



Kauno technologijos universitetas
Cheminės technologijos fakultetas

Žaliojo vandenilio panaudojimas amoniako sintezei tobulinti
Baigiamasis magistro projektas

Vesta Macidulskaitė
Projekto autorė

Doc. dr. Andrius Jaskūnas
Vadovas

Kaunas, 2025



Kauno technologijos universitetas
Cheminės technologijos fakultetas

Žaliojo vandenilio panaudojimas amoniako sintezei tobulinti

Baigiamasis magistro projektas
Chemijos inžinerija 6211EX020

Konsultantai

Aplinkosauginis vertinimas
Prof. dr. Gintaras Denafas

Vesta Macidulskaitė

Projekto autorė

Finansiniai ir ekonominiai
skaičiavimai

Prof. dr. Irena Pekarskienė

Doc. dr. Andrius Jaskūnas

Vadovas

Statybiniai sprendimai

Lekt. dr. Odeta Viliniūnienė

Doc. dr. Rasa Paleckienė

Recenzentė

Darbuotojų sauga ir sveikata

Doc. dr. Dalia Nizevičienė

Kaunas, 2025



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Vesta Macidulskaitė

Žaliojo vandenilio panaudojimas amoniako sintezei tobulinti

Akademinių 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.

Vesta Macidulskaitė

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Tvirtinu:
Cheminės technologijos fakulteto dekanė
Prof. dr. V. Kitrytė-Syrpa
Dekano potvarkis Nr. V25-02-22,
2025 m. gegužės mėn. 20 d.

Suderinta:
Fizikinės ir neorganinės chemijos
Katedros vedėja
Doc. dr. Kristina Kantminienė
2025 m. kovo mėn. 17 d.

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Projekto tema Žaliojo vandenilio panaudojimas amoniako sintezei tobulinti

Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas– išanalizuoti žaliojo vandenilio panaudojimą amoniako sintezei ir suprojektuoti amoniako sintezę su žaliuoju vandeniliu, siekiant sumažinti inertinių medžiagų kiekius sintezėje.

Darbo uždaviniai:

atlikti amoniako ir žaliojo vandenilio gamybos būdų ir technologinių procesų literatūros analizę;
parinkti optimaliausias žaliojo vandenilio gamybos su šarminiu elektrolizeriu sąlygas, siekiant išgauti kuo didesnę jo kiekį;
panaudojant cheminių procesų programinę įrangą „Aspen HYSYS“, sumodeliuoti amoniako sintezės su šarminiu vandens elektrolizeriu gamybinę liniją;
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 dekanų 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
(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

2025– 03– 03
(data)

Užduotį gavau: Vesta Macidulskaitė
(studento vardas, pavardė)

2025– 03– 03
(parašas, data)

Macidulskaitė, Vesta. Žaliojo vandenilio panaudojimas amoniako sintezei tobulinti. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Andrius Jaskūnas; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: žaliasis vandenilis, amoniakas, sintezė, elektrolizė.

Kaunas, 2025. 65 p.

Santrauka

Šiame darbe analizuojamas žaliojo vandenilio panaudojimas amoniako sintezėje, siekiant pateikti įžvalgų apie šios technologijos pranašumus. Skiriamas dėmesys aplinkosauginei naudai, kuri pasireiškia sumažėjusių teršalų kiekiu į atmosferą, ir teigiamiems technologinių įrenginių pokyčiams – inertinių medžiagų kiekio sumažėjimu amoniako reakcijoje.

Tradicinėje amoniako gamyboje, vykdam Haberio–Bošo procesą, reikalingi itin dideli energijos kiekiai bei ši remiasi iškastiniu kuru gautu vandeniliu. Proceso žaliava, kaip anglies junginių šaltinis, sukelia juntamą neigiamą poveikį aplinkai.

Panaudojant žaliąjį vandenilį amoniako sintezėje sumažinami inertinių dujų kiekiai, išmetami į aplinką. Šis vandenilis gaminamas iš atsinaujinančių energijos šaltinių, dėl ko amoniako gamyba tampa mažiau priklausoma nuo iškastinio kuro, tai žingsnis link tvaresnės pramonės. Sintezės reakcija tampa švaresnė, todėl rečiau reikia atlikti sistemos prapūtimą ir sumažėja neefektyvių šalutinių reakcijų kiekis. Gautasis žaliasis amoniakas gali būti panaudojamas ne tik kaip šaltinis azoto trąšose, bet ir kaip alternatyva transportuoti vandeniliui.

Darbo metu taip pat nagrinėjamos vandenilio panaudojimo, gamybos galimybės, aptariamoms amoniako sintezės technologinės tobulinimo kryptys. Atliktas suprojektuoto modelio tyrimas rodo inertinių dujų koncentracijos sumažėjimą sintezės dujose, mažesni reikalinga energijos srautą dujoms suslėgti bei didesnę amoniako išeigą. Pateikiami technologinės dalies aprašai, pastato statybiniai sprendimai, projekto finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai, amoniako sintezės aplinkosauginis vertinimas bei išanalizuoti darbuotojų saugos ir sveikatos poreikiai.

Macidulskaitė, Vesta. Green Hydrogen Integration for the Improvement of Ammonia Synthesis. Master's Final Degree Project / supervisor doc. dr. Andrius Jaskūnas; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: green hydrogen, ammonia, synthesis, electrolysis.

Kaunas, 2025. 65.

Summary

This work analyzes the use of green hydrogen in ammonia synthesis, aiming to provide insights into the advantages of this technology. Attention is given to environmental benefits, which include reduced emissions into the atmosphere, as well as positive changes in technological equipment—specifically, the reduction of inert substances in the ammonia reaction.

Traditional ammonia production via the Haber–Bosch process requires large amounts of energy and relies on hydrogen derived from fossil fuels. As a source of carbon-based compounds, this feedstock causes significant negative environmental impacts.

By using green hydrogen in ammonia synthesis, the amount of inert gases released into the environment is reduced. Green hydrogen is produced from renewable energy sources, making ammonia production less dependent on fossil fuels—a step toward more sustainable industry. The synthesis reaction becomes cleaner, resulting in less frequent system purging and fewer inefficient side reactions. The resulting green ammonia can be used not only as a nitrogen source in fertilizers but also as an alternative medium for hydrogen transport.

The study also explores the possibilities of hydrogen use and production, and discusses technological improvement directions in ammonia synthesis. The analysis of the designed model shows a reduction in the concentration of inert gases in the synthesis mixture, lower energy requirements for gas compression, and increased ammonia yield. The work includes descriptions of technological components, construction solutions for the facility, financial and economic calculations, an environmental impact assessment of ammonia synthesis, and an evaluation of occupational health and safety needs.

Turinys

LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	9
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	11
SANTRUMPŲ IR TERMINŲ SĄRAŠAS	12
ĮVADAS	13
1. LITERATŪROS APŽVALGA	14
1.1. VANDENILIO PANAUDOJIMO BŪDAI	14
1.2. VANDENILIO GAMYBOS BŪDAI	14
1.3. VANDENILIO GAMYBOS IR LAIKYMO STATISTIKA	15
1.4. VANDENILIO GAMYBOS ATEITIES PERSPEKTYVOS	15
1.5. VANDENILIO SAUGOJIMAS IR TRANSPORTAVIMAS	16
1.6. AMONIAKO GAMYBOS BŪDAI	17
1.6.1. Elektrocheminė amoniako sintezė	17
1.6.2. Elektrokatalizinė amoniako sintezė	17
1.6.3. Fotokatalizinė amoniako sintezė	18
1.6.4. Haber Bosch procesas su elektrolizeriu	18
2. TIRIAMOJI (EKSPERIMENTINĖ) DALIS.....	22
2.1. SUKURTAS ESAMOS AMONIAKO GAMYBOS LINIJOS MODELIS.....	22
2.1.1. Esamos amoniako sintezės modelio aprašymas	22
2.2. ŠARMINIO VANDENS ELEKTROLIZERIAUS MODELIO SUDARYMAS	23
2.2.1. Elektrolizeriaus parametrų parinkimas	24
2.3. ŠARMINIO VANDENS ELEKTROLIZERIO PRIJUNGIMAS PRIE ESAMOS AMONIAKO SINTEZĖS MODELIO	26
2.3.1. 30 % žaliojo vandenilio panaudojimo esamai amoniako sintezei tyrimas	26
3. INŽINERINĖ DALIS	29
3.1. TECHNOLOGINĖ DALIS.....	29
3.1.1. Amoniako technologinės schemos aprašas	30
3.2. STATYBINIAI SPRENDIMAI	31
3.3. FINANSINIAI IR EKONOMINIAI SKAIČIAVIMAI.....	33
3.3.1. Projekto investicijos ir jų finansavimo šaltiniai.....	34
3.3.2. Ilgalaikio turto skaičiavimas.....	34
3.3.3. Produkcijos gamybos apimtys planavimas	35
3.3.4. Gamybos kaštai	35
3.3.5. Veiklos kaštai	40
3.3.6. Finansinės sąnaudos	41
3.3.7. Gaminio kainos skaičiavimas.....	41
3.3.8. Projekto pelnas ir grynujų pinigų srautai	42
3.3.9. Grynujų pinigų srautų ir pelno skaičiavimas	43
3.3.10. Investicijų efektyvumo vertinimas	44
3.3.11. Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai	46
3.4. APLINKOSAUGINIS VERTINIMAS	47
3.4.1. Detalus ūkinėje veikloje naudojamų technologinių procesų apibūdinimas	47
3.4.2. Bendrieji duomenys	48
3.4.3. Atliekos	50
3.4.4. Aplinkos oro tarša	50

3.4.5.	<i>Naudojamas vanduo ir susidarančios nuotekos.....</i>	<i>51</i>
3.4.6.	<i>Aplinkosauginio vertinimo apibendrinimai ir išvados</i>	<i>52</i>
4.	DARBUOTOJŲ SAUGA IR SVEIKATA	53
4.1.	PROJEKTUOJAMOJO OBJEKTO CHARAKTERISTIKA.....	53
4.2.	PROFESINĖS RIZIKOS VERTINIMAS	53
4.3.	SAUGI GAMYBA.....	56
4.4.	DARBO HIGIENA	57
4.5.	GAISRINĖ SAUGA.....	58
	IŠVADOS	61
	LITERATŪROS SĄRAŠAS	62
	PRIEDAI.....	65
1	PRIEDAS. TECHNOLOGINĖ SCHEMA.....	65
2	PRIEDAS. SKLYPO PLANAS	65
3	PRIEDAS. ĮRENGINIŲ IŠDĖSTYMO PLANAS	65
4	PRIEDAS. PASTATO PJŪVIS	65
5	PRIEDAS. DARBO PATVIRTINIMAI	65

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Vandenilio našumas ir grynumo priklausomybė nuo slėgio	24
2 lentelė. Vandenilio našumo ir grynumo priklausomybė nuo temperatūros pokyčio	25
4 lentelė. Modelio apskaičiuotas reikalingas energijos kiekis kiekvienam etapui	26
5 lentelė. Modelio apskaičiuotas reikalingas energijos kiekis kiekvienam etapui su žaliuoju vandeniliu	27
6 lentelė. Tyrimo rezultatų palyginimas	28
7 lentelė. Pagrindiniai sklypo techniniai rodikliai	33
8 lentelė. Projekto finansavimo poreikis ir šaltiniai	34
9 lentelė. Pastatų ir technologinių įrengimų vertė	34
10 lentelė. Produkcijos gamybos apimtys planavimas	35
11 lentelė. Išlaidos pagrindinėms žaliavoms	36
12 lentelė. Pagrindinių darbuotojų metinis darbo užmokestis	37
13 lentelė. Tiesioginės išlaidos elektros energijai	38
14 lentelė. Amortizaciniai atskaitymai	39
15 lentelė. Gamybos kaštai	39
16 lentelė. Veiklos kaštų paskirstymas	40
17 lentelė. Palūkanų mokėjimo ir paskolos grąžinimo planas	41
18 lentelė. 1 tonos žaliojo amoniako kainos apskaičiavimas	42
19 lentelė. Projekto pelnas ir grynujų pinigų srautai	42
20 lentelė. Projekto grynujų pinigų srautų skaičiavimas	43
21 lentelė. Projekto paprasti ir diskontuoti grynujų pinigų srautai (GPS)	44
22 lentelė. Projekto ekonominio vertinimo rodikliai	45
23 lentelė. Lūžio taško skaičiavimo rezultatai	46
24 lentelė. Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai	46
25 lentelė. Duomenys apie gaminius (produkciją)	48
26 lentelė. Kuro ir energijos vartojimas	48
27 lentelė. Energijos gamyba	48
28 lentelė. Duomenys apie naudojamą žaliavą, chemines medžiagas ar preparatus [26]	49
29 lentelė. Žaliavų ir papildomų cheminių medžiagų ar preparatų saugojimas	49
30 lentelė. Užsakovo siūlomais ir geriausiais prieinamais gamybos būdais (GPGB) pasiekiamos parametrai (energijos ir vandens suvartojimas, išmetamieji į orą ir išleidžiamieji į vandenį teršalai, susidariusios atliekos) ribinės vertės pagal technologijas [26]	50
31 lentelė. Tarša į aplinkos orą	50
32 lentelė. Numatomas vandens paėmimas ir vartojimas	51
33 lentelė. Duomenys apie nuotekų šaltinius ir išleistuvus	51
34 lentelė. Planuojamų išleisti nuotekų užterštumas/numatoma aplinkos tarša	52
35 lentelė. Rizikos veiksnių identifikavimas ir kiekybinis įvertinimas [28, 29, 30, 31, 32, 33]	53
36 lentelė. Medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliai [35]	55
37 lentelė. Pastatų, patalpų ir išorinių įrenginių kategorijos pagal sprogimo ir gaisro pavojų, pavojingų vietų zonos [35]	56
38 lentelė. Kenksmingų medžiagų ribinės vertės [28]	57
39 lentelė. Darbo patalpų šiluminis komfortas [32]	57
40 lentelė. Darbo patalpų pakankamos šiluminės aplinkos oro temperatūros, oro santykinio drėgnumo ir oro judėjimo greičio norminės vertės [32]	58

41 lentelė. Darbo vietų patalpų viduje apšvietos mažiausios ribinės vertės [31]	58
42 lentelė. Gaisro klasė ir ugnį gesinanti medžiaga [35]	59

Paveikslų sąrašas

1 pav.	Pagrindinių vandenilio panaudojimo būdų žemėlapis [1].....	14
2 pav.	Galimi vandenilio gamybos būdai, atspindintys vandenilio „spalvas“	15
3 pav.	Dešimties metų vandenilio gamybos ir laikymo duomenys	15
4 pav.	Kietosios būsenos H^+ protonų elemento schema	17
5 pav.	Fotokatalizinės amoniako sintezės proceso schema	18
6 pav.	Šarminio elektrolizatoriaus schema	19
7 pav.	Protonų mainų membranos elektrolizatoriaus schema.....	20
8 pav.	Kietojo oksido elektrolizatoriaus schema	21
9 pav.	Amoniako sintezės modelis esamai technologijai	22
10 pav.	Šarminio vandens elektrolizeriaus modelis.....	23
11 pav.	Vandenilio dujų išeigos ir grynumo priklausomybės nuo slėgio, kai temperatūra 70 °C	24
12 pav.	Vandenilio dujų našumo ir grynumo priklausomybės nuo temperatūros, kai slėgis 7 bar	25
13 pav.	AVM srauto medžiagų kiekiai ir pradinės sąlygos	26
14 pav.	AVM srauto medžiagų kiekiai ir pradinės sąlygos su žaliuoju vandeniliu.....	27
15 pav.	Amoniako sintezės technologinė schema su šarminiu vandens elektrolizeriu	29
16 pav.	Sklypo nuotrauka [<i>šaltinis - regia.lt</i>]	32
17 pav.	Sklypo nuotrauka iš viršaus	32
18 pav.	Projekto bendrųjų ir diskontuotų pinigų srautų grafikas.....	45
19 pav.	Elektrolizerio patalpų evakuacijos planas.....	60

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

Doc. – docentas;

AWE – šarminė vandens elektrolizė;

PEM – protonų mainų membrana;

SOWE – kietojo oksido vandens elektrolizė.

Ivadas

Kiekvienais metais vis didėjantis dėmesys šiltnamio efektą sukeliančioms dujoms skatina pramonę ieškoti tvaresnių, aplinkai palankesnių gamybos būdų. Viena iš pramonės sričių, kurioje itin svarbu sumažinti išmetama anglies dioksido kiekį bei pereiti prie „žalesnių“ technologijų, yra amoniako sintezė. Tradicinis jo gamybos būdas pagrįstas Haber–Boch procesu, kuris reikalauja daug energijos ir yra priklausomas nuo gamtinių dujų, iš kurių išgaunamas vandenilis. Toks vandenilio dujų gavimas lemia didelį anglies dioksido išmetimą į aplinką. Siekiant sumažinti aplinkos taršą šiltnamio efektą sukeliančiomis dujomis, vis daugiau dėmesio skiriama žaliajam vandeniliui, kuris gaunamas elektrolizės būdu iš atsinaujinančių energijos šaltinių.

Žaliojo vandenilio yra vienas iš potencialiausių variantų, norint pakeisti iškastiniu kuru gaunamą vandenilį, taip sumažinant amoniako sintezės metu išmetamą anglies dvideginio kiekį. Šių dujų įtraukimas į amoniako gamybos liniją ne tik sumažintų neigiamą poveikį aplinkai, bet ir sudarytų sąlygas efektyviau naudoti atsinaujinančius energijos šaltinius. Toks pramonės perėjimas būtų svarbus žingsnis link tvarios bei švarios amoniako sintezės. Šiame darbe bus analizuojamas žaliajo vandenilio panaudojimas amoniako sintezei tobulinti, nagrinėjamos tradicinio amoniako gamybos būdo alternatyvos bei suprojektuojamas šarminis elektrolizeris žaliajam vandeniliui gaminti.

Projekto darbo tikslas yra išanalizuoti žaliajo vandenilio panaudojimą amoniako sintezei ir suprojektuoti amoniako sintezę su žaliuoju vandeniliu, siekiant sumažinti inertinių medžiagų kiekius sintezėje.

Tikslui pasiekti iškelti uždaviniai:

- atlikti amoniako ir žaliajo vandenilio gamybos būdų ir technologinių procesų literatūros analizę;
- parinkti optimaliausias žaliajo vandenilio gamybos su šarminiu elektrolizeriu sąlygas, siekiant išgauti kuo didesnę jo kiekį;
- panaudojant cheminių procesų programinę įrangą „Aspen HYSYS“, sumodeliuoti amoniako sintezės su šarminiu vandens elektrolizeriu gamybinę liniją;
- pateikti statybinius sprendimus, finansinius ir ekonominius skaičiavimus, aplinkosauginį vertinimą bei reikalavimus dėl darbuotojų saugos ir sveikatos.

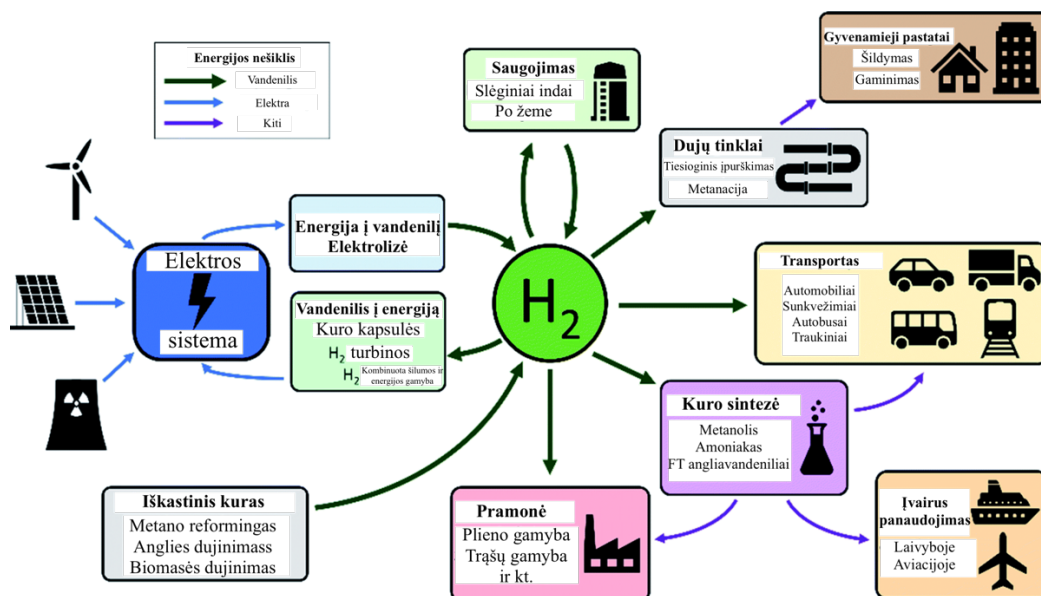
1. Literatūros apžvalga

1.1. Vandenilio panaudojimo būdai

Vienas iš vandenilio panaudojimo būdų galėtų būti visos sistemos energijos balansavimas dėl didelio vandenilio energijos tankio pagal masę, kuris leidžia efektyviai kaupti ir konvertuoti energiją. Pavyzdžiui jis gali būti gaminamas iš elektros energijos jos tiekimo metu, saugomas, o vėliau vėl paverčiamas elektra. Tačiau toks vandenilio saugojimo efektyvumas siekia tik apie 20–36 % [1].

Vandenilis, dėl savo tinkamumo sandėliuoti kuro elementuose, naudojamas kaip transporto kuras. Jis ne tik gali būti deginamas vidaus degimo variklyje, bet ir jo kuro bakas su kuro elementu gali tiekti elektros energiją elektromobiliui. Dėl savo pagaminimo būdo, vandenilis laikomas vienu iš mažai anglies dioksido į aplinką išskiriančiu kuru transporto pramonėje. Lyginant su akumuliatoriniais elektromobiliais, vandenilio kuro elementu pagamintas kuras turi greitesnį degalų papildymo laiką, didesnę važiavimo atstumą bei kai kuriais atvejais mažesnes kelionės išlaidas [1].

Suskystinus šias dujas, jos gali būti maišomos su kitu kuru, pavyzdžiui, amoniaku. Sumaišytas su amoniaku, vandenilis padidina degimo efektyvumą bei sumažina azoto oksidų (NO_x) susidarymą. Nei vandenilyje, nei amoniake nėra anglies atomų. Dėl šios priežasties nesusidaro anglies dioksidas bei kitos kenksmingos šiltnamio efektą sukeliančios dujos šio kuro degimo metu [2].

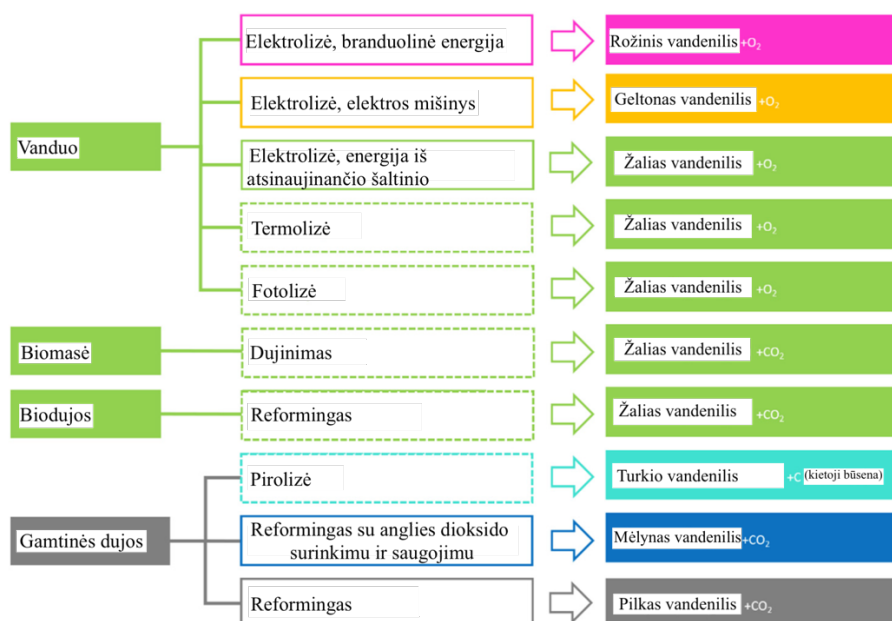


1 pav. Pagrindinių vandenilio panaudojimo būdų žemėlapis [1]

1.2. Vandenilio gamybos būdai

Vandenilio gamyba gali būti vykdoma įvairiais būdais, tačiau jo „spalvą“ nusako naudojamos žaliavos prigimtis. Iš biomasės ir biodujų pagamintas vandenilis yra žalios spalvos, iš iškastinių gamtinių dujų gautos šios dujos gali būti trijų spalvų – turkio, mėlynos bei pilkos. Kai turime vandenį, kaip vandenilio šaltinį, šis, priklausomai nuo naudojamos elektrolizei elektros energijos, taip pat skirstomas į tris spalvas: geltoną, kai naudojamas elektros mišinys; rožinę, kai naudojama branduolinė energija; žalią – naudojami atsinaujinantys energijos šaltiniai [3].

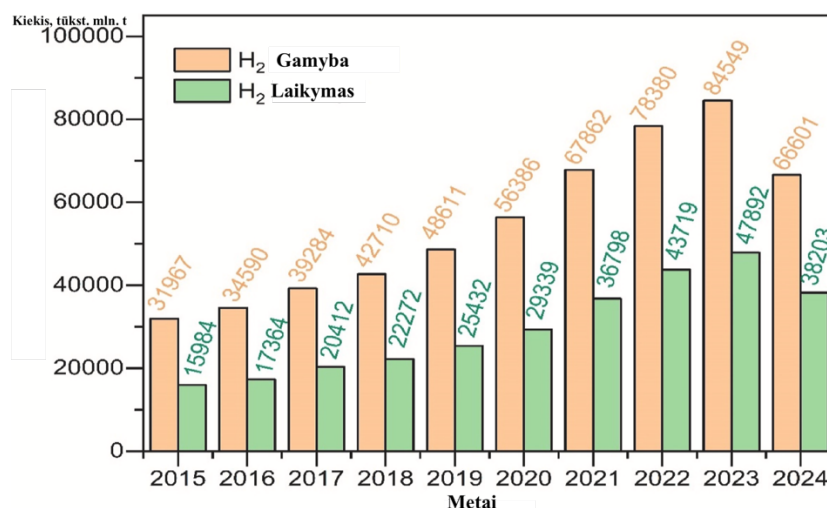
Paveiksle (žr. 2 pav.) pavaizduotos visos galimos vandenilio spalvos [3].



2 pav. Galimi vandenilio gamybos būdai, atspindintys vandenilio „spalvas“

1.3. Vandenilio gamybos ir laikymo statistika

Vandenilis laikomas antruoju pagal svarbą energijos nešikliu visame pasaulyje, pirmas yra elektra. Šių dujų gamyboje daugiausiai naudojamas energijos šaltinis yra gamtinės dujos, kurios sudaro net 48 % visos naudojamos energijos, naftai sudaro 30 %, anglis 18 %, o elektrolizė vos 4 %. Kiekvienais metais vandenilio yra pagaminama apie 368 milijonus m³. Paveiksle (žr. 3 pav.) pateikti paskutiniųjų dešimties metų H₂ gamybos ir laikymo duomenys [4].



3 pav. Dešimties metų vandenilio gamybos ir laikymo duomenys

1.4. Vandenilio gamybos ateities perspektyvos

Viena iš perspektyvių vandenilio gamybos krypčių yra biologinis vandenilis, kuris išgaunamas taikant biologinius metodus, kuriuose naudojama gyvų organizmų saulės energijos absorbcija. Šis gamybos metodas laikomas daug žadančiu, kadangi vandeniliui išgauti galima naudoti įvairias žaliavas, tokias kaip žemės ūkio likučiai, miškininkystės liekanos ir atliekos, pramoninės bei komunalinės atliekos, kurios tvariai tiekiamos iš gamtos [5].

Biovandenilio gamybos pagrindinė žaliava galima laikyti biomasę, kurioje esanti anglis yra susikaupusi iš augalų sugerto atmosferos anglies dioksido. Šio gamybos proceso metu susidarantis

anglies dvideginis yra anglies apytakos dalis, todėl ši sintezė, lyginant su tradiciniais vandenilio gamybos būdais, laikoma neutralia anglies dioksido atžvilgiu [5].

Šio vandenilio gamyba biologiniu metodu, tai technologija, kuri naudoja mikrobo metabolizmą ir gali būti suskirstyta į šias kategorijas [5]:

- Vandens fotolizė – vandens skaidymas mikroorganizmais fotosintezės būdu;
- Fotofermentacija – anaerobinės fermentacijos reakcijos katalizė, kurią inicijuoja fotosintinės bakterijos, panaudojus šviesos energiją;
- Tamsioji fermentacija – organinių atliekų pavertimas organinėmis rūgštimis, kurias fermentuoja heterotrofinės anaerobinės bakterijos anaerobinėmis sąlygomis;

1.5. Vandenilio saugojimas ir transportavimas

Vandenilio saugojimas yra neatsiejama jo gamybos dalis, kadangi taip šis išlaikomas kaip tvarusis energijos šaltinis. Šios dujos gali būti saugojamos aukšto slėgio induose, tokiuose kaip suslėgta dujinė vandenilio saugykla, kuri puikiai tinka kuomet reikia didelio dujų kiekio arba greito jų papildymo. Toks dujų saugojimo būdas yra patikimas, tačiau yra galimi vandenilio nuotėkiai [6].

Suskystintas vandenilis yra saugojamas izoliuotose talpyklose, kur vyksta vandenilio aušinimas iki kriogeninės jo temperatūros $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tokiu saugojimo būdu galima išlaikyti didelį tūrinį tankį, dėl šios priežasties šis būdas gali būti pritaikytas ir transportavimui. Toks transportavimas pasižymi dideliais energijos kaštais ir yra tikimybė, jog vandenilis užvirs. Sujungus kriogeninį aušinimą bei aukšto slėgio palaikymą, suskystintas vandenilis būtų laikomas žemesnėje temperatūroje, taip būtų užkertamas kelias į užvirimo nuostolius. Vienintelis toks saugojimo bei kartu transportavimo metodas minusas yra išlaikyti griežtas kriogenines ir aukšto slėgio sąlygas [6].

Vienas iš saugojimo būdų taip gali būti fizikosorbcija, kuri pasižymi silpna fizine vandenilio molekulių adsorbcija ant kietų medžiagų paviršių Van der Valso jėgomis. Tokiam metodui naudojamos anglies pagrindu pagamintos struktūros, ceolitai ir polimerai, turintys vidinį mikropoliškumą. Šis saugojimo būdas naudingas dėl greitų ir grįžtamų adsorbcijos bei desorbcijos procesų. Iššūkis taip saugant vandenilį yra metodu mažas pajėgumas kambario temperatūroje, todėl jam reikalingos kriogeninės sąlygos, kurias sunku išlaikyti [6].

Galimas dujų saugojimas chemisorbcijos būdu, kai reikalingas stabilus ir ilgalaikis saugojimas. Tai procesas, kuomet sujungiamas vandenilis su medžiagomis, kad susidarytų stabilūs hibridai. Tokiu metodu išlaikomas didelis dujų tankis esant aplinkos sąlygomis. Chemosorbcijos metodas reikalauja didelių aktyvavimo energijos kaštų ir jį riboja reaktyviųjų vietų prieinamumas medžiagose, kurios būtų naudojamos saugojimui [6].

Dažniausi vandenilio transportavimo būdai ir juos ribojantys iššūkiai [6]:

- suskystinus vandenilį izoliuotose talpose, palaikant kriogenines sąlygas;
- vandenilio sujungimas su azotu gaunant amoniaką – tai alternatyva, norint išlaikyti didesnę energijos tankį nei suskystinus vandenilį, transportuoti vandenilį dideliais atstumais. Tačiau amoniakas yra toksiškas, vandenilyje gali likti amoniako pėdsakų.
- skysto organinio vandenilio nešikliais tokiais kaip naftalenas ir toluenas. Šios medžiagos leidžia kaupti ir transportuoti dujas per grįžtamasias chemines reakcijas. Metodas naudojamas esant aplinkos sąlygoms. Šio būdo minusas yra dideli energijos kaštai, reikalingi cheminėms reakcijoms.

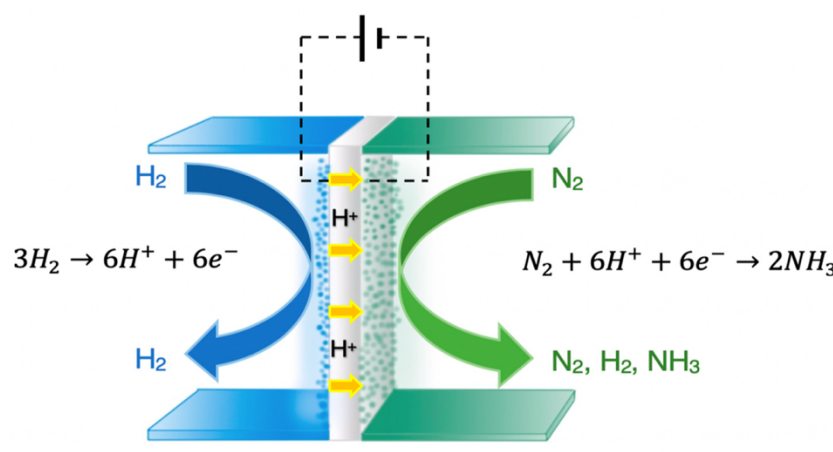
1.6. Amoniakos gamybos būdai

Apie 96 % viso pagaminamo amoniako yra gaminama taikant Haberio–Bošo procesą, kuriuo būdu kaip žaliava vandeniliui gauti yra naudojamas iškastinis kuras, toks kaip gamtinės dujos, anglis ar nafta. Šiuo procesu vykdoma gamyba yra viena iš daugiausiai pasaulyje energijos suvartojančių gamybų. Amoniakos sintezė išskiria net 1,2 % CO₂ dujų iš visų pramoninių, kurių šalutinis produktas gaunamas šiltnamio efektą sukeliančios dujos [7].

Dėl šių priežasčių, reikalingas šio proceso tobulinimas į mažiau aplinką teršiantį, siekiant išgauti nulinės anglies dioksido emisijas. Toliau pateikti aplinkai palankesni amoniako gamybos būdai.

1.6.1. Elektrocheminė amoniako sintezė

Elektrocheminė amoniako sintezė buvo pradėta tyrinėti tuomet, kai mokslininkas H. Iwahara ir jo kolegos atrado medžiagas, kurios pasižymi protoniniu laidumu aukštoje temperatūroje (>400 °C). Tokios medžiagos buvo pavadintos kietojo kūno protonų (H⁺) laidininkais. Jau 1998 metais amoniakas buvo susintetintas kietosios būsenos H⁺ protonų elemente, esant atmosferiniam slėgiui. Tokio elemento schema pavaizduota 3 paveiksle. H₂ ir N₂ dujos atitinkamai įleidžiamos virš anodo ir katodo. Sintezė prasideda anode – jame vandenilis paverčiamas protonais, kurie elektrochemiškai perkeliama į katodą. Katode šie H⁺ protonai reaguoja su N₂ ir taip susidaro amoniakas [8].



4 pav. Kietosios būsenos H⁺ protonų elemento schema

1.6.2. Elektrokatalizinė amoniako sintezė

Ši sintezė vykdoma vidutinėmis sąlygomis, tai yra aplinkos temperatūroje ir slėgyje, naudojama vėjo ir saulės energija, tačiau sunaudojami dideli žaliavų (vandens ir oro) kiekiai. Elektrokatalizinės amoniako sintezės cheminė lygtis [9]:

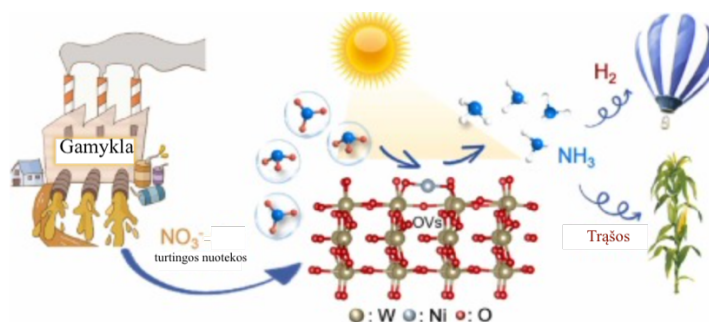


Šios amoniako sintezės metu azoto molekulės prilimpa prie katalizatoriaus paviršiaus, dėl šios priežasties yra lengviau nutraukiami azoto atomų ryšiai. Vandenilio jonai jungiasi su azotu ir sudaro amoniaką. Tai vyksta trimis pagrindiniais būdais: išsiskyrimas, tolimas susijungimas ir susijungimo mainų būdai. Sintzei, kaip katalizatoriai, tinkamiausi yra tinkami pereinamųjų metalų nitridai. Naudojant tokių katalizatorių, jo paviršiuje esantys nitrinantys atomai atkuria Van Krevelen procesą, kurio metu katalizatorius atiduoda deguonį substratui oksiduodamas jį, sukuria vakuumą ir „kvėpuodami“ N₂ dujomis, sumažina paviršiaus plotą iki amoniako [9].

1.6.3. Fotokatalizinė amoniako sintezė

Lyginant su Haber– Bosch procesu, fotokatalizinis nuotekų nitrato (NO_3^-) redukavimas į amoniaką turi didelių perspektyvų. Gamtoje esantys šių nitratų teršalai kelia pavojų žmonių sveikatai, todėl mokslininkai yra pasiūlę ne vieną pramoninių nuotekų valymo metodą, tokį kaip jonų mainai ir mikroorganizmų genetinė modifikacija, tačiau jų praktiniam pritaikymui reikalingos didelės išlaidos ir sudėtingi procesai. NH_3 gamyba iš NO_3^- yra alternatyva valymo būdams bei perspektyvus būdas išgauti amoniaką, kurį būtų galima vėliau iš naujo panaudoti. Tai švari, tvari ir mažai energijos suvartojanti sintezė. Tačiau platus jos pritaikymas pastaruoju metu nevyksta dėl silpno fotokatalizatorių NO_3^- adsorbcijos gebėjimo ir mažo amoniako sintezės efektyvumo [10].

Pramoninėse nuotekose, kuriose gausu NO_3^- jonų taip pat yra ir organinių medžiagų, tokių kaip alkoholiai ir aldehidai, kurios gali turėti įtakos fotokataliziniai amoniako sintezei. Dėl šios priežasties nuotekos pirmiausiai turi būti išvalomos nuo organinių medžiagų, tuomet paduodamos į fotokatalizinį procesą. Šiai sintezei yra naudojamas $\text{Ni}/\text{H}_x\text{WO}_{3-y}$ hibridas su vienu Ni atomu ant modifikuotos $\text{H}_x\text{WO}_{3-y}$ struktūros. Hibridas lyginant su kitais fotokatalizatoriais pasižymi konkurencingu efektyvumu dėl sinerginio Ni vieno atomo ir $\text{H}_x\text{WO}_{3-y}$ laisvų deguonies vietų. Tokio proceso schema pavaizduota 4 paveiksle [10].



5 pav. Fotokatalizinės amoniako sintezės proceso schema

1.6.4. Haber Bosch procesas su elektrolizeriu

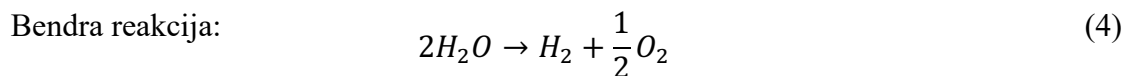
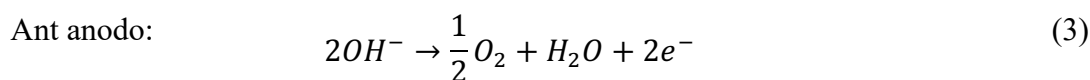
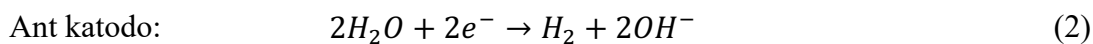
Švarios amoniako gamybos svarbiausias aspektas yra vandenilio gamybos būdas. Vienas iš alternatyviausių ir perspektyviausių H_2 gavimo būdų yra elektrolizė. Jos metu vandenilį galima gauti trimis būdais [11]:

- šarminė vandens elektrolizė;
- protonų mainų membranos vandens elektrolizė;
- vandens elektrolizė naudojant kietojo oksido elementus.

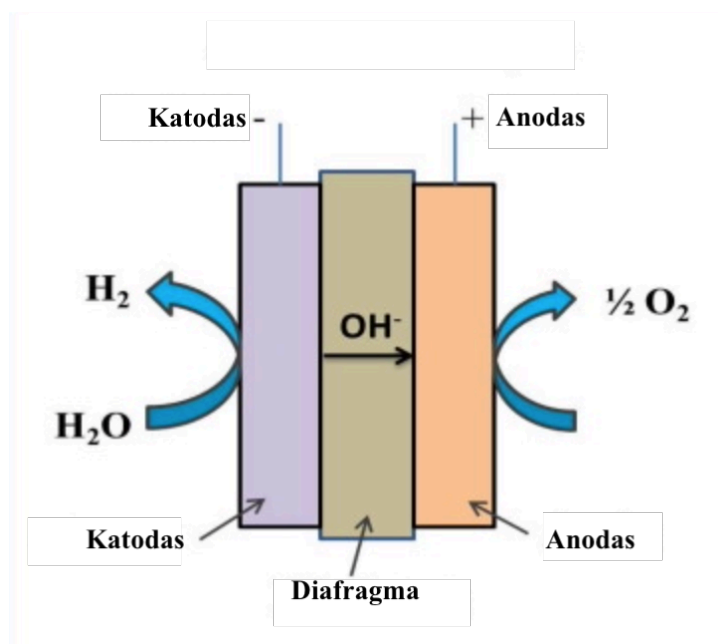
Šie metodai vienas nuo kito skiriasi dviem pagrindiniais parametrais: temperatūra ir pH. Kiekvienu vandenilio gamybos metu yra gaunamas labai grynas vandenilis ~ 99% [11].

1.6.4.1. Šarminė vandens elektrolizė

Šarminė vandens elektrolizė– tai vandens skilimas į vandenilio bei deguonies dujas panaudojant elektros energiją. Elektrolizeryje, prie katodo vyksta vandens molekulės redukcija į vandenilį ir hidroksido joną, o prie anodo vyksta hidroksido jonų oksidacijos reakcija į deguonį ir vandenį. Vykstančių reakcijų lygtys [12]:



Šarminiuose elektrolizeriuose dažniausiai naudojamas elektrolitas yra kalio hidroksido (KOH) tirpalas. Kiti galimi elektrolitai yra natrio chloridas (NaCl), natrio hidroksidas (NaOH) ir sieros rūgštis (H₂SO₄). Tokių elektrolizatorių optimaliausias darbinis slėgis yra nuo 1 iki 30 barų. Darbinė temperatūra nuo 25 iki 100 °C. Pramoniniuose šarminiuose elektrolizeriuose srovės tankis gali svyruoti nuo 100 iki 400 mA/cm² [13].

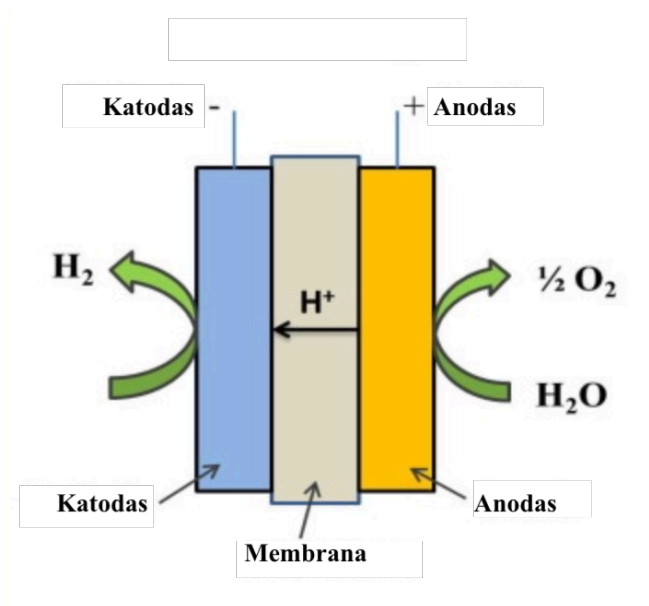


6 pav. Šarminio elektrolizatoriaus schema

1.6.4.2. Protonų mainų membranos vandens elektrolizė

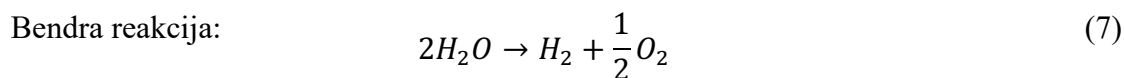
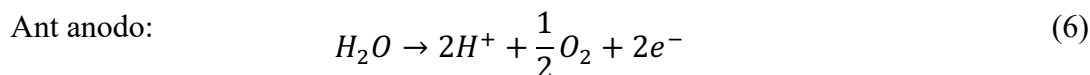
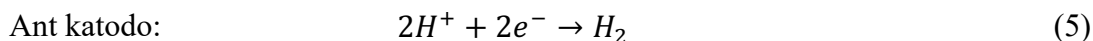
Ši elektrolizės rūšis pripažinta perspektyviausia technologija tvariojo vandenilio gamyboje dėl savo kompaktiškos sistemos konstrukcijos su dideliu darbinės srovės tankiu, didelio vandenilio grynumo bei didesnio energijos vartojimo efektyvumo, kai ši derinama su atsinaujinančiais energijos šaltiniais. Tačiau platų pramoninį naudojimą stabdo brangus elektrolizerių ir elementų komponentų naudojimas [14]. PEM vandens elektrolizė pasižymi greito dinaminio reagavimo savybėmis, dėl šios priežasties ją lengva derinti su iš atsinaujinančių šaltinių gaminama elektros energiją dėl jos būdingo nepastovumo. Ši savybė ypač naudinga aviacijos ir kosmoso įrangai, ypač kosminių stočių vandens perdavimo sistemoms [15].

Aukšto slėgio protonų mainų membranos vandens elektrolizės įrenginio pagrindinės sudedamosios dalys: katalizinis sluoksnis, bipolinės plokštės ir dujų difuzijos sluoksnis. Katalizatoriaus sukurtame sluoksnyje vyksta reakcija, o protonų mainų membrana efektyviai izoliuoja ant anodo ir katodo susidarančias dujas, leisdama per save praeiti tik protonams, hidratuoto vandenilio jono (H₃O⁺) pavidalu [15].



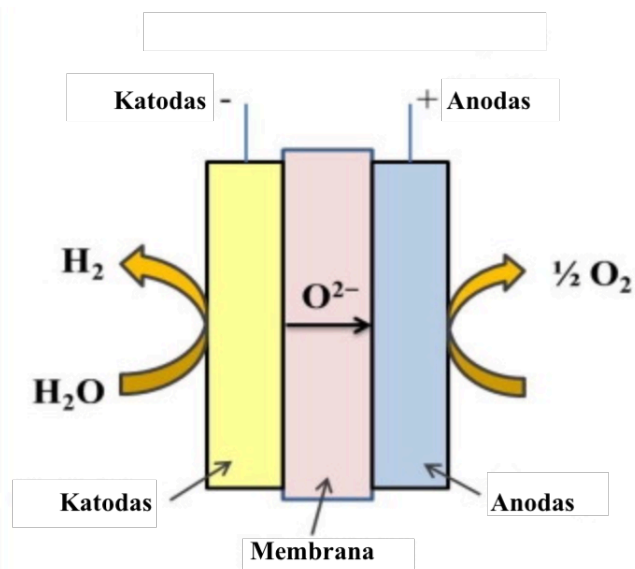
7 pav. Protonų mainų membranos elektrolizatoriaus schema

Protonų mainų membranos elektrolizatoriuje vykstančios reakcijos lygtys [16]:



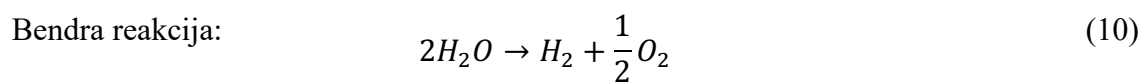
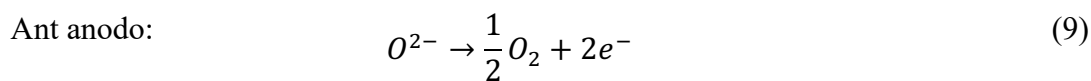
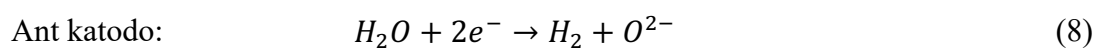
1.6.4.3. Vandens elektrolizė naudojant kietąjį oksidą

Aukštos temperatūros vandens elektrolizės, naudojant kietąjį oksidą, technologija buvo sukurta vandenilio dujomis gaminti iš branduolinės energijos. Integruotoje technologijoje, reaktorius tiekia ne tik elektrą, bet ir garą elektrolizės elementui. Garo generatorius į elektrolizatoriaus elementus tiekia labai aukštos (750–950 °C) temperatūros perkaitintus garus, kurių slėgis, priklausomai nuo gamybos sąlygų, gali svyruoti tarp 10–50 barų. Į elektrolizės vykdymo skyrių įeinančiose dujose yra ne tik vandenilio, bet ir vandens garų, kad būtų palaikomos redukcinės sąlygos, jog kietojo oksido kuro elementas veiktų atvirkštine tvarka. Jei elektrolizatorius veikia esant 800 °C temperatūrai, tuomet apie 75 % energijos jam tiekama elektra, o likusi energijos dalis tiekama šilumos pavidalu, garams gaminti [17].



8 pav. Kietojo oksido elektrolizatoriaus schema

Kietojo oksido elektrolizatoriuje vykstančios reakcijų lygtys [16]:

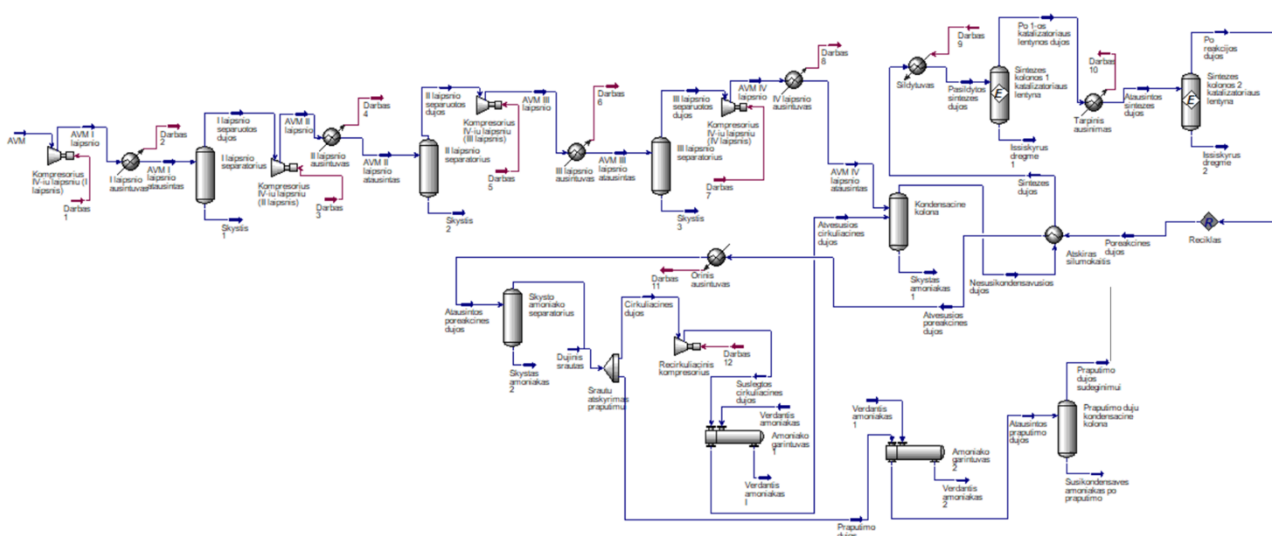


2. Tiriamoji (eksperimentinė) dalis

Šiame skyriuje bus tiriama vandenilio dujų gamybos su šarminiu vandens elektrolizeriu technologija bei jos prijungimas prie amoniako sintezės technologijos. Technologijos bei įrengimo modeliavimui pasinaudota Aspen HYSYS modeliavimo programinė įranga. Tyrimui sukurtas šarminio vandens elektrolizerio modelis bei amoniako gamybos technologijos modelis, jog įvertintume kaip „žaliasis“ vandenilis paveiktų esamą amoniako sintezę.

2.1. Sukurtas esamos amoniako gamybos linijos modelis

Sumodeliuota reali amoniako sintezės technologijos linija, naudojantis Aspen HYSYS modeliavimo įranga, kuri skirta chemijos inžinerijos procesams projektuoti.



9 pav. Amoniako sintezės modelis esamai technologijai

Modelyje naudotas termodinaminių duomenų paketas Peng–Robinson, nes šis paketas geriausiai aprašo nagrinėjamo proceso savybes, kadangi viso medžiagos yra dujinės būsenos. Srautų slėgiai, temperatūros bei įrengimų išdėstymas parinkti pagal esamą amoniako gamybą AB „Achema“ pirmajame amoniako ceche.

2.1.1. Esamos amoniako sintezės modelio aprašymas

Pirmiausiai, AVM (Azoto–vandenilio mišinys), masės debitu 300366 kg/h, kuris apskaičiuotas 66 t/h esamai amoniako gamybai, su atitinkamais medžiagų kiekiais: 0,38 % Ar, 0,002 % CO, 0,738 % CH₄, 0,0005 % CO₂, 24,72 % N₂, 74,16 % H₂, yra įleidžiamas į keturių laipsnių kompresorių suslėgti dujoms. Kadangi Aspen HYSYS programinėje įrangoje vienu įrengimu to sumodeliuoti nepavyko, todėl yra vykdomi keturi atskiri kompresijos laipsniai (*Kompresorius IV-iu laipsniu(I, II, III ir IV laipsnis)*), su tarpiniais aušinimais (*I,II,III ir IV laipsnio ausintuvai*) ir drėgmės atskyrimais separatoriais (*I, II ir III laipsnio separatorius*).

Sintezės kolonai (*Sintezės kolonos 1 katalizatoriaus lentyna ir Sintezės kolonos 2 katalizatoriaus lentyna*), jog būtų simuliuojamos realios gamyboje esančios sąlygos, buvo parinkti su pusiausvyros reaktoriai, kurie simbolizuoja dvi katalizatoriaus lentynas, ant kurių vyksta amoniako susidarymo reakcija. Kadangi realiai sintezės kolona turi šaltus apvadus, dėl to tarp šių dviejų reaktorių yra tarpinis aušinimas (*Tarpinis ausinimas*). Šiuose reaktoriuose palaikoma ~520 °C temperatūra, ku panašesnė į esančią pramoninėmis sąlygomis. Vietoje kondensacinės kolonos, modelyje naudojamas

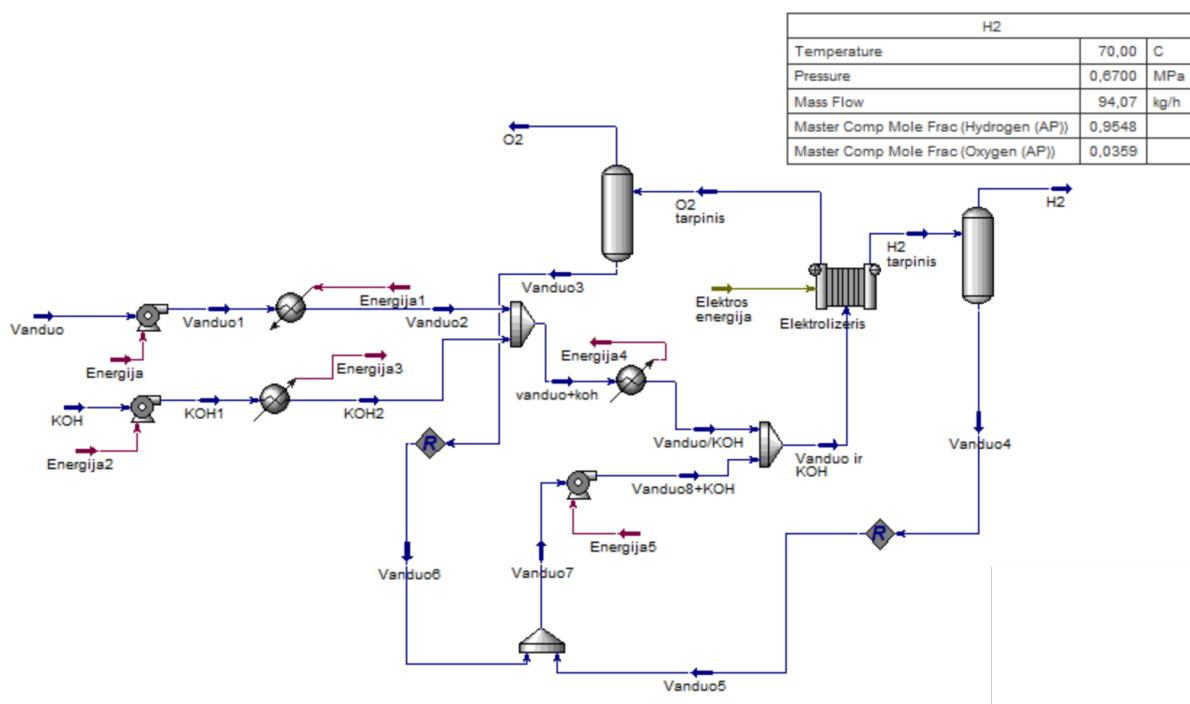
paprastas separatorius (*Kondensacine kolona*), kuriame darbinė temperatūra yra $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, jog susikondensuotų amoniakas.

Visa sintezė modelyje vyksta ciklu, jog po reakcijos esančios dujos (*Poreakcines dujos*) pašildytų į sintezės koloną įtekančias sintezės dujas (*Sintezes dujas*) praeidamos pro atskirą šilumokaitį (*Atskiras silumokaitis*). Šios dujos, atiduodamos savo šilumą bei nepakankamai ataušinamos, realioje gamyboje yra nukreipiamos į orinį aušintuvą, tačiau dėl paprastesnės technologijos, modelyje yra parenkamas paprastas aušintuvas (*Orinis ausintuvas*).

Po šio ataušinimo, poreakcinės dujos (*Atausintos poreakcines dujos*) patenka į separatorių (*Skysto amoniako separatorius*), kuriame dar dalis dujų susikondensuoja, amoniakas yra atskiriamas, o dujinis srautas padalinamas, jog iki 17 % dujų būtų nukreipta į prapūtimo dujų koloną. Šis etapas vykdomas dėl inertinių medžiagų, kurios nedalyvauja reakcijoje ir kaupiasi sintezės kolonoje bei visuose įrenginiuose, taip prastindamos jų darbą bei mažindamos darbinį gyvavimo laiką.

2.2. Šarminio vandens elektrolizeriaus modelio sudarymas

Sumodeliuotas šarminis vandens elektrolizeris Aspen *HYSYS* modeliavimo programoje.



10 pav. Šarminio vandens elektrolizeriaus modelis

Modeliavimas pradedamas nuo vandens bei KOH (kalio hidroksido 20 %) srautų, kadangi tai vienintelės žaliavos, iš kurių bus pagamintos vandenilio dujos. Pirmiausia abu srautus lygiagrečiai suslėgiame siurbliais iki sintezei reikiamo slėgio – 7 bar. Vandens srautas yra pašildomas iki $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūros, o KOH ataušinamas iki tokios pačios temperatūros, nes sleigiant kalio hidroksidas, šis sušyla virš reikiamos temperatūros. Sumaišomi abu srautai, KOH kontaktuodamas su vandeniu, pašildo srautą, dėl to nuosekliai yra naudojamas aušintuvas, kuris ataušina srautą prieš paduodant jį į elektrolizerį.

Kadangi KOH šioje sintezėje naudojamas tik kaip elektrolitas, jis nėra suvartojamas. Dėl šios priežasties vandenilio gamybos procesas vykdomas ciklu ir nesureagavęs vanduo elektrolizeryje po gautų produktų, deguonies ir vandenilio dujų, yra atskiriamas separatoriuose ir grąžinamas atgal reciklais.

Elektrolizeryje sintezė vykdoma 7 bar slėgyje ir 70 °C temperatūroje, tačiau turime slėgio sumažėjimą 0,3 bar išeinančių dujų, dėl šios priežasties grąžintas vanduo sumaišomas tarpusavyje iš abiejų separatorių ir sumaišyto srauto slėgis siurbliu pakeliamas iki 7 bar.

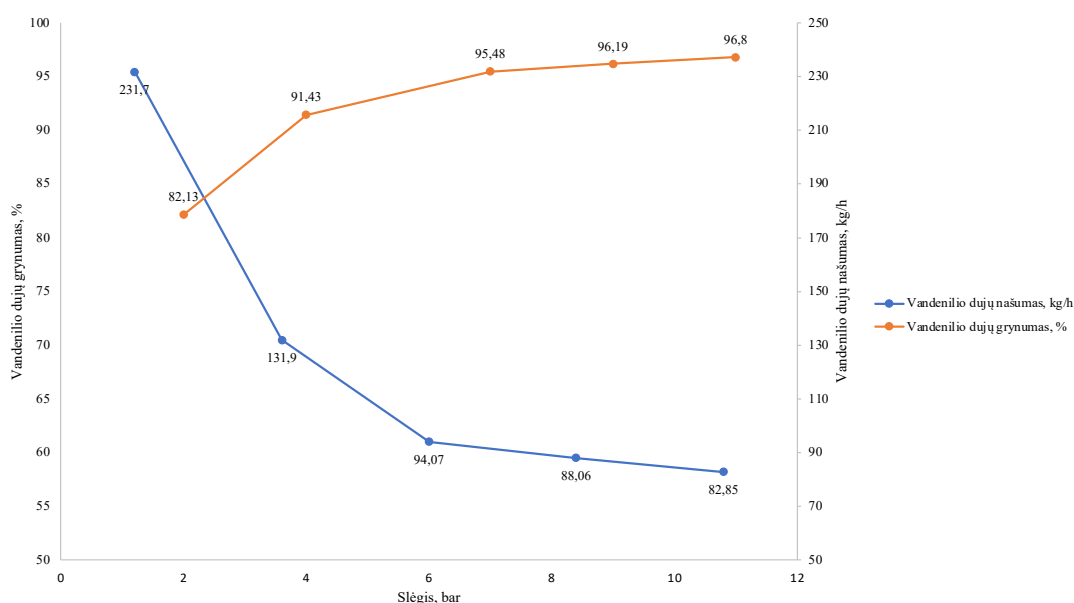
2.2.1. Elektrolizeriaus parametrų parinkimas

Remiantis tyrimų rezultatais, buvo parinkti elektrolizeriaus modelio parametrai 7 bar ir 70 °C temperatūra [18]. Sumodeliavus modelį Aspen *HYSYS* programa, buvo atliktas tyrimas kaip vandenilio išeiga ir grynumas priklauso nuo slėgio ir temperatūros, jog parinkti optimaliausias sąlygas elektrolizeryje H₂ gamybai.

Pimuoju tyrimu temperatūra buvo konstanta – 70 °C. Tokį temperatūros pasirinkimą lėmė užtikrintas balansas reakcijos greičio ir efektyvumo, kadangi vandens skilimo reakcija tampa palankesnė aukštesnėje temperatūroje, o elektrolizės efektyvumas priklauso nuo elektrodų ir elektrolito temperatūros. Kuo temperatūra aukštesnė, tuo mažesnė vandens klampa ir vidinė varža, dėl to bus reikalingas mažesnis energijos kiekis vandens skilimo reakcijai įvykti. Tokioje temperatūroje sistema nėra taip įkaitusi, jog kiltų rizika dėl žaliavų stabilumo. Gauti rezultatai pavaizduoti 1 lentelėje ir 11 paveiksle.

1 lentelė. Vandenilio našumas ir grynumo priklausomybė nuo slėgio

Temperatūra, °C	Slėgis, bar	H ₂ našumas, kg/h	H ₂ dujų grynumas, %
70	2	231,7	82,13
	4	131,9	91,43
	7	94,07	95,48
	9	88,06	96,19
	11	82,85	96,80



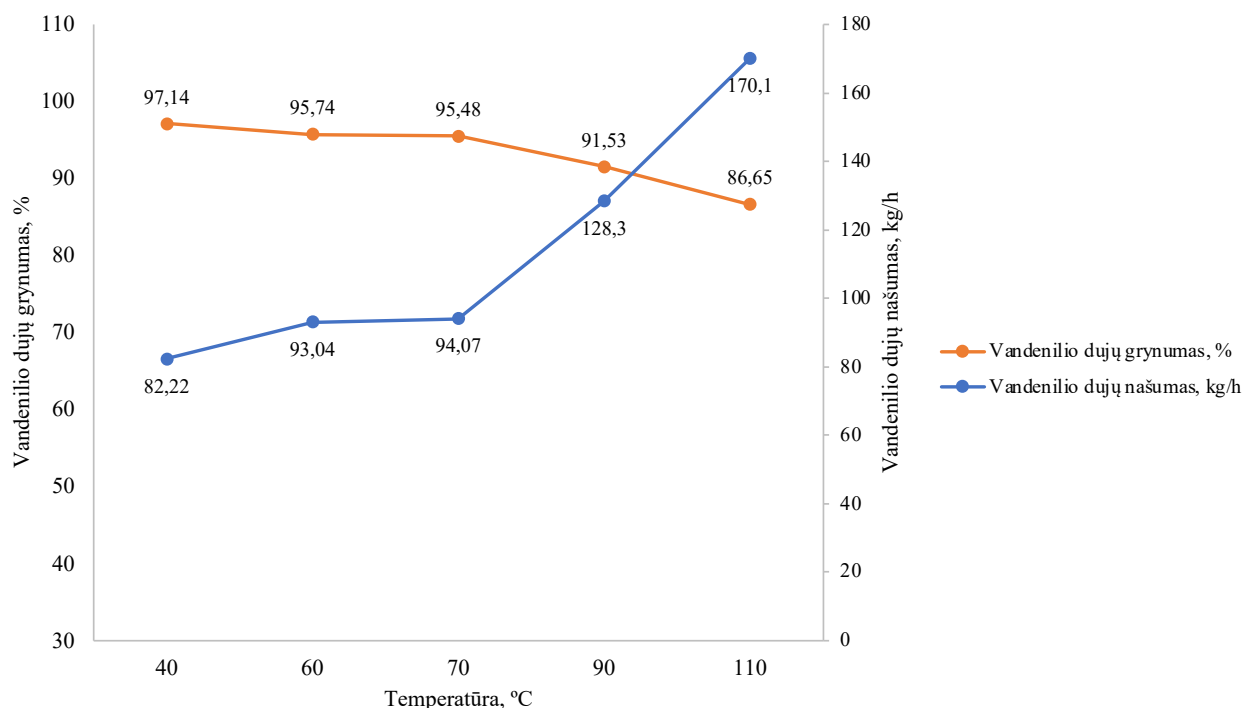
11 pav. Vandenilio dujų išeigos ir grynumo priklausomybės nuo slėgio, kai temperatūra 70 °C

Iš gautų rezultatų galima teigti, jog jei vykdysime sintezę pastovioje, 70 °C temperatūroje, mažindami slėgį turėsime daugiau vandenilio dujų, tačiau jų grynumas bus tik 82,13 %. Didėjant gamybos slėgiui, tiesiogiai didėja H₂ dujų grynumas.

Antrasis tyrimas buvo paliekant 7 bar slėgį konstanta, keičiant temperatūrą, gauti rezultatai pavaizduoti 2 lentelėje.

2 lentelė. Vandenilio našumo ir grynumo priklausomybė nuo temperatūros pokyčio

Slėgis, bar	Temperatūra, °C	H ₂ našumas, kg/h	H ₂ dujų grynumas, %
7	40	82,22	97,14
	60	93,04	95,74
	70	94,07	95,48
	90	128,3	91,53
	110	170,1	86,65



12 pav. Vandenilio dujų našumo ir grynumo priklausomybės nuo temperatūros, kai slėgis 7 bar

Gauti rezultatai rodo, jog didėjant temperatūrai, tiesiogiai didėja vandenilio išeiga, tačiau lygiagrečiai mažėja šių dujų grynumas. Apibendrinant gautus rezultatus, jog gautume gryniausias vandenilio dujas, reikėtų rinktis sintezę vykdyti 40 °C temperatūroje, tačiau tokiu atveju gausime labai nedidelę išeigą, tačiau jei dar sumažinsime slėgį iki 2 bar, jog gauti kuo daugiau H₂, grynumas vandenilio sumažėja, dėl to buvo pasirinktos optimaliosios ir tyrimais pagrįstos sąlygos – 7 bar slėgis bei 70 °C temperatūra.

2.3. Šarminio vandens elektrolizerio prijungimas prie esamos amoniako sintezės modelio

Šio, naujai sumodeliuoto, elektrolizerio pagaminamo kiekio nepakanka, jog palaikyti normalią esamą amoniako gamybą, dėl to buvo priimtas sprendimas naudoti 30 %, iš viso reikiamo kiekio vandenilio, žaliojo vandenilio. Viena iš priežasčių naudoti tik 30 % žaliojo vandenilio yra elektros kaina, gaminama iš atsinaujinančių šaltinių, kadangi žaliajam vandeniliui pagaminti reikalingas didelis jos kiekis. Pilnai perorientuoti amoniako gamybą tik iš žaliojo vandenilio yra itin sudėtinga, nes esami įrenginiai turi savo apribojimus. Panaudojus tik 30 % šio vandenilio, nepakeičiame relių gamyboje esančių sąlygų.

2.3.1. 30 % žaliojo vandenilio panaudojimo esamai amoniako sintezei tyrimas

Buvo atliekamas modelio tyrimas Aspen *HYSYS* programinėje įrangoje, kaip pasikeistų esama amoniako gamyba, kai į ją paduotume žaliojo vandenilio. Šio tyrimo tikslas yra ištirti kaip pasikeis inertinių medžiagų kiekiai sintezės dujose ir energijos kiekis, reikalingas suslėgti sintezės dujoms bei recirkuliaciam kompresoriui.

Naudojame aukščiau esantį, pavaizduotą 8 paveiksle, sumodeliuotą esamos amoniako sintezės modelį. Pirmiausiai parenkame pradinio srauto AVM sąlygas ir medžiagų kiekius tokius, kaip realioje gamyboje (žr. 13 pav.):

AVM		
Temperature	20,00	C
Pressure	0,1013	MPa
Mass Flow	300366,000	kg/h
Master Comp Mole Frac (Ammonia)	0,000000000	
Master Comp Mole Frac (Argon)	0,003799981	
Master Comp Mole Frac (CO)	0,000020000	
Master Comp Mole Frac (CO2)	0,000005000	
Master Comp Mole Frac (Hydrogen)	0,741596292	
Master Comp Mole Frac (Methane)	0,007379963	
Master Comp Mole Frac (Nitrogen)	0,247198764	

13 pav. AVM srauto medžiagų kiekiai ir pradinės sąlygos

Sintezės dujų suslėgimas vyksta keturiais laipsniais, tai kiekvieno suslėgimo metu reikalingas energijos kiekis pavaizduotas atskirai. Žemiau esančioje lentelėje (žr. 4 lentelė) pavaizduoti visi modelio apskaičiuoti reikalingi energijos kiekiai amoniako sintezei gauti.

3 lentelė. Modelio apskaičiuotas reikalingas energijos kiekis kiekvienam etapui

Etapo pavadinimas	Energijos srautas, kj/h
I-asis kompresijos laipsnis	880853117
II-asis kompresijos laipsnis	494091363

III-asis kompresijos laipsnis	198709281
IV-asis kompresijos laipsnis	300652450
Recirkuliacinis kompresorius	149520
Iš viso:	1874455731

Sintezės dujų sudėtis iš pradžių gaunama tokia: 0,04030 NH₃, 0,01866 Ar, 0,00016 CO, 0,00001 CO₂, 0,66885 H₂, 0,04451 CH₄ ir 0,22951 N₂.

Šarminio vandens elektrolizerio pagaminamas vandenilis yra 95,48 % grynumo, o likusi dalis yra deguonies dujų. Dėl šios priežasties, prijungiant prie esamos amoniako sintezės žaliąjį vandenilį, turėsime šiek tiek deguonies ir pradinio srauto sudėtis gaunama (žr. 14 pav.):

AVM		
Temperature	20,00	C
Pressure	0,1013	MPa
Mass Flow	300366,000	kg/h
Master Comp Mole Frac (Ammonia)	0,000000000	
Master Comp Mole Frac (Argon)	0,002677965	
Master Comp Mole Frac (CO)	0,000014095	
Master Comp Mole Frac (CO2)	0,000003524	
Master Comp Mole Frac (Hydrogen)	0,736484723	
Master Comp Mole Frac (Methane)	0,005200890	
Master Comp Mole Frac (Nitrogen)	0,245494908	
Master Comp Mole Frac (Oxygen)	0,0101	

14 pav. AVM srauto medžiagų kiekiai ir pradinės sąlygos su žaliuoju vandeniliu

Iš pradinio srauto medžiagų kiekių iškart matomi inertinių dujų pokyčiai, jog sumažėjo 30 % Ar, CO, CO₂ ir CH₄ kiekiai.

5 lentelėje pateikti rezultatai, modelio apskaičiuotų reikalingų energijos kiekių keturiems suslėgimo etapams įvykti bei suslėgimui recirkuliaciniu kompresoriumi su įvestu 30 % žaliuoju vandeniliu.

4 lentelė. Modelio apskaičiuotas reikalingas energijos kiekis kiekvienam etapui su žaliuoju vandeniliu

Etapo pavadinimas	Energijos srautas, kJ/h
I-asis kompresijos laipsnis	862559308
II-asis kompresijos laipsnis	484022059
III-asis kompresijos laipsnis	194558910
IV-asis kompresijos laipsnis	294337837
Recirkuliacinis kompresorius	165121

Iš viso:	1835643235
----------	-------------------

Tyrimo rezultatų palyginimas pateiktas apačioje esančioje lentelėje (žr. 6 lentelė).

5 lentelė. Tyrimo rezultatų palyginimas

Pavadinimas	Įprastinės amoniako sintezės modelio rezultatai	Prijungus 30 % žaliojo vandenilio į amoniako sintezės modelį
Bendras reikalingas energijos kiekis, kJ/h	1874455731	1835643235
Inertinių medžiagų kiekiai sintezės dujose, % :		
Ar	0,01866	0,01218
CO	0,00016	0,00013
CO ₂	0,00001	0,000015
CH ₄	0,04451	0,03293
Pagamintas amoniako kiekis modeliu, kg/h	59550,188	76932,303

Apibendrinant gautus rezultatus, panaudojus žaliąjį vandenilį amoniako sintezei padidinamas amoniako kiekio susidarymas ~ 29 %, taip yra dėl to, jog sumažinamas inertinių dujų kiekis sintezės dujose. Vienintelių dujų – CO₂, kiekis šiek tiek padidėjo, taip yra dėl to, nes sraute atsirado deguonies, kuris lengvai jungiasi su CO dujomis sudarymas anglies dioksidą. Bendras reikalingas energijos kiekis dujoms suslėgti sumažėjo ant 2,07 %, šio sumažėjimo priežastis taip pat yra dėl inertinių dujų kiekio sumažėjimo sraute, kadangi nebe toks didelis kiekis jų kaupiasi įrenginiuose, sintezės kolonoje, dėl ko įrenginiams lengviau dirbti, jų tarnavimo laikas pailgėja.

3.1.1. Amoniako technologinės schemos aprašas

S1 srautas su įmaišytu žaliuoju vandeniliu įteką į keturių laipsnių išcentrinį kompresorių, kuriame keturiais etapais yra suslegiamas iki 24 MPa slėgio. Kiekvieno suslėgimo metu dujos tarpiškai vėsinamos, jog neįvyktų priverstinis kompresoriaus sustabdymas jam pasiekus 193 °C temperatūrą. Vėsinant dujas, susidaro kondensatas, kuris yra atskiriamas separatoriumi 3. Antruoju suslėgimo etapu dujos vėsinamos ne tik oriniu aušintuvu 4, bet ir skysto amoniako šaldytuvu 5, kurio tarpvamzdinėje ertmėje teka verdantis amoniakas S7, o vamzdinėje ertmėje – dujos. Susidaro kondensatas, kuriame ištirpsta dalis anglies dioksido dujų. Šis atskiriamas separatoriumi 6. Trečiuoju suslėgimo etapu, dujos ataušinamos oriniu aušintuvu 7 bei drėgmė atskiriama separatoriumi 8, iš kurio dujinis srautas nukreipiamas ketvirtajam suslėgimo etapui. Po jo, srautas atvėsinamas iki ne daugiau kaip 55 °C temperatūros aušintuvu 9.

Atvėsintos dujos nukreipiamos į kondensacinę koloną 10, kurioje barbotuodamos per skysto amoniako sluoksnį, išsivalo nuo nešvarumu, atskiriama drėgmė bei anglies dvideginio dujos. Kolonos separacinėje dalyje, azoto ir vandenilio mišinys sumaišomas su cirkuliacinėmis dujomis.

Ištekantis iš kondensacinės kolonos S2 teka į šilumokaitį 12. Sintezės dujos, šilumokaičio tarpvamzdinėje erdvėje yra kaitinamos dujomis, kurios teka jo vamzdinėje ertmėje priešpriešine kryptimi. Įkaitusios iki 195 °C, dujos išteka iš šilumokaičio ir patenka į sintezės kolonos 14 keturis šaltus apvadus. Sintezės kolonoje jos teka tarp įkrovos ir korpuso, kad šis neįkaistų. Kolonos viršuje, sintezės dujos atsiduria viduje jos sumontuoto šilumokaičio tarpvamzdinę ertmę, kurioje dėl segmentinių pertvarų pakeičia tekėjimo kryptį. Tekėdamos dujos pašyla ir atsiduria pirmoje katalizatoriaus lentynos erdvėje. Katalizatoriaus centrą pasiekia per kalibruotas skylutes, judėdamos iš visų pusių kraštų. Per tokias pat kalibruotas skylutes ištekėdamos dujos patenka į to paties šilumokaičio tarpvamzdinę ertmę, iš kurios keliauja tiesiai į antrosios katalizatoriaus lentynos erdvę. Antroje katalizatoriaus lentynoje susidaro apie 20 % amoniako dujų, su kuriomis kartu sintezės dujos centriniu kolonos vamzdžiu teka į įmontuoto šilumokaičio vamzdinę ertmę, kurioje pratekėdamos atiduoda savo šilumą įtekančioms dujoms.

Gautasis S3 srautas, kuriame yra 20 % amoniako ir nesureagavusios sintezės dujos, nukreipiamos į šildytuvo 13 vamzdinę erdvę, jog pašildytų įtekančią maitinimo vandenį. S10 srautas yra pašildomas iki 300 °C temperatūros. Iš šildytuvo, dujos patenka į šilumokaitį 12, kuris skirtas pašildyti į sintezės koloną įtekančias dujas. Jame atiduodamos savo šilumą, dujos atvėsta iki 75 °C temperatūros bei išteka iš jo į orinį aušintuvą 11. Jame atvėsinus dujas, susikondensuoja dalis amoniako, kuris atskiriamas separatoriuje 15. Likęs nesusikondensavusių dujų srautas S4 yra grąžinamas į recirkuliacinį kompresorių.

Iš kondensacinės kolonos dujos, dujos patenka į technologinėje schemoje esančius skysto amoniako garintuvus 16, kuriuose jos atvėsta nuo verdančio amoniako srauto tarpvamzdinėje erdvėje. Jų paskirtis atvėsinti dujas, kurios nespėja atvėsti kondensacinėje kolonoje, kurioje palaikoma –4 °C temperatūra. Iš garintuvų, atvėsęs dujinis srautas yra paduodamas atgal į kondensacinę koloną, jos separacinę dalį, kurioje gavusios sukamąjį judesį kyla į viršų per „Rašigo“ žiedų įkrovą. Susikondensavusi kita dalis amoniako yra atskiriama ir nukreipama į skysto amoniako rinktuvus 21.

Šarminiu vandens elektrolizeriu pagamintu žaliuoju vandeniliu sumažiname inertinių dujų kiekį sraute, tačiau jų visiškai nepanaikiname, dėl to sintezėje vis dar yra reikalingas šių dujų prapūtimas. Separatoriuje 15 nuolat yra išleidžiamos cirkuliacinės dujos per prapūtimo dujų koloną 18.

Prapūtimui skirtose dujose yra nuo 8 iki 11 % amoniako, dėl kurio jos nukreipiamos į tarpvamzdinę šilumokaičio erdvę, kuris yra kondensacinėje prapūtimo dujų kolonoje. Vamzdinėje erdvėje tekantis verdantis amoniakas atvėsina šias dujas, kurios separacinėje kolonos dalyje susikondensuoja ir yra atskiriamas skystas amoniakas. Pilnai atskyrus skystą amoniaką, dujų srautas S5 nukreipiamas į reformingo skyrių sudegimui.

Skysto amoniako rinktuvais virš surinkto amoniako kaupiasi tankinės dujos S9, jos yra išleidžiamos į skysto amoniako garintuvo 20 vamzdinę erdvę, per kurią tekėdamos atvėsta nuo tarpvamzdinėje erdvėje tekančio verdančio amoniako. Dalis amoniako susikondensuoja, kuris yra atskiriamas separatoriuje 19 ir surenkamas amoniako rinktuvais, o atskirtos tankinės dujos paduodamos į vamzdinės krosnies degiklius sudegimui.

3.2. Statybiniai sprendimai

Projektuojamas statinys yra elektrolizeris. Šis statinys pasirinktas norint optimizuoti jau vykstančią amoniako sintezę. Šiuo įrengimu pagaminsime žaliąjį vandenilį, kurį įvesime į amoniako sintezės ciklą taip gaudami žaliąjį amoniaką.

Įrengimas turės atskirą pastatą, kuriame stovės tik šis įrengimas. Visas valdymas vyks nuotoliniu būdu, iš automatikos skyriaus, tačiau jeigu prireiktų mechaniniu būdu reguliuoti tam tikrus parametrus, turėsime ir valdymo bloko kambarį, kuriame stovės skydynės.

Įrengimas varomas elektros energija, kurią gauname iš elektros tinklo, o jo pagrindinė žaliava bus vanduo, kuris bus tiekiamas vamzdžiais.

Duomenys apie elektrolizerį projektavimui gauti iš AB „Achema“ įmonės, kuri vykdė šio elektrolizerio projektą bei planavo statyti įmonėje.

Pagrindiniai jo pastato matmenys :

- Ilgis – 150 m;
- Plotis – 56 m;
- Aukštis – 12,5 m;

Pačio elektrolizeriaus duomenys:

- Tarpai tarp elektrolizeriaus blokų – 3,3 m;
- Elektrolizeriaus plotis pastate – 45 m;
- Elektros srovės reguliavimui skirtos vietos plotis – 11 m;
- Atstumas nuo elektrolizeriaus bloko iki galinės sienos – 3,8 m;
- Elektrolizeriaus celės ilgis – 13,15 m;
- Elektrolizeriaus celės su pagalbinio įrenginio ilgis – 15 m;
- Elektros energijos skirstymo bloko plotis – 7 m;



16 pav. Sklypo nuotrauka [šaltinis - regia.lt]



17 pav. Sklypo nuotrauka iš viršaus

Elektrolizerio vieta parinkta strategiškai dėl laisvos vietos bei šalia esančio pirmojo amoniako cecho. Visos komunikacijos į šią vietą yra atvestos, vamzdynai, skirti dujoms bei vandeniui transportuoti taip pat yra išvedžioti. Pramoniniu atžvilgiu, šioje vietoje statydami įrenginį, neturėsime didelių energijos nuostolių, kuriuos patirtume, jei statytume jį žymiai toliau nuo vykstančios amoniako sintezės.

Metrologiniai duomenys, į kuriuos atsižvelgiama bendrajam projektavimui šioje vietoje yra šie:

- Vidutinė oro temperatūra – 6,5 °C;
- Maksimali absoliutinė temperatūra – 37 °C;
- Minimali absoliutinė temperatūra – (– 36) °C;
- Santykinė oro drėgmė – 75 %;
- Maksimali santykinė oro drėgmė – 95 %;
- Minimali santykinė oro drėgmė – 60 %;
- Vidutinis vėjo greitis – 4,5 m/s;

- Metinis kritulių kiekis – 720 mm/metus;
- Didžiausias kritulių kiekis per dieną – 77 mm/dieną.

6 lentelė. Pagrindiniai sklypo techniniai rodikliai

Eil. Nr.	Pavadinimas	Mato vienetas	Kiekis
1	I. SKLYPAS		
	1.1. sklypo plotas	ha	7,44
	1.2. statinių užimtas žemės plotas	m ²	39198,54
	1.3. apželdinta žemės plotas	m ²	22698,11
	1.4. automobilių stovėjimo vietų skaičius	vnt.	–
	1.5. sanitarinės (apsaugos) zonos plotis	M	500
2	II. PASTATAI		
	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 ar III)	–	II

3.3. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai

Projektuojant naują įrengimą amoniako sintezei, reikia įvertinti ar šis bus ekonomiškai palankus dabartinei technologijai. Chemijos pramonė su metais vis tobulėja, dėl ko yra skatinama produktų konkurencija, tačiau tokių produktų kaip amoniakas, vandenilis kaina nėra pastovi, ji vis kinta dėl jų veikiančių makro aplinkos veiksnių. Šie veiksniai pasireiškia dėl Lietuvos veikiančių įstatytų bei jų kaitos, šalies ekonominės ir politinės padėties.

Vertinama amoniako sintezės technologijos dalis, tai yra vandenilio gamybos, ekonominė padėtis prieš rekonstrukciją ir po jos. Vykiant šią modernizaciją, siekiama sumažinti išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį, taip sumažindami inertinių dujų kiekį sraute. Šiuolaikinė visų pramonės įmonių problema yra CO₂ dujų išmetimas į aplinką, už kurias kiekviena įmonė moka kvotas. Pastarąsias šarminį elektrolizerį, kuris gamintų vandenilio dujas ne iš gamtinių dujų, bet iš vandens, žymiai sumažintume kenksmingų dujų išmetimą į aplinką bei prailgintume katalizatorių veikimo laiką, kadangi gaminant vandenilį iš gamtinių dujų, jose turime ir inertinių dujų, kurios vykstant nuolatos amoniako sintezei, kaupiasi įrenginiuose, nėra pašalinamos iš jų, taip pagreitindamos šių įrenginių susidėvėjimo laikotarpį.

Šioje dalyje yra atliekami priešinvesticiniai aplinkos tyrimai, tai yra nustatomos reikalingos investicijos bei parenkami jų šaltiniai rekonstrukcijai. Apskaičiuojami gamybos kaštai, pagrindiniai investicijų efektyvumo rodikliai ir laukiamasis pelnas.

3.3.1. Projekto investicijos ir jų finansavimo šaltiniai

Projekto finansavimo šaltinius sudaro akcininkų kapitalas, ilgalaikė paskola bei ES struktūrinių fondų parama. Viso reikiamo finansavimo sudarys 40 % ES struktūrinių fondų parama, 25 % akcininkų kapitalas bei likusius 35 % banko paskola. Įmonei 21,37 mln. Eur paskola bus suteikta penkeriems metams su 5,05 % palūkanomis.

7 lentelė. Projekto finansavimo poreikis ir šaltiniai

Projekto kaštai		Finansavimo šaltiniai	
Struktūra	mln. Eur	Struktūra	mln. Eur
Ilgalaikiam turtui įsigyti	8,82	Akcinis kapitalas	15,27
Trumpalaikiam turtui įsigyti (žaliavos, įrangos montavimo darbai)	52,24	Ilgalaikė paskola	21,37
–	–	ES struktūrinių fondų parama	24,43
Viso	61,07	–	61,07

3.3.2. Ilgalaikio turto skaičiavimas

Skaičiavimai yra atlikti apytiksliai, remiantis analogiškų ar panašių objektų apytikriais sąmatinės vertės rodikliais.

Elektrolizerio patalpos planuojama, jog užims 8400 m² plotą, vieno kvadratinio metro pastato pastatymo kaina priklauso nuo daug faktorių, kuriuos preliminarai sudėjus, gaunama apie 1000 Eur, todėl priimame, jog kvadratinio metro kaina – 1000 Eur.

Šarminio elektrolizerio bloką sudarys 24 elektrolizeriai, rasta labiausiai tinkamo bei panašiausio į projektuojamą įrenginį šarminio elektrolizerio kaina, kuri yra lygi 17410,42 Eur [19].

30 barų slėginės talpos 10 t vandenilio dujų saugojimui įrenginio kaina yra nuo 100 iki 4000 JAV dolerių, perkonvertavus į eurus ir preliminariniams skaičiavimams imama aukščiausia kaina, kuri yra lygi 3532 Eur [20].

8 lentelė. Pastatų ir technologinių įrengimų vertė

Eil. Nr.	Pastato ir Įrengimo pavadinimas	Vieneto kaina, Eur	Kiekis	Vertė, tūkst. Eur
1.	Elektrolizerio patalpos	1000	8400 m ²	8400
2.	Šarminis vandens elektrolizeris	17410,42	24 vnt	417,85
3.	30 bar slėginės talpos	3532	2 vnt	7,06
	Viso	–	–	8824,91

Iš 9 lentelės matyti, jog daugiausia išlaidų sudarys elektrolizerio patalpų pastatymas, tačiau šios patalpos, jeigu bus vėliau likviduotas pats elektrolizeris, galės būti panaudotos kitiems įrengimams bei produktams gaminti.

Sklypo paruošimui bus vykdomi šie darbai: reljefo lyginimas, grunto kasimas pastato pamatams. Šios paslaugos kaina priklauso nuo darbo atlikimo laiko bei svyruoja nuo 30 eur/h iki 120 eur/h. Kadangi šis sklypas randasi Jonavos rajone, Jonalaukio kaime, galime vietovę laikyti Lietuvos viduriu, todėl skaičiavimams sklypo tvarkymui kainą priimame 75 eur/h bei priimame, jog sklypo tvarkymas užtruks vieną valandą laiko.

Kelio asfaltavimo darbams pasirinkti įmonė „Marstena“, kurios teikiama paslauga „Kelio dangos asfaltavimas 5 cm sluoksniu“ kainuoja nuo 18 eur iki 40 eur kvadratinis metras. Orientuojantis į šios paslaugos kainas priimame, jog ši paslauga kainuos – 29 eur/m² [21].

Keliui įrengti priimame, jog tai bus dviejų juostų kelias, kurių plotis bus po 3 m bei viso kelio ilgis 211 m, viso kelio plotas – 1266 m².

Vandens vamzdžių iki šio elektrolizerio atvesti nereikia, kadangi šioje sklypo vietoje, anksčiau stovėjo senasis amoniako cechas, tačiau jis laikui bėgant buvo nugriautas, tačiau visas vamzdynas yra likęs, kurį galėsime panaudoti.

Sklypo paruošimas, kelio asfaltavimo darbai 9 lentelėje įeina į „Elektrolizerio patalpos“ sumą.

3.3.3. Produkcijos gamybos apimtys planavimas

Amoniako sintezės elektrolizeriaus paskirtis yra pagaminti „žalią“ vandenilį, dėl to priimame, jog nepakeitus jo parametrų bei gaminant pastoviai, jo kiekis kiekvienais metais turėtų būti vienodas. Kadangi šis įrengimas yra amoniako gamybos technologinės linijos dalis, todėl priimame, jog amoniako taip pat kiekvienais metais pagaminamas kiekis išlieka nepakitęs. Dėl šių priežasčių įsisavinimo koeficientas bus lygus 1 brandos metais (2 ir 3 projekto gyvavimai metai). Pirmaisiais ir ketvirtaisiais metais priimame, jog įsisavinimo koeficientas bus lygus 0,8, o paskutiniais projekto gyvavimo metais – 0,9. Produkcijos gamybos apimtys planavimo rezultatai pateikti 10 lentelėje.

9 lentelė. Produkcijos gamybos apimtys planavimas

Projekto metai	Įsisavinimo koeficientas	Gamybos apimtys, t/metus
		Žaliasis amoniakas
1	0,8	462528
2	1	578160
3	1	578160
4	0,8	462528
5	0,9	520344

Projekte daroma prielaida, kad pardavimų planas sutampa su gamybos planu.

3.3.4. Gamybos kaštai

Šiame skyriuje apskaičiuojami tiesioginiai bei netiesioginiai gamybos kaštai prieš ir po rekonstrukcijos.

3.3.4.1. Tiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas

Planuojant gamybos apimtys, reikia įvertinti tiesioginius gamybos kaštus, tai yra išlaidas, tiesiogiai susijusias su gaunamu produktu. Į šias išlaidas įeina žaliavų pirkimas ir jomis aprūpinimas, elektros energija įrenginiams veikti bei tiesioginiai su tuo dirbančių darbuotojų darbo užmokestis. Amoniako gamyboje gausiai yra naudojamos gamtinės dujos, todėl šiuo projektu siekiama sumažinti jų poreikį. Taip pat naudojamas vanduo ir oras, tačiau jų kaštai nėra tiesiogiai skaičiuojami, nes oro perdirbimas jau yra puikiai veikianti įmonėje technologinės linijos dalis, o vanduo į vandens perdirbimo cechą yra imamas iš Nerios upės, dėl to jo perdirbimo kaštai jau yra apskaičiuoti būtent to cecho darbo kaštuose. Įmonė turi didelius rezervuarus paruošto vandens laikymui, dėl to elektrolizeriui vanduo nieko nekainuotų. Dėl šių priežasčių vandens bei iš oro skaidymo bloko gaunamo azoto kainos nėra skaičiuojamos, tik prisideda prie žaliavų kalio hidroksidas (KOH) 20 %. Kalio hidroksidas nėra suvartojamas, jis naudojamas kaip elektrolitas, kuris reciklu grįžta atgal į įrengimą.

Gamtinių dujų kaina AB „Ignitis“ duomenimis 0,65 Eur/m³ [22]. UAB „Lerochem“ įmonės duomenimis kalio hidroksido 90 % grynumo kietosios būsenos medžiagas kainuoja 5,8 Eur/kg [23]. Perskaičiavus kiek kainuos 1 m³ KOH 20 % tirpalas įvertinus vandens sąnaudas skiedžiant, gauname 1573 Eur/m³.

10 lentelė. Išlaidos pagrindinėms žaliavoms

Žaliavos pavadinimas	Žaliojo amoniako gamybos planas, t/metus	Medžiagų sunaudojimo norma gaminiui, m³/t produkto	Medžiagos kaina, Eur/m³	Medžiagos poreikis natūriniais vienetais, mln. m³	Medžiagų kaštai	
					Gaminio Eur/t	Iš viso, mln. Eur
1 metai						
Gamtinės dujos	462528	424	0,65	196	275,76	127,55
KOH (20 %)		69512	1573	0,070	236,40	16,43
Brandos metai (2 ir 3 metai)						
Gamtinės dujos	578160	424	0,65	245	275,76	159,43
KOH (20 %)		69512	1573	0,070	189,12	13,15
4 metai						
Gamtinės dujos	462528	424	0,65	196	275,76	127,55
KOH (20 %)		69512	1573	0,070	236,40	16,43
5 metai						
Gamtinės dujos	520344	424	0,65	221	275,76	143,49

KOH (20 %)		69512	1573	0,070	210,14	14,61
------------	--	-------	------	-------	--------	-------

Prieš rekonstrukciją iš sintezės dujų yra pagaminama 66 t/h amoniako, kai pastovus agregato maitinimas gamtinėmis dujomis yra 40000 m³/h. Tai sudaro 74,16 % sintezės dujose esančio vandenilio kiekio. Apskaičiuojamas gamtinių poreikis 1 tonai amoniako prieš rekonstrukciją:

$$V_{CH_4} = \frac{40000}{66} = 606 \text{ m}^3/\text{1 tonai NH}_3;$$

Po rekonstrukcijos yra sumažinamas iš gamtinių dujų gaunamo vandenilio kiekis iki 51,912 %, todėl po rekonstrukcijos gamtinių dujų reikės:

$$V_{CH_4} = \frac{51,912 \cdot 606}{74,16} = 424 \text{ m}^3/\text{1 tonai NH}_3;$$

Kalio hidroksido tirpalas nėra suvartojamas, dėl to jo gamybos kaštai priklauso nuo planuojamosios žaliojo amoniako gamybos apimtys per metus. Didžiausi tenkami gamybos kaštai priklauso brandos metais, kadangi per juos planuojama didžiausia žaliojo amoniako gamybos apimtis t/metus.

Gamtinių dujų kainos tendencija yra kilti paskutiniais metais, dėl to priimame, jog jos kaina nesikeis ir tai yra gamtinių dujų kainos vidurkis visais ateinančiais penkiems metams.

Pagrindinių gamybos darbuotojų darbo užmokestis priskiriamas prie tiesioginių gamybos kaštų. Tiesiogiai su amoniako pagaminimu dirbančių operatorių skaičius yra 24, kurie yra paskirstyti į keturias pamainas po šešis operatorius. Operatorių darbo užmokesčio vidurkis per mėnesį yra 2800 Eur neatskaičius mokesčių. Darbo užmokestis brandos metais kils 8 %, o likusiais – 6 %. Darbdavio sumokami mokesčiai už darbuotoją sudaro 1,77 % bendro darbo užmokesčio nuo 2025 m. sausio 1 dienos.

11 lentelė. Pagrindinių darbuotojų metinis darbo užmokestis

Gaminys	Gamybos darbo imlumas, mėn.	Darbuotojų skaičius	Vidutinis darbo užmokestis, Eur/mėn.	Darbo užmokestis, tūkst. Eur	Atskaitymai VSD, GF, IDIF, tūkst. Eur
<i>1 metai</i>					
Žaliasis amoniakas	12	24	2800	806,40	14,27
<i>Brandos metai (2 ir 3 metai)</i>					
Žaliasis amoniakas	12	24	3024	870,91	15,42
<i>4 metai</i>					
Žaliasis amoniakas	12	24	3205	923,17	16,34

<i>5 metai</i>					
Žaliasis amoniakas	12	24	3398	978,56	17,32

Toliau skaičiuojama reikalingi elektros energijos kaštai, kadangi elektros energija yra reikalinga visiems elektrolizerio bloke esantiems įrenginiams.

Remiantis AB „Ignitis“ duomenimis, 1kWh kaina yra 0,205 Eur už vieną kilovatvalandę [24]. Kadangi elektros energija iš atsinaujinančių šaltinių ir šiuo metu mes jos turime nedidelį kiekį, priimame, jog laikui einant jos kaina mažės, nes jos turėsime vis daugiau. Tiesioginės išlaidos elektros energijai pateiktos 13 lentelėje.

12 lentelė. Tiesioginės išlaidos elektros energijai

Įrengimo pavadinimas	Suminis aktyvinis galingumas, kW	Darbo valandų skaičius per metus, val	Elektros energijos poreikis, kWh	1 kWh kaina, Eur	Išlaidos elektros energijai, mln. Eur
<i>1 metai</i>					
Elektrolizerio bloko įrengimų varikliai	210000	8760	1839600000	0,205	377,12
<i>Brandos metai (2 ir 3 metai)</i>					
Elektrolizerio bloko įrengimų varikliai	210000	8760	1839600000	0,18	331,13
<i>4 metai</i>					
Elektrolizerio bloko įrengimų varikliai	210000	8760	1839600000	0,16	294,34
<i>5 metai</i>					
Elektrolizerio bloko įrengimų varikliai	210000	8760	1839600000	0,14	257,54

Elektros energijos pirmaisiais metais metinės išlaidos labai didelės ir siekia net 377,12 mln. Eur, kadangi yra naudojama žaliąji elektros energija iš atsinaujinančių energijos šaltinių, dėl to visos šios išlaidos yra dėl šarminio vandens elektrolizerio, kuris gamina žaliąjį vandenilį.

3.3.4.2. Netiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas

Netiesioginiai gamybos kaštai, tai išlaidos, kurios nesusijusios tiesiogiai su gaunamų produktų sinteze. Šiuo atveju, netiesioginius kaštus sudarys inžinierių, technikų darbo užmokestis bei jų darbo medžiagų išlaidos. Netiesioginiai kaštai paprastai sudaro nuo 60 iki 80 % apskaičiuotų tiesioginių kaštų sumos. Tačiau šio projekto atveju, netiesioginiai gamybos kaštai nepasikeis taip žymiai, kadangi nesamdysime naujų technikų, inžinierių, dėl to priimame, jog mūsų netiesioginiai kaštai sudarys 0,1 % nuo apskaičiuotų tiesioginių gamybos kaštų.

Prie netiesioginių gamybos kaštų yra priskiriami įrenginių nusidėvėjimo kaštai. Kadangi yra vykdoma naujo įrenginio statyba, tai amortizaciniai nusidėvėjimai yra skaičiuojami tik naujesiems įrenginiams. Likvidacinės priemonių vertės sudarys 5 % nuo pradinės įrenginių vertės.

13 lentelė. Amortizaciniai atskaitymai

Ilgalaikio turto rūšis	Įsigijimo vertė, tūkst. Eur	Normatyvinė eksploatavimo trukmė	Nusidėvėjimo suma, tūkst. Eur metams					Likutinė vertė, tūkst. Eur
			1	2	3	4	5	
Pastatas	8400	50	168,0	168,0	168,0	168,0	168,0	7560,00
Šarminis vandens elektrolizeris	417,85	10	39,70	39,70	39,70	39,70	39,70	219,37
30 bar slėginės talpos	7,06	10	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	3,71
Viso:	8824,91	–	208,37	208,37	208,37	208,37	208,37	7783,08

Rezultatai apie bendrus gamybos kaštus pateikti 15 lentelėje.

14 lentelė. Gamybos kaštai

Kaštų rūšis	Gamybos kaštai, mln. Eur			
	1 metai	Brandos metai (2 ir 3 metai)	4 metai	5 metai
Pagrindinės žaliavos	143,98	172,58	143,98	158,10
Elektros energija	377,12	331,13	294,34	257,54

Tiesiogiai susijusių darbininkų darbo užmokestis	0,81	0,87	0,92	0,98
Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	0,014	0,015	0,016	0,017
Tiesioginiai gamybos kaštai	521,92	504,59	439,25	416,64
Netiesioginiai gamybos kaštai	0,52	0,50	0,44	0,42
Visos gamybos kaštai įvertinus amortizaciją	522,44	505,10	439,69	417,05
Gamybos planas, t/metus	462528	578160	462528	520344
Gaminio gamybinė savikaina, Eur	1129,53	873,63	950,63	801,49

Matome, jog gamybos kaštams kiekvienais metais reikės vis mažiau išlaidų, pirmaisiais metais gaminio gamybinė savikaina išlieka aukšta, dėl pasileidinėjimo, kadangi nenumatysim kaip mums seksis pasileisti, dėl to ir gamybos plano apimtis yra sumažinta. Ketvirtaisiais metais gaminio gamybinė savikaina šiek tiek išauga lyginant su brandos metais, dėl gamybos plano apimties, kadangi įvertinam nenumatytus gedimus, dėl to ji sumažėja.

3.3.5. Veiklos kaštai

Tai išlaidos, į kurias įeina administracijos darbuotojų atlyginimai, reklamos išlaidos, pardavimų organizavimo išlaidos, administracinių patalpų išlaikymui skirtos išlaidos. Veiklos sąnaudos sudaro nuo 5 iki 30 % nuo apskaičiuotų gamybos kaštų. Projekto atveju niekas nesikeičia nuo įprastinės gamybos apart reklama naujojo produkto– žaliojo amoniako, tai šioms išlaidoms skaičiavimuose priimame, jog veiklos kaštai sudarys 0,005 %.

15 lentelė. Veiklos kaštų paskirstymas

Rodikliai	Suma, mln. Eur			
	1 metai	Brandos metai (2 ir 3 metai)	4 metai	5 metai
Veiklos sąnaudos	0,26	0,25	0,22	0,21

Produkto pardavimo planas, t/metus	462528	578160	462528	520344
Produktui tenkančios veiklos sąnaudos, Eur	0,56	0,44	0,48	0,40

Iš 16 lentelės rezultatų veiklos sąnaudos kasmet vis mažėja, produktui tenkančios veiklos sąnaudos taip pat turi tendencija mažėti.

3.3.6. Finansinės sąnaudos

Finansinėms sąnaudoms priskiriamos palūkanos už banko suteiktas paskolas. Iš banko suteikiama ilgalaikė paskola naujojo įrenginio patalpų statymui bei įrenginių pirkimui. Šiame skyriuje yra sudaromas palūkanų mokėjimo ir paskolos grąžinimo planas. Remiantis Lietuvos banko [25] duomenimis, jei įmonė įsipareigoja paskolą grąžinti per penkerius metus, palūkanų dydis nuo 2025 metų kovo mėn. yra 5,05 %, kuomet skolinimosi suma viršija vieną mln. Eurų.

16 lentelė. Palūkanų mokėjimo ir paskolos grąžinimo planas

Rodiklis	Projekto gyvavimo metai				
	1	2	3	4	5
Paskolos suma, mln. Eur	21,37	19,61	17,84	16,08	14,31
Metinė palūkanų norma, proc.	5,05	5,05	5,05	5,05	5,05
Palūkanos, mln. Eur	1,08	0,99	0,90	0,81	0,72
Paskolos padengimas, mln. Eur	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76
Palūkanos su paskolos padengimu	2,84	2,76	2,67	2,58	2,49

3.3.7. Gaminio kainos skaičiavimas

Atsižvelgiant į gamybos ir veiklos kaštus, finansines sąnaudas, apskaičiuojama žaliojo amoniako 1 tonos kaina.

17 lentelė. 1 tonos žaliojo amoniako kainos apskaičiavimas

Gaminys	Gaminio gamybinė savikaina, Eur	Giminiui tenkančios veiklos sąnaudos, Eur	Giminiui tenkančios finansinės sąnaudos, Eur	Gaminio pilnoji savikaina, Eur	Pelnas		Kaina
					%	Eur/1 t	Eur
1 metai							
Žaliasis amoniakas	1129,53	0,56	2,33	1132,43	10	113,24	1245,67
Brandos metai (2 ir 3 metai)							
Žaliasis amoniakas	873,63	0,44	1,71	875,78	10	87,58	963,36
4 metai							
Žaliasis amoniakas	950,63	0,48	1,40	952,51	10	95,25	1047,76
5 metai							
Žaliasis amoniakas	801,49	0,40	1,39	803,28	10	80,33	883,612

Planuojamasis pelnas negali būti mažesnis nei 5 %, dėl to parenkamas šis skaičius yra 10 %.

3.3.8. Projekto pelnas ir grynujų pinigų srautai

Norint apskaičiuoti bendrąjį pelną, reikia iš visų gaunamų pardavimo pajamų atimti produkto gamybos kaštus. Veiklos pelnas skaičiuojamas iš gauto bendrojo pelno atimant veiklos sąnaudas.

Pelno mokesčio dydis parinktas pagal valstybės nustatytas ribas ir šiai dienai taikoma pelno mokestį – 15 %.

18 lentelė. Projekto pelnas ir grynujų pinigų srautai

Rodiklis	Suma, mln. Eur				
	1 metai	2 metai	3 metai	4 metai	5 metai
Pardavimų pajamos	576	557	557	485	460
Parduodamo produkto gamybos kaštai	522,44	505,10	505,10	439,69	417,05

Bendrasis pelnas	53,72	51,88	51,88	44,93	42,73
Veiklos sąnaudos	0,26	0,25	0,25	0,22	0,21
Veiklos pelnas	53,46	51,62	51,62	44,71	42,52
Finansinės sąnaudos	0,14	0,13	0,13	0,10	0,09
Pelnas prieš apmokestinimą	53,32	51,49	51,49	44,61	42,43
Pelno mokestis, 15 %	8,00	7,72	7,72	6,69	6,36
Grynasis pelnas	45,32	43,77	43,77	37,92	36,07

Iš gautų rezultatų matyti, jog grynasis pelnas kasmet vis mažėtų lygiagrečiai su pardavimo pajamomis bei gamybos kaštais.

3.3.9. Grynujų pinigų srautų ir pelno skaičiavimas

19 lentelė. Projekto grynujų pinigų srautų skaičiavimas

Eil. Nr.	Rodikliai, mln. Eur	Projekto gyvavimo metai					
		0	1	2	3	4	5
I.	Pinigų srautai iš įmonės veiklos						
1.1	Grynasis pelnas (nuostolis)	0	45,32	43,77	43,77	37,92	36,07
1.2.	Nusidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudos	0	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
1.3.	Papildomos investicijos į apyvartinį kapitalą, mln. Eur	52,24	78,37	–4,34	0,00	–16,35	–5,66
1.4.	Finansinės ir investicinės veiklos sąnaudų eliminavimas	0	2,84	2,76	2,67	2,58	2,49

Grynieji pinigų srautai iš įmonės		–52,24	–35,68	45,56	41,31	51,90	39,45
II.	Pinigų srautai iš investicinės veiklos						
2.1.	Ilgalaikio turto perleidimas (įsigijimas)	8,82	0	0	0	0	7,78
Grynieji pinigų srautai iš investicinės veiklos		–8,82	0	0	0	0	7,78
III.	Bendri metiniai pinigų srautai (I+II)	–61,07	–35,68	45,56	41,31	51,90	47,23

Įvertinus rezultatus, per pirmuosius du projekto gyvavimo metus grynojo pelno nenusimato, tačiau jau trečiaisiais metais grynasis pelnas siekia net 45,56 mln. Eur. Galime teigti, jog projektas bus pelningas.

3.3.10. Investicijų efektyvumo vertinimas

Skaiciuojant efektyvumo vertinimą, reikia įvertinti laiko veiksnį, dėl šios priežasties grynuosius pinigų srautus reikia diskontuoti, šie diskontuojami pagal vidutinius svertinius kapitalo kaštus, tai reiškia, jog diskonto norma bus vidutiniai svertiniai kapitalo kaštai.

Vidutiniai svertiniai kapitalo kaštai apskaičiuojami pagal formulę:

$$KK = w_i \cdot r_i + w_n \cdot r_n$$

čia w_i – skolinto kapitalo dalis; w_n – nuosavo kapitalo dalis; r_i – skolinto kapitalo kaštai; r_n – nuosavo kapitalo kaštai.

Paramos kapitalas sudarys 40 %, nuosavo kapitalo dalis yra 25 % (akcininkų kapitalas, iš kurio akcininkai reikalauja 10 % grąžos) bei likusius 35 % skolintas kapitalas su 5,05 % palūkanomis.

Apskaičiuoti svertiniai kapitalo kaštai $KK = 6,69 \%$.

20 lentelė. Projekto paprasti ir diskontuoti grynujų pinigų srautai (GPS)

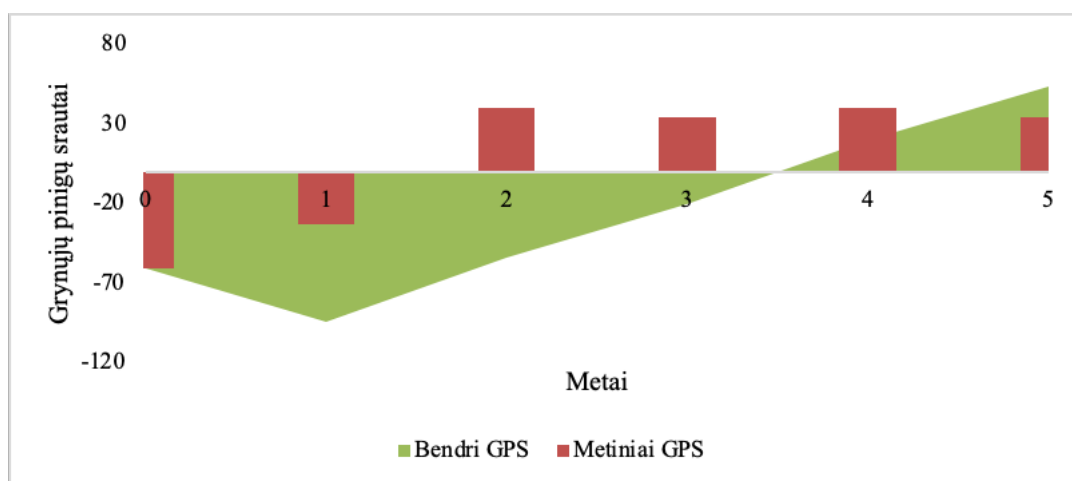
Projekto gyvavimo metai	Paprasti grynujų pinigų srautai		Diskontuoti grynujų pinigų srautai	
	Metiniai GPS, mln. Eur	Bendri GPS, mln. Eur	Metiniai GPS, mln. Eur	Bendri GPS, mln. Eur
2025	–61,07	–61,07	–61,07	–61,07
2026	–35,68	–96,75	–33,44	–94,51

2027	45,56	-51,19	40,02	-54,49
2028	41,31	-9,88	34,02	-20,47
2029	51,90	42,02	40,06	19,59
2030	47,23	89,25	34,17	53,75

Atsipirkimo laikas skaičiuojamas naudojantis aukščiau esančio lentelės (21 lentelė) duomenis, pagal formulę:

$$T = T_{t-1} + \frac{BGPS_{t-1}}{GPS_t} = 3 + \frac{-20,47}{40,06} = 3,51 \text{ metai}$$

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



18 pav. Projekto bendrųjų ir diskontuotų pinigų srautų grafikas

Iš 18 paveiksle esančio grafiko matyti, jog bendrieji grynujų pinigų srautai kerta nulinę vertę ties 3,5 metais ir persiverčia į pliusines vertes, tuomet įvyksta grynujų pinigų srautų lūžis, po kurio projektas atsipirks.

Pelningumo indeksui (PI) skaičiuoti naudojama *Excel* programa. Šis rodiklis parodys santykinį projekto pelningumą. PI gaunamas 1,57, jis parodo santykinį projekto pelningumą, tenkantį dabartinių išlaidų vienam piniginiui vienetui.

Vidinės pelno normos skaičiavimams naudojama *Excel* programos funkcija *IRR*. Ši lygi 23,77 %, kadangi ji viršija svertinius kapitalo kaštus, galime teigti, jog investicijos į projektą bus panaudotos pelningai.

21 lentelė. Projekto ekonominio vertinimo rodikliai

Rodikliai	Matavimo vienetai	Reikšmės
Diskontuotas atsipirkimo laikas	Metai	3,51

Vidinė pelno norma (IRR)	%	23,77
Pelningumo indeksas (PI)	Koeficientas	1,57

Skaiciuojamas lūžio taškas, tai gamybos ir pardavimų apimtis, kuriai esant įmonės pelnas lygus nuliui. Pagal šį tašką galime nustatyti, kiek reikia pagaminti produkcijos bei jos parduoti, kad įmonės vykdoma veikla būtų pelninga. Šis taškas apskaičiuojamas pagal formulę:

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

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

$$B_{Lj} = \frac{8824,91}{(1245,67 - 1129,53)} = 76 \text{ t}$$

22 lentelė. Lūžio taško skaičiavimo rezultatai

Rodikliai	Žaliasis amoniakas
Pastoviųjų kaštų suma, Eur	8824,91
Gaminio kaina, Eur	1245,67
Gaminio kintamieji kaštai, Eur	1129,53
Lūžio taškas, t	76
Pardavimų planas, t	578160

Lūžio taškas gaunamas 76 tonos, tai reiškia, jog įmonė turėtų parduoti 76 tonas žaliojo amoniako, jog likęs parduodamas kiekis žaliojo amoniako neštų pelną.

3.3.11. Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai

24 lentelėje pateikiami visi pagrindiniai rekonstrukcijos ekonominiai rodikliai, tokie kaip: gamybos kaštai, pajamos, pelno ir pelno santykiniai rodikliai ir kt.

23 lentelė. Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai

Rodikliai	Projekte
Produkto pardavimo apimtis brandos stadijoje, t	578160
Gaunamosios pajamos, mln. Eur	556,97
Pagrindiniai darbininkai	24

Pagrindinių darbininkų metinis darbo užmokestis, mln. Eur	0,87
Gamybos kaštai, mln. Eur	505,10
Gaminio pilnoji savikaina, Eur/t	873,63
Grynasis pelnas, mln. Eur	43,77
Investicijų apimtis, mln. Eur	61,07
Veiklos pelningumas, %	9,3
Veiklos rentabilumas, %	8,66
Projekto kapitalo kaštai, %	6,69
Projekto atsipirkimo trukmė, metais	3,51
Projekto grynoji esamoji vertė, mln. Eur	53,75
Pelningumo indeksas, koef.	1,57

Atlikus amoniako sintezės projektą, iš ekonominių bei finansinių skaičiavimų, buvo nustatyta, jog šiam projektui atlikti reikia investuoti 61,07 mln. Eur. Grynasis pelnas projekto brandos metuose siekia 43,77 mln. Eur. Apskaičiuota, jog investicijos atsipirktų po 3,51 metų. Įmonės veikla taptų pelninga pardavus 76 tonas žaliojo amoniako, kai planuojamas pagaminamas kiekis produkcijos per metus yra 578160 tonos brandos metuose. Daroma išvada, jog tokia investicija pelninga, pats gaminy yra palankus aplinkai, nėra išmetami tokie dideli teršalų kiekiai į aplinką, naudojamas elektros energijos šaltinis yra atsinaujinantis.

3.4. Aplinkosauginis vertinimas

3.4.1. Detalus ūkinėje veikloje naudojamų technologinių procesų apibūdinimas

Planuojama „žaliojo“ amoniako gamyba naudojant atsinaujinančius energijos šaltinius, tokius kaip vėjo/saulės jėgainės. Per metus apskaičiuota kiek toks įrenginys gali pagaminti „žaliojo“ vandenilio bei azoto. Remiantis tais duomenimis apskaičiuotas gaunamas „žaliojo“ amoniako kiekis, kuris yra lygus 578160 t/metus.

Naudojamas šarminis elektrolizeris, į kurį atiteka vanduo ir yra paduodama elektros srovė. Jame įvyksta šarminė vandens elektrolizė, tai vandens skilimas į jo elementus, veikiant jį elektros srove. Kad pavyktų tai padaryti, nudruskintas vanduo turi liestis su elektrolitu (KOH), kuris skatintų elektronų cirkuliaciją per skystį.

3.4.2. Bendrieji duomenys

Veikloje gaunamas „žaliasis“ vandenilis, kuris įvedamas į jau vykstančią amoniako gamybą, taip siekiant gauti „žaliąjį“ amoniaką. Amoniakas yra pagrindinis azoto šaltinis, kurį galime pasiimti, kadangi iš oro sugaudytas azotas yra neveiksnius ir jį suaktyvinti reikalingos dar didesnės energijos bei lėšų sąnaudos.

Šis amoniakas bus naudojamas tolimesnėse azoto trąšų gamybose. Paduodamas į kitus cechus vamzdžiais.

Planuojama vykdyti gamybą atitinka 20.15 ekonominės veiklos rūšį „Trąšų ir azoto junginių gamyba“, jos sanitarinės apsaugos zona 500 m [26].

24 lentelė. Duomenys apie gaminius (produkciją)

Pavadinimas (asortimentas)	Mato vnt., t, m3, vnt. ir kt.	Kiekis per metus
1	2	3
Žaliasis amoniakas	T	578160

Elektros energija bus naudojama iš atsinaujinančių energijos šaltinių - saulės/vėjo jėgainių. Jų statyti neplanuojama, dėl to prisijungus prie tinklo bus vartojama tik iš šių šaltinių gauta elektros energija. Visa energija bus sunaudojama elektrolizeryje : gamybai - 1596708,9 MWh, o likusi dalis 242891,1 MWh dujų saugojimo slėgiui palaikyti.

25 lentelė. Kuro ir energijos vartojimas

Energetiniai ir technologiniai ištekliai	Matavimo vnt., t, m3, kWh, MWh	Sunaudojamas kiekis per metus	Išteklių gavimo šaltiniai
1	2	3	4
a) elektros energija	MWh	1839600	Saulės ir vėjo jėgainės

Šiuo metu energijos pats elektrolizeris negamins, tačiau ateityje yra planuojama pasistatyti saulės baterijas arba prisijungti prie specialiai jam gaminamos elektros energijos iš vėjo jėgainių tinklo.

Preliminariai numatyta, jog jo visa suvartojama energija ir bus pagaminama.

26 lentelė. Energijos gamyba

Energijos rūšis	Planuojama pagaminti
1	2
Elektros energija, MWh	1839600

Nudruskintas vanduo, kitaip dar vadinamas distiliuotu vandeniu, nėra pavojingas. Kalio hidroksidas gali ėsdinti metalus, smarkiai nudegina odą ir pažeidžia akis, labai toksiškas prarijus.

Dujinis azotas, balionuose, nėra pavojingas, tačiau kaitinant gali sprogti.

27 lentelė. Duomenys apie naudojamą žaliavą, chemines medžiagas ar preparatus [26]

Žaliavos, cheminės medžiagos ar preparato pavadinimas	Kiekis per metus	Cheminės medžiagos ar preparato klasifikavimas ir ženklavimas		
		kategorija	pavojaus nuoroda	rizikos frazės
1	2	3	4	5
Azotas	2200741 t	–	GHS04	H280
Nudruskintas vanduo	10100267,8 m ³	–	–	–
Kalio hidroksidas 20 %	69512 m ³	Met. Corr. 1, Acute Tox. 4, Skin Corr. 1A	GHS05 GHS07	H290, H302, H314

28 lentelė. Žaliavų ir papildomų cheminių medžiagų ar preparatų saugojimas

Eil. Nr.	Žaliavos, cheminės medžiagos ar preparato pavadinimas	Transportavimo būdas	Kiekis, saugomas vietoje	Saugojimo būdas
1	2	3	4	5
1	Azotas	Transportuojamas vamzdynais iš oro skaidymo įrenginio	10 t	Saugomas slėginėje talpoje
2	Nudruskintas vanduo	Transportuojamas vamzdynais iš vandens paruošimo cecho	-	Saugomas rezervuaruose, tikslus saugomas kiekis nežinomas, nes ne tik šiai gamybai ruošiamas nudruskintas vanduo
3	KOH 20 %	Atvežamas kroviniu transporto priemone maišuose, tačiau praskiedžiamas vietoje į tirpalą ir transportuojamas gamyboje bakuose	2200 l	Saugomas transportavimo talpoje, sandėlyje

Į GPGB nustatytas ribines vertes patenkame su šiuo gamybos būdu, tačiau lyginti tiesiogiai negalime. GPGB vertės yra įprastiniam Haberio-Bošo procesui vykdyti, kuomet į atmosferą išmetami dideli kiekiai teršalų, kai yra vykdomas reformingas, kuriuo metu išsiskiria azoto oksidai, šios stadijos šiame procese neturime.

29 lentelė. Užsakovo siūlomais ir geriausiais prieinamais gamybos būdais (GPGB) pasiekiamos parametru (energijos ir vandens suvartojimas, išmetamieji į orą ir išleidžiamieji į vandenį teršalai, susidariusios atliekos) ribinės vertės pagal technologijas [26]

Technologija	Parametras, vienetai	Ribinės vertės			
		pagal užsakovo siūlomus gamybos būdus		pagal GPGB Europos Sąjungoje	Pagal HELCOM rekomendacijas
		1	2		
1	2	3	4	5	6
Amoniako gamyba	Koncentracijos kg/t NH ₃ NO _x CO NH ₃	0 0 0,0004	-	(ES) 2022/2427 pagal Europos Parlamento ir Tarybos direktyvą 2010/75/ES NO _x - 5–30 mg/Nm ³ CO - Su GPGB siejamas išmetamųjų teršalų kiekis nenustatytas (paros vidurkis yra 4–50 mg/Nm ³) NH ₃ - 0,5–8 mg/Nm ³	-

3.4.3. Atliekos

Gamybos metu atliekų nesusidaro, kadangi kalio hidroksidas, naudojamas kaip elektrolitas, nėra suvartojamas visos gamybos metu.

3.4.4. Aplinkos oro tarša

Pagrindinę oro taršą sudaro deguonis, kadangi jis visas yra išleidžiamas į aplinką po oro suskaidymo. Taip pat gali pasitaikyti, jog amoniako, vandenilio, azoto bei inertinių dujų (Ar) nedidelis kiekis pateks tarp išmetamų į aplinką dujų, kuomet yra vykdomi prapūtimai, jog vamzdžiuose nesusidarytų per didelis slėgis ir jie nesprogtų.

30 lentelė. Tarša į aplinkos orą

Proceso (veiklos) pavadinimas	Taršos šaltiniai		Teršalai		Numatoma tarša	
	Pavadinimas	Nr.	Pavadinimas	Kodas	Momentinis dydis	Metinė, t/m

					vnt.	vidut.	maks.	mg/m ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gamyba	Vamzdyje esantis vožtuvas slėgiui išleisti	1	Vandenilis	310	-	-	-	-
Gamyba	Vamzdyje esantis vožtuvas slėgiui išleisti	2	Amoniakas	134	mg/m ³	0,038	0,04	0,0002

3.4.5. Naudojamas vanduo ir susidarančios nuotekos

Sintezėje vanduo naudojamas kaip žaliava, jį tiekia „Vandens paruošimo“ cechas, kuris vandenį ima iš šalia esančios Neries upės, jį išvalo, nudruskina bei paskirsto visiems vandens reikalingiems gamybos cechams.

31 lentelė. Numatomas vandens paėmimas ir vartojimas

Eil. Nr.	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
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Vandens paruošimo cechas (Neries upė)	4818000	13200	550	Vandenilio gamyboje	175200	4800	

Nuotekos prognozuojamos labai minimalios, kadangi visas reikiamas vanduo sintezei yra sunaudojamas vandeniliui išgauti, tačiau yra tikimybė protekiui ir tai galime laikyti nuotekomis.

32 lentelė. Duomenys apie nuotekų šaltinius ir išleistuvus

Nr.	Nuotekų priimtuvai	Planuojamų išleisti nuotekų ir jų šaltinio aprašymai	Išleistuvo tipas	Išleistuvo vietos aprašymas	Didžiausias numatomas išleisti nuotekų kiekis			
					m3/s	m3/h	m3/d	m3/m
1	2	3	5	6	7	8	9	10
1	Vietinė kanalizacija	Pramoninės nuotekos (vanduo su KOH pėdsakais)	Išleistuvai į kanalizacijos tinklus	Jonavos raj. Jonalaukio km. Skarulių gatvės kanalizacijos pasijungimo vieta	0,0008	3	72	26280

33 lentelė. Planuojamų išleisti nuotekų užterštumas/numatoma aplinkos tarša

Nr.	Teršalo pavadinimas	Didžiausias numatomas nuotekų užterštumas				Didžiausias leidžiamas ir faktinis planuojamų išleisti nuotekų užterštumas				Numatoma valymo efektyvumas, %
		mom., mg/l	vid., mg/l	t/d	t/metus	DLK mom., mg/l	DLK vid., mg/l	DLT, t/d	DLT, t/metus	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	KOH tirpalas	0,0002	0,00 4	0,0 04	1,46	–	–	–	–	70

Planuojama įrengti, prieš nuotekoms patenkant į kanalizacijos tinklus, vandens talpa, kurioje prasiskiestų šis tirpalas 70 % efektyvumu. Nuotekų tvarkymo reglamente apie KOH užterštumą nuotekose informacijos nėra, dėl to galima teigti, jog išleidžiamas šio teršalo kiekis į kanalizacijos tinklus žalos aplinkai nepadarys bei nuotekų neužterš.

3.4.6. Aplinkosauginio vertinimo apibendrinimai ir išvados

Vertinama „žaliojo“ vandenilio gamybos dalis, kurios metu nesusidaro anglies dioksidas ir turime jo nulines emisijas, taip pat šiuo metodu gaminant kitų teršalų nesusidaro, arba susidaro, tačiau jų vertės labai minimalios. Vertinimas buvo vykdomas normaliai amoniako gamybai, jog galima būtų aprūpinti šiuo produktu kitas gamybas. Atliekų nesusidaro, o taip yra dėl to, jog pagrindinės žaliavos yra vanduo ir oras. Kaip atlieką galėtume laikyti deguonį, tačiau jis nėra pavojingas. Reikėtų paieškoti sprendimų kaip galėtume sumažinti elektros energijos kaštus, kadangi visa reikalinga elektros energija yra imama iš elektros tinklų, kuriuose šią energiją sugeneravo atsinaujinantys energijos šaltiniai - saulė ir vėjas. Šiluminės energijos taip pat neišsiskiria, jog galėtų ją panaudoti dar kartėlį, o jei ir išsiskiria, tai labai nedideli kiekiai. Panaudojus tokį elektrolizerį – galima užtikrinti ekologišką amoniako gamybos būdą, kurio sanitarinės apsaugos zonos dydis 500 m.

4. Darbuotojų sauga ir sveikata

4.1. Projektuojamojo objekto charakteristika

Vykdoma amoniako sintezės optimizavimo, panaudojant žaliąjį vandenilį, rekonstrukcija – statomas naujas įrenginys, kuris gamintų žaliąjį vandenilį. Šio įrengimo gamyboje naudojamas KOH, vanduo bei elektros energija, gaunami produktai vandenilio bei deguonies dujos. Žaliojo vandenilio prijungimas prie esamos amoniako sintezės sumažina inertinių dujų kiekį sintezės dujose. Šarminio vandens elektrolizerio gamyba yra pavojinga su ja dirbantiems žmonėms, kadangi vandenilio dujos yra labai sprogingos, o deguonies dujos gali padidinti degimo intensyvumą, jeigu įvyktų gaisro nelaimė. Naudojamas KOH elektrolitas, kurio kontaktas su oda gali sukelti jos cheminius nudegimus.

Remiantis Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymu „Dėl atliekų tvarkymo taisyklių patvirtinimo“, vandenilio ir amoniako gamybos sanitarinė zona yra 500 m [26].

4.2. Profesinės rizikos vertinimas

Šios dalies tikslas yra numatyti bei ištirti esamą ir galimą profesinę riziką darbe ir numatyti prevencines priemones jos mažinimui, jeigu neįmanoma jos pašalinti. Darbo vietoje gali pasireikšti įvairaus pobūdžio rizikos veiksniai, kurie gali sukelti pavojų darbuotojų saugai ir sveikatai [27]. 35 lentelėje pateikti identifikuoti profesinės rizikos veiksniai.

34 lentelė. Rizikos veiksnių identifikavimas ir kiekybinis įvertinimas [28, 29, 30, 31, 32, 33]

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					
KOH tirpalas	Šarminis vandens elektrolizeris	–	–	Gamybos proceso metu	Apsauginės pirštinės, akiniai
Vandenilis	Šarminis vandens elektrolizeris	–	–	Gamybos proceso metu	Izoliuojanti dujokaukė
Amoniakas	Amoniako sintezės technologiniai įrengimai	2,83 mg/m ³	IPRD – 14 mg/m ³	Gamybos proceso metu	Apsauginės pirštinės, akiniai, izoliuojanti dujokaukė
Anglies dioksidas	Amoniako sintezės technologiniai įrengimai	52590 mg/m ³	IPRD – 9000 mg/m ³	Gamybos proceso metu	Izoliuojanti dujokaukė

35 lentelės tęsinys.

Anglies monoksidas	Amoniako sintezės technologiniai įrengimai	7,7 mg/m ³	IPRD – 40 mg/m ³	Gamybos proceso metu	Izoliuojanti dujokaukė
Metanas	Amoniako sintezės technologiniai įrengimai	38,5 mg/m ³	300 mg/m ³	Gamybos proceso metu	Izoliuojanti dujokaukė
Fizikiniai veiksniai					
Šiluminė aplinka (oro drėgnis)	Šarminis vandens elektrolizeris	40 – 60 %	Iki 75 %	Nuolatos	Patalpų vėdinimas
	Amoniako sintezės technologiniai įrengimai				
Apšvietimas	Įrengimų valdymo blokas	300 lx	200 lx	Nuolatos	–
	Šarminio vandens elektrolizerio patalpos	200 lx			
	Amoniako sintezės technologinių įrengimų aikštelė	200 lx			
Triukšmas	Šarminio vandens elektrolizerio patalpos	80 dBA	87 dBA	Gamybos proceso metu	Apsauginės ausinės
	Amoniako sintezės technologinių įrengimų aikštelė				
Statinė elektra	Abiejų sintezių įrengimai	–	–	Nuolatos, padidėja gamybos proceso metu	Įžeminimas
Fiziniai veiksniai					

35 lentelės tęsinys.

Slėginiai indai	Šarminio vandens elektrolizerio patalpos	30 bar	0,5 bar	Gamybos proceso metu	Kontroliuojama temperatūra ir slėgis vožtuvais, reguliarios jų patikros
	Amoniako sintezės technologinių įrengimų aikštelė	105 bar			
Galimybė apsideginti	Šarminis vandens elektrolizeris	70 °C	40 °C	Gamybos proceso metu	Apsauginiai drabužiai, avalynė, karščiui atsparios pirštinės
	Amoniako sintezės technologiniai įrengimai	~200 °C			
Ergonominiai veiksniai					
Darbo poza	Įrengimų valdymo blokas	70 – 80 % sėdimas darbo laikas	25 % sėdimas darbo laikas	12 valandų pamainos metu	Pertraukos darbo metu kas dvi valandas po 10 minučių
Nuovargis	—	—	—	—	

Nustatant patalpų, išorinių įrenginių ir pastatų kategorijas pagal sprogo ir gaisro pavojų, pirmiausia reikia nurodyti medžiagų gaisrinio pavojingumo rodiklius, šie pateikti 36 lentelėje.

35 lentelė. Medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliai [35]

Medžiagos pavadinimas	Sunaudojama (pagaminama) per pamainą	Pliūpsnio temperatūra, °C	Sprogumo ribos, %		Savaiminio užsidegimo temperatūra, °C
			Apatinė	Viršutinė	
Vandenilis	111 t	—	4	77	510
Amoniakas	792 t	—	16	28	650
Anglies monoksidas	259,49 t	—	12,5	74	610
Gamtinės dujos	~450800 m ³	–188	5	15	530

Naudojantis 36 lentelės duomenimis, nustatomos sprogo ir gaisro pavojų kategorijos šarminio vandens elektrolizerio, amoniako sintezės technologinių įrenginių ir valdymo bloko patalpose, nustatomos pavojingų vietų zonos.

36 lentelė. Pastatų, patalpų ir išorinių įrenginių kategorijos pagal sprogo ir gaisro pavojų, pavojingų vietų zonos [35]

Objekto, kuriam suteikiama kategorija, klasifikuojama pavojinga vieta, pavadinimas	Požymis, nulemiantis kategoriją, pavojingos vietos zoną	Kategorija, pavojingos vietos zona
Šarminio vandens elektrolizerio patalpos	Dėl labai sprogių vandenilio dujų bei susidarancio deguonies, kuris efektyvina gaisro pavojų	A_{sg} , 2 zona
Valdymo bloko patalpos	Patalpoms negalima priskirti nei vienos iš šių kategorijų: A_{sg} , B_{sg} , C_g	E_g
Amoniaکو sintetės įrengimai (išoriniai įrengimai)	Naudojamos ypač degios dujos	A_{sgi} , 2 zona
Šarminio vandens elektrolizerio pastatas	Šarminio vandens elektrolizerio patalpų kategorija A_{sg} ir jos užima daugiau nei 5 % viso pastato ploto	A_{sg} , 2 zona

4.3. Saugi gamyba

Vykdam tiek žaliojo vandenilio gamybą šarminiam vandens elektrolizeryje, tiek amoniako sintezę, įrenginiuose gali susidaryti per didelis slėgis, dirbama su ypač degiomis dujomis, kurios gali sprogti, jei gamybos sąlygos pakis. Kad išvengt skaudžių avarių chemijos pramonės įmonėje, yra labai svarbu laikytis saugumo reikalavimų:

1. Po įmonės teritorija draudžiama vaikščioti pašaliniam asmenims, įėjimas tiek į teritoriją, tiek prie technologinių įrenginių tik su leidimais, apsauginiu šalmu ir šviesą atspindinčiomis liemenėmis.
2. Gamyboje dirbantiems darbuotojams keisti sintetės sąlygų aukščiau nustatytų ribų draudžiama, nebent taip įsako už technologinius įrenginius atsakingas inžinierius.
3. Darbo vietoje turi būti laikomasi tvarkos, darbo įrankiai sužymėti ir sudėti savo vietose, laikomasi nustatyto 5S standarto.
4. Užtikrinti matavimo priemonių kalibracijos datų galiojimą, signalizacijos sistemų, automatinio valdymo sistemų techninę būklę.
5. Periodiškai vykdyti įrenginių, vamzdinių, elektros tinklų, vožtuvų patikras, taip užtikrinant jų būklę.
6. Užtikrinti, jog judančios įrenginių dalys būtų uždengtos, o šaltuoju metų laikotarpiu, išorinius įrengimus izoliuoti nuo šalčio, jog nebūtų staigus temperatūros pokytis sintezėje.
7. Techninius remontus vykdyti tik naudojantis visomis saugumo priemonėmis bei vadovautis įmonėje veikiančiu reglamentu remonto darbams.
8. Visi elektra varomi įrenginiai turi būti įžeminti.

9. Vietose, kur galimas ypač sproglių dujų susidarymas, griežtai draudžiama naudoti kibirkščiuojančius darbo įrankius.
10. Rūkyti tik specialiai tam skirtose vietose.

Elektros įranga potencialiai sprogiroje ir degioje aplinkoje

Remiantis 37 lentele, elektros įrenginiai dirbs A_{sg} kategorijos patalpose, kurioje yra tikimybė, jog gali susidaryti ypač degios dujos, šios patalpos priskirtos 2 zonai. Tokie įrenginiai atitinkamai parenkami pagal „Specialių patalpų ir technologinių procesų elektros įrenginių įrengimo taisyklės“.

Antrojo tipo sprogiatai zonai reikiamas apsaugos lygis yra normalus, tačiau žinant potencialias rizikas dėl sprogios aplinkos, įrangos grupė turėtų būti II 2G arba II 3G [34].

4.4. Darbo higiena

35 lentelėje buvo nustatyti visi rizikos veiksniai, kurie gali trikdyti sveikatą. 38 lentelėje pateikiami cheminių rizikos veiksnių, kurie kenksmingi žmogaus sveikatai, medžiagų ribinės vertės [28].

37 lentelė. Kenksmingų medžiagų ribinės vertės [28]

Cheminė medžiaga	Ribinis dydis				Poveikio sveikatai ypatumų žymenys	Poveikio sveikatai žymenų reikšmė
	Ilgalaikio poveikio ribinis dydis (IPRD)		Trumpalaikio poveikio ribinis dydis (TPRD)			
	mg/m³	Ppm	mg/m³	ppm		
Pavadinimas	mg/m³	Ppm	mg/m³	ppm		
Amoniakas	14	20	36	50	–	–
Anglies monoksidas	23	20	117	100	RŪ	Reprodukcijai toksiškas ir ūmus poveikis
Anglies dioksidas	9000	5000	–	–	–	–

Remiantis HN69:2003 [32], nustatomas šiluminis komfortas ir reikalinga šiluminė aplinka darbo patalpose, rezultatai (norminės vertės) pateikiami 39 ir 40 lentelėse.

38 lentelė. Darbo patalpų šiluminis komfortas [32]

Metų laikotarpis	Darbų kategorija	Oro temperatūra, °C	Oro santykinis drėgnumas, %	Oro judėjimo greitis, m/s, ne daugiau kaip
Šaltasis	Ia	22– 24	40– 60	0,1
Šiltasis	Ia	23– 25	40– 60	0,1

39 lentelė. Darbo patalpų pakankamos šiluminės aplinkos oro temperatūros, oro santykinio drėgnumo ir oro judėjimo greičio norminės vertės [32]

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	Ia	21– 25	18– 26	75	Ne daugiau kaip 0,1
Šiltasis	Ia	22– 28	20– 30	55 (prie 28°C)	0,1– 0,2

Remiantis HN98:2000 [31], nustatoma regos darbų kategorija ir patalpų norminė apšvieta. Rezultatai (ribinės vertės) pateikti 41 lentelėje.

40 lentelė. Darbo vietų patalpų viduje apšvietos mažiausios ribinės vertės [31]

Vieta	Regos darbų charakteristika	Mažiausio matomo objekto dydis, mm	Regos darbų kategorija	Mažiausia ribinė vertė, lx	Natūralus apšvietimas, NAK, %	Vykdomų darbų rūšys
Šarminio vandens elektrolizeriaus patalpos	Netikslūs	Daugiau kaip 5,0	VI	100	3,0	gamybos įrenginiai, nereikalaujantys nuolatinės priežiūros
Amoniako sintezės technologinių įrenginių aikštelė	Netikslūs	Daugiau kaip 5,0	VI	100	3,0	Kopėčios, metalinės konstrukcijos aplink įrengimus
Valdymo bloko patalpos	Tikslūs	0,31–0,50	III	500	4,0	Valdymas prie kompiuterinių ekranų

Remiantis Darbuotojų apsaugos nuo triukšmo keliamos rizikos nuostatais, ribinė triukšmo ekspozicijos vertė yra 87 dBA. Viršutinė ekspozicinė vertė – 85 dBA, o žemutinė – 80 dBA, tai vertės, kurias pasiekus reikalaujama pradėti veiksmus triukšmo mažinimui [33].

Abiejose patalpose triukšmo lygis pasiekiamas 80 dBA, dėl to būtina patalpų viduje dėvėti apsaugines ausines, kurios slopintų triukšmo lygį.

4.5. Gaisrinė sauga

Šiame skyriuje pateikiamos prevencinės priemonės kilus gaisrams ar esant sprogimo pavojui, kuris galėtų būti gaisro židiny. Svarbu, jog būtų laikomasi reikalavimų, kurie nurodyti Bendrosiose gaisrinės saugos [35] ir Gaisrinės saugos pagrindinių reikalavimų taisyklėse [36]. Būtina įrengti

priešgaisrinius vandentiekis, kuris būtų paskirstytas tiek pastato viduje gaisriniais čiaupais, tiek išorėje – hidranta. A_{sg} kategorijos patalpose, kurios buvo nustatytos 38 lentelėje, remiantis reikalavimas, reikia įrengti automatinius analizatorius, kurie kontroliuotų aplinkos orą [36].

Patalpose, kuriose gausu elektros įrenginių, turi būti ne mažiau kaip 50 % esančių gesintuvų tinkami elektros įrenginiams gesinti neišjungus jų įtampos. Šiuos įrenginius veiksmingiausia gesinti dujų ir miltelių ABC klasės gesintuvais [35].

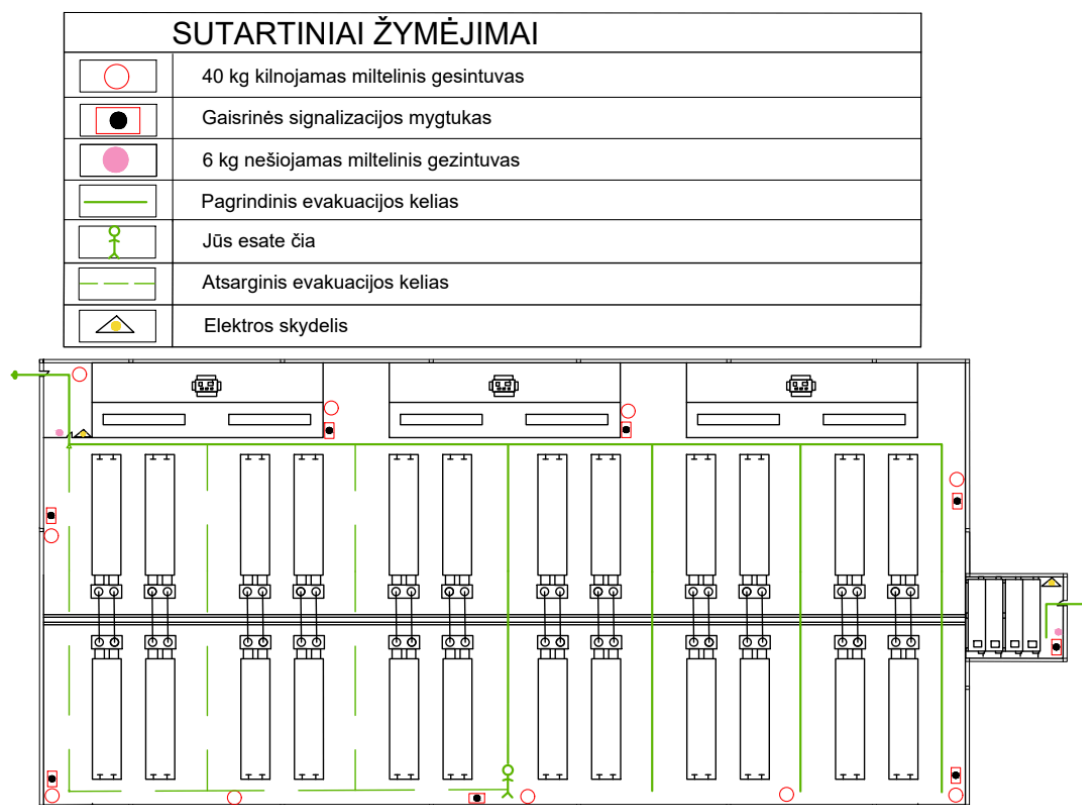
42 lentelėje pateikiami medžiagų variantai pagal gaisro klasę, tinkami jai gesinti. Sutartiniai ženklai lentelėje: ++ veiksmingiausia, + veiksminga, – ne tokia veiksminga [35].

41 lentelė. Gaisro klasė ir ugnį gesinanti medžiaga [35]

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 elektrolizerio gaminamas produktas yra sprogišios vandenilio dujos, įmonėje, remiantis 42 lentele, galimi dujų gaisrai, kuriuos veiksmingiausia gesinti milteliniais ABC ir BC tipo gesintuvais.

Remiantis Bendrosiomis gaisrinėmis saugos taisyklėmis [35], patalpos dydis yra 8400 m², tai mums reikės 10–ies 40 kg kilnojamų ABC klasės miltelinių gesintuvų bei dviejų 6 kg nešiojamų ABC klasės miltelinių gesintuvų. Pateiktas elektrolizerio patalpų evakuacijos planas 19 paveiksle.



19 pav. Elektrolizerio patalpų evakuacijos planas

Išvados

1. Atlikta amoniako ir žaliojo vandenilio gamybos būdų ir technologinių procesų literatūros analizė, iš kurios galima daryti išvadą, jog ši tema yra itin aktuali– ieškoma sprendimų, kurie sumažintų išmetamų kenksmingų dujų į aplinką kiekį ir siekiama optimizuoti amoniako sintezės procesą.
2. Atlikus tyrimą Aspen *HYSYS* programa, buvo parinktos optimaliausios šarminio elektrolizeriaus sąlygos, kurios yra 70 °C ir 7 bar slėgis. Šiomis sąlygomis gaunama 94,07 kg/h H₂ išeiga, išlaikant aukštą dujų grynumą – 95,48 %. Tyrimo metu pastebėta, jog didėjant temperatūrai ir mažėjant slėgiui, didėja vandenilio išeiga, tačiau lygiagrečiai mažėjo dujų grynumas.
3. Sumodeliuota amoniako sintezės technologija su šarminiu vandens elektrolizeriu programine modeliavimo įranga Aspen *HYSYS*. Suprojektuotu modeliu gaunamas 2,07 % mažesnis energijos srautas, reikalingas suslėgti sintezės dujoms ir recirkuliaciniam kompresoriui. Išgaunamas amoniako kiekis padidėja 29 %, nes sintezės dujose sumažėja 28,55 % inertinių dujų koncentracijos.
4. Suprojektuotas šarminio elektrolizerio gamybinis pastatas, kurio bendras plotas yra 8400 m², parinkta strategiškai palanki įmonės sklypo dalis. Apskaičiuotos reikiamos projektui įgyventi investicijos, kurios siekia 61,07 mln. Eur. Investicijų išlaidoms padengti pasinaudota Europos sąjungos struktūrinių fondų parama, nuosavu kapitalu bei banko paskola. Apskaičiuota, jog grynasis pelnas projekto brandos metuose siekia 43,77 mln. Eur., o investicijos atsipirktų po 3,51 metų.
5. Atlikus projekto aplinkosauginį vertinimą, galima teigti, jog užtikrinamas ekologiškas amoniako gamybos būdas, kurio sanitarinės apsaugos zonos dydis 500 m. Gaminant šiuo metodu kitų teršalų nesusidaro, arba susidaro, tačiau jų vertės labai minimalios, kurios neturi nedaro jokios įtakos aplinkai. Įvertinus darbuotojų saugą ir sveikatą nustatyta, jog cheminių, fizikinių, fizinių bei ergonominių veiksnių rizikos darbuotojui neviršija leistinų verčių, tačiau būtina naudoti apsaugines priemones dirbant tiesiogiai su gaminiais.

Literatūros sąrašas

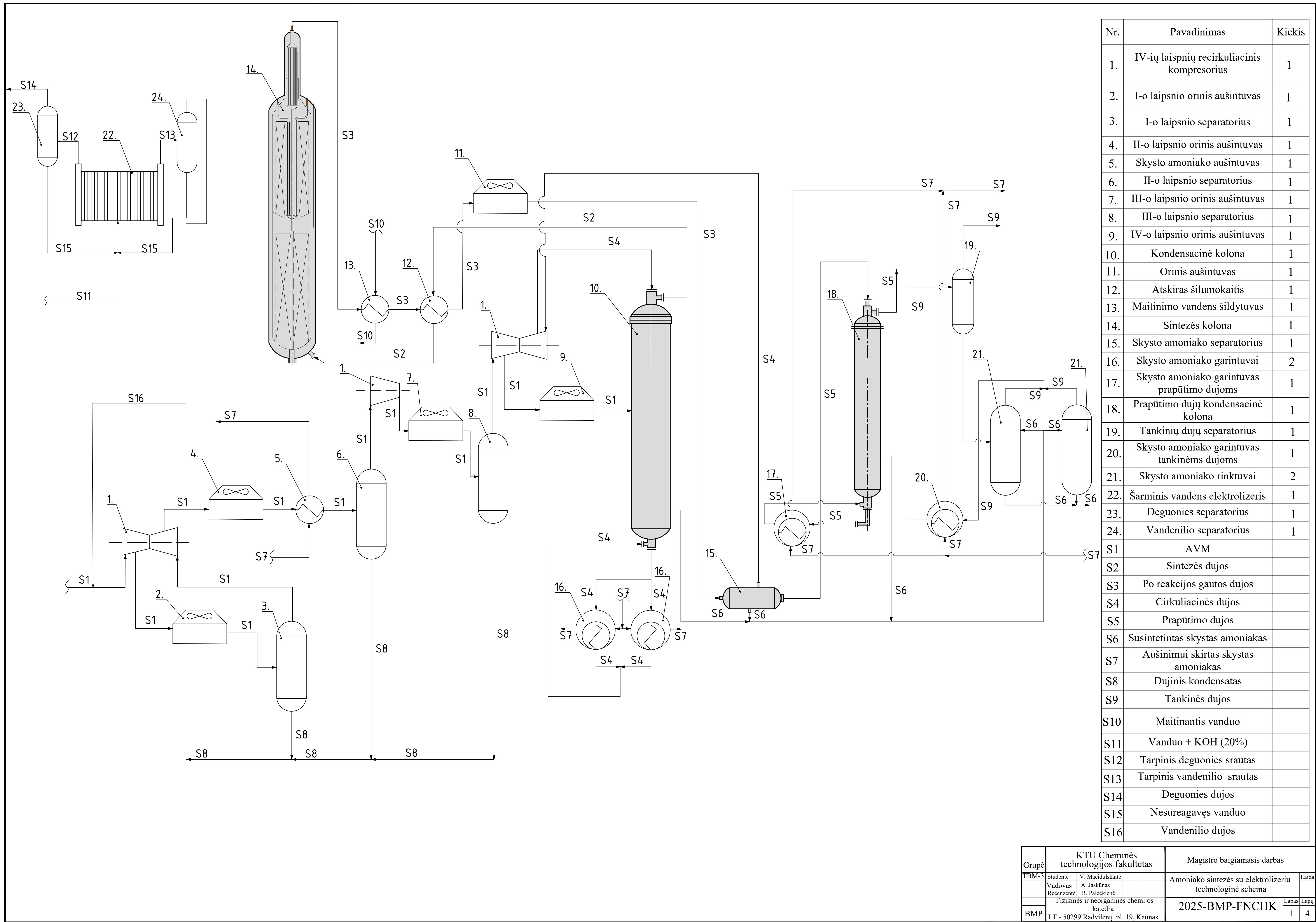
1. Quarton, C. J., Tlili, O., Welder, L., Mansilla, C., Blanco, H., Heinrichs, H., Leaver, J., Samsatli, N. J., Lucchese, P., Robinius, M., & Samsatli, S. The curious case of the conflicting roles of hydrogen in global energy scenarios. *Sustainable Energy & Fuels* [interaktyvus]. 2020, [žiūrėta 2025-04-07] Prieiga per: <https://doi.org/10.1039/C9SE00833K>.
2. Mohamed A. Habib, Gubran A.Q. Abdulrahman, Awad B.S. Alquaity, Naef A.A. Qasem. *Hydrogen combustion, production, and applications: A review* [interaktyvus]. Alexandria Engineering Journal, volume 100, 2024, pages 182-207 [žiūrėta 2025-04-07]. ISSN 1110-0168. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.05.030>.
3. Ringsgwandl, L.M.; Schaffert, J.; Brücken, N.; Albus, R.; Görner, K. Current Legislative Framework for Green Hydrogen Production by Electrolysis Plants in Germany. *Energies* [interaktyvus]. 2022, 15, 1786, [žiūrėta 2025-04-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/en15051786>.
4. Kashif Naseem, Fei Qin, Faryal Khalid, Guoquan Suo, Taghazal Zahra, Zhanjun Chen, Zeshan Javed. *Essential parts of hydrogen economy: Hydrogen production, storage, transportation and application* [interaktyvus]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, volume 210, 2025, 115196, [žiūrėta 2025.04.20]. ISSN 1364-0321. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115196>.
5. Xianxian Xu, Quan Zhou, Dehai Yu. *The future of hydrogen energy: Bio-hydrogen production technology* [interaktyvus]. International Journal of Hydrogen Energy, volume 47. Issue 79, 2022, pages 33677–33698, [žiūrėta 2025.04.20]. ISSN 0360-3199. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.07.261>.
6. Md Monjur Hossain Bhuiyan, Zahed Siddique. *Hydrogen as an alternative fuel: A comprehensive review of challenges and opportunities in production, storage, and transportation* [interaktyvus]. International Journal of Hydrogen Energy, volume 102, 2025, pages 1026-1044, [žiūrėta 2025.04.20]. ISSN 0360-3199. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.01.033>.
7. Collin Smith, Alfred K. Hill, Laura Torrente– Murciano. *Current and future role of Haber–Bosch ammonia in a carbon– free energy landscape* [interaktyvus]. Department of Chemical Engineering and Biotechnology, University of Cambridge, Philippa Fawcett Drive, CB3 0AS, Cambridge, UK. 2020, 13, 331-344. [žiūrėta 2025.04.20]. DOI: [10.1039/C9EE02873K](https://doi.org/10.1039/C9EE02873K)
8. Garagounis, I.; Vourros, A.; Stoukides, D.; Dasopoulos, D.; Stoukides, M. *Electrochemical Synthesis of Ammonia: Recent Efforts and Future Outlook* [interaktyvus]. Membranes 2019, 112, [žiūrėta 2025-04-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/membranes9090112>.
9. Hafiz Sharjeel Ahmed, Zaid Yahya, Waqar Ali khan, Ali Faraz, *Sustainable pathways to ammonia: a comprehensive review of green production approaches* [interaktyvus]. Clean Energy, volume 8. Issue 2, April 2024, pages 60–72 [žiūrėta 2025-04-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1093/ce/zkae002>.
10. Yunlong Wang, Haibo Yin, Xiaoguang Zhao, Yakun Qu, Aiguo Zheng, Han Zhou, Wei Fang, Junhua Li. *Photocatalytic ammonia synthesis from nitrate reduction on nickel single-atom decorated on defective tungsten oxide* [interaktyvus]. Applied Catalysis B: Environmental, volume 341, 2024, 123266, [žiūrėta 2025-04-07]. ISSN 0926-3373. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2023.123266>.

11. Gbemisola Ojo, Kyle Camarda. *Sustainable Ammonia Production via Electrolysis and Haber-Bosch Process* [interaktyvus]. Editor(s): Ludovic Montastruc, Stephane Negny, Computer Aided Chemical Engineering, elsevier, volume 51, 2022, pages 229-234, [žiūrėta 2025-04-07]. ISSN 1570-7946, ISBN 9780323958790. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95879-0.50039-4>.
12. Brauns, J.; Turek, T. *Alkaline Water Electrolysis Powered by Renewable Energy: A Review* [interaktyvus]. Processes 2020, 8, 248, [žiūrėta 2025-04-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/pr8020248>
13. Chijindu Ikechukwu Igwe, Chinonso Hubert Achebe, Arinze Everest Chinweze. *Design of an Alkaline Water Electrolyzer for Hydrogen Production* [interaktyvus]. American Journal of Mechanical and Industrial Engineering. Vol. 7, No. 6, 2022, pp. 89-98. [žiūrėta 2025-04-07]. doi: 10.11648/j.ajmie.20220706.12
14. S. Shiva Kumar; Hankwon Lim. *Recent advances in hydrogen production through proton exchange membrane water electrolysis – a review* [interaktyvus]. Sustainable Energy & Fuels. Issue 15, 2023, [žiūrėta 2025-04-07]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1039/D3SE00336A>.
15. Shiyu Bin, Zeyi Chen, Yanxi Zhu, Yixiang Zhang, Yan Xia, Shihao Gong, Fanhang Zhang, Lei Shi, Xiongbo Duan, Zhiqiang Sun. *High-pressure proton exchange membrane water electrolysis: Current status and challenges in hydrogen production* [interaktyvus]. International Journal of Hydrogen Energy, volume 67, 2024, pages 390-405, [žiūrėta 2025-04-07]. ISSN 0360-3199. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.04.188>.
16. S. Shiva Kumar, V. Himabind. *Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review* [interaktyvus]. Materials Science for Energy Technologies, volume 2. Issue 3, 2019, pages 442-454, [žiūrėta 2025-04-07]. ISSN 2589-2991. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.03.002>.
17. Jarosław Milewski, Jakub Kupecki, Arkadiusz Szczęśniak, Nikolaï Uzunow. *Hydrogen production in solid oxide electrolyzers coupled with nuclear reactors* [interaktyvus]. International Journal of Hydrogen Energy, volume 46. Issue 72, 2021, pages 35765-35776, [žiūrėta 2025-04-07]. ISSN 0360-3199. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.11.217>.
18. Mónica Sánchez, Ernesto Amores, David Abad, Lourdes Rodríguez, Carmen Clemente-Jul. *Aspen Plus model of an alkaline electrolysis system for hydrogen production* [interaktyvus]. International Journal of Hydrogen Energy. Volume 45. Issue 7, 2020, pages 3916-3929, [žiūrėta 2025-05-02]. ISSN 0360-3199. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.027>.
19. MSE Supplies for Laboratory Materials and Supplies. *Alkaline Water Electrolysis Stack Hardware - 25cm², Square Electrode, 10 Cell* [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-02]. Prieiga per: https://www.msesupplies.com/products/alkaline-water-electrolysis-stack-25cm-square-electrode-10-cell?srsId=AfmBOoqEDogv8h4n6RV6-flgPZEKP4W0FQP8_T5dX8vOd5oZ5okqLLNO
20. Made-in-China.com. *10m³ 8-30bar Pressure Vessel Air Tank for Hydrogen Gas Storage* [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-02]. Prieiga per: <https://jiaye2021.en.made-in-china.com/product/LmiYBnWrsNhp/China-10m3-8-30bar-Pressure-Vessel-Air-Tank-for-Hydrogen-Gas-Storage.html>
21. Kelių tiesimo įmonė „Marstena“. *Paslaugų kainos*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-02]. Prieiga per: <https://marstena.lt/kainos>

22. Gamtinių dujų planai ir kainos, galiojančios nuo 2025 m. sausio 1 d. iki 2025 m. birželio 30 d. [interaktyvus]. [žiūrėta 2025–05–09]. Prieiga per: <https://ignitis.lt/lt/duju-kainos>
23. Medžiagos pagal kvalifikaciją: kalio hidroksidas 90 %, kg. [interaktyvus]. [žiūrėta 2025–05–09]. Prieiga per: https://lerochem.eu/lt/pagrindinis/40-232-kalio-hidroksidas-90-kg.html?_gl=1*12d3ou2*_up*MQ..*_ga*MTQ2NDE3NTQ4OS4xNzQ2Nzg5NjEx*_ga_ZT_HNTKCNJX*czE3NDY3ODk2MDkkbzEkZzAkDE3NDY3ODk2MDkkajAkBDaKaDA.#/32-prekes_dydis_kg-1_kg
24. Visuomeninio tiekėjo elektros planai, galiojančios nuo 2025 m. sausio 1 d. [interaktyvus]. [žiūrėta 2025–05–09]. Prieiga per: <https://ignitis.lt/lt/elektra-namams#planai>
25. Paskolų palūkanų normos. [interaktyvus]. [žiūrėta 2025.05.10]. Prieiga per: <https://www.lb.lt/lt/paskolu-palukanu-normos>
26. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTRAS. ĮSAKYMAS DĖL ATLIEKŲ TVARKYMO TAISYKLIŲ PATVIRTINIMO. 1999 m. liepos 14 d. Nr. 217, Vilnius TAR, 2017-10-11, Nr. 63-2065. [interaktyvus] [žiūrėta 2025.05.10]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.84302/asr>
27. Profesinės rizikos bendrieji vertinimo nuostatai [interaktyvus]. Valstybės žinios, 2012, Nr. 126-6350. [žiūrėta 2025.05.10]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.435935?jfwid=rivwzvpg>
28. HN 23:2011 „Cheminių medžiagų profesinio poveikio ribiniai dydžiai. Matavimo ir poveikio vertinimo bendrieji reikalavimai. Valstybės žinios, 2011, Nr. 112-5274. [žiūrėta 2025.05.10]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.405920>
29. Darbuotojų aprūpinimo asmeninėmis apsauginėmis priemonėmis nuostatai. Valstybės žinios, 2013, Nr. 98-4885. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.456050/asr>
30. Elektros įrenginių įrengimo bendrosios taisyklės. Valstybės žinios, 2012, Nr. 18-816. [žiūrėta 2025.05.10]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.418124>
31. HN 98:2000. Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. Apšvietos ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai. TAR, 2014, Nr. 5119. [žiūrėta 2025.05.10]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.101854/asr>
32. HN 69:2003. Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametru norminės vertės ir matavimo reikalavimai. Valstybės žinios, 2004, Nr. 45-1485. [žiūrėta 2025.05.10]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.230880>
33. Darbuotojų apsaugos nuo triukšmo keliamos rizikos nuostatai. Valstybės žinios, 2005, Nr. 53-1804. [žiūrėta 2025.05.10]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.254877?positionInSearchResults=14&searchModelUUID=05f516ed-c85b-448c-a0f7-8890a0736ae2>
34. Slėginių indų naudojimo taisyklės DT 12-02. Valstybės žinios, 2002, Nr. 115-5165. [žiūrėta 2025.05.10]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.196494?jfwid=>
35. Bendrosios gaisrinės saugos taisyklės. Valstybės žinios, 2010, Nr. 99 -5167 (Aktuali redakcija: Valstybės žinios Nr. 118-5970). [žiūrėta 2025.05.10]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.250714/asr>
36. Gaisrinės saugos pagrindiniai reikalavimai. Valstybės žinios, 2010-12-14, Nr. 146-7510. [žiūrėta 2025.05.10]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.388658/asr>

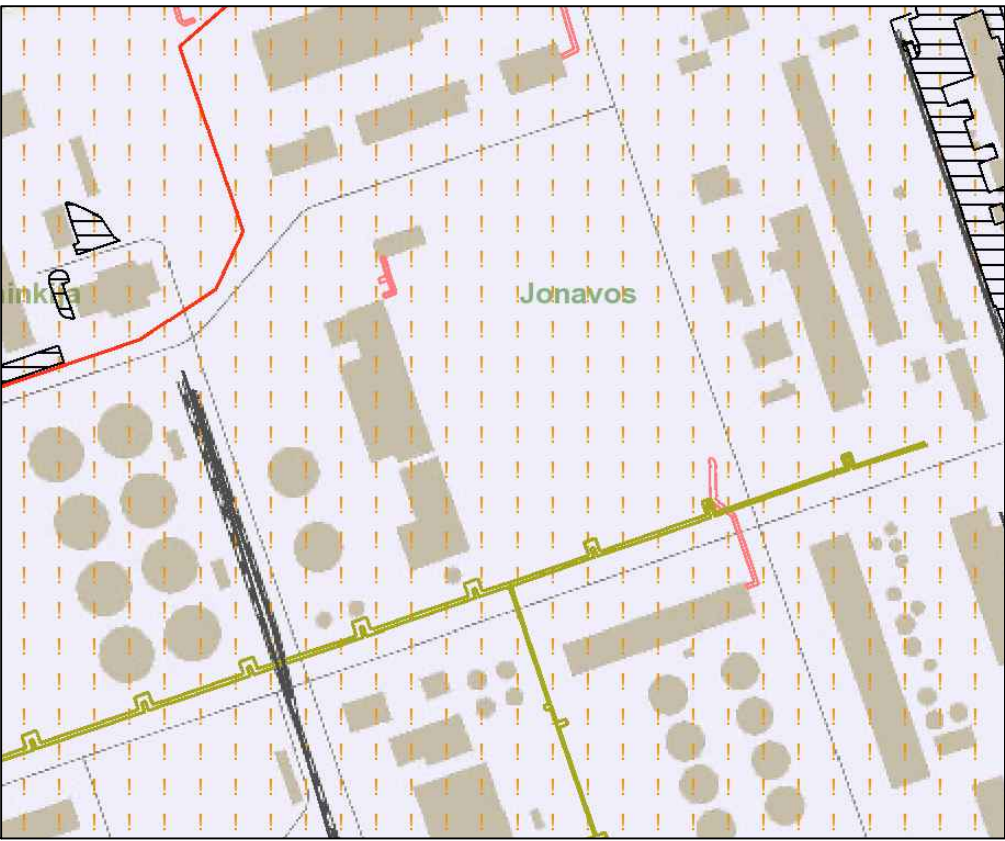
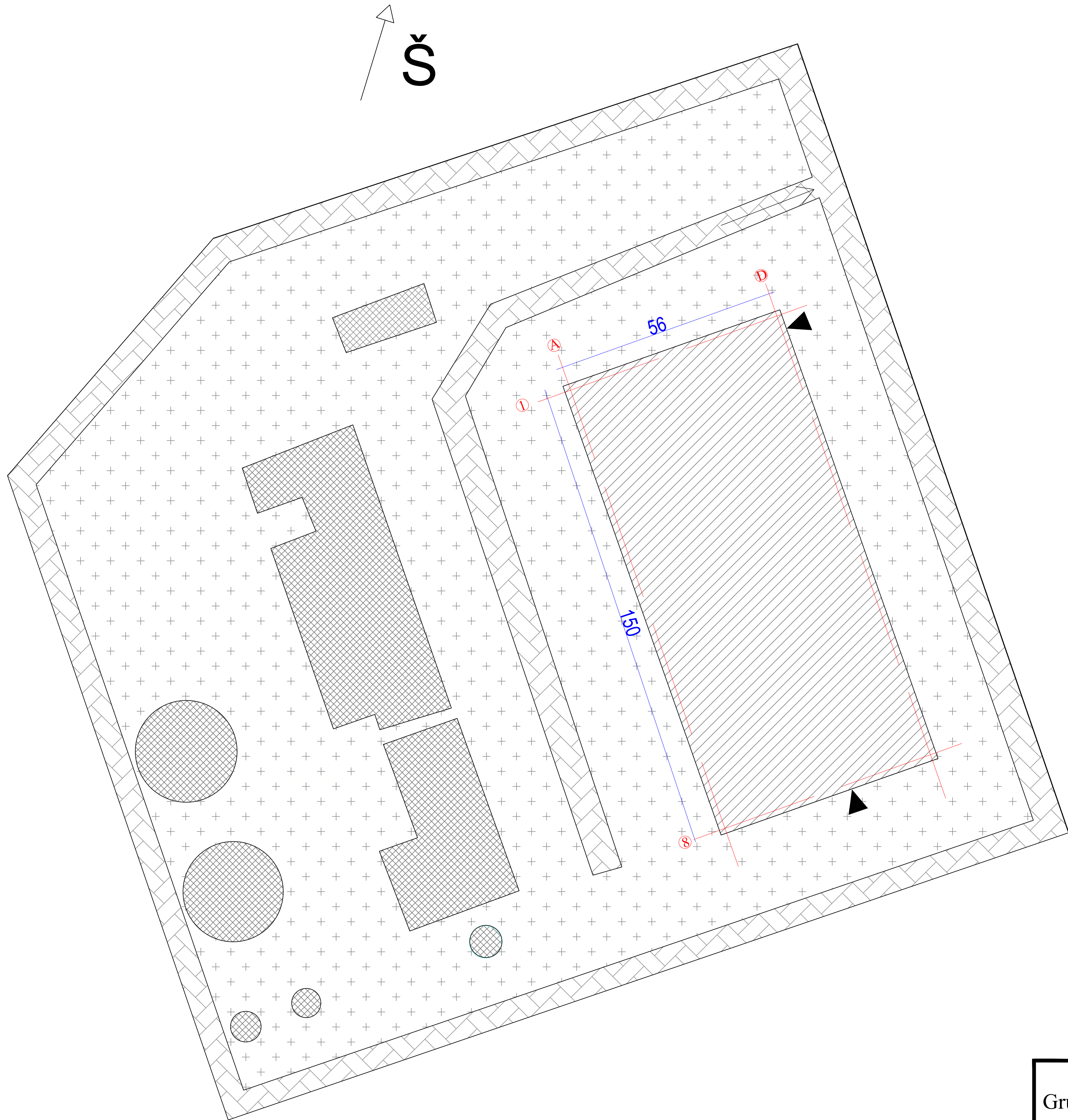
Priedai

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



Nr.	Pavadinimas	Kiekis
1.	IV-ių laispnių recirkuliacinis kompresorius	1
2.	I-o laipsnio orinis aušintuvas	1
3.	I-o laipsnio separatorius	1
4.	II-o laipsnio orinis aušintuvas	1
5.	Skysto amoniako aušintuvas	1
6.	II-o laipsnio separatorius	1
7.	III-o laipsnio orinis aušintuvas	1
8.	III-o laipsnio separatorius	1
9.	IV-o laipsnio orinis aušintuvas	1
10.	Kondensacinė kolona	1
11.	Orinis aušintuvas	1
12.	Atskiras šilumokaitis	1
13.	Maitinimo vandens šildytuvas	1
14.	Sintezės kolona	1
15.	Skysto amoniako separatorius	1
16.	Skysto amoniako garintuvai	2
17.	Skysto amoniako garintuvas prapūtimo dujoms	1
18.	Prapūtimo dujų kondensacinė kolona	1
19.	Tankinių dujų separatorius	1
20.	Skysto amoniako garintuvas tankinėms dujoms	1
21.	Skysto amoniako rinktuvai	2
22.	Šarminis vandens elektrolizeris	1
23.	Degunies separatorius	1
24.	Vandenilio separatorius	1
S1	AVM	
S2	Sintezės dujos	
S3	Po reakcijos gautos dujos	
S4	Cirkuliacinės dujos	
S5	Prapūtimo dujos	
S6	Susintetintas skystas amoniakas	
S7	Aušinimui skirtas skystas amoniakas	
S8	Dujinis kondensatas	
S9	Tankinės dujos	
S10	Maitinantis vanduo	
S11	Vanduo + KOH (20%)	
S12	Tarpinis degunies srautas	
S13	Tarpinis vandenilio srautas	
S14	Degunies dujos	
S15	Nesureagavęs vanduo	
S16	Vandenilio dujos	

Grupė		KTU Cheminės technologijos fakultetas			Magistro baigiamasis darbas		
TBM-3	Studentė	V. Macidulskaitė			Amoniako sintezės su elektrolizeriu technologinė schema	Laida	
	Vadovas	A. Jaskūnas					
	Recenzentė	R. Paleckienė					
BMP	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra				2025-BMP-FNCHK	Lapas	Lapų
	LT - 50299 Radvilėnų pl. 19, Kaunas					1	4



SITUACIJOS PLANAS
MASTELIS 1:1000

PASTATŲ IR ĮRENGINIŲ EKSPLIKACIJA

Obj. Nr.	Objekto pavadinimas
1	PROJEKTUOJAMAS ĮRENGINYS
2	ESAMI ĮRENGINIAI/PASTATAI

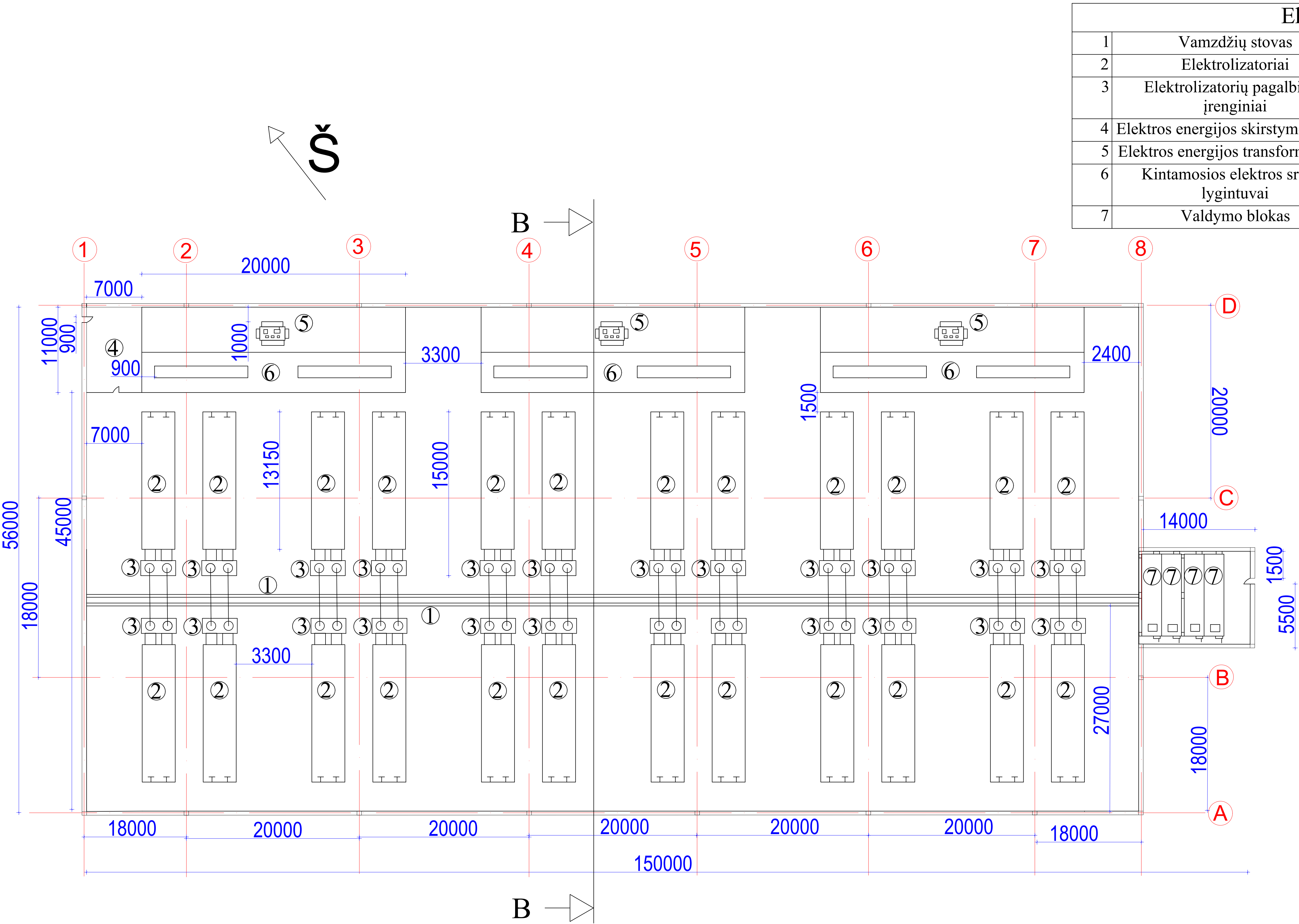
SUTARTINIAI ŽYMĖJIMAI

	PROJEKTUOJAMI PASTATAI IR STATINIAI
	PROJEKTUOJAMAS KELIAS
	ESAMI ĮRENGINIAI/PASTATAI
	VEJA
	ĮĖJIMAI
	ĮVAŽIAVIMAS/IŠVAŽIAVIMAS

PARGINDINIAI SKLYPO TECHNINIAI RODIKLIAI

Nr.	Rodiklio pavadinimas	Mato vnt.	Kiekis	Pastabos
1.	SKLYPO PLOTAS	m²	74437.66	
2.	UŽSTATYMO PLOTAS	m²	39198.54	
3.	SKLYPO VEJOS PLOTAS	m²	22698.11	

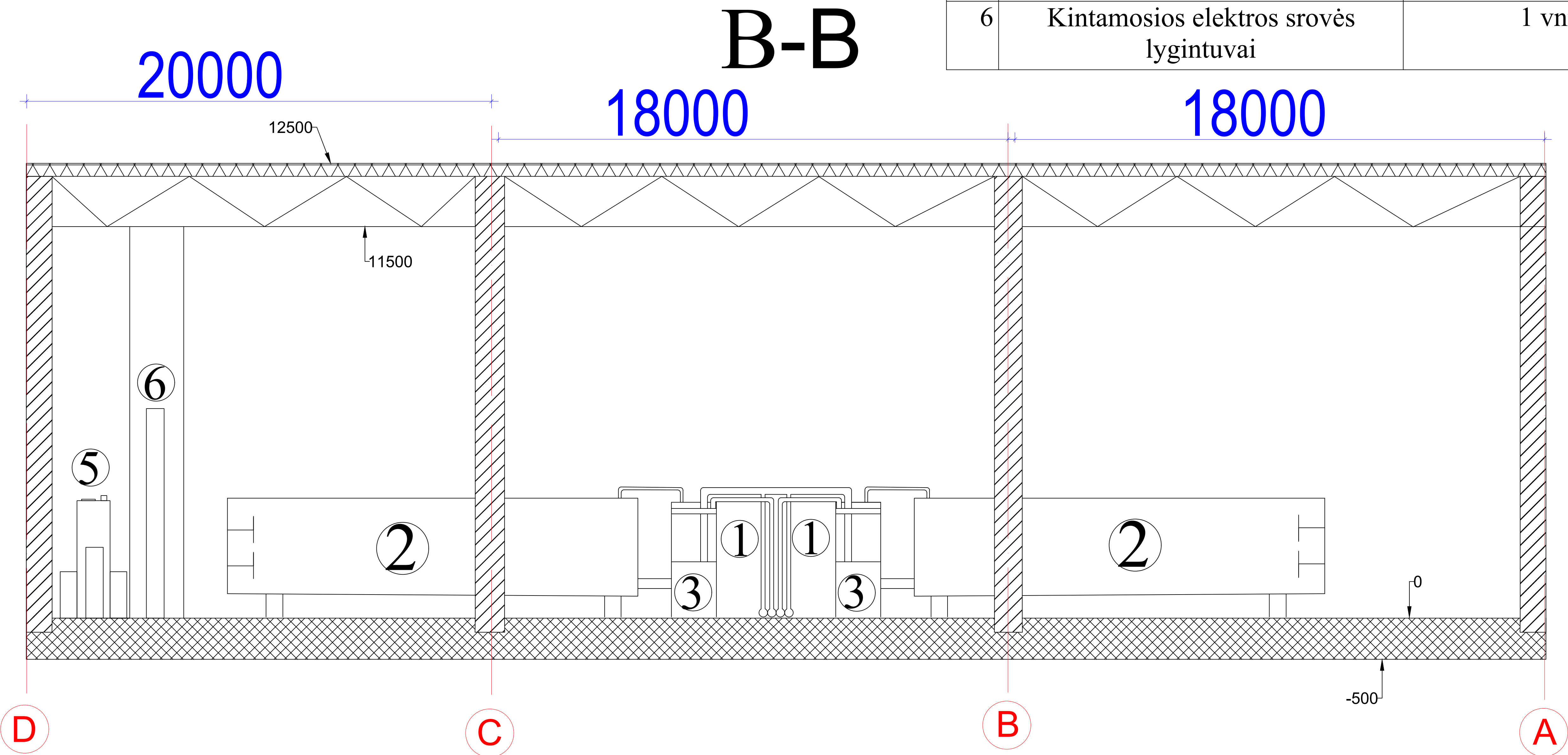
Grupė	KTU cheminės technologijos fakultetas		Magistro baigiamasis projektas		
	TMC-3	Studentė	Vesta Macidulskaitė	Žaliojo vandenilio panaudojimas amoniako sintezei tobulinti	
		Konsultantas	Odeta Viliūnienė		
		Vadovas	doc. dr. Andrius Jaskūnas		
	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra Radvilėnų pl. 19, Kaunas, LT-50254		Sklypo planas Mastelis 1:1000		Lapas 2
					Lapų 4



Eksplikacija		
1	Vamzdžių stovas	2 vnt.
2	Elektrolizatoriai	24 vnt.
3	Elektrolizatorių pagalbiniai įrenginiai	24 vnt.
4	Elektros energijos skirstymo blokas	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-3	Studentas	Vesta Macidulskaitė	Žaliojo vandenilio panaudojimas amoniako sintezei tobulinti			
	Konsultantas	Odeta Viliūnienė				
Mastelis	Vadovas	doc. dr. Andrius Jaskūnas				
1:1000	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra Radvilėnų pl. 19, Kaunas, LT-50254		Pastato planas iš viršaus Įrenginių išdėstymas		Lapas 3	Lapų 4

Eksplikacija		
1	Vamzdžių stovas	2 vnt.
2	Elektrolizatoriai	2 vnt.
3	Elektrolizatorių pagalbiniai įrenginiai	2 vnt.
5	Elektros energijos transformatorius	1 vnt.
6	Kintamosios elektros srovės lygintuvai	1 vnt.



SUTARTINIAI ŽYMĖJIMAI	
	GELŽBETONAS
	METALO PROFILIUOTIS
	BETONAS

Grupė	KTU cheminės technologijos fakultetas		Magistro baigiamasis projektas			
TMC-3	Studentė	Vesta Macidulskaitė	Žaliojo vandenilio panaudojimas amoniako sintezei tobulinti			
	Konsultantas	Odeta Viliūnienė				
Mastelis	Vadovas	doc. dr. Andrius Jaskūnas				
1:1000	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra Radvilėnų pl. 19, Kaunas, LT-50254		Elektrolizerio B-B pjūvis		Lapas 4	Lapų 4

5 priedas. Darbo patvirtinimai



Odeta Viliūnienė

Kam: Vesta Macidulskaitė

😊 ↩️ ⏪ ⏩ 📄 ⏴ ⏵ ...

2025-05-27, An 20:57

Studentės **Vestos Macidulskaitės** baigiamojo magistro projekto „**Žaliojo vandenilio panaudojimas amoniako sintezei tobulinti**“ skyrius „**Statybiniai sprendimai**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas lekt. Odeta Viliūnienė

Studentės **Vestos Macidulskaitės** baigiamasis magistro projektas „**Žaliojo vandenilio panaudojimas amoniako sintezei tobulinti**“ skyrius „**Darbuotojų sauga ir sveikata**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas **doc. dr. Dalia Nizevičienė**



Gintaras Denafas

Kam: ☒ Vesta Macidulskaitė

Kopija: ☒ Andrius Jaskūnas

😊 ↩️ ⏪ ⏩ 📄 ⏴ ⏵ ...

2025-05-20, An 17:29

Studentės Vestos Macidulskaitės baigiamojo magistro projekto „**Žaliojo vandenilio panaudojimas amoniako sintezei tobulinti**“ aplinkosauginio vertinimo skyrius yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas
Gintaras Denafas

Pagarbiai / Sincerely

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



Irena Pekarskienė

Kam: ☒ Vesta Macidulskaitė

😊 ↩️ ⏪ ⏩ 📄 ⏴ ⏵ ...

2025-05-27, An 17:25

Laba diena,
šiuo laišku patvirtinu, kad studentės **Vestos Macidulskaitės** baigiamasis magistro projektas „**Žaliojo vandenilio panaudojimas amoniako sintezei tobulinti**“ skyrius „**Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal reikalavimus.

Konsultantas Irena Pekarskienė

Pagarbiai / Best regards
dr. Irena Pekarskienė
Profesorė / Professor

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