonominis kvėpavimo aparatas.

Kalio hidroksidas (KOH) – bespalvis, šarminis tirpalas. Gerai tirpsta vandenyje, tirpimo metu išsiskiria daug šilumos. Stipriai ėsdina odą, akis ir gleivines, gali sukelti sunkius cheminius nudegimus. Asmeninės apsaugos priemonės: chemiškai atsparios pirštinės, apsauginiai drabužiai, pilnas veido skydelis, respiratorius.

Vandenilis (H_2) – bespalvės, bekvapės, labai lengvos dujos. Labai degus, su oru sudaro sprogius mišinius. Vandenilio sprogimo ribos ore – 4,1–74,2 %. Savaiminio užsiliepsnojimo temperatūra apie 400°C . Kolektyvinės apsaugos priemonės: uždujinimo detektorius, asmeninės apsaugos priemonės: suslėgtojo oro kvėpavimo aparatai, žarninės dujokaukės.

Taip pat svarbu išskirti ir fizinius veiksmus. Amoniakos sintezės ir šarminio elektrolizerio operatorius vykdo įrenginių eksploatavimą ir techninę priežiūrą, užtikrindamas stabilų bei saugų gamybos procesų veikimą. Operatorius taip pat atlieka smulkius šarminio elektrolizerio profilaktinės priežiūros darbus: filtrų keitimą, elektrolito papildymą, bendros techninės būklės stebėjimą.

Operatoriaus darbas priskiriamas vidutinio sunkumo fizinio darbo IIa kategorijai. Šiai kategorijai priskiriami darbai, kurių metu žmogaus energijos sąnaudos sudaro daugiau kaip 630 kJ/h, bet ne daugiau kaip 840 kJ/h [49]. Siekiant įvertinti darbo aplinkos mikroklimato sąlygas, svarbu nustatyti leistinas oro temperatūros, santykinio drėgnumo bei oro judėjimo greičio ribas pagal atliekamo darbo pobūdį. 41 lentelėje pateikiamos norminės mikroklimato vertės vidutinio sunkumo – IIa darbų kategorijai šaltuoju ir šiltuoju metų laikotarpiu.

41 lentelė. Darbo patalpų pakankamos šiluminės aplinkos oro temperatūros, oro santykinio drėgnumo ir oro judėjimo greičio norminės vertės

Metų laikotarpis	Darbų kategorija	Oro temperatūra, °C		Oro santykinis drėgnumas %, ne daugiau kaip	Oro judėjimo greitis, m/s
		Nuolatinėse darbo vietose	Nenuolatinėse darbo vietose		
Šaltasis	Vidutinio sunkumo – IIa	17–23	15–24	75	Ne daugiau kaip 0,3
Šiltasis	Vidutinio sunkumo – IIa	18–27	17–29	65 (prie 26 °C)	0,2–0,4

Duomenys rodo, kad darbo patalpų mikroklimato reikalavimai skiriasi priklausomai nuo metų laikotarpio ir/ar dirbama nuolatinėse, ar nenuolatinėse darbo vietose. Vertinant darbo sąlygas, faktiniai mikroklimato parametrai turi atitikti nustatytas normines vertes, siekiant išvengti neigiamo poveikio darbuotojų sveikatai.

4.4.2. Darbo aplinkos apšvieta

Operatoriaus darbo vietoje atliekami technologinio proceso stebėjimo ir valdymo darbai reikalauja nuolatinio valdymo prietaisų, ekranų bei matavimo parametrų stebėjimo. Operatorius turi aiškiai matyti technologinių parametrų rodmenis, indikatorius bei galimus įrangos veikimo nukrypimus. 42 lentelėje pateikiama operatoriaus darbo vietos norminė apšvieta.

42 lentelė. Operatoriaus darbo vietos norminė apšvieta [48]

Darbo vieta	Rekomenduojama apšvieta, lx	Pasirinkta apšvieta, lx
Technologinio proceso stebėjimas ir valdymas operatorinėje	300–500–750	500
Judėjimo zonos, koridoriai	50–100–150	100
Periodinė technologinės įrangos apžiūra	100–150–200	200

Esant poreikiui, papildomai gali būti naudojamas vietinis apšvietimas. Tinkamai parinkta apšvieta mažina akių nuovargį bei padeda užtikrinti saugų technologinio proceso valdymą.

4.5. Gaisrinė sauga

Gamybos procese naudojamos degios ir sprogios medžiagos, todėl gali susidaryti gaisro pavojus. Gamybos patalpos priskiriamos A_{sg} kategorijai, todėl remiantis Stacionariųjų gaisrų gesinimo sistemų

projektavimo ir įrengimo taisyklėmis privaloma įrengti stacionariųjų gaisrų gesinimo sistemas [55]. Taip pat papildomai įrengiami automatiniai aplinkos oro analizatoriai su garsine ir šviesine signalizacija.










Žemiau pateikiamoje lentelėje yra gaisro charakteristikos variantai su tinkamomis medžiagomis jį gesinti. Sutartiniai ženklai: ++ veiksmingiausia, + veiksminga, - ne tokia veiksminga.

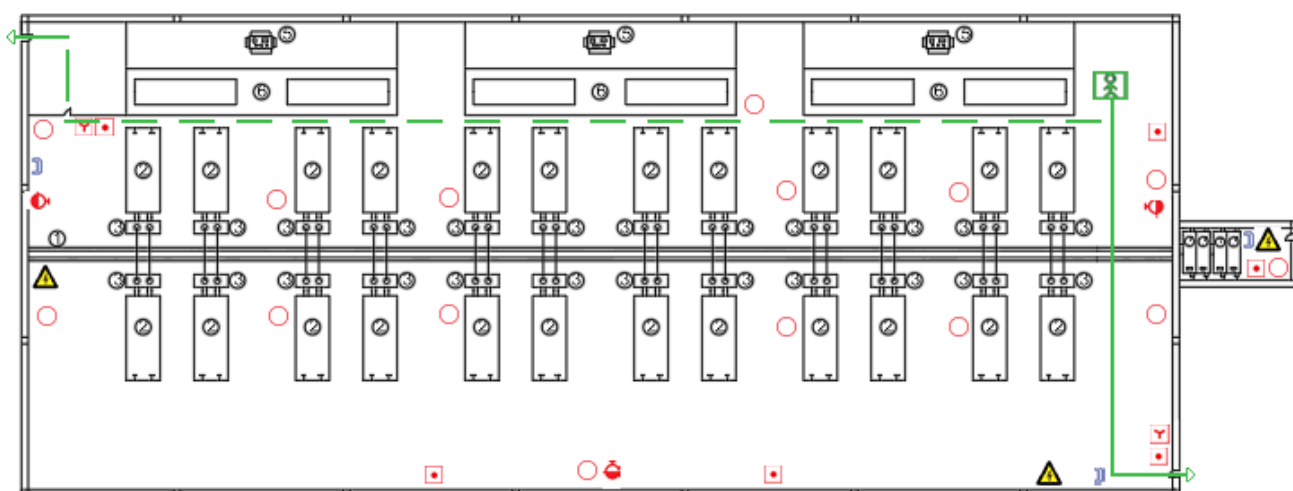
43 lentelė. Gaisro klasė ir ugnį gesinanti medžiaga [56]

Klasė	Gaisro charakteristika	Ugnį gesinanti medžiaga					
		Vanduo	Putos	Dujos	Milteliai		
					ABC tipo	BC tipo	D tipo
A	Kietųjų medžiagų gaisrai, kai degimo metu susidaro anglis	+	+	-	++	-	-
B	Skystųjų arba galinčių suskystėti kietųjų medžiagų gaisrai	-	++	+	++	++	-
C	Dujų gaisrai	-	-	+	++	++	-
D	Metallų gaisrai	-	-	-	-	-	++

Kadangi technologiniame procese naudojamos degios dujos, pagrindinis galimas gaisras priskiriamas C klasei. Tokiems gaisrams efektyviausi ABC ir BC tipo milteliniai gesintuvai.

Evakuacijos keliai ženklinami pagal galiojančius reikalavimus, o evakuacinės durys turi atsidaryti lengvai bei evakuacijos kryptimi. Evakuacijos planas pateiktas 21 paveiksle.

SUTARTINIAI ŽYMĖJIMAI	
	GESINTUVAS
	GAISRINIS ČIAUPAS
	ELEKTROS SKYDELIS
	TELEFONAS
	GAISRINĖS SIGNALIZACIJOS MYGTUKAS
	GAISRINIO SIURBLIO ĮJUNGIMO MYGTUKAS
	PAGRINDINIS EVAKUACIJOS KELIAS
	ATSARGINIS EVAKUACIJOS KELIAS
	JŪS ESATE ČIA



21 pav. Patalpų evakuacijos planas

Evakuacijos plane pažymėtas pagrindinis ir atsarginis evakuacijos kelias bei gaisrinės saugos priemonės. Iš viso patalpose yra 15 gesintuvų, 3 gaisriniai čiaupai bei 6 gaisrinės signalizacijos mygtukai. Visi darbuotojai privalo susipažinti su evakuacijos schema ir nelaimės atveju vadovautis nurodytais evakuacijos keliais.

Išvados

1. Vandenilis yra išgaunamas įvairiais būdais, pvz.: metano konversija vandens garais, dujųofikavimu, šarminė vandens elektrolize, protonų mainų membranos elektrolize, kietojo oksido elektrolize. Atlikus analizę nustatyta, kad metano konversija vandens garais yra taršiausias vandenilio būdas, o elektrolizės procesai yra aplinkai saugūs.
2. Sukurtas amoniako sintezės modelis, kuriame yra integruotas žaliojo vandenilis, naudojant programinę įrangą Aspen HYSYS. Integruojant žaliąjį vandenilį inertinių dujų koncentracija sintezės dujų sraute sumažėjo 25,4 %, o amoniako atskyrimo srautas padidėjo 8,7 %. Sudeginamas dujų srautas sumažėjo 5,9 %, o jo išmetamas CO₂ kiekis apie 28,4 %. Energijos sąnaudos, t. y., recirkuliaciniam kompresoriui reikalinga galia sumažėjo 5,7 %.
3. Atlikus amoniako sintezės su integruotu žaliuoju vandeniliu modeliavimą nustatyta, kad optimali žaliojo vandenilio koncentracijos riba yra iki 30 %. Jei bus didinama žaliojo vandenilio koncentracija, didės ir proceso energetinis poreikis. Sintezės koloną reikėtų papildomai šildyti, jei būtų peržengta 30 % žaliojo vandenilio koncentracijos riba. Tai reiškia, jog yra būtinos papildomos eksploatacinės sąnaudos. Toliau didinant žaliojo vandenilio koncentraciją, modelis tampa jautresnis proceso parametrų pokyčiams. Todėl siekiant subalansuoti procesą būtina koreguoti papildomus modelio parametrus.
4. Sukurta patobulinta amoniako sintezės technologinė schema, kurioje integruotas šarminis vandens elektrolizeris žaliojo vandenilio gamybai, papildant esamą technologinį procesą naujais srautais ir įrenginiais.
5. Suprojektuotas elektrolizerio įrenginys ir pastatas yra numatytas statyti AB „Achema“ teritorijoje. Bendras pastato plotas numatyta, jog sieks 8400 m². Projekto įgyvendinimui taip pat buvo atlikti ekonominiai ir finansiniai skaičiavimai, kurie padeda įvertinti, ar projektas yra ekonomiškai palankus. Prognozuojama, jog projekto įgyvendinimui reikės 634,81 mln. Eur, kuriuos sudarys akcininkų nuosavybė ir ES dotacijos (sudarys po 35,13 %) ir ilgalaikė paskola, kuri sudarys 29,74 % viso finansavimo. Atlikus skaičiavimus nustatyta, jog gaminio pilnoji savikaina bus 581,44 Eur/t, o grynas pelnas brandos metais siek 47,78 mln. Eur. Ekonominis vertinimas parodė, jog projektas atsipirks tik po 5,2 metų. Atlikus aplinkosauginį vertinimą nustatyta, kad momentinis amoniako taršos kiekis vidutiniškai sieks 58,9 mg/m³, o maksimalus – 200 mg/m³. Prognozuojama, kad metinis išmetamas teršalų kiekis sieks 0,026 tonos per metus. Atliekant darbuotojų saugos ir sveikatos vertinimą buvo nustatyti profesinės rizikos veiksniai, asmeninės ir kolektyvinės apsaugos priemonės. Taip pat buvo nustatytos darbo patalpų šiluminės aplinkos oro temperatūros, santykinio drėgnumo bei darbo vietos apšvietos norminės vertės. Sudarytas evakuacijos planas, kuriame nurodyti pagrindiniai ir atsarginiai evakuacijos keliai bei prevencinės apsaugos priemonės.

Literatūros sąrašas

1. Ganter, A., Lonergan, K. E., Büchi, H. M., & Sansavini, G. (2024). *Shifting to low-carbon hydrogen production supports job creation but does not guarantee a just transition*. *One Earth*, 7(11), 1981–1993.
2. European Parliament & Council. (2021). *Regulation (EU) 2021/1119 establishing the framework for achieving climate neutrality (European Climate Law)*. Official Journal of the European Union, L 243, 1 – 17 [žiūrėta 2025-05-23]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/LT/legal-content/summary/european-climate-law.html>
3. Inovacijų agentūra. (2022). *Vandenilio iš atsinaujinančių išteklių energijos gamybos ir naudojimo pramonėje Lietuvoje galimybių studija*. Vilnius: Inovacijų agentūra [žiūrėta 2025-05-26]. Prieiga per internetą: <https://inovacijuagentura.lt/site/binaries/content/assets/analitika/apzvalgos/2023/vandenilio-galimybiu-studija.pdf>
4. Wolf, A., & Zander, N. (2021). Green Hydrogen in Europe: Do Strategies Meet Expectations? *Inter Economics*, 56(6), 316–323. <https://doi.org/10.1007/s10272-021-1008-3>
5. Habib, M. A., Abdulrahman, G. A. Q., Alquaity, A. B. S., & Qasem, N. A. A. (2024). Hydrogen combustion, production, and applications: A review. *Alexandria Engineering Journal*, 100, 182–207. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.05.030>
6. Farias, C. B. B., Barreiros, R. C. S., da Silva, M. F., Casazza, A. A., Converti, A., & Sarubbo, L. A. (2022). Use of Hydrogen as Fuel: A Trend of the 21st Century. *Energies (Basel)*, 15(1), Article 311. <https://doi.org/10.3390/en15010311>
7. Soboń, A., Słyś, D., Ruszel, M., & Wiącek, A. (2021). Prospects for the Use of Hydrogen in the Armed Forces. *Energies (Basel)*, 14(21), Article 7089. <https://doi.org/10.3390/en14217089>
8. Ajanovic, A., Sayer, M., & Haas, R. (2022). The economics and the environmental benignity of different colors of hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(57), 24136–24154. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.02.094>
9. Incer-Valverde, J., Korayem, A., Tsatsaronis, G., & Morosuk, T. (2023). “Colors” of hydrogen: Definitions and carbon intensity. *Energy Conversion and Management*, 291, Article 117294. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117294>
10. El-Adawy, M., Dalha, I. B., Ismael, M. A., Al-Absi, Z. A., & Nemitallah, M. A. (2024). Review of Sustainable Hydrogen Energy Processes: Production, Storage, Transportation, and Color-Coded Classifications. *Energy & Fuels*, 38(23), 22686–22718. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.4c04317>
11. Saha, P., Akash, F. A., Shovon, S. M., Monir, M. U., Ahmed, M. T., Khan, M. F. H., Sarkar, S. M., Islam, Md. K., Hasan, Md. M., Vo, D.-V. N., Aziz, A. A., Hossain, Md. J., & Akter, R. (2024). Grey, blue, and green hydrogen: A comprehensive review of production methods and prospects for zero-emission energy. *International Journal of Green Energy*, 21(6), 1383–1397. <https://doi.org/10.1080/15435075.2023.2244583>
12. Perčić, M., Vladimir, N., Koričan, M., Jovanović, I., & Haramina, T. (2023). Alternative Fuels for the Marine Sector and Their Applicability for Purse Seiners in a Life-Cycle Framework. *Applied Sciences*, 13(24), Article 13068. <https://doi.org/10.3390/app132413068>

13. Martino, M., Ruocco, C., Meloni, E., Pullumbi, P., & Palma, V. (2021). Main Hydrogen Production Processes: An Overview. *Catalysts*, 11(5), Article 547. <https://doi.org/10.3390/catal11050547>
14. Nnabuife, S. G., Ugbeh-Johnson, J., Okeke, N. E., & Ogbonnaya, C. (2022). Present and projected developments in hydrogen production: a technological review*. *Carbon Capture Science & Technology*, 3, 100042. <https://doi.org/10.1016/j.ccest.2022.100042>
15. Zou, C., Li, J., Zhang, X., Jin, X., Xiong, B., Yu, H., Liu, X., Wang, S., Li, Y., Zhang, L., Miao, S., Zheng, D., Zhou, H., Song, J., & Pan, S. (2022). Industrial status, technological progress, challenges, and prospects of hydrogen energy. *Natural Gas Industry B*, 9(5), 427–447. <https://doi.org/10.1016/j.ngib.2022.04.006>
16. Saeidi, S., Sápi, A., Khoja, A. H., Najari, S., Ayesha, M., Kónya, Z., Asare-Bediako, B. B., Tatarczuk, A., Hessel, V., Keil, F. J., & Rodrigues, A. E. (2023). Evolution paths from gray to turquoise hydrogen via catalytic steam methane reforming: Current challenges and future developments. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 183, Article 113392. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113392>
17. Cao, L., Yu, I. K. M., Xiong, X., Tsang, D. C. W., Zhang, S., Clark, J. H., Hu, C., Ng, Y. H., Shang, J., & Ok, Y. S. (2020). Biorenewable hydrogen production through biomass gasification: A review and future prospects. *Environmental Research*, 186, Article 109547. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109547>
18. Hussain, M., Ali, O., Raza, N., Zabiri, H., Ahmed, A., & Ali, I. (2023). Recent advances in dynamic modeling and control studies of biomass gasification for production of hydrogen rich syngas. *RSC advances*, 13(34), 23796–23811. <https://doi.org/10.1039/d3ra01219k>
19. Emam, A. S., Hamdan, M. O., Abu-Nabah, B. A., & Elnajjar, E. (2024). A review on recent trends, challenges, and innovations in alkaline water electrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 64, 599–625. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.03.238>
20. Hu, K., Fang, J., Ai, X., Huang, D., Zhong, Z., Yang, X., & Wang, L. (2022). Comparative study of alkaline water electrolysis, proton exchange membrane water electrolysis and solid oxide electrolysis through multiphysics modeling. *Applied Energy*, 312, Article 118788. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118788>
21. Jang, D., Cho, H.-S., & Kang, S. (2021). Numerical modeling and analysis of the effect of pressure on the performance of an alkaline water electrolysis system. *Applied Energy*, 287, Article 116554. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116554>
22. Sebbahi, S., Nabil, N., Alaoui-Belghiti, A., Laasri, S., Rachidi, S., & Hajjaji, A. (2022). Assessment of the three most developed water electrolysis technologies: Alkaline Water Electrolysis, Proton Exchange Membrane and Solid-Oxide Electrolysis. *Materials Today: Proceedings*, 66, 140–145. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.264>
23. Shiva Kumar, S., & Lim, H. (2022). An overview of water electrolysis technologies for green hydrogen production. *Energy Reports*, 8, 13793–13813. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.10.127>
24. Araújo, H. F., Gómez, J. A., & Santos, D. M. F. (2024). Proton-Exchange Membrane Electrolysis for Green Hydrogen Production: Fundamentals, Cost Breakdown, and Strategies to Minimize Platinum-Group Metal Content in Hydrogen Evolution Reaction Electrocatalysts. *Catalysts*, 14(12), Article 845. <https://doi.org/10.3390/catal14120845>

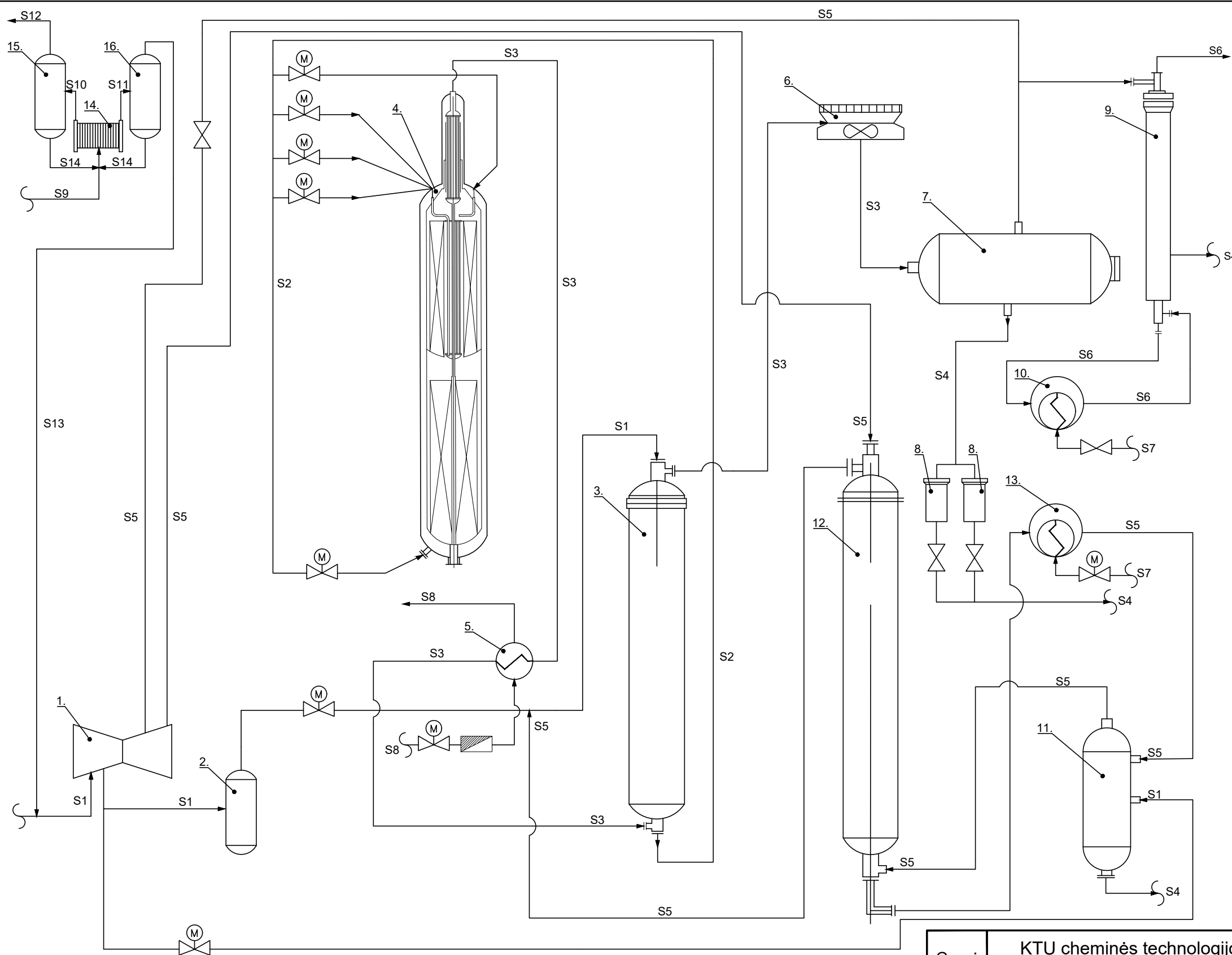
25. Panigrahy, B., Narayan, K., & Ramachandra Rao, B. (2022). Green hydrogen production by water electrolysis: A renewable energy perspective. *Materials Today: Proceedings*, 67, 1310–1314. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.254>
26. Nechache, A., & Hody, S. (2021). Alternative and innovative solid oxide electrolysis cell materials: A short review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 149, Article 111322. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.11132>
27. Kamlungsua, K., Su, P. -C, & Chan, S. H. (2020). Hydrogen Generation Using Solid Oxide Electrolysis Cells. *Fuel Cells (Weinheim an Der Bergstrasse, Germany)*, 20(6), 644–649. <https://doi.org/10.1002/fuce.202070602>
28. Buonomenna, M. G., & Patonia, A. (2025). Green Hydrogen in Europe: Where Are We Now? *Hydrogen*, 6(4), 105. <https://doi.org/10.3390/hydrogen6040105>
29. Sahin, M. E. (2024). An Overview of Different Water Electrolyzer Types for Hydrogen Production. *Energies (Basel)*, 17(19), Article 4944. <https://doi.org/10.3390/en17194944>
30. Sebbahi, S., Assila, A., Alaoui Belghiti, A., Laasri, S., Kaya, S., Hlil, E. K., Rachidi, S., & Hajjaji, A. (2024). A comprehensive review of recent advances in alkaline water electrolysis for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 82, 583–599. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.07.428>
31. Yang, M., Hunger, R., Berrettoni, S., Sprecher, B., & Wang, B. (2023). A review of hydrogen storage and transport technologies. *Clean Energy (Online)*, 7(1), 190–216. <https://doi.org/10.1093/ce/zkad021>
32. Osman, A. I., Mehta, N., Elgarahy, A. M., Hefny, M., Al-Hinai, A., Al-Muhtaseb, A. H., & Rooney, D. W. (2022). Hydrogen production, storage, utilisation and environmental impacts: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 20(1), 153–188. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01322-8>
33. AlZohbi, G., Almoaikel, A., & AlShuhail, L. (2023). An overview on the technologies used to store hydrogen. *Energy Reports*, 9, 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.08.072>
34. Urbonavičius, M. (2018). *Vandenilio sintezė panaudojant plazmoje aktyvuotą aliuminio miltelių ir vandens reakcijas*. Kauno technologijos universitetas. <https://epubl.ktu.edu/object/elaba:26998614/MAIN>
35. Achema. *Veikla*. [žiūrėta 2026-05-10]. Prieiga per internetą: <https://www.chema.lt/veikla/>
36. Sistela (2026). *Kainynai ir normatyvai internetu*. [žiūrėta 2026-05-10]. Prieiga per internetą: <https://sistela.lt/kainynai-ir-normatyvai-internetu/>
37. European Hydrogen Observatory (2025). *Electrolyser Cost*. [žiūrėta 2026-05-10]. Prieiga per internetą: <https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/hydrogen-landscape/production-trade-and-cost/electrolyser-cost>
38. Ignitis (2026). *Dujų kainos*. [žiūrėta 2026-05-13]. Prieiga per internetą: <https://ignitis.lt/duju-kainos>
39. Lerochem (2026). *Kalio hidroksidas 90 %*. [žiūrėta 2026-05-13]. Prieiga per internetą: <https://lerochem.eu/pagrindinis/40-kalio-hidroksidas-90-kg.html>
40. P5 (2026). *Nord Pool elektros kainos Lietuvoje*. [žiūrėta 2026-05-17]. Prieiga per internetą: <https://elektra.p5.lt/>
41. Jonavos vandenys (2026). *Kainos įmonėms*. [žiūrėta 2026-05-17]. Prieiga per internetą: <https://www.jonavosvandenys.lt/kainos-imonems/>

42. Univar solutions (2025). *Safety data sheet*. [žiūrėta 2026-05-19]. Prieiga per internetą: https://www.univarsolutions.co.uk/documents/file/view/code/sds_file/id/2031986/
43. AB „Achema“ (2016). *Amoniako sintezės ir jo šaldymo įrenginių eksploatavimo instrukcija*. [Nepublikuotas vidinis dokumentas]
44. Lietuvos Respublikos specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatymas, 2019 m. birželio 6 d. Nr. XIII-2166. (2019) [žiūrėta 2026-05-06]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/420f4dd0927c11e9ae2e9d61b1f977b3>
45. Lietuvos Respublikos darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymas, 2003 m. liepos 1 d. Nr. IX-1672. (2003) [žiūrėta 2026-05-06]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.95C79D036AA4/asr>
46. Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija & Lietuvos Respublikos socialinės apsaugos ir darbo ministerija. (2011). *Lietuvos higienos norma HN 23:2011 „Cheminių medžiagų profesinio poveikio ribiniai dydžiai. Matavimo ir poveikio vertinimo bendrieji reikalavimai“*. [žiūrėta 2026-05-06]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.405920>
47. Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministras. (2004). *Įsakymas dėl Lietuvos higienos normos HN 32:2004 „Darbas su video terminalais. Saugos ir sveikatos reikalavimai“ patvirtinimo Nr. V-65*. [žiūrėta 2026-05-06]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.73FAFA28349E>
48. Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministras. (2014). *Įsakymas dėl Lietuvos higienos normos HN 98:2000 „Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. Apšvietos ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai“*. [žiūrėta 2026-05-06]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.858BE3CF2762>
49. Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministras. (2003). *Įsakymas dėl Lietuvos higienos normos HN 69:2003 „Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai“*. [žiūrėta 2026-05-06]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.230880>
50. Lietuvos Respublikos socialinės apsaugos ir darbo ministras & Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministras. (2005). *Įsakymas dėl darbuotojų apsaugos nuo triukšmo keliamos rizikos nuostatų patvirtinimo Nr. A1-103/V-265*. [žiūrėta 2026-05-06]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.5ED52629C3C4>
51. Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministras ir Lietuvos Respublikos socialinės apsaugos ir darbo ministras. (2022). *Įsakymas dėl ergonominių rizikos veiksnių tyrimo metodinių nurodymų patvirtinimo Nr. V-592/A1-210*. [žiūrėta 2026-05-06]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.35CB8AED30EB>
52. Priešgaisrinės apsaugos ir gelbėjimo departamento prie vidaus reikalų ministerijos direktorius. (2026). *Įsakymas dėl gaisrinės saugos pagrindinių reikalavimų patvirtinimo Nr. 1-338*. [žiūrėta 2026-05-07]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.61BD22D4FB5B>
53. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. (2024). *Įsakymas dėl saugos taisyklių eksploatuojant elektros įrenginius patvirtinimo ir jų įsigaliojimo Nr. 264*. [žiūrėta 2026-05-07]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.6EE1340F460A>
54. Lietuvos Respublikos energetikos ministras. (2013). *Įsakymas dėl specialiųjų patalpų ir technologinių procesų elektros įrenginių įrengimo taisyklių patvirtinimo Nr. 1-52*. [žiūrėta 2026-05-07]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.5088B8E78982>

55. Priešgaisrinės apsaugos ir gelbėjimo departamento prie vidaus reikalų ministerijos direktorius. (2024). *Isakymas dėl stacionariųjų gaisrų gesinimo sistemų projektavimo ir įrengimo taisyklių patvirtinimo Nr. 1-1*. [žiūrėta 2026-05-07]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/8d0d2d20b48111e598c4c7724bda031b>
56. Priešgaisrinės apsaugos ir gelbėjimo departamento prie vidaus reikalų ministerijos direktorius. (2005). *Isakymas dėl bendrųjų gaisrinės saugos taisyklių patvirtinimo Nr. 64*. [žiūrėta 2026-05-07]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.C7BB0BCD6F81>

Priedai

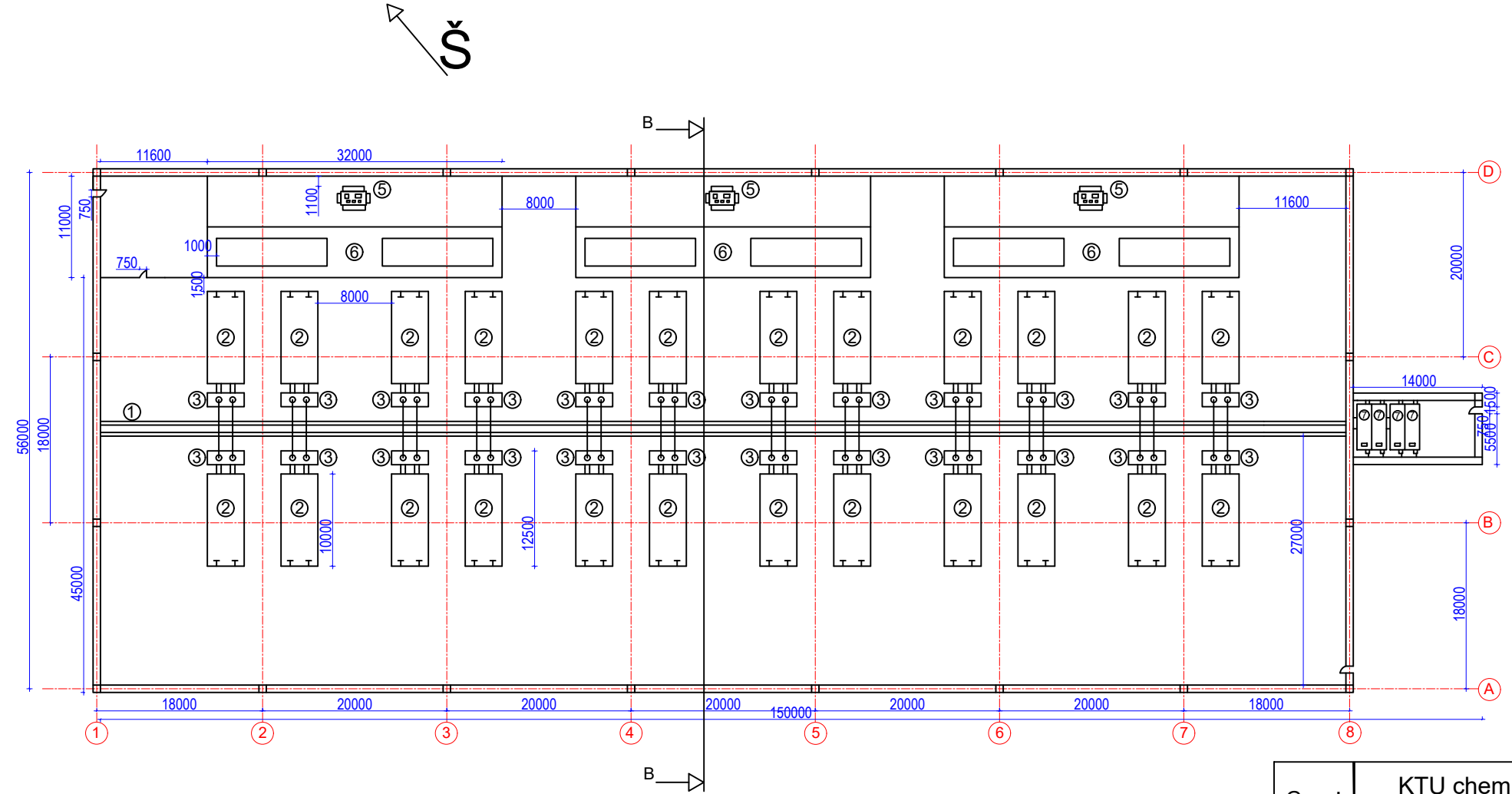
- 1 priedas. Technologinė schema**
- 2 priedas. Sklypo planas**
- 3 priedas. Pastato planas iš viršaus. Įrenginių išdėstymas**
- 4 priedas. Elektrolizerio B-B pjūvis**
- 5 priedas. Konsultantų patvirtinimai**



Nr.	Pavadinimas	Kiekis
1.	IV-ų laipsnių recirkuliacinis kompresorius	1
2.	Tepalo filtras	1
3.	Vertikalus korpusinis šilumokaitis	1
4.	Sintezės kolona	1
5.	Maitinimo vandens kaitintuvas	1
6.	Orinis aušintuvas	1
7.	Skysto amoniako separatorius	1
8.	Magnetiniai filtrai	2
9.	Prapūtimo dujų kondensacinė kolona	1
10.	Prapūtimo dujų šaldytuvas	1
11.	Skysto amoniako separatorius	1
12.	Šilumokaitis	1
13.	Skysto amoniako garintuvas	1
14.	Šarminis vandens elektrolizeris	1
15.	Deguonies separatorius	1
16.	Vandenilio separatorius	1
S1	AVM	
S2	Sintezės dujos	
S3	Po reakcijos gautos dujos	
S4	Susintetintas skystas amoniakas	
S5	Cirkuliacinės dujos	
S6	Prapūtimo dujos	
S7	Aušinimui skirtas skystas amoniakas	
S8	Maitinantis vanduo	
S9	Vanduo + KOH (20%)	
S10	Tarpinis deguonies srautas	
S11	Tarpinis vandenilio srautas	
S12	Deguonies dujos	
S13	Vandenilio dujos	
S14	Nsureagavęs vanduo	

Grupė	KTU cheminės technologijos fakultetas			Magistro baigiamasis projektas	
TMC-4	Studentas	D. Rudelis		LAIDA	
	Vadovas	Doc. dr. A. Jaskūnas			
BMP	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra Radvilėnų pl. 19, Kaunas, LT-50299			LAPAS	LAPŲ
				1	4



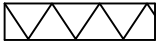
EKSPLIKACIJA		
1	VAMZDŽIŲ STOVAS	2 vnt.
2	ELEKTROLIZATORIAI	24 vnt.
3	ELEKTROLIZATORIŲ PAGALBINIAI ĮRENGINIAI	24 vnt.
4	ELEKTROS ENERGIJOS PAGALBINIAI ĮRENGINIAI	1 vnt.
5	ELEKTROS ENERGIJOS TRANSFORMATORIUS	3 vnt.
6	KINTAMOSIOS ELEKTROS SROVĖS LYGINTUVAI	3 vnt.
7	VALDYMO BLOKAS	4 vnt.

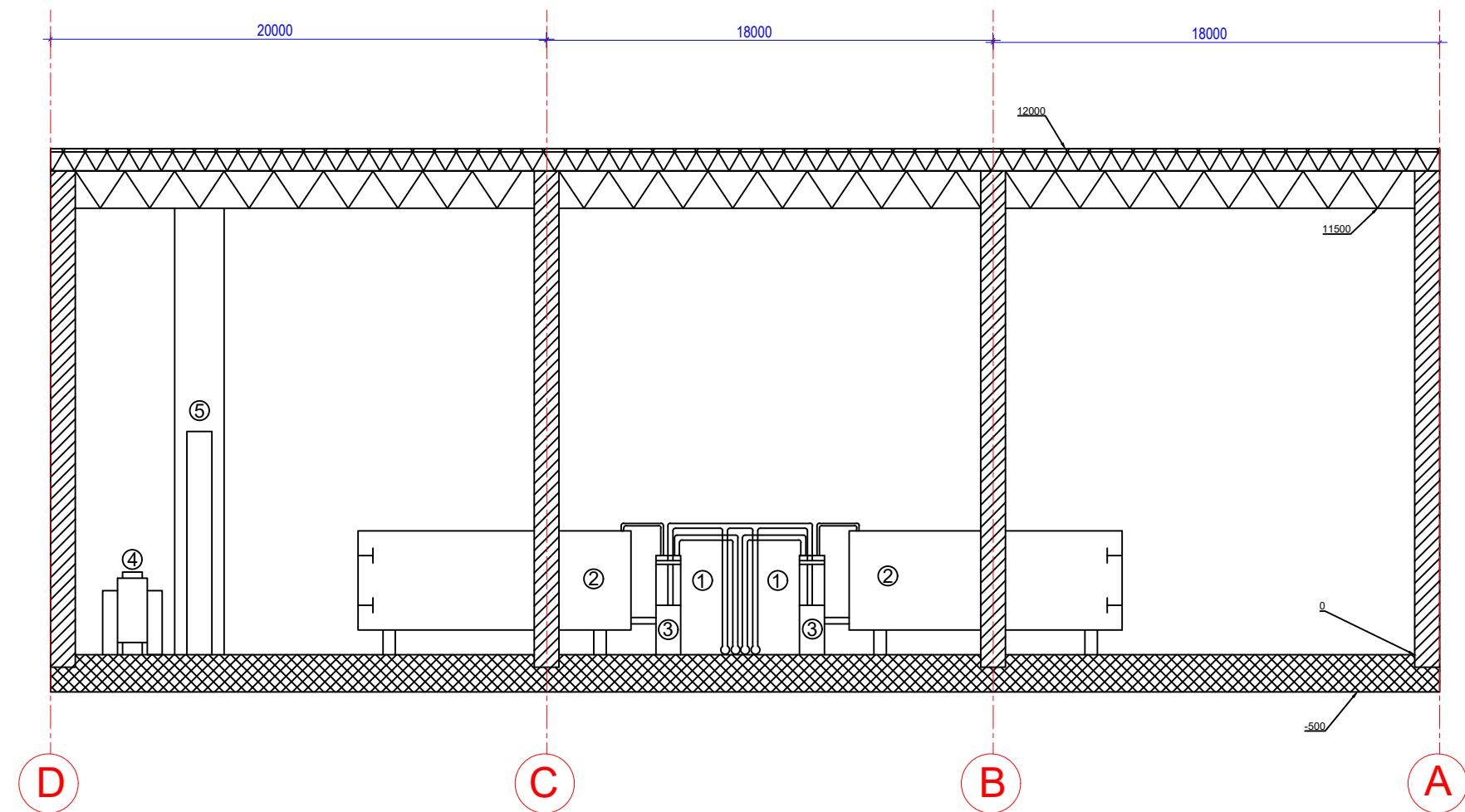


Grupė	KTU cheminės technologijos fakultetas				Magistro baigiamasis projektas			
	TMC-4	Studentas	D. Rudelis		Žaliojo vandenilio panaudojimo amoniako sintezei technologinis vertinimas	LAIDA		
	Vadovas	Doc. dr. A. Jaskūnas						
Mastelis						LAPAS	LAPŲ	
1:1000	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra Radvilėnų pl. 19, Kaunas, LT-50299				Pastato planas iš viršaus Įrenginių išdėstymas		3	4

B-B

SUTARTINIAI ŽYMĖJIMAI

	BETONAS
	GELŽBETONIS
	METALO PROFILIS



EKSPLIKACIJA

1	2	3
1	VAMZDŽIŲ STOVAS	2 vnt.
2	ELEKTROLIZATORIAI	2 vnt.
3	ELEKTROLIZATORIŲ PAGALBINIAI ĮRENGINIAI	2 vnt.
4	ELEKTROS ENERGIJOS TRANSFORMATORIUS	1 vnt.
5	KINTAMOSIOS ELEKTROS SROVĖS LYGINTUVAI	1 vnt.

Grupė	KTU cheminės technologijos fakultetas			Magistro baigiamasis projektas	
TMC-4	Studentas	D. Rudelis		Žaliojo vandenilio panaudojimo amoniako sintezei technologinis vertinimas	LAI DA
	Vadovas	Doc. dr. A. Jaskūnas			
Mastelis					
1:1000	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra Radvilėnų pl. 19, Kaunas, LT-50299			Elektrolizerio B-B pjūvis	LAPAS LAPŲ 4 4

From: Odeta Viliūnienė <odeta.viliuniene@ktu.lt>
Date: Wednesday, 27 May 2026 at 08:00
To: Dominykas Rudelis <dominykas.rudelis@ktu.edu>
Subject: Patvirtinimas

Studento **Dominyko Rudelio** baigiamojo magistro projekto „**Žaliojo vandenilio panaudojimo amoniako sintezei technologinis vertinimas**“ skyrius „Statybiniai sprendimai“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.



Gintaras Denafas

To: Dominykas Rudelis

Cc: Andrius Jaskūnas

Reply Reply all Forward

Mon 5/25/2026 11:51 AM

Studento **Dominyko Rudelio** baigiamojo magistro projekto „**Žaliojo vandenilio panaudojimo amoniako sintezei technologinis vertinimas**“ skyrius „**Aplinkosauginis vertinimas**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas **Gintaras Denafas**



Irena Pekarskienė

To: Dominykas Rudelis

Reply Reply all Forward

Thu 5/28/2026 3:11 PM

Laba diena,

šiuo laišku patvirtinu, kad studento **Dominyko Rudelio** baigiamojo magistro projekto „**Žaliojo vandenilio panaudojimo amoniako sintezei technologinis vertinimas**“ skyrius „**Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas **Irena Pekarskienė**

Studento **Dominyko Rudelio** baigiamojo magistro projekto „**Žaliojo vandenilio panaudojimo amoniako sintezei technologinis vertinimas**“ skyrius „**Darbuotojų sauga ir sveikata**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas **doc. dr. Dalia Nizevičienė**