



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

**Elektrochemiškai mangano(IV) oksidu modifikuotas grafito
veltinis: gamybos technologija ir taikymas**

Baigiamasis magistro studijų projektas

Kristina Klemanskaitė

Projekto autorė

doc. dr. Egidijus Griškonis

Vadovas

Kaunas, 2026



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Elektrochemiškai mangano(IV) oksidu modifikuotas grafito veltinis: gamybos technologija ir taikymas

Baigiamasis magistro studijų projektas

Chemijos inžinerija (6211EX020)

Kristina Klemanskaitė

Projekto autorė

Doc. dr. Egidijus Griškonis

Vadovas

Doc. dr. Irmantas Barauskas

Recenzentas / Recenzentė

Prof. dr. Irena Pekarskienė

Finansinių ir ekonominių skaičiavimų konsultantė

Doc. dr. Dalia Nizevičienė

Darbuotojų saugos ir sveikatos konsultantė

Prof. dr. Gintaras Denafas

Aplinkosauginio vertinimo konsultantas

Lekt. dr. Odeta Viliūnienė

Statybinių sprendimų konsultantė

Kaunas, 2026



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Kristina Klemanskaitė

Elektrochemiškai mangano(IV) oksidu modifikuotas grafito veltinis: gamybos technologija ir taikymas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Kristina Klemanskaitė

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas
Cheminės technologijos fakultetas

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

Suderinta:
Organinės chemijos katedra
Doc. dr. Kristina Kantminienė
2026 m. Kovo mėn 18 d.

Dekano potvarkis Nr. V25-02-13
2026 gegužės 14 d.

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Projekto tema

Elektrochemiškai mangano(IV) oksidu modifikuotas grafito veltinis:
gamybos technologija ir taikymas

Darbo tikslai ir uždaviniai

Darbo tikslas – suprojektuoti periodinio veikimo elektrochemiškai mangano (IV) oksidu modifikuojamo grafito veltinio įrenginį, pagaminančio 197401,68 m²/metus produkcijos.

Projekto uždaviniai:

1. Atlikti srautinių baterijų, jose naudojamų anglinių elektrodų bei jų modifikavimo metodų apžvalgą.
2. Atlikti modifikavimo mangano(IV) oksido cheminių ir elektrocheminių sintezės būdų apžvalgą.
3. Ištirti elektrocheminį grafito veltinio modifikavimo procesą mangano(IV) oksidu permanganato(VII) tirpale.
4. Atlikti gamybos įrenginio masės ir energijos balansų skaičiavimus.
5. Atlikti konstrukcinius, technologinius, statybinius bei ekonominius skaičiavimus.
6. Aptarti saugaus darbo ir aplinkosaugos tematikas.
7. Pateikti sklypo plano, statybinius ir technologinės schemos brėžinius, A1 formatu.

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 / Vadovė

Doc. dr. Egidijus Griškonis

2026-02-01

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Klemanskaitė, Kristina. Elektrochemiškai mangano(IV) oksidu modifikuotas grafito veltinis: gamybos technologija ir taikymas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Egidijus Griškonis; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: vanadžio jonų srautinė baterija, grafito veltinis, elektrocheminis nusodinimas, mangano(IV) oksidas, kalio permanganatas, elektrodų modifikavimas, ciklinė voltamperometrija, SEM.

Kaunas, 2026. 76 p.

Santrauka

Atsinaujinančios energijos plėtra didina poreikį didelio masto stacionarioms energijos kaupimo sistemoms, tarp kurių vanadžio jonų srautinės baterijos išsiskiria savo konstrukciniu sprendimu, ilgaamžiškumu ir maža kryžmine tarša. Vienas iš pagrindinių srautinių baterijų komponentų – porėtas grafito veltinio elektrodas, pasižymintis gera elektrine varža ir trimate struktūra, tačiau jo elektrocheminis aktyvumas vanadžio jonų atžvilgiu yra ribotas dėl prasto drėkstumumo ir nepakankamo aktyviųjų centrų skaičiaus. Šiam darbe tirta galimybė pagerinti grafito veltinio elektrocheminį aktyvumą jį modifikuojant elektrochemiškai nusodintu mangano(IV) oksidu iš skirtingos koncentracijos permanganato tirpalų. Inžinerinėje dalyje suprojektuota grafito veltinio modifikavimo technologinė linija, atlikti pagrindiniai įrenginių skaičiavimai, parengti statybiniai sprendimai, įvertinti finansiniai-ekonominiai rodikliai ir parengtas aplinkosauginis vertinimas. Atskirame skyriuje aptarti darbuotojų saugos ir sveikatos klausimai bei gaisrinė sauga.

Klemanskaitė Kristina. Graphite Felt Electrochemically Modified with Manganese(IV) Oxide: Production Technology and Application / supervisor dr. Egidijus Griškonis; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: vanadium redox flow battery, graphite felt, electrochemical deposition, manganese(IV) oxide, potassium permanganate, electrode modification, cyclic voltammetry, SEM.

Kaunas, 2026. 76.

Summary

The growing deployment of renewable energy sources is driving demand for large-scale stationary energy-storage systems, among which vanadium redox flow batteries (VRFB) stand out for their modular design, long cycle life, and low cross-contamination. Graphite felt is one of the most used electrode materials in VRFBs owing to its three-dimensional porous structure and good electrical conductivity. However, its electrochemical activity towards vanadium species is limited by poor wettability and an insufficient number of active sites. The present work investigates the possibility of enhancing the electrochemical activity of graphite felt through modification with electrochemically deposited manganese(IV) oxide from KMnO_4 solutions of different concentrations. The engineering part covers the design of production line for modified graphite felt electrodes, including equipment sizing calculations, building design solutions, a financial-economical assessment, and an environmental evaluation. A separate chapter addresses occupational safety, health, and fire-safety requirements.

Turinys

Lentelių sąrašas.....	9
Paveikslų sąrašas	11
Santrumpų ir terminų sąrašas.....	12
Įvadas.....	13
1. Literatūros apžvalga	14
1.1. Skystos srautinės baterijos.....	15
1.1.1. Vanadžio jonų srautinės baterijos (VRFB).....	15
1.2. Hibridinės srautinės baterijos	16
1.2.1. Cinko-bromo srautinės baterijos (ZBFB).....	16
1.3. Puskietės srautinės baterijos	17
1.4. Elektrodai	18
1.4.1. Anglies elektrodai.....	19
1.4.2. Grafito veltinis.....	19
1.5. Anglinių elektrodų modifikavimas.....	20
1.5.1. Modifikavimas metalų oksidais.....	20
1.6. Mangano(IV) oksido sintezės	21
1.7. Grafito veltinio panaudojimas	21
2. Tiriamoji dalis.....	23
2.1. Elektrocheminis MnO ₂ nusodinimas ant grafito veltinio	26
2.2. Paviršiaus morfologijos vertinimas (SEM)	27
2.3. Modifikacijos stabilumas vanadžio elektrolite.....	30
3. Inžinerinė dalis.....	32
3.1. Technologija	32
3.1.1. Bendrosios technologinės schemos aprašymas	32
3.1.2. Technologinėje linijoje naudojamų įrenginių skaičiavimai	34
3.1.2.1. Drėkinimo įranga.....	34
3.1.2.2. Elektrolizeris.....	36
3.1.2.3. Plovimo įrenginys.....	38
3.1.2.4. Džiovinimo įrenginys	39
3.1.2.5. Technologinio proceso siurbliai	41
3.1.2.6. Technologinio proceso sąnaudos metinėje apyvaroje.....	42
3.2. Statybiniai sprendimai	43
3.2.1. Bendrieji duomenys.....	43
3.2.2. Sklypas	44
3.2.2.1. Esami statiniai ir inžineriniai tinklai.....	44
3.2.2.2. Susisiekimo komunikacijos	44
3.2.2.3. Pastato išdėstymas sklype.....	44
3.2.3. Architektūriniai sprendimai.....	44
3.2.4. Konstrukciniai sprendimai.....	45
3.3. Finansai ir ekonomika	45
3.3.1. Projekto investicijos ir jų finansavimo šaltiniai	45
3.3.2. Ilgalaikio turto vertės skaičiavimai	46
3.3.3. Trumpalaikio turto vertės skaičiavimai	46
3.3.4. Produkcijos gamybos apimtys planavimas.....	46

3.3.5.	Gamybos kaštų skaičiavimas.....	47
3.3.5.1.	Tiesioginiai gamybos kaštų skaičiavimai	47
3.3.5.2.	Netiesioginių gamybos kaštų skaičiavimai.....	49
3.3.6.	Veiklos kaštai	53
3.3.7.	Finansinės veiklos sąnaudos.....	54
3.3.8.	Gaminių kainos skaičiavimai	54
3.3.9.	Projekto pelnas ir grynujų pinigų srantai.....	55
3.3.10.	Projekto investicinio efektyvumo vertinimas.....	56
3.3.10.1.	Atsipirkimo periodo nustatymas.....	57
3.3.10.2.	Grynosios esamosios vertės nustatymas.....	57
3.3.10.3.	Vidinės grąžos normos (IRR) apskaičiavimas.....	58
3.3.10.4.	Pelningumo indekso PI skaičiavimas	58
3.3.11.	Lūžio taško skaičiavimai	58
3.3.12.	Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai.....	59
3.4.	Aplinkosauginis vertinimas	60
3.4.1.	Bendrieji duomenys.....	60
3.4.2.	Atliekų tvarkymas	62
3.4.3.	Nuotekos.....	63
3.4.4.	Fizikinė tarša	63
3.4.5.	Biologinė tarša.....	63
4.	Darbuotojų sauga ir sveikata	64
4.1.	Projektuojamojo objekto charakteristika.....	64
4.2.	Profesinės rizikos vertinimas.....	64
4.3.	Saugi gamyba	67
4.4.	Darbo higiena	68
4.4.1.	Šiluminė aplinka.....	68
4.4.2.	Apšvieta.....	68
4.4.3.	Triukšmas	69
4.5.	Gaisrinė sauga	69
	Išvados	71
	Literatūros sąrašas	72
	Priedai.....	76
1	Priedas. Proceso technologinė schema	76
2	Priedas. Statybos teritorijos planas	76
3	Priedas. Gamybos patalpų planas ir įrengimų išdėstymas.....	76
4	Priedas. Technologinės linijos išilginis pjūvis	76
5	Priedas. Suderinimai.....	76

Lentelių sąrašas

1 lentelė. KMnO_4 tirpalo vykstančios elektrocheminės reakcijos	24
2 lentelė. Elektrocheminio nusodinimo tyrimo pratekėjusios elektros kiekis ir nusėdusio MnO_2 masė	26
3 lentelė. Gamybos darbo režimas	32
4 lentelė. Elektrocheminio nusodinimo tyrimo duomenys	32
5 lentelė. Žaliavos 1 vnt perkamuos pakuotės specifi ka	33
6 lentelė. Drėkinimo įrenginio techniniai duomenys	34
7 lentelė. Purkštukų techninė specifikacija	34
8 lentelė. Elektrolizerio techninė specifikacija	36
9 lentelė. Žaliavų sunaudojimas atliekant vieno rulono modifikaciją.....	38
10 lentelė. Plovimo proceso techninės charakteristikos.....	38
11 lentelė. Džiovinimo įrenginio techninės charakteristikos	39
12 lentelė. Grafito veltino savybės džiovinimo procese	39
13 lentelė. Oro srauto parametrai džiovinimo proceso metu	40
14 lentelė. Tiekiamo srauto parametrai	41
15 lentelė. Vieno proceso ciklo trukmė.....	42
16 lentelė. Medžiagų balansas.....	42
17 lentelė. Energetinės technologinio proceso sąnaudos	43
18 lentelė. Bendrieji statinio rodikliai	43
19 lentelė. Projekto finansavimo poreikis ir šaltiniai.....	45
20 lentelė. Ilgalaikio turto vertė	46
21 lentelė. Trumpalaikio turto poreikis	46
22 lentelė. Produkcijos gamybos apimties planavimas.....	47
23 lentelė. Išlaidos pagrindinėms medžiagoms ir žaliavoms	47
24 lentelė. Tiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui	48
25 lentelė. Tiesioginės išlaidos elektros energijai.....	48
26 lentelė. Tiesioginės išlaidos šiluminei energijai.....	49
27 lentelė. Netiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui.....	49
28 lentelė. Netiesioginės išlaidos vandeniui	50
29 lentelė. Netiesioginės išlaidos gamybinių patalpų šildymui	50
30 lentelė. Netiesioginės išlaidos apšvietimui	51
31 lentelė. Ilgalaikio turto nusidėvėjimas	51
32 lentelė. Netiesioginių gamybos išlaidų sąmata	51
33 lentelė. Gamybos kaštai	52
34 lentelė. Veiklos sąnaudos	53
35 lentelė. Veikos sąnaudų pasiskirstymas	54
36 lentelė. Palūkanų mokėjimo ir paskolos gražinimo planas	54
37 lentelė. Gaminio kainos apskaičiavimas	55
38 lentelė. Įmonės pelno (nuostolio) ataskaita	55
39 lentelė. Finansinės būklės pakitimų (pinigų srautų) ataskaita.....	56
40 lentelė. Projekto paprasti ir diskontuoti grynieji pinigų srautai (GPS)	57
41 lentelė. Projekto ekonominio vertinimo rodikliai	58
42 lentelė. Lūžio taško skaičiavimai	58
43 lentelė. Projekto balansas	59

44 lentelė. Projekto finansiniai ekonominiai rodikliai (brandos stadija, 3 m.)	59
45 lentelė. Žaliavų charakteristika	60
46 lentelė. Žaliavų transportavimo ir sandėliavimo planas.....	61
47 lentelė. Atliekų suvestinė ir jų tvarkymo planas	62
48 lentelė. Rizikos veiksnių identifikavimas ir įvertinimas	65
49 lentelė. Naudojamų cheminių medžiagų poveikis sveikatai	66
50 lentelė. Medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliai ir kitos charakteristikos.....	66
51 lentelė. Patalpų kategorijos pagal sprogimo ir gaisro pavojų	67
52 lentelė. Patalpų pavojingumo klasės ir elektros įžeminimas.....	67
53 lentelė. Privalomojo šiluminio komforto palaikymo rodikliai.....	68
54 lentelė. Apšvietos ribinės vertės ir vertės esant normaliam darbo režimui skirtingoms darbo zonoms.....	68
55 lentelė. Kasdieninio triukšmo lygio ekspozicijos vertės	69

Paveikslų sąrašas

1 pav. Srautinių baterijų konfigūracija.....	15
2 pav. Skirtingų elektrodų pernešimo mechanizmai priklausomai nuo baterijos tipo ^[2]	18
3 pav. Anglinio elektrodo konfigūracijos: a) porėtas anglinis elektrodas; b) plokščias anglinis elektrodas.....	19
4 pav. 100 mV/s potencialo skleidimo greitis.....	23
5 pav. 50 mV/s potencialo skleidimo greitis.....	23
6 pav. 20 mV/s potencialo skleidimo greitis.....	23
7 pav. 5 mV/s potencialo skleidimo greitis.....	23
8 pav. 10 mV/s potencialo skleidimo greitis.....	24
9 pav. 0,125 M konc KMnO ₄ elektrolito tirpalas.....	25
10 pav. 0,1 M konc. KMnO ₄ elektrolito tirpalas.....	25
11 pav. 0,05 M konc. KMnO ₄ elektrolito tirpalas.....	25
12 pav. 0,025 M konc. KMnO ₄ elektrolito tirpal.....	25
13 pav. 0,0125 M konc. KMnO ₄ elektrolito tirpalas.....	26
14 pav. Bendras nusodinimo grafikas iš skirtingų koncentracijų KMnO ₄ tirpalų.....	27
15 pav. SEM nuotraukos po modifikacijos: 1) kontrolė; 2) KMnO ₄ tirpalo koncentracija 0,0125M; 3) KMnO ₄ tirpalo koncentracija 0,025M; 4) KMnO ₄ tirpalo koncentracija 0,05M; 5) KMnO ₄ tirpalo koncentracija 0,1M; 6) KMnO ₄ tirpalo koncentracija 0,125M.....	29
16 pav. EDS žemėlapis.....	29
17 pav. CV grafikas naudojant modifikuoto MnO ₂ vanadžio elektrolite.....	30
18 pav. Modifikuoto grafito veltinio SEM nuotraukos po panaudojimo.....	30
19 pav. Nemodifikuoto ir elektrochemiškai MnO ₂ modifikuoto GV rentgeno spindulių difraktogramos (RSD spektrai).....	31
20 pav. Principinė blokinė schema.....	32
21 pav. Srovės priklausomybė nuo KMnO ₄ molinės koncentracijos.....	33
22 pav. Toksinė medžiaga.....	64
23 pav. Pramoninės transporto priemonės.....	64
24 pav. Oksiduojančioji medžiaga.....	64
25 pav. Ėsdinančioji medžiaga.....	64
26 pav. Atsargiai - elektra.....	64
27 pav. Evakuacijos planas.....	70

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

GV – grafito veltinis

RFB – srautinės baterijos (angl. *redox flow batteries*)

SEM – skanuojamoji elektroninė mikroskopija

VRFB – vanadžio jonų srautinės baterijos (angl. *vanadium redox flow batteries*)

RSD – rentgeno spindulių difrakcija

ZBFB – cinko-bromo srautinės baterijos (angl. *zinc-bromine flow batteries*)

LIB – ličio jonų baterijos (angl. *lithium-ion batteries*)

CV – ciklinė voltamperometrija

CE – kolumbinis efektyvumas (angl. *coulombic efficiency*)

EDS – energijos dispersijos spektroskopija (angl. *energy-dispersive X-ray spectroscopy*)

SEI – kietojo elektrolito tarpfasis (angl. *solid electrolyte interphase*)

CNT – anglies nanovamzdeliai (angl. *carbon nanotubes*)

PAN – poliakrilnitrilas (angl. *polyacrylonitrile*)

IRR – vidinė gražos (pelno) norma (angl. *internal rate of return*)

GEV (NPV) – grynoji esamoji vertė (angl. *net present value*)

PI – pelningumo indeksas (angl. *profitability index*)

ROI – investicijų graža (angl. *return on investment*)

MIRR – modifikuota vidinė gražos norma (angl. *modified internal rate of return*)

EBIT – pelnas prieš palūkanas ir mokesčius (angl. *earnings before interest and taxes*)

Įvadas

Globalūs energetikos sektoriaus pokyčiai, kuriuos lemia iškastinio kuro išteklių mažėjimas ir poreikis riboti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją, neišvengiamai nukreipia tyrėjų bei pramonės dėmesį į atsinaujinančius energijos šaltinius. Jų prigimtinis ribotumas bei neatitikimas tarp generavimo ir vartojimo profilių sąlygoja būtinybę plėtoti didelio masto, patikimas ir ekonomiškai pagrįstas stacionaraus energijos kaupimo sistemas, gebančias kompensuoti atsinaujinančių šaltinių kintamumą bei užtikrinti stabilų elektros tinklo veikimą. Šiame kontekste srautinės baterijos (angl. *redox flow batteries, RFB*) išsiskiria kaip viena perspektyviausių stacionarių energijos kaupimo technologijų. Esminis jų konstrukcinis bruožas – galios ir energijos kaupimo talpos atskyrimas: elektrolitai kaupiami atskiruose rezervuaruose, o galia priklauso nuo elektrocheminės celės dydžio bei elektrodų aktyvaus paviršiaus ploto. Tokia konfigūracija užtikrina ilgą eksploatacinį terminą ir mažus nusidėvėjimo rodiklius lyginant su kitomis baterijomis. Tarp pramonėje taikomų srautinių baterijų technologijų, vanadžio jonų srautinės baterijos (angl. *vanadium redox flow batteries, VRFB*) laikomos brandžiausiomis: jos pasižymi 15000 – 20000 įkrovimo/iškrovimo ciklų eksploataciniu laikotarpiu ir naudoja tą pačią veikliąją medžiagą abiejose celės pusėse, taip eliminuojama kryžminė tarša. Vis dėl to platesnį VRFB pritaikymą riboja palyginti žemas energijos tankis (25-35 Wh/l), reikšmingi sistemos gabaritai ir santykinai aukšta savikaina. Vienas iš kritinių komponentų, lemiančių baterijos elektrocheminį efektyvumą yra elektrodas – paviršius, kuriame vyksta vanadžio jonų oksidacijos-redukcijos reakcijos.

Šiandien plačiausiai naudojama elektrodų medžiaga yra grafito veltinis (GV), pasižymintis dideliu tūriniu paviršiaus plotu, geru elektriniu laidumu, cheminiu atsparumu, geromis mechaninėmis savybėmis ir prieinama kaina. Tačiau nemodifikuoto grafito veltinio elektrocheminis aktyvumas yra ribotas: medžiagos hidrofobinė prigimtis lemia prastą drėkstumumą, o nepakankamas aktyviųjų centrų skaičius ant pluošto paviršiaus sumažina krūvio pernašos kinetiką ir bendrąją baterijos efektyvumą.

Šiems trūkumams kompensuoti yra taikomos įvairios paviršiaus modifikavimo strategijos – terminis ar plazminis aktyvinimas, heteroatomų dopavimas, anglies nanostruktūrų integravimas bei kompozitinių dangų formavimas. Pastaraisiais metais ypatingo dėmesio sulaukia metalų oksidų užnešimas ant anglies elektrodų paviršiaus. Tarp tirtų pereinamųjų metalų oksidų mangano(IV) oksidas išsiskiria kaip pirmaeilis kandidatas dėl aplinkai palankių savybių, gausių gamtinių išteklių, žemos savikainos, netoksiškumo ir aukštos teorinės specifinės talpos. Tarp žinomų mangano(IV) oksido sintezės metodų (hidroterminio, *sol-gel*, refluksinio, cheminės redukcijos ir mikrobanginio) elektrocheminis nusodinimas vertinamas kaip technologiškai patraukliausias. Kadangi jis pasižymi paprasta proceso kontrole, vykdomas santykinai žemoje temperatūroje ir lengvai pritaikomas pramonėje, todėl šio darbo uždaviniai yra:

- Atlikti srautinių baterijų, jose naudojamų anglinių elektrodų bei jų modifikavimo metodų apžvalgą.
- Atlikti modifikavimo mangano(IV) oksido cheminių ir elektrocheminių sintezės būdų apžvalgą.
- Ištirti elektrocheminį grafito veltinio modifikavimo procesą mangano(IV) oksidu permanganato(VII) tirpale.
- Atlikti gamybos įrenginio masės ir energijos balansų skaičiavimus.
- Atlikti konstrukcinius, technologinius, statybinius bei ekonominius skaičiavimus.
- Aptarti saugaus darbo ir aplinkosaugos tematikas.

1. Literatūros apžvalga

Dažnėjanti pasaulinė iškastinio kuro kaip energijos problema skatina naujų energijos šaltinių paieškas. Šiuo metu pagrindinis pakaitalas yra atsinaujinantys energijos šaltiniai tokie kaip saulė ar vėjas, tačiau jų tiekimas yra nepastovus ir sąlyginis. Šios problemos sprendimu reikalingos saugios, ekologiškos, nebrangios energijos kaupimo sistemos galinčio sumažinti energijos svyravimus tarp pagaminamo kiekio ir sunaudojimo. Energijos kaupimas galimas keliais būdais: krūvininkų atskyrimas bei virsmas į kinetinę, potencinę ar elektrocheminę energijas. [1]

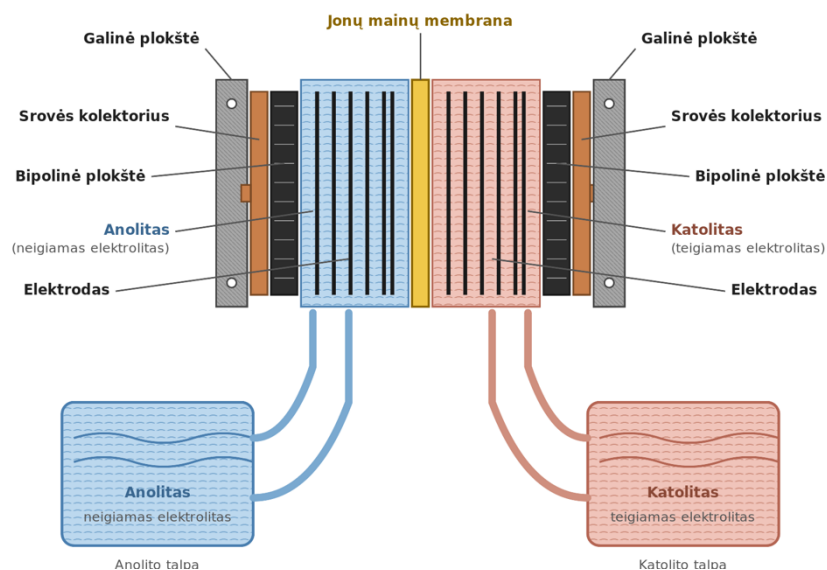
Elektrocheminiai elementai suteikia galimybių įvairovę, srautinėms baterijoms esant vienai iš jų. Gebėjimas sukaupti paduodamą energijos kiekį, ekstremumų metu, išlaikant didelį efektyvumą ir žemą kainą per energijos vienetą ar ciklą, srautines baterijas išlaiko kaip vieną patraukliausių metodų. Nepaisant akivaizdžių pliusų, kad technologija galėtų būti pilnai taikoma pramonėje, reikalingi technologiniai patobulinimai. [2]

Elektrocheminis energijos kaupimas galimas dėl proceso metu vykstančių oksidacijos-redukcijos reakcijų. Srautinės baterijos išsiskiria tuo, jog reakcijos vyksta skysčio sąlyčio su kieta medžiaga vietoje, priešingai nei kitose dažnai naudojamose baterijose, kuomet reakcijos vyksta kietoje fazėje (t.y. elektrode).

Veikliosios medžiagos (A ir B) yra ištirpinamos elektrolite, o priešingų krūvių dalelės yra atskiriamos jonų mainų membrana, taip pat abi pusės turi sąlytį su inertiniais elektrodais. Priimant, kad $E_0(B/B^-) > E_0(A/A^-)$ ir, kad vykstančios oksidacijos-redukcijos reakcijose dalyvauja vienas elektronas. Elektrocheminis procesas įvyksta, kaip jau minėta aukščiau, elektrolito sąlyčio vietoje su elektrodo.

Elemento įkrovimo metu veiklioji medžiaga B yra oksiduojama, taip prarandant elektroną, kuris nunešamas į anolito pusę taip įvykstant A medžiagos redukcijai. Taigi B ir A- yra įkrautos dalelės, kurių kiekio santykis su neįkrautomis vadinamas įkrovimo būseną (*State of Charge*). Tuo pačiu metu kationai (X^+) juda per membraną jog išlaikytų sistemos neutralumą. Įkrovimo procesas yra tiesiogiai atvirkščias įkrovimo procesui. Priklausomai nuo redokso potencialų skirtumo tarp B/B^- ir A/A^- veikliųjų medžiagų. Šis skirtumas apibūdina baterijos kokybines galimybes energijai kaupti, todėl veikliųjų medžiagų porų parinkimas atitinkamai svarbus. [3]

Elektrocheminės celės konstrukcija sudaryta iš galinių plokštelių, srovės kolektoriaus, grafitinės plokštės, kurios nustato elektrolito tekėjimą per elektrodą, taip pat naudojant tarpinius elementus įtvirtinti elektrodai bei jonų mainų membrana, kuri skiria dvi simetriškas celės puses, taip atskiriant ir jų elektrolitus. Jos tikslas, kiek įmanoma sumažinti veikliųjų medžiagų maišymąsi tarpusavyje, bet išlaikant gebėjimą praleisti teigiamai įkrautas daleles. [4]



1 pav. Srautinių baterijų konfigūracija

Baterijos veikimo charakteristikų įvertinimui naudojami keli pagrindiniai rodikliai:

- Talpa – tai energijos kiekis talpinamas baterijoje.
- Kolumbinis efektyvumas (CE) – parodo baterijos įtampos nuostolius atsirandančius įkrovimo-iškrovimo proceso metu. Pagrindinė to priežastis – šalutinių reakcijų atsiradimas bei aktyviųjų dalelių difuzija per membraną. Tai sąryšis tarp naudingos elektros energijos ir visos kaupiamos elektros energijos. Jis apskaičiuojamas kaip santykis tarp įtampos, kiekio kuris yra atiduodamas iškrovimo metu su paimamu kiekiu įkrovimo metu.
- Įtampinis efektyvumas (VE) – įvertina nuostolius atsirandančius dėl viršįtampio, varžos ir baterijos poliarizacijos.
- Energinis efektyvumas (EE) - įvertinus bendrą nuostolių padaromą įtaką baterijos efektyvumui. Tai CE ir VE suma. Į šiuos nuostolius nėra įskaičiuojami mechaniniai nuostoliai sudaromi, pavyzdžiui, elektrolito siurblių.

1.1. Skystos srautinės baterijos

Skystos srautinės baterijos abu elektrolitai yra skystos būsenos ir nepatiria nuostolių dėl jos pasikeitimo darbinio ciklo metu. Elektrodai suteikia paviršių redokso reakcijoms, bei laisvų elektronų judėjimui. Klasikinis tokio tipo baterijos pavyzdys - vanadžio jonų srautinės baterijos.

1.1.1. Vanadžio jonų srautinės baterijos (VRFB)

Vanadžio jonų redokso baterijos yra plačiausiai ištirtos bei turinčios didžiausią pritaikomumą pramoninėje skalėje. Taip yra dėl VRFB yra standartinio surinkimo: anolito ir katolito talpos iš kurių recirkuliaciniais siurbliais paduodamas į atitinkamas elektrochemines celes bei vanadžio jonų galimybę formuoti keturių skirtingų oksidacijos laipsnių jonus. Teigiamas elektrolitas sudarytas iš tetravalenčio ir pentavalenčio vanadžio (VO^{2+} ir VO_2^+ atitinkamai), o neigiamas – divalenčio ir trivalenčio vanadžio (V^{2+} ir V^{3+} atitinkamai). Naudojant tą pačią medžiagą kaip katolitą ir anolitą, išvengiama kryžminės taršos, taip prailginant baterijos eksploatacijos laikotarpį. Vykstančios elektrocheminės reakcijos įkrovimo ir iškrovimo metu matomos (1) ir (2) lygtyje. [1], [2], [5], [6], [7]

Teigiamo elektrodo elektrocheminė reakcija:



Neigiamo elektrodo elektrocheminė reakcija:



Standartinis elektrocheminės celės potencialas yra $E_0 = 1,4 \text{ V}$ ($25 \text{ }^\circ\text{C}$) ir 50 % įkrovos laipsnis, tačiau realus atviros grandinės potencialas svyruoja tarp 1,1 V ir 1,6 V. Atitinkamai, energijos tankis, kurį gali sukaupti šio tipo baterijos svyruoja nuo 25 – 35 Wh/l. Lyginant su ličio jonų baterijomis (LIB) tai 10 kartų mažiau (250 Wh/l ir daugiau). VRFB gali dirbti apie 15000 – 20000 įkrovimo/iškrovimo ciklų, priešingai įprastoms baterijoms, kurios dirba apie 5000 darbo ciklų. Norint baterijas pritaikyti pramoninėje skalėje, jų bendra įtampa turėtų siekti bent dešimčių voltų skalę. Tai pasiekiamas naudojant lygiagrečių kelių celių sujungimą. [7]

Šiuo metu pramonėje naudojamos VRFB sugeba apdoroti 80-100 mA/cm² srovės tankį bei 100 mW/cm². Egzistuoja pilotinės celės, galinčios generuoti 665 mA/cm² ir 370 mW/cm², tačiau didinant galingumą iki kW skalės baterijos išlaiko tik 57 – 75 % bendro efektyvumo. Laboratorinės skalės baterijų efektyvumas yra 85 – 90 %. Be jau minėtos efektyvumo problemos, šio tipo baterijos negali būti tiesiogiai prijungiamos prie elektros tinklų, dėl elektros srovės tipo skirtumo: VRFB naudoja bei generuoja nuolatinę srovę, o elektros tinkluose – kintama elektros srovė. [6], [8]

Vanadžio srautinių baterijų konstrukcija, dėl savo mažo energijos srauto tankio, žymiai didesnių gabaritų lyginant su tiek pat energijos kaupiančiomis ličio jonų baterijomis. prie kliūčių didesnio baterijų pritaikymo pramonėje prisideda ir vanadžio riboti išteklių. Vienintelis privalumas - dėl technologijos ypatybių vanadis nėra sunaudojamas ir gali būti perdirbamas. Įvertinus viską, energijos kaina yra 0,18 € už kWh per ciklą.

1.2. Hibridinės srautinės baterijos

Hibridinės srautinėse baterijose bent viena iš naudojamų aktyviųjų medžiagų turi būti kietoje arba dujinėje formoje, kuri, dažniausiai, proceso metu patiria fazinį virsmą. Kietosios medžiagos yra elektrochemiškai nusodinamos įkrovimo metu ant elektrodo paviršiaus, o iškrovimo metu sugražinamos į tirpalą. Šio tipo baterijų elektrolitai gali būti sudaryti iš geležies (Fe), švino (Pb) arba, dažniausiai naudojamo, cinko (Zn). Galima naudoti ne tik kietas medžiagas, bet ir dujines, pavyzdžiui, orą arba deguonį, kaip katolitą, tačiau ant elektrodo paviršiaus yra reikalingas elektrokatalizatorius, kuris sumažintų deguonies susidarymo viršįtampį.

1.2.1. Cinko-bromo srautinės baterijos (ZBFB)

Cinko-bromo srautinės baterijos yra plačiausiai taikomas hibridinių srautinių baterijų pavyzdys. Cinkas turi didelį neigiamą potencialą ($E_0 = -0,76 \text{ V}$ pagal SHE), todėl puikiai tinka būti panaudojamas kaip anodas. Esant tokiam neigiamam potencialui vandenilio dujų išsiskyrimas tampa pagrindine problema. Nepaisant to cinko tirpalo panaudojimas kaip anodo buvo įrodytas kaip efektyvus: susidaro aukštas viršįtampis vandenilio redokso reakcijai. Kaip elektrolitas yra naudojamas cinko bromidas, laikomas atskiroje talpoje ir tiekiamas į celę. Bromas visada lieka tirpale, tačiau cinko forma priklauso nuo baterijos būsenos: baterijos įkrovimo metu, metalinis cinkas

formuojasi ant anglinio elektrodo paviršiaus, o vykstant iškrovimui pereina į tirpalą (Zn^{2+}). Esant ilgam eksploatacijos cinkas gali sudaryti didesnes kristalines struktūras, dėl kurių užsiblokuoja kanalai taip sukeliant celės gedimą. Elektrocheminės reakcijos vykstančios šio tipo srautinėse baterijose matomos lygtyse (3 ir 4).^{[9], [10]}

Teigiamo elektrodo elektrocheminė reakcija:



Neigiamo elektrodo elektrocheminė reakcija:



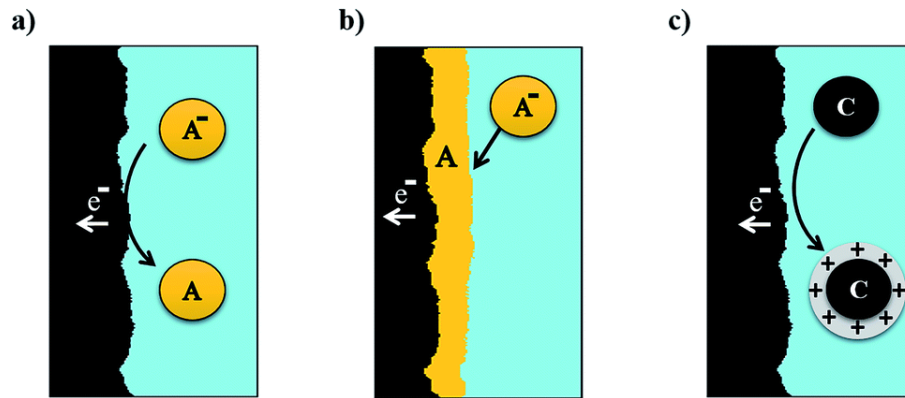
Elektrocheminės celės turi gan didelę standartinę įtampą – 1,85 V ir specifinė energija teoriškai siekia 440 Wh/kg, tačiau realiose sistemose šie rodikliai mažesni, nes specifinė energija siekia tik 60 – 80 Wh/kg. Taip pat šios sistemos turi nedidelį elektros srovės tankį (kelios dešimtys mA/cm²). Bendras energijos efektyvumas yra apie 80 %. ZBFB neturi eksploatacijos termino, kadangi elektrolitas nepatiria senėjimo ar susinaudojimo.

Baterijų naudojimo metu, kas keletą dienų, jos privalo būti pilnai iškrautos, kad išvengti cinko kristalų susidarymo, taip pat kartais sukeliant trumpą jungimą, jog cinkas visiškai pasišalintų nuo elektrodo. Nepaisant šio tipo baterijos žaliavų pigumo, savikaina išlieka panaši į vanadžio jonų srautinių baterijų savikainą – 0,20 € už kWh per ciklą. Taip yra dėl sudėtingo bromo eksploatavimo, dėl jo toksiškų savybių tiek aplinkai, tiek žmonėms.

1.3. Puskietės srautinės baterijos

Siekiant išsaugoti ir sujungti geriausias skystų bei hibridinių srautinių baterijų savybes, buvo sukurtos pusketės srautinės baterijos. Skystos srautinės baterijos energijos tankis priklauso nuo pasirinktų aktyviųjų medžiagų tirpumo, kuris dažniausiai siekia apie 1 – 2 M. Aktyviųjų centrų koncentracija kietose medžiagose svyruoja nuo 20 M iki 50 M. Tai yra priežastis kodėl baterijos paremtos kietomis aktyviosiomis medžiagomis, lenkia srautines baterijas pagal elektros energijos tankį. Puskiečių baterijų galia nepriklauso nuo jų tūrinės talpos, kuri paprastai yra didesnė nei skystų aktyviųjų medžiagų baterijų talpa. Jos atrakina kelią atiduodamosios galios nepriklausomybei nuo baterijos talpos ir pasižymi pagerinta tūrine talpa.^[8]

Skystas elektrolitas yra pakeičiamas kietų dalelių suspensija, kurios suformuoja taip vadinamą pusketį elektrodą (angl. *slurry electrode*). Jis yra laikomas išorinėse talpose ir siurbliais pumpuojamas į elektrocheminę celę. Kliūtis su kuria susiduriama naudojant pusketį elektrolitą, tai *solid electrolyte interphase* (SEI) susidarymas. Ji nutraukia elektrinį ryšį tarp kietų aktyviųjų medžiagų ir srovė kolektoriaus. Norint panaudoti šią technologiją reiktų pakeisti standartinę srautinių baterijų konstrukciją: reaktorius turi nelimituoti kietųjų dalelių judėjimo, dėl galimybės užkimšti anglies elektrodų tarpus, jų reiktų vengti.



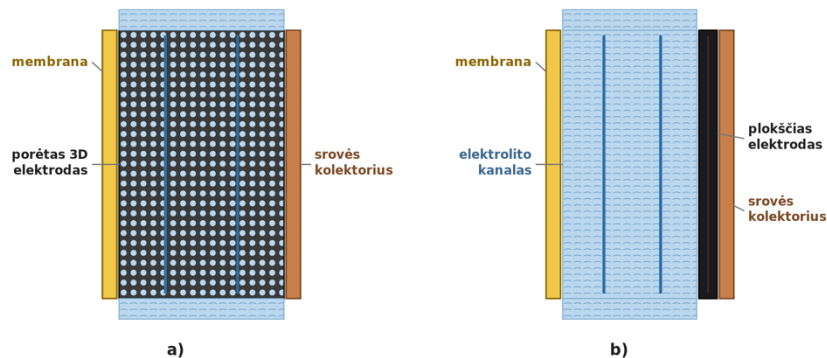
2 pav. Skirtingų elektrodų pernešimo mechanizmai priklausomai nuo baterijos tipo^[2]

1.4. Elektrodai

Srautinėse baterijose naudojami elektrodai gali būti dviejų konfigūracijų: porėtieji elektrodai, per kuriuos elektrolitas turi galimybę pratekėti, ir plokšti elektrodai su kuriuo elektrolitas liečiasi su paviršiumi (vizualinė reprezentacija 3 paveiksle). Elektrodų pasirinkimą lemia keletas faktorių, tokių kaip elektrolito agregatinė būsena (skystis ar dujos), kaip vyksta redokso reakcija prie elektrodo (elektrodas padengiamas nuosėdomis ar elektronų perdavimas vyksta tirpale) ir elektrolito laidumo.^{[11], [12], [13]}

Proceso metu elektrochemiškai nekinta, priešingai nei įprastose baterijose, tačiau dėl savo rolės procese turi atitikti tam tikrus reikalavimus.

- **Didelis paviršiaus plotas** – elektrocheminės reakcijos vyksta ant elektrodo paviršiaus, todėl kuo didesnis plotas, tuo daugiau aktyviųjų centrų reakcijai vyksti. Pagrindinis dėmesys krypta į mikrostruktūrų optimizavimą bei porėtų elektrodų naudojimą.
- **Geras elektrinis laidumas** – elektrodas praleidžia surinktus elektronus tarp celių. Norint sumažinti Omo nuostolius elektrodas turi turėti kuo geresnį elektrinį laidumą
- **Gebėjimas praleisti didelį elektros srovės tankį** – didesnis srovės tankis suteikia galimybę didesniai energijai iš mažesnės struktūros, tačiau esant tokioms sąlygoms elektrodai pažeidžiami.
- **Geros mechaninės savybės** – elektrodas sudaro bendrą baterijos konstrukciją, kuri formuojama suspaudžiant komponentus, todėl elektrodas turi būti atsparus suspaudimo jėgai. Taip pat eksploatacijos metu turi atlaikyti mechaninį stresą ir prisitaikyti prie baterijos.
- **Elektrocheminis stabilumas** – tam tikromis sąlygomis anglies korozija, vandenilio ar deguonies susidarymo reakcijos gali sukelti elektrodo pažeidimus taip sumažinant jo efektyvumą, bei mechaninę žalą baterijai.
- **Gera kinetika** – geresnė krūvio pernašos tarp kietos-skystos fazės kinetika ne tik pagerina baterijos efektyvumą bet ir padidina elektrocheminį stabilumą.
- **Žema kaina** – bendroje konstrukcijoje elektrodų kainą sudaro apie 25-40 % visos kainos.



3 pav. Anglinio elektrodo konfigūracijos: a) porėtas anglinis elektrodas; b) plokščias anglinis elektrodas

1.4.1. Anglies elektrodai

Anglies elektrodai tai tokie elektrodai, kurių pagrindinė aktyvioji medžiaga yra anglis. Jie išsiskiria savo dideliu elektriniu laidumu, labai geru cheminiu stabilumu, plačiomis ribomis eksploatacinėms sąlygoms, lengvu prieinamumu prie žaliavos bei lengvą modifikavimą dideliame aktyvaus paviršiaus plote.

Angliniai elektrodai pasižymi dideliu poringumu – daugiau nei 90 %, taip padidinant aktyvaus paviršiaus plotą ir įgalinant elektrolito pratekėjimą. Ištyrus grafito pjuvenas, juodąją anglį (*carbon-black*) ir pluoštinę anglį, buvo įrodyta elektrocheminio aktyvumo priklausomybė nuo anglies morfologijos. Kuo daugiau anglies, esančios sp^2 hibridizacijos formoje, tuo geresnis elektronų krūvio perdavimo mechanizmas. Būtent tokioje formoje yra anglis esanti grafene, anglies nanovamzdeliuose ir anglies nanosienelėse.

Anglies elektrodai priklausomai nuo našumo yra skirstomi į penkias kategorijas ^[14]:

1. Įprastiniai – šiai kategorijai priskiriami tiek natūralūs tiek dirbtiniai grafitas bei amorfinė anglis. Pagrindiniai pliusai yra žema kaina ir pastovus laidumas.
2. Porėtieji – tai aktyvintoji anglis, mezoporinė anglis ir tvarkinga mezoporinė anglis. Pasižymi dideliu paviršiaus plotu ($500 - 3000 \text{ m}^2/\text{g}$) ir lengvu porų modifikavimu
3. Nanoanglies – grafenas, anglies nanovamzdeliai (CNT) bei anglies aerogeliai, suteikiantys didelį elektrinį pralaidumą ($10^4 - 10^6 \text{ S/m}$), mechaninį stiprumą ir cheminį stabilumą.
4. Anglies kompozitų – tai anglies elektrodai su integruotomis pralaidumą skatinančiomis dalelėmis, pavyzdžiui, metalų oksidais arba laidžiais polimerais. Tokie kompozitai žymiai padidina specifinės talpos dydį ir eksploatacinį periodą ir pagerina stabilumą ciklo metu.
5. Specialūs – tai anglies taškai (CD), anglies audinys/veltinis, anglinis popierius. Lenkia kitas anglies konfigūracija dėl gebėjimo išnaudoti kvantinio suvaržymo efektus ir esamo nedidelio svorio.

1.4.2. Grafito veltinis

Porėti tridimensiniai (3-D) elektrodai vis dažniau pasitaiko elektrocheminiuose procesuose. Anglies elektrodai priskiriami prie šio tipo ir gali būti tokiais pavidalais: tinklinė stikliškoji anglis, anglies pluoštų ryšuliai, anglies audinys, anglies ir grafito veltiniai (AV ir GV).

Naudojamas veltinis gali būti tiek nedengtas, po paviršinio modifikavimo ar padengimo. GV turi didelį tūrinį paviršiaus plotą ($22100 - 22700 \text{ m}^2/\text{m}^3$), elektrinį laidumą ($310,37 \text{ S/m}$) gana artimą metalams, porėtumą ($\varepsilon < 0,98$), gerą cheminį atsparumą ir stabilumą, bei neblogą pralaidumą skysčiams po modifikavimo ($K = 7,04 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2$). Taip pat geras mechanines savybes, lengvą gamybą ir prieinamą kainą.^{[15], [16]}

Grafito veltinis turi platų žaliavų pasirinkimą, tačiau pagrindinis yra poliakrilnitrilas (PAN). Gamyba turi praeiti šešias stadijas: polimerizacija, oksidacija, karbonizacija, grafitizacija, paviršiaus modifikavimą ir plovimą, džiovinimą ir vyniojimą. Tokiu būdu, per kelias valandas yra gaunamas aukštos kokybės GV. Grafitizacijos metu PAN plaušai pakeičia savo struktūrą, kuomet grafeno plokštumos tampa lygiagrečios viena kitai. Viskoze taip pat gali būti naudojama kaip žaliava GV gamyboje (stadijos panašios kaip ir iš PAN).^{[11], [13], [17]}

Svarbu paminėti, kad tiek fizikinės, tiek cheminės savybės priklauso nuo žaliavos pasirinkimo. Kadangi tyrimais parodyta, jog grafito veltinis iš poliakrilnitrilo pasižymi geresniu elektriniu laidumu ir elektroterminėmis savybėmis lyginant su grafito veltiniu iš viskozės. Taip pat, naudojant viskozę kaip žaliava, gali atsirasti šalutinių oksidacijos reakcijų.

Nepaisant aiškių grafito veltinio plusų, prastas drėkstumumas yra vienas iš didžiausių apribojimų.

1.5. Anglinių elektrodų modifikavimas

Elektrolito jonai ant elektrodo paviršiaus praeina pro 5 stadijas. Pirmoji yra jonų difuzija iš tirpalo link elektrodo, antroji - adsorbcija ant elektrodo paviršiaus, trečioji - krūvininko perdavimo, ketvirtoji – desorbcija ir penktoji – jonų difuzija atgal į tirpalą. Elektrodo modifikacijų tikslas yra pagerinti bent vienos iš šių penkių stadijų veikimą.^{[18], [19]}

Modifikavimo metodus galima suskirstyti į tris plačias kategorijas tai būtų cheminė, fizinė ir struktūrinė modifikacijos. Dar daugiau sukcentruojant galima išskirti į elementinį dopavimą, struktūrinę optimizaciją, kompozitų formavimą ir paviršiaus funkcinis modifikavimas.^[20]

Šio darbo metu koncentruojamasi į grafito veltinio modifikavimą panaudojant metalų oksidus, specifiskai mangano(IV) oksidą (MnO_2).

1.5.1. Modifikavimas metalų oksidais

Metalų oksidai jau dabar plačiai naudojami elektrocheminiuose prietaisuose. Iširta, jog didelis vanadžio jonų afinitetas oksido jonams bei elektrodo paviršiuje esančios deguonies turinčios funkcinės grupės, pasižyminčiomis palankiomis elektrostatinėmis sąlygomis, gali skatinti vanadžio jonų adsorbciją ir gerinti elektronų perdavimo kinetiką.^[21]

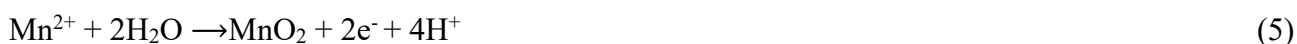
Metalų oksidai lyginant su tauriaisiais metalais yra daug pigesni, tačiau dėl žemo pH elektrolite, kyla cheminio stabilumo reikalavimai. Be to ne visi metalų oksidai pasižymi geru laidumu, todėl svarbu atkreipti dėmesį kad nebūtų mažinamas baterijos efektyvumas. Oksidai, kurie turi gera laidumą ir cheminį stabilumą bei suteikia katalitinį efektą. Taip pat siekiama, kad žaliava būtų pigi ir dideli jos ištekliai, netoksiška, todėl pastaraisiais metais dėmesys krypta į Mn_3O_4 , MnO_2 , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 ir FeOOH kaip superkondensatoriai taikymą.^{[22], [23]}

Grafito veltinio modifikavimas metalų oksidais galimas elektrochemiskai nusodinant, impregnuojant ar termoredukuojant.

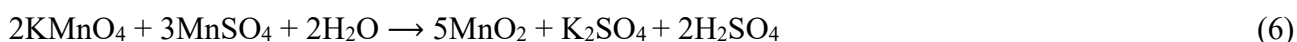
1.6. Mangano(IV) oksido sintezės

Pereinamųjų metalų atomai pasižymi tuo, kad gali turėti keletą skirtingų oksidacijos laipsnių. Tai leidžia pereinamiesiems metalams kaupti bei atiduoti energiją keičiantis jų oksidacijos laipsniui grįžtamųjų oksidacijos-redukcijos reakcijų metu. Dėl šios savybės jie tampa labai patrauklūs tolimesniems tyrimams. Mangano(IV) oksidas išsiskiria dar ir tuo jog neturi toksiškų savybių aplinkai, didelio kiekio išteklių, pigumo ir aukštos teoretinės savitosios talpos (1380 F/g). MnO_2 yra polimorfinė medžiaga kuri gali kristalizuotis į įvairias konfigūracijas, kurios yra sudaromos iš MnO_6 subvienčių. Nuo struktūrinių dydžių, kaip morfologija, porų dydis, specifinis paviršius bei sąryšis tarp sluoksnių, priklauso elektrocheminis efektyvumas. Tyrinėjant mangano(IV) oksido sintezę buvo atrasta nemažai metodų, tokių kaip hidroterminė gamyba, *sol-gel* padengimas, elektrocheminė mangano juostelių oksidacija, sintezė naudojant mikrobangas bei elektrocheminis nusodinimas, iš kurių pastarasis pasirodė labiausiai pritaikomas.^{[22], [24], [25]}

Elektrocheminis nusodinimas dažniausiai naudojamas paruošti nanodaleles ar padengti plonus sluoksnius. Nusodinamos medžiagos morfologija yra lengvai keičiama varijuojant elektrocheminio nusodinimo sąlygas, t.y., įtampą, srovę, nusodinimo laiką ar elektrolito koncentraciją. Procesas ne tik lengvai kontroliuojamas, bet ir vykdomas neaukštesiose temperatūrose. Naudojamas $MnSO_4$ ir $ZnSO_4$ tirpalas. Pagrindinė oksidacijos reakcija pateikta žemiau:^[26]



Hidroterminio metodo metu vykdomos cheminės reakcijos vandenyje, naudojant aukštą temperatūrą ir slėgį. Tyrimo metu buvo naudotas vandeninis $MnSO_4 \cdot H_2O$ ir $KMnO_4$ tirpalas. Jis buvo laikomas autoklave 160 °C temperatūroje. Pagrindinė cheminė reakcija matoma lygtyje 6.^[27]



Refluksinis metodas tai cheminės sintezės procesas, kuris yra dažniausiai pasitaikantis pramoninėse gamybose. Neutralioje arba rūgštinėje aplinkoje, naudojant mikrobangas, buvo išgauti β - MnO_2 kristalai. Darbinis tirpalas tai kalio permanganato, mangano(II) sulfato ir azoto rūgšties mišinys.^[28]

Cheminė redukcija tai didesnio efektyvumo refluksinis metodas. Tai paprastas, didelio efektyvumo, neaukštos temperatūros (60°C) sintezės kelias, kurio metu buvo redukuojamas kalio permanganatas vandeninis tirpalas (lygtis (7)).^[29]



1.7. Grafito veltinio panaudojimas

Padidėjęs elektrocheminių technologijų naudojimas bei integravimas į pramoninius procesus didina ir porėtų, tridimensinių medžiagų panaudojimą kaip elektrodų. Specifiškai grafito veltinis yra panaudojamas net keliose elektrocheminiuose procesuose: elektrokatalizės, elektrosintezės, aplinkos taršos valymai bei energijos konversija ir kaupimas.

Elektroanalizėje grafito veltinis panaudojamas kaip jutiklių medžiaga, kur didelis paviršiaus plotas sukuria stiprų srovės signalą, taip padidindamas metalo jonų ir kitų cheminių medžiagų aptikimo jautrumą.^{[30], [31], [32]}

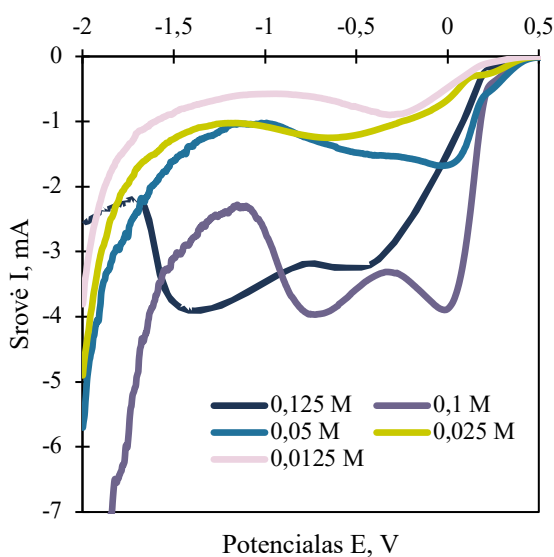
Elektrocheminėje sintezėje naudojamas kaip elektrodas tiek gaminant neorganines medžiagas, kaip H_2O_2 , tiek heterociklinius organinius junginius. GV padidina reakcijos išeigą *flow-through* reaktoriuose. [31], [32]

Aplinkos taršos valymuose grafito veltinis ypatingai gerus rezultatus rodo sudėtinguose oksidaciniuose procesuose bei metalo jonų išvalyme: 99 % gyvsidabrio(II) pašalinimas, efektyvi vario, chromo(VI), sidabro bei kitų metalų regeneracija iš nuotekų. [33], [34], [35]

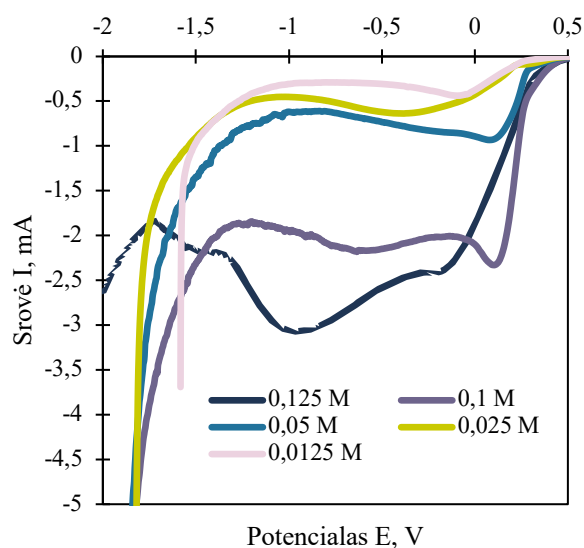
Žinoma didžiausią rolę grafito veltinis turi energijos kaupimo sistemose: baterijose, srautinėse baterijose, kuro celėse, superkondensatoriuose. GV laidumas, cheminis stabilumas bei didelis porėtumas pagerina energijos tankį ir ilgesnį eksploatacinį stabilumą. Ličio jonų baterijose grafito veltinis pagrinde atlieka anodo funkciją, kuomet teorinė talpa apskaičiuojama 372 Ah/kg, o išmatuotas dydis svyruoja nuo 280 Ah/kg iki 330 Ah/kg, priklausomai nuo grafito veltinio rūšies. Vanadžio jonų redokso baterijose GV yra dažniausiai renkamas elektrodas tiek kaip katodas, tiek kaip anodas. Neigiamos pusės reakciją V^{3+}/V^{2+} pagerinama net 17,8 %, po grafito veltinio modifikavimo vario nanodalelėmis. Taip pat tokie modifikavimo procesai kaip mikrobangų radiacija, grafeno dribsnių užnešimas, anglies nanovamzdelių integracija bei padengimas WO_3 didina įtampos efektyvumą (iki 88,7 %). [36]

2. Tiriamoji dalis

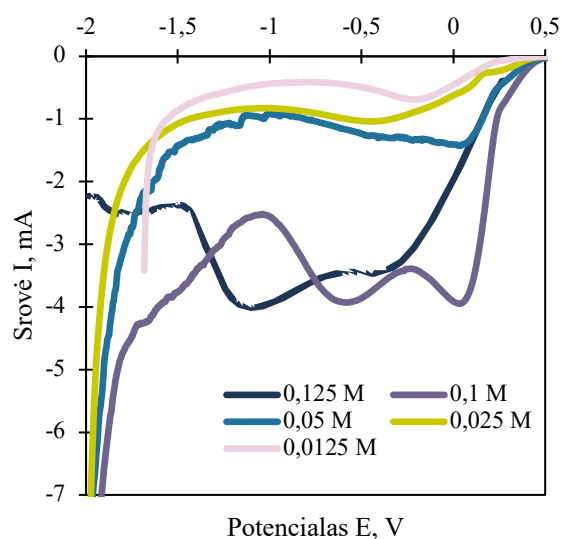
Antroje CV serijoje pasirinktoje KMnO_4 koncentracijoje varijuotas potencialo skleidimo greitis, kad būtų įvertintas $\text{MnO}_4^- \rightarrow \text{MnO}_2$ proceso kontrolės tipas — difuzinė ar adsorbcinė. 4-8 pav. matoma, kad didėjant skleidimo greičiui, anodinės smailės intensyvumas (anodinės srovės tankis) auga, o smailės padėtis pasislenka neigiamesnių potencialų kryptimi. Tai rodo, kad procesas yra kontroliuojamas MnO_4^- jonų difuzijos iš tirpalo prie GV paviršiaus, o ne tik paviršiaus adsorbcijos. Difuzinis proceso pobūdis taip pat paaiškina, kodėl didinant KMnO_4 koncentraciją tirpale (žr. 4 - 8 pav.) srovės tankis didėja — didesnė koncentracija užtikrina intensyvesnę jonų srautą prie elektrodo paviršiaus.



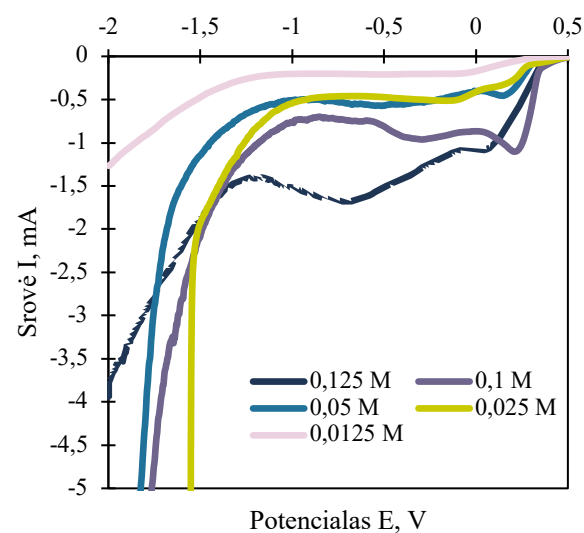
4 pav. 100 mV/s potencialo skleidimo greitis



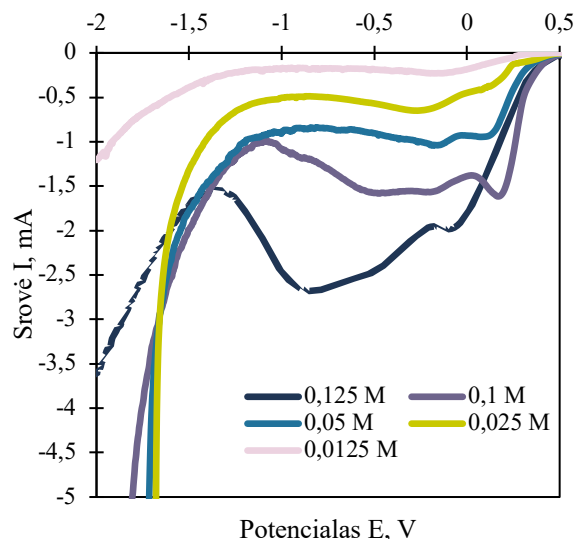
6 pav. 20 mV/s potencialo skleidimo greitis



5 pav. 50 mV/s potencialo skleidimo greitis



7 pav. 5 mV/s potencialo skleidimo greitis



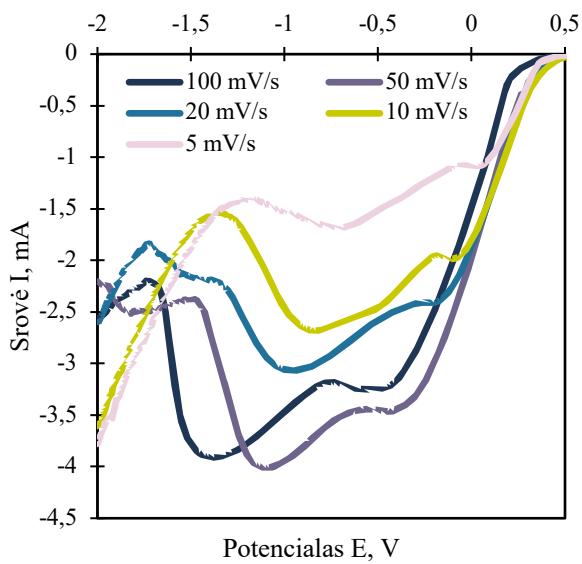
8 pav. 10 mV/s potencialo skleidimo greitis

Pirmajame etape permanganato jonų MnO_4^- elgesys ant nemodifikuoto grafito veltinio elektrodo įvertintas linijinės voltamperometrijos (LV). Matavimai atlikti potencialų intervale nuo $-2,0$ iki $+0,5$ V (Ag/AgCl/KCl sot.) naudojant *BioLogic* potenciostatą. Atlikta bandymų seka, kai tirpalo koncentracija buvo keičiama nuo $0,0125$ M iki $0,125$ M. Gautose LV kreivėse (9-13 pav.) esant didesnėms KMnO_4 koncentracijoms ($0,1$ - $0,125$ M) bei vidutiniams ir didesniems potencialo skleidimo greičiams (20 - 100 mV/s) yra ypač gerai matomos dvi anodinės smailės, atspindinčios dvi MnO_4^- jonų redukcijos iki MnO_2 pakopas (stadijas), susidarant tarpinio junginio – manganato MnO_4^{2-} jonams. Šios dvi stadijos gali būti aprašomos tokiomis reakcijų lygtimis pateiktomis 1 lentelėje.

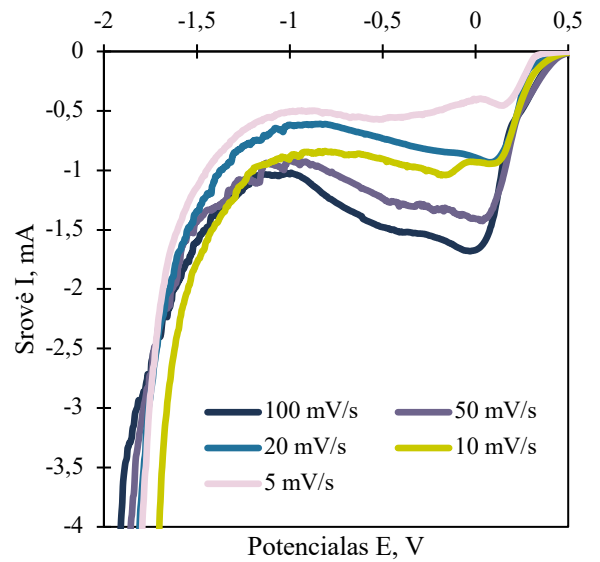
1 lentelė. KMnO_4 tirpalo vykstančios elektrocheminės reakcijos

Stadija	Elektrocheminės redukcijos reakcijos lygtis	Potencialų intervalas
<i>I</i>	$\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + e^- \rightarrow \text{MnO}_4^{2-}(\text{aq})$	nuo $0,2$ V iki $-0,5$ V
<i>II</i>	$\text{MnO}_4^{2-}(\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{MnO}_2(\text{k}) + 4\text{OH}^-(\text{aq})$	nuo $-0,5$ V iki $-1,5$ V

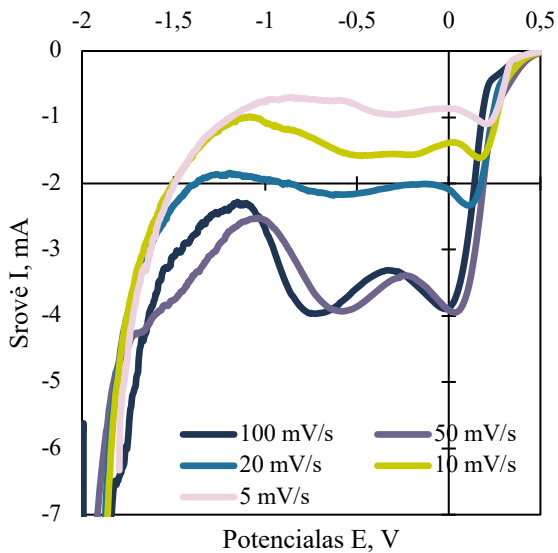
Abiejų anodinių smailių aukštis, atitinkantis srovės tankį, didėja didinant KMnO_4 koncentraciją tirpale. Tai rodo, kad aktyviųjų jonų koncentracijos didėjimas tirpale tiesiogiai lemia didesnę elektrochemiškai prieinamų MnO_4^- jonų srautą prie GV paviršiaus ir intensyvesnę elektrocheminės redukcijos reakciją.



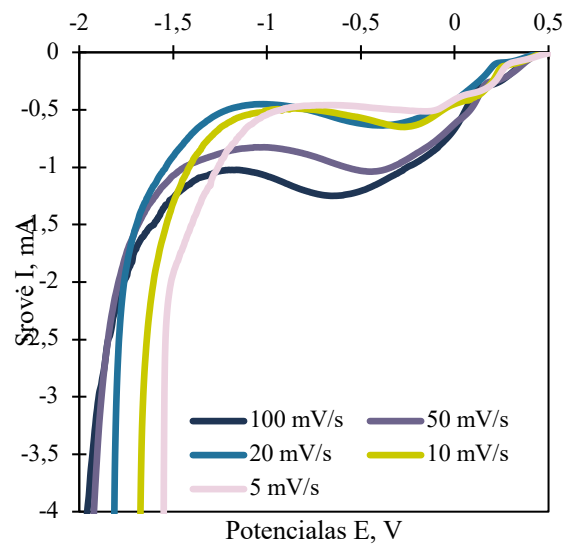
9 pav. 0,125 M konc KMnO_4 elektrolito tirpalas



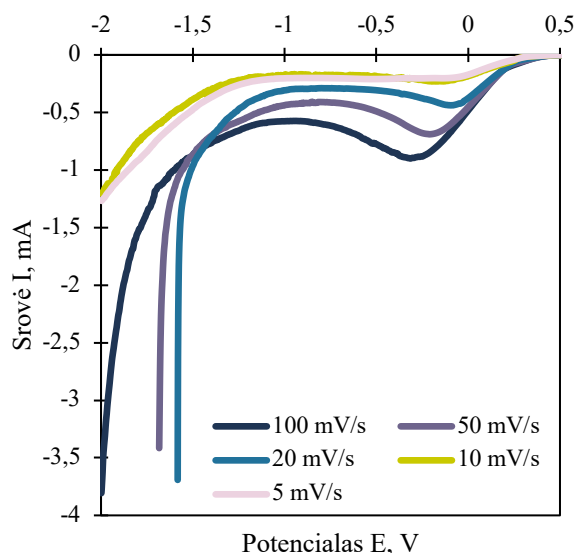
11 pav. 0,05 M konc. KMnO_4 elektrolito tirpalas



10 pav. 0,1 M konc. KMnO_4 elektrolito tirpalas



12 pav. 0,025 M konc. KMnO_4 elektrolito tirpal



13 pav. 0,0125 M konc. KMnO_4 elektrolito tirpalas

2.1. Elektrocheminis MnO_2 nusodinimas ant grafito veltinio

MnO_2 sluoksnis ant grafito veltinio nusodintas potenciostatiniu būdu esant $-0,5$ V potencialui (vs. Ag/AgCl) iš penkių skirtingų KMnO_4 koncentracijų tirpalų (0,0125; 0,025; 0,05; 0,1 ir 0,125 M). Nusodinimo trukmė kiekvienam mėginiui — 15 min.

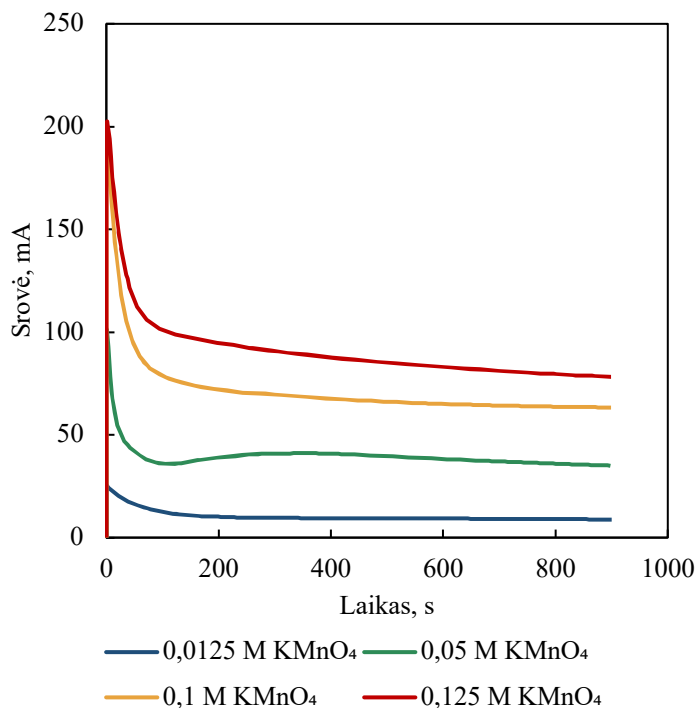
MnO_2 nusodinimo kinetika įvertinta chronoamperometriniu metodu — fiksuojant elektrolizės srovės tankio kitimą laike esant pastoviam $-0,5$ V potencialui ($\text{Ag}/\text{AgCl}/\text{KCl}$ sot.). Gautose kreivėse (14 pav.) matoma būdinga elektrolitinio nusodinimo tendencija: proceso pradžioje srovės tankis yra didžiausias dėl iš karto vykstančio MnO_4^- jonų redukcijos prie GV elektrodo paviršiaus, o vėliau dėl difuzinio sluoksnio susidarymo ir aktyvių jonų išsekimo arti elektrodo, jis tolygiai mažėja ir maždaug po 2-3 min (120-180 s) nusistovi (stabilizuojasi). Didinant KMnO_4 koncentraciją tirpale, srovės tankis per visą nusodinimo trukmę išlieka didesnis, o tai rodo intensyvesnę MnO_2 susidarymo ir nusodinimo and GV gijų paviršiaus procesą. Iš nusodinimo kreivių, integruojant srovę pagal laiką, apskaičiuotas kiekvieno mėginio metu pernešto elektros krūvio kiekis. Pagal Faradėjaus dėsnį, naudojant pernešto krūvio vertes, apskaičiuota teorinė kiekvieno mėginio nusodinto MnO_2 masė. Rezultatai pateikiami 2 lentelėje.

2 lentelė. Elektrocheminio nusodinimo tyrimo pratekėjusios elektros kiekis ir nusėdusio MnO_2 masė

Elektrolito koncentracija c , M	Elektros kiekis Q , C	Teorinė nusodinto MnO_2 masė m_t , mg	Praktinė nusodinto MnO_2 masė m , mg
0,0125	9,337	2,8	2,2
0,025	18,402	5,5	4,7
0,05	35,467	10,6	9,1
0,1	64,555	19,4	18,3
0,125	80,878	24,6	23,2

Iš 2 lentelės duomenų matyti, kad didėjant KMnO_4 koncentracijai tirpale, perneštas elektros kiekis Q ir atitinkamai nusodintos MnO_2 masė nuosekliai auga: nuo 9,34 C ir 2,80 mg esant 0,0125 M iki 80,88

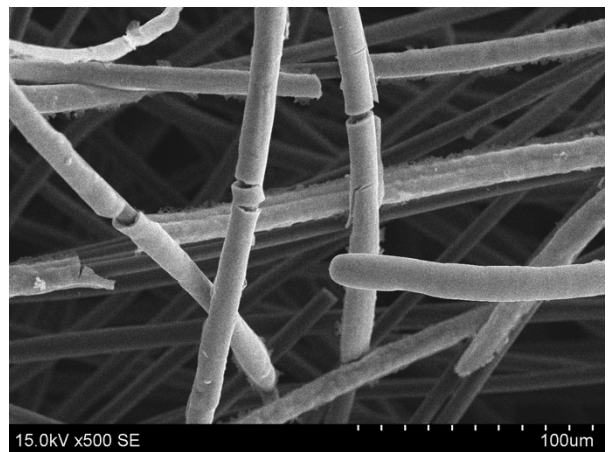
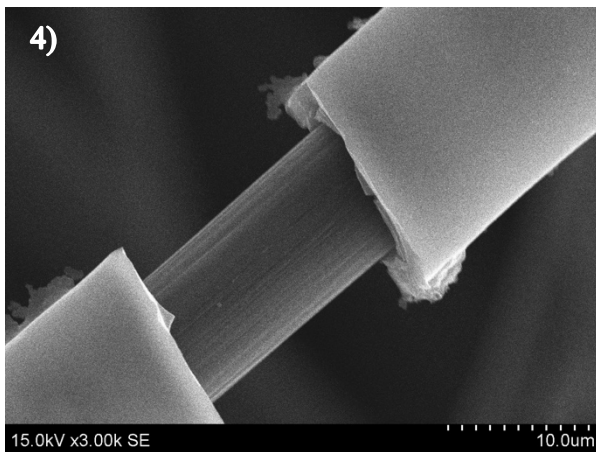
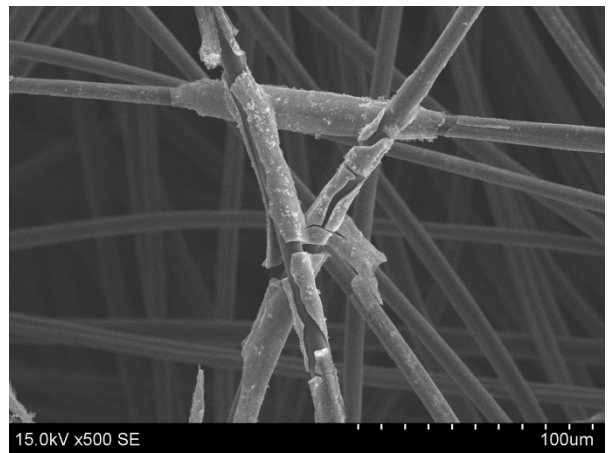
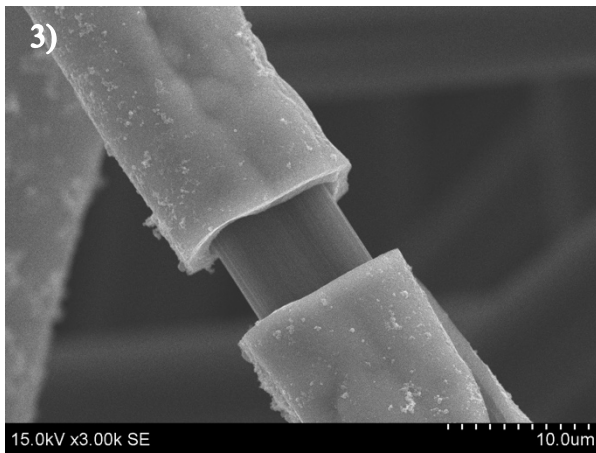
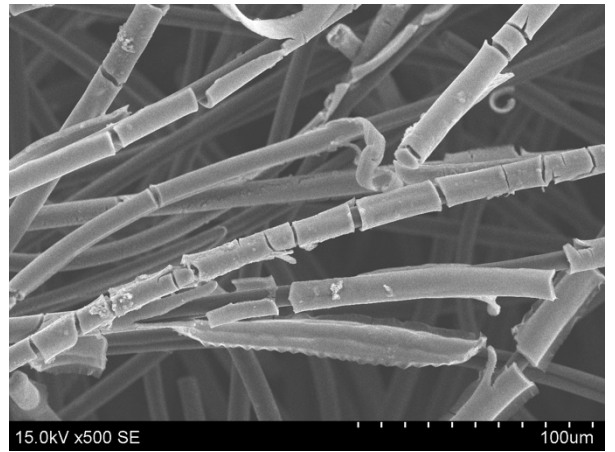
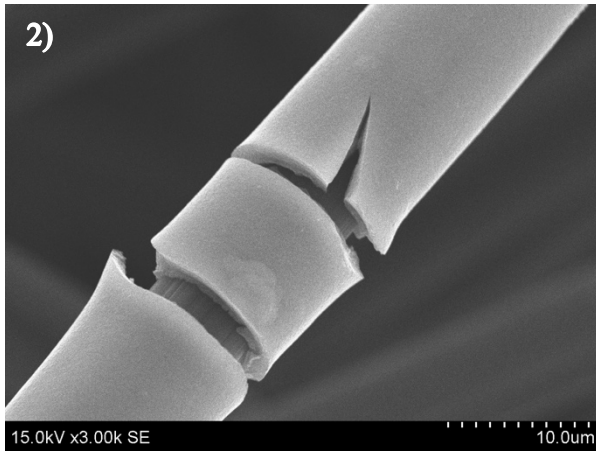
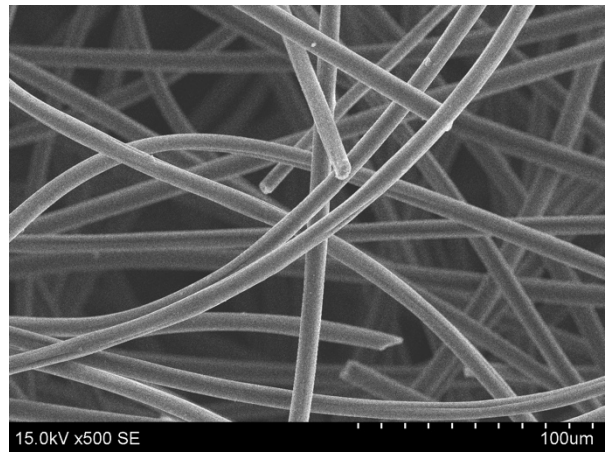
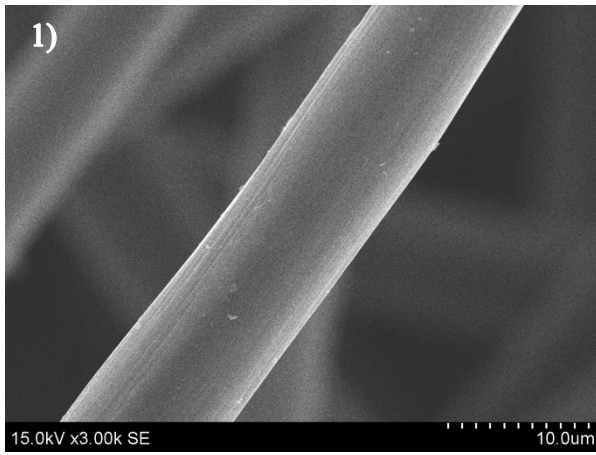
C ir 23,2 mg esant 0,125 M koncentracijai. Vis dėlto prieaugis nėra griežtai tiesinis — padidinus koncentraciją 10 kartų, Q padidėja apie 8,7 karto. Tai rodo, kad esant didžiausioms koncentracijoms procesas pereina į difuzijos ribojamą režimą, kuriame nusodinimo greitis priklauso ne tik nuo KMnO_4 koncentracijos, bet ir nuo MnO_4^- jonų difuzijos prie GV paviršiaus. Šis stebėjimas suderinamas su 4 paveiksle matomomis kreivėmis. Didėjant elektrolito koncentracijai tekanti srovė taip pat didėja.

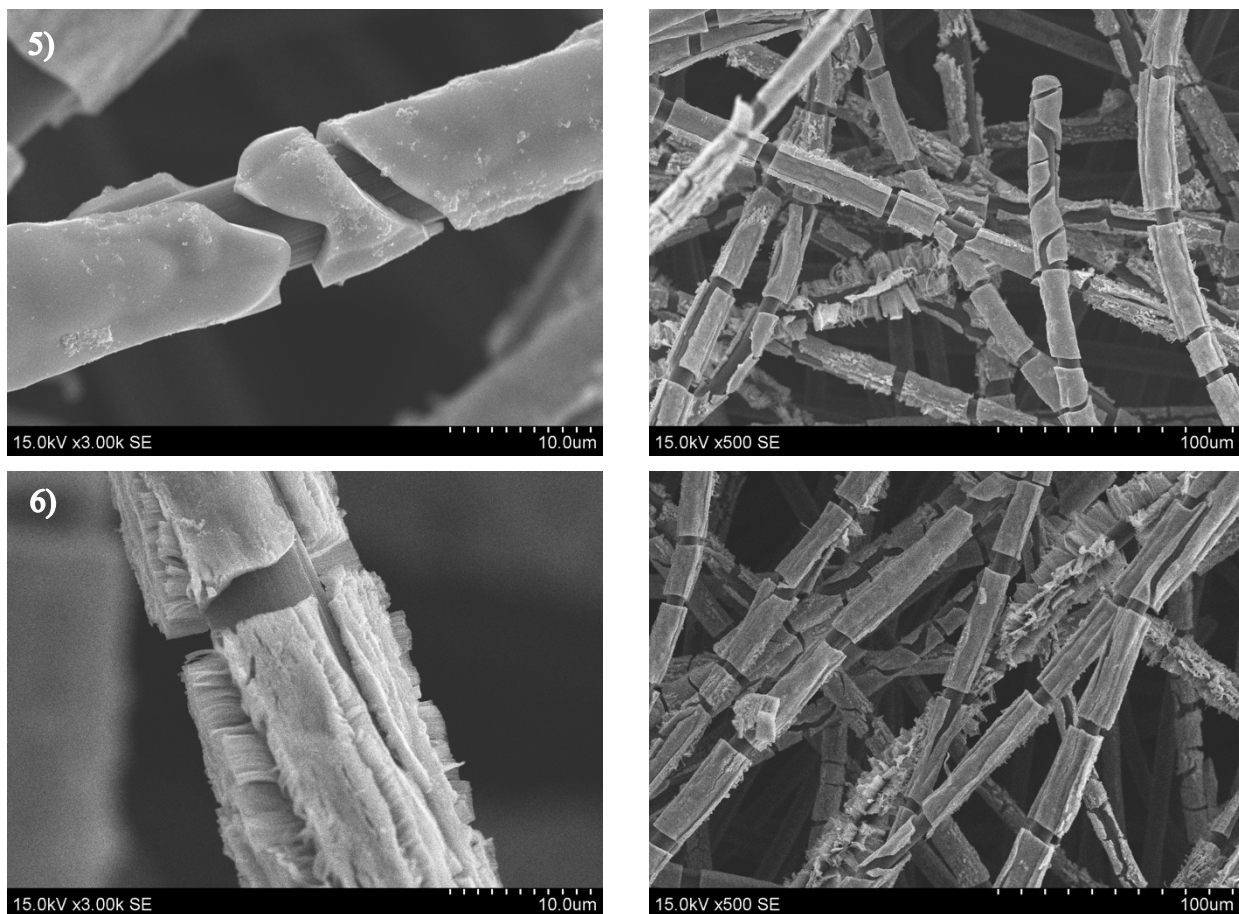


14 pav. Bendras nusodinimo grafikas iš skirtingų koncentracijų KMnO_4 tirpalų

2.2. Paviršiaus morfologijos vertinimas (SEM)

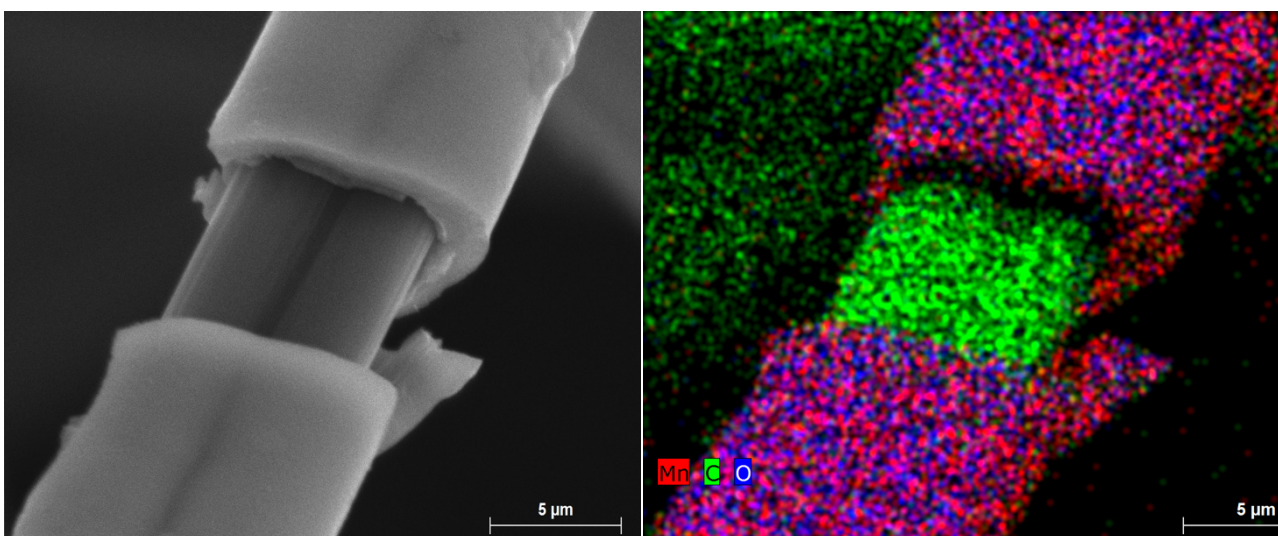
Modifikuotų GV mėginių paviršiaus morfologija įvertinta skenuojančiosios elektroninės mikroskopijos (SEM) metodu. 15 paveiksle pateiktos kontrolinio (nemodifikuoto) GV ir po nusodinimo iš skirtingos koncentracijos kalio permanganato tirpalų koncentracijų gautų GV gijų nuotraukos. Nemodifikuoto GV – kontrolinio bandinio (Nr. 1) gijos yra lygios, su švairiu cilindrinio paviršiumi, be matomos dangos — tipinis nemodifikuoto grafito veltinio vaizdas. Didėjant KMnO_4 koncentracijai nusodinimo tirpale, ant GV gijų paviršiaus atsiranda vis tankesnė MnO_2 danga: esant mažiausiai 0,0125 M koncentracijai matomi pavieniai MnO_2 klasteriai ir plonas dengiantis sluoksnis (bandinys Nr.2), o didinant koncentraciją iki 0,025–0,05 M danga tampa vientisesnė, padengdama vis didesnę gijų paviršiaus dalį (bandiniai Nr. 3 ir Nr. 4). Esant didžiausioms 0,1–0,125 M koncentracijoms GV gijos padengiamos storu, vientisu MnO_2 sluoksniu, kuris pilnai uždengia pirminę gijų morfologiją (bandiniai Nr. 5 ir Nr. 6). Tokia tendencija atitinka nusodinimo kreivių pagrindu apskaičiuotą nusodintos MnO_2 masės didėjimą.





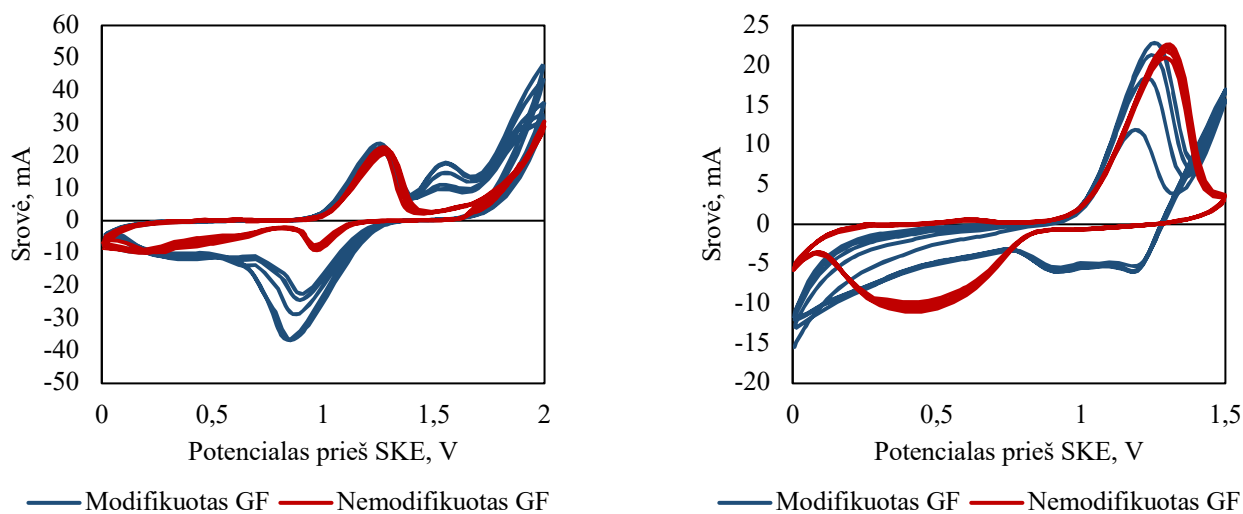
15 pav. SEM nuotraukos po modifikacijos: 1) kontrolė; 2) KMnO_4 tirpalo koncentracija 0,0125M; 3) KMnO_4 tirpalo koncentracija 0,025M; 4) KMnO_4 tirpalo koncentracija 0,05M; 5) KMnO_4 tirpalo koncentracija 0,1M; 6) KMnO_4 tirpalo koncentracija 0,125M

Susidariusios dangos elementinė sudėtis yra patikrinama suformuojant elementų pasiskirstymo žemėlapi (EDS), rezultatai matomi 16 paveiksle. Nusodintos medžiagos sudėtis patvirtinta: pagrindiniai matomi elementai yra manganas bei deguonis.



16 pav. EDS žemėlapis

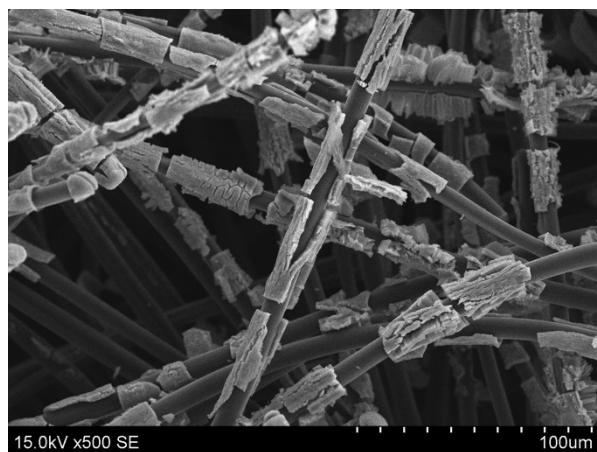
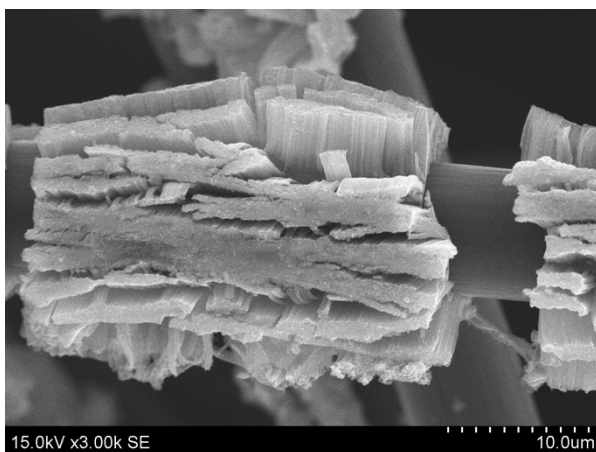
Modifikuoto veltinio elektrokatalizinis aktyvumas oksidacijos–redukcijos reakcijų atžvilgiu buvo įvertintas pagal ciklinės voltamperometrijos kreives: užfiksuotas nedidelis anodinės (oksidacijos) srovės smailės padidėjimas ir gerokai ryškiau išreikštas katodinės (redukcijos) srovės smailės padidėjimas.



17 pav. CV grafikas naudojant modifikuoto MnO_2 vanadžio elektrolite

2.3. Modifikacijos stabilumas vanadžio elektrolite

Modifikuoto GV (bandinys Nr. 6) stabilumas įvertintas atlikus elektrocheminius matavimus vanadžio elektrolite ($0,1 \text{ M VO}_2\text{SO}_4 + 2 \text{ M H}_2\text{SO}_4$) ir vėliau pakartotinai apžiūrėjus paviršių SEM (18 paveikslas). Nustatyta, kad MnO_2 danga rūgštinėje vanadžio terpėje neištirpsta ir GV gijų padengimas išlieka beveik nepakitęs. Tačiau pradinė vientisa danga keičia morfologiją: kai kuriose vietose matomas dangos sutrūkinėjimas, o kitose — MnO_2 persiskirsto į aglomeratus, sudarydamas lokaliai sutankėjusias sritis. Toks pakitimas rodo, kad MnO_2 sluoksnis vanadžio elektrolite yra chemiškai stabilus, tačiau mechaniškai ir struktūriškai patiria pertvarą dėl elektrocheminio ciklavimo ir rūgštinės terpės poveikio. Tai leidžia teigti, kad MnO_2 modifikacija yra perspektyvi vanadžio redokso baterijų pritaikymui, tačiau optimaliam ilgaamžiškumui galimai reikalinga mažesnės koncentracijos KMnO_4 modifikacija arba plonesnis pradinis sluoksnis, kuris būtų atsparesnis sutrūkinėjimui.



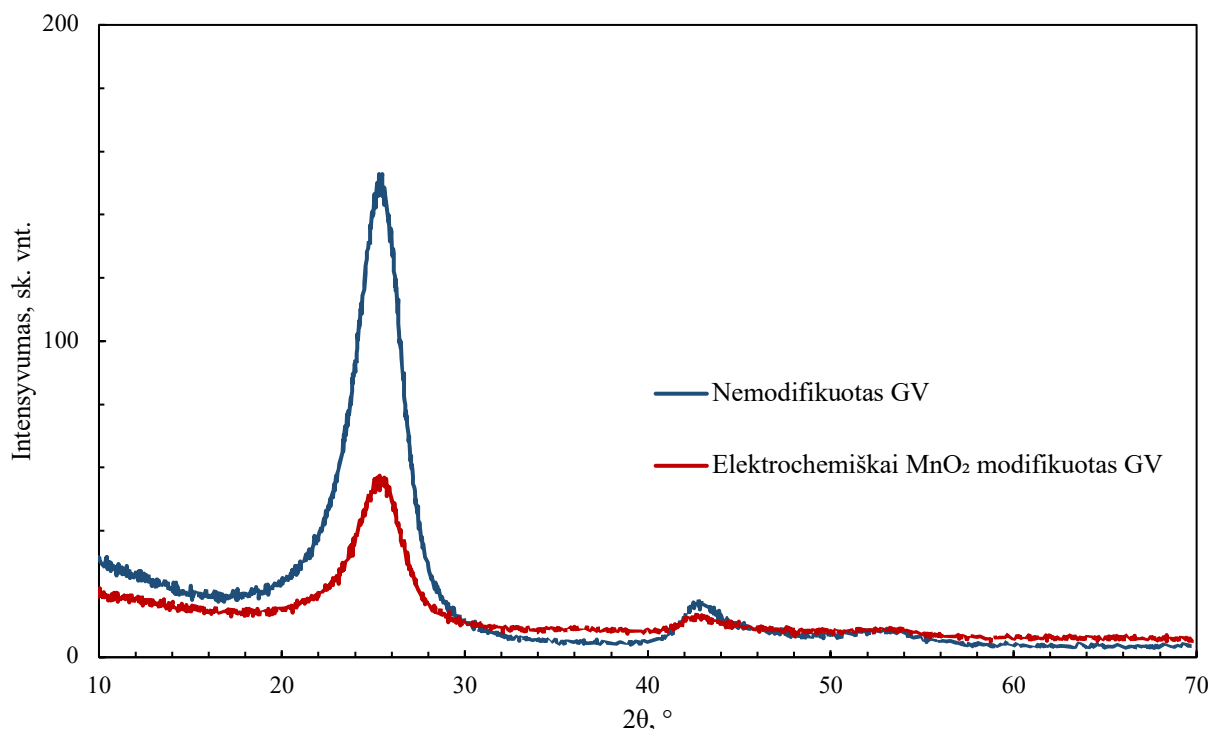
18 pav. Modifikuoto grafito veltinio SEM nuotraukos po panaudojimo

Apibendrinant tiriamąjį darbą, nustatyta, kad elektrocheminis MnO_2 nusodinimas iš KMnO_4 tirpalų ant grafito veltinio paviršiaus yra efektyvus modifikavimo būdas. Optimaliausios modifikavimo sąlygos pasiekiamos naudojant 0,125 M KMnO_4 tirpalą. Esant šiai KMnO_4 koncentracijai per elektrolitą prateka didžiausias elektros krūvis (80,88 C) ir intensyviausiai vyksta MnO_2 susidarymas (23,22 mg). SEM analizė patvirtino, kad susidaręs MnO_2 sluoksnis tolygiai dengia GV gijas, o stabilumo bandymai vanadžio elektrolite parodė, jog danga chemiškai išlieka, tik patiria struktūrinę pertvarką. Šie rezultatai patvirtina, kad MnO_2 modifikuotas grafito veltinis yra perspektyvi elektrodo medžiaga vanadžio redokso srauto baterijoms.

Pradinio ir modifikuoto grafito veltinio kristalinė struktūra ištirta rentgeno spindulių difrakcijos (RSD) metodu, naudojant $\text{Cu K}\alpha$ spinduliuotę ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$) 2θ kampų ruože nuo 10° iki 70° . Gautos difraktogramos pateikiamos 19 paveiksle.

Nemodifikuoto GV difraktogramoje stebimos difrakcijos smailės ties $2\theta \approx 3-5^\circ$, 26° ir 43° . Intensyvi smailė ties $2\theta \approx 26^\circ$ priskiriama grafito (002) plokštumai ir yra būdinga gerai susiformavusiai grafito kristalinei gardelei, o mažesnio intensyvumo smailė ties $2\theta \approx 43^\circ$ atitinka grafito (100) plokštumą. Gan didelis šių smailių plotis rodo, kad nemodifikuotam GV labiau būdinga amorfinė struktūra.

Atlikus elektrocheminį MnO_2 nusodinimą an GV gijų, tokio modifikuoto GV difraktogramoje užfiksuoti ryškūs struktūriniai pokyčiai. Smailės intensyvumas ties $2\theta \approx 26^\circ$ sumažėjo nuo 150 iki 55 sant. vnt. Tai rodo, kad modifikavimo metu GV gijų paviršių padengė MnO_2 sluoksnis, šiek tiek ekranuojantis grafitui būdingas difrakcijos smailes, o dėl itin mažos ant GV gijų nusodinto MnO_2 koncentracijos (masės dalies), MnO_2 būdingos smailės taip neišryškėja. RSD analizės rezultatai koreliuoja su aukščiau pateiktose SEM nuotraukose matomais vaizdais – GV gijas apgaubiančio MnO_2 sluoksnio fragmentais.



19 pav. Nemodifikuoto ir elektrochemiškai MnO_2 modifikuoto GV rentgeno spindulių difraktogramos (RSD spektrai)

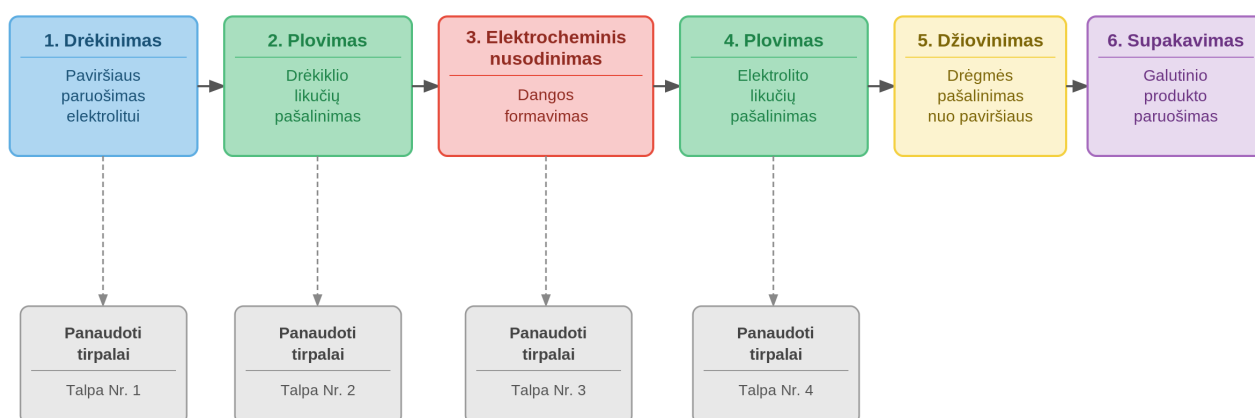
3. Inžinerinė dalis

3.1. Technologija

Technologinėje magistro baigiamojo darbo dalyje yra pateikiama technologinė schema (žr. 1 Priedas), proceso parametrai, masės srautų balanso ir energetinių sąnaudų balanso skaičiavimai.

3.1.1. Bendrosios technologinės schemos aprašymas

Technologinę liniją galima suskirstyti į penkias pagrindines dalis: drėkinimą, plovimą po drėkinimo, elektrocheminį nusodinimą, plovimą po elektrocheminio nusodinimo ir džiovinimą. Principinė blokinė diagrama matoma 20 paveiksle.



20 pav. Principinė blokinė schema

Per metus siekiamas pagaminti produkcijos apimtis yra 197401,68 m²

Įvertinama reikiamas pamainų skaičius atsižvelgiama į darbo dienų skaičių metuose ir vienos pamainos trukmę. Gamybos darbo režimo informacija pateikiama 3 lentelėje

3 lentelė. Gamybos darbo režimas

Pamainų skaičius P	Pamainos trukmė, PT	Darbo dienų skaičius, DDS
2	8	251

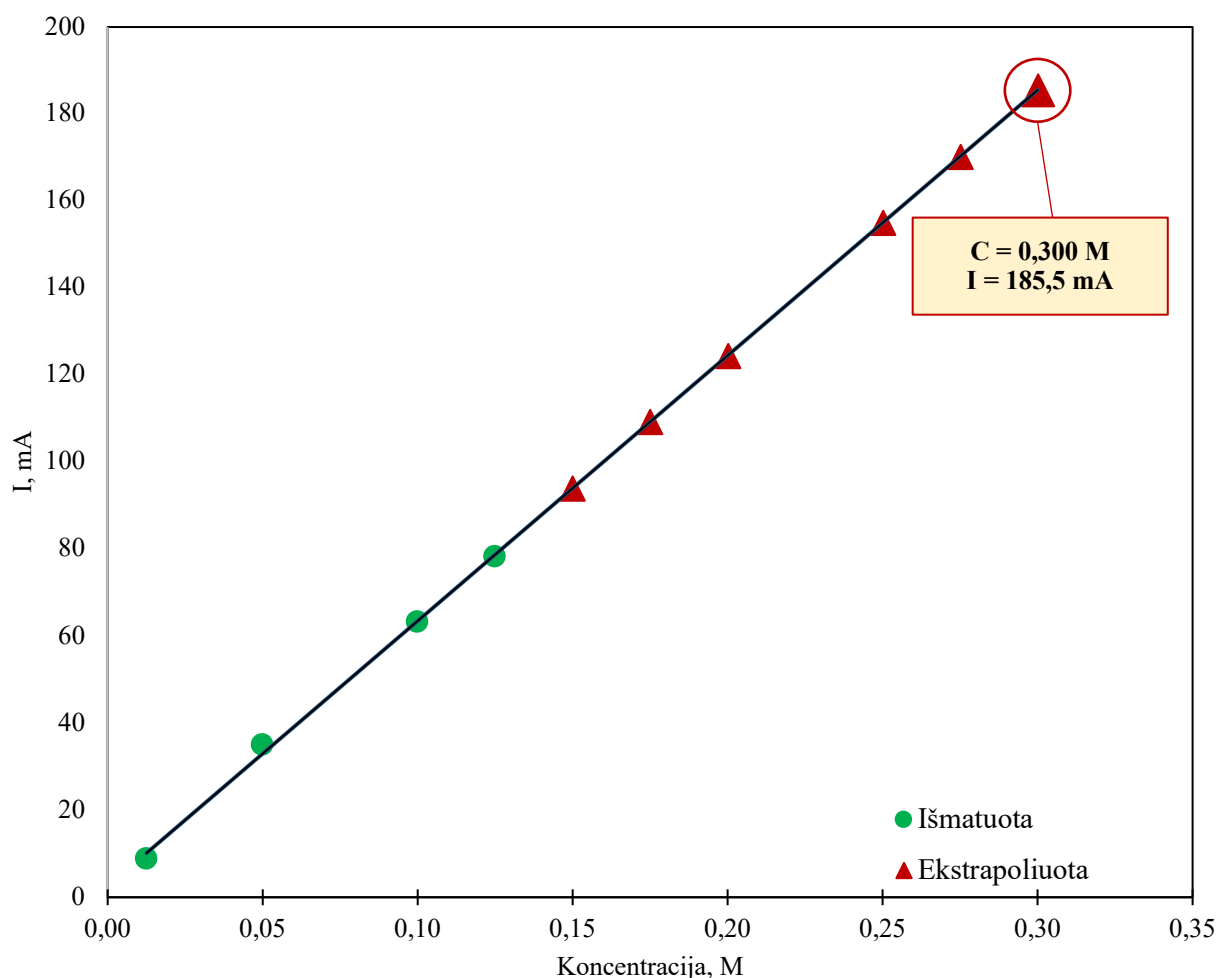
Tiriamąjį darbo metu buvo pasiekti geriausi rezultatai naudojant 0,125 mol/l koncentracijos KMnO₄ elektrolitą ir elektrocheminis nusodinimas vyko 15 min. Tyrimo duomenys pateikiami 4 lentelėje.

Siekama atkartoti rezultatus didesnėje skalėje, kad tai būtų galima padaryti, naudoto elektrolito tirpalo koncentraciją padidiname iki 0,3 mol/l. Tokia tirpalo koncentracija praktikoje realistiškesnė.

4 lentelė. Elektrocheminio nusodinimo tyrimo duomenys

Dydis	Vertė	Vienetai
Elektros srovė, I	0,1	A
Nusėdimo plotas, A ₁	12	cm ²
Nusodinimo laikas, t	200	s

Nusodintas masė, m_1	23,22	mg
Naudoto elektrolito koncentracija, c_1	0,125 l	mol/
Srovės tankis, i_{1K}	0,833	A/dm ²



21 pav. Srovės priklausomybė nuo KMnO_4 molinės koncentracijos.

Pasikeitusi elektrolito koncentraciją pakeičia ir pratekėjusios srovės tankį. Jis paskaičiuojamas naudojant duomenų ekstrapoliaciją iki siekiamos didesnės koncentracijos ir naudojant tame taške gautą srovę kaip matoma 21 paveiksle. Tuomet srovės tankis paskaičiuojamas kaip pateikta žemiau.

$$i_{2K} = \cdot \frac{I_{0,3}}{A_1} = \frac{0,1855}{12} = 0,01546 \text{ A/cm}^2 = 154,58 \text{ A/m}^2$$

čia i_{2K} - naujasis srovės tankis, A/cm²; $I_{0,3}$ – srovė esant 0,3 M KMnO_4 tirpalo koncentracijai, A; A_1 – nusėdimo plotas, cm².

Grafito veltinis perkamas rulonais, kalio permanganatas perkamas miltelių pavidalu ir natrio šarmas taip pat perkamas granulėmis. Žaliavų specifika pateikiama 5 lentelėje.

5 lentelė. Žaliavos 1 vnt perkamuos pakuotės specifika

Žaliava	Kiekis/dydis
Grafito veltinio rulonas, $W_g \times L_g$	100 x 1,2 m

2-propanolio statinė (200 l)	157 kg (200 l)
KMnO ₄ statinė	25 kg

3.1.2. Technologinėje linijoje naudojamų įrenginių skaičiavimai

3.1.2.1. Drėkinimo įranga

Drėkinimas atliekamas 6 minučių 15 % (tūrio) 2-propanolio tirpale. Įrenginio principas yra kaip „BENNINGER TRIKOFLEX“ įrenginio. Techninės specifikos pateikiamos 6 lentelėje.

6 lentelė. Drėkinimo įrenginio techniniai duomenys

Vienu metu apdorojamų rulonų skaičius, K_D	Vienu metu apdorojamas ilgis, L_{Dap} , m	Plotis, W_D , m	Ilgis, L_D , m	Drėkinamojo veleno skersmuo, D , m
2	10	3	6,3	3,19

Vyniojamas grafito veltinis, naudojant purkštukus yra sudrėkinamas. Naudojami purkštukai yra žemo slėgio plokščios galvutės „Lechler“ įmonės gaminys; modelis 652.804. Purkštukai sudedami dviem eilėmis ir įvertinama, jog drėkinami plotai pasidengia 10%. Techninė specifikacija pateikiama 7 lentelėje.^[37]

7 lentelė. Purkštukų techninė specifikacija

Purškimo kampas	Atstumas nuo darbinio paviršiaus iki purkštuko, mm	Slėgis, bar	Debitas, V_P , l/min	Apipurškiamas spindulys, D_P , mm
60°	250	5	15,81	290

Medžiagos apdirbimas trunką 6 minučių ir procesas išskirstomas per 3 įrenginius kurie juostą drėkina po 2 minutes. Tuomet paskaičiuojamas juostos linijinis greitis:

$$v_D = \frac{L_{D.ap}}{T_D} = \frac{10}{2} = 5 \text{ m/min}$$

Purkštukų skaičius paskaičiuojamas naudojant tokį algoritmą kaip matoma žemiau.

Apskaičiuojamas atstumas nuo pirmosios purkštukų eilės iki paskutinės:

$$S_P = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2} = \sqrt{1,592^2 + 1,592^2} = 2,251 \text{ m}$$

čia S_P - atstumas nuo pirmosios iki paskutinės purkštukų eilės, m; D - drėkinamojo veleno skersmuo, m.

Kad padengti šį atstumą apskaičiuojamas reikiamas purkštukų eilių skaičius įvertinus 10 % persidengimą.

$$K_{P.eil} = \frac{S_P}{D_P \cdot 0,9} = \frac{2251}{290 \cdot 0,9} = 8,6 \sim 9 \text{ purkštukų eilės}$$

čia $K_{p\text{eil}}$ - reikiamų purkštukų eilių skaičius, vnt.; S_p - atstumas nuo pirmosios iki paskutinės purkštukų eilės, mm; D_p - apipurškiamas spindulys, mm.

Taip pat reikia įvertinti reikiamų purkštukų stulpelių kiekį.

$$K_{P.\text{stulp}} = \frac{W_g}{D_p \cdot 0,9} = \frac{1200}{290 \cdot 0,9} = 4,6 \sim 5 \text{ purkštukų stulpeliai}$$

čia $K_{p\text{stulp}}$ - reikiamų purkštukų stulpelių skaičius, vnt.; W_g - apdorojamo grafito veltinio plotis, mm; D_p - apipurškiamas spindulys, mm.

Kadangi viename įrenginyje yra apdirbamos 2 grafito veltinio juostos lygiagrečiai tai viso reikia 10 stulpelių.

Galiausiai apskaičiuojamas visas reikiamas purkštukų skaičius viename drėkinimo įrenginyje.

$$K_P = K_{P.\text{eil}} \cdot K_{P.\text{stulp}} = 9 \cdot 10 = 90 \text{ vnt.}$$

čia K_p - bendras purkštukų skaičius viename drėkinimo įrenginyje, vnt.; $K_{p\text{eil}}$ - purkštukų eilių skaičius, vnt.; $K_{p\text{stulp}}$ - purkštukų stulpelių skaičius.

Drėkinimo dalis susidaro iš 3 įrenginių, todėl purkštukų skaičius per tris įrenginius tampa 270 vienetai.

Toliau bus apskaičiuojamos žaliavos sąnaudos vieno ciklo metu. (apdirbami 2 vnt. Grafito veltinio rulonų).

Pagal purkštuko specifiką, kuri buvo pateikta anksčiau jo skysčio debitas lygus 15,81 l/min. Apskaičiuojamas laikas, per kurį apdirbamas visas rulonas, reikiamas tirpalo tūris, viename įrenginyje ir pateikiami lentelėje x.

$$T_D = \frac{L_g}{L_{D.\text{ap}}} \cdot t_D = \frac{100}{10} \cdot 6 = 60 \text{ min}$$

čia T_D - laikas, per kurį apdirbamas visas rulonas, min; L_g - grafito veltinio rulono ilgis, m; $L_{D.\text{ap}}$ - vienu metu apdirbamas ilgis, m; t_D — drėkinimo trukmė, min.

$$V_{D.\text{el}} = K_P \cdot V_P \cdot T_D = 270 \cdot 15,81 \cdot 60 = 256122 \text{ l} = 256,122 \text{ m}^3$$

čia $V_{D.\text{el}}$ - reikiamas drėkinimo tirpalo tūris viename įrenginyje, l; K_p - purkštukų skaičius viename įrenginyje, vnt.; V_P - vieno purkštuko skysčio debitas, l/min; T_D - apdirbimo laikas, min.

Apskaičiuojamas reikiamas 2-propanolio, kad paruošti apskaičiuotą tirpalo kiekį.

$$V_{2-P} = \omega_T \cdot V_{D.\text{el}} = 0,15 \cdot 256122 = 38418,3 \text{ l} = 38,418 \text{ m}^3$$

čia V_{2-P} - reikiamas 2-propanolio tūris, l; ω_T — 2-propanolio tūrinė dalis tirpale; $V_{D.\text{el}}$ - bendras drėkinimo tirpalo tūris, l.

Tuomet vandens sąnaudos apskaičiuojamos atitinkamai:

$$V_{H_2O} = V_{D.\text{el}} - V_{2-P} = 256122 - 38418,31 = 217704 \text{ l} = 217,7 \text{ m}^3$$

čia V_{H_2O} - reikiamas vandens tūris drėkinimo tirpalui paruošti, l; $V_{D.\text{el}}$ - bendras drėkinimo tirpalo tūris, l; V_{2-P} - reikiamas 2-propanolio tūris, l.

Siekiant apskaičiuoti įrenginiui reikiamą galią, skaičiavimai vykdomi tokiu algoritmu:

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{5/60}{1,595} = 0,0522 \text{ rad/s}$$

čia ω - veleno kampinis greitis, rad/s; v - tiesinis grafito veltinio judėjimo greitis, m/s; R - veleno spindulys, m.

įvertinama trinties jėga tolyginio sukimosi procese.

$$F = \mu \cdot m \cdot g = 0,05 \cdot 5825 \cdot 9,81 = 2857,2 \text{ N}$$

Apskaičiavus sukimo momentą galima apskaičiuoti galią.

$$M = F \cdot R = 2857,2 \cdot 1,595 = 4557,2 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$P = M \cdot \omega = 4557,2 \cdot 0,0522 = 237,89 \text{ W}$$

Įvertinus jog dirba variklis 70% pajėgumu, reikiama galia yra 339 W vienam velenui sukti.

3.1.2.2. Elektrolizeris

Elektrolizeryje vyksta elektrocheminis nusodinimas. Į jį tiekiamas 0,3 mol/l KMnO_4 vandeninis tirpalas. Įrenginys projektuojamas taip kad vieno ciklo metu galėtų apdirbti 2 bėginius metrus grafito veltinio. Elektrolizerio techninė specifikacija pateikiama 8 lentelėje.

8 lentelė. Elektrolizerio techninė specifikacija

Vienu metu apdorojamų rulonų skaičius, K_E	Vieno ciklo metu modifikuojamas medžiagos ilgis, L_{Eap} , cm	Elektrolizerio plotis, W_E , cm	Elektrolizerio ilgis, L_E , cm	Elektrolizerio aukštis, H_E , cm	Elektrolito lygio aukštis, H_{el} , cm
2	200	224,7	150	212	26

Kadangi perkamo rulono storis yra 1,2 metrai tai modifikuojamas plotas paskaičiuojamas taip (modifikacija vyksta iš abiejų pusių):

$$A_2 = 2 \cdot L_{ap} \cdot W_g = 2 \cdot 200 \cdot 120 = 48000 \text{ cm}^2 = 4,8 \text{ m}^2$$

čia A_2 - modifikuojamas grafito veltinio paviršiaus plotas, cm^2 ; L_{ap} - vieno ciklo metu modifikuojamas medžiagos ilgis, cm; W_g - grafito veltinio plotis, cm.

Pagal modifikuojamą plotą yra paskaičiuojama pratekėjusi elektros srovė, nusodinamas medžiagos masė ir laikas, per kurį procesas įgyvendinamas. Tai atliekama žemiau pateiktuose skaičiavimuose.

$$I_2 = i_{2K} \cdot A_2 = 154,58 \cdot 4,8 = 742 \text{ A}$$

čia I_2 - pratekanti elektros srovė elektrolizeryje, A; i_{2K} - srovės tankis, A/m^2 ; A_2 - modifikuojamas grafito veltinio paviršiaus plotas, m^2 .

Pagal tiriamojo metu nusodintą medžiagos kiekį, apskaičiuojamas medžiagos tankis ant elektrodo paviršiaus.

$$\rho = \frac{m_1}{A_1} = \frac{0,02322}{12} = 0,001935 \text{ g}/\text{cm}^2 = 19,35 \text{ g}/\text{m}^2$$

čia ρ - nusodintos medžiagos paviršiaus tankis, g/cm^2 ; m_1 - tyrimo metu nusodintos medžiagos masė, g; A_1 - tyrimo metu modifikuoto elektrodo paviršiaus plotas, cm^2 .

Kadangi ciklinės voltamperometrijos metu, kaip elektrodą naudojant MnO_2 modifikuotą GV buvo stebimas padidėjęs anodinis (oksidacijos) pikas ir padidėjęs katodinis (redukcijos) pikas $\text{VO}_2^+/\text{VO}^{2+}$ elektrocheminės reakcijos metu – teigiamas rezultatas – siekiama išlaikyti tokį patį padengimo tankį. Naudojant jį yra paskaičiuojamas pasidengusios medžiagos masė.

$$m_2 = \rho \cdot A_2 = 19,35 \cdot 4,8 = 92,88 \text{ g}$$

Įvertinus jog proceso naudingumo koeficientas yra 80 %, apskaičiuojamas teorinė nusėdanti medžiagos masė.

$$m_t = m_2 \cdot \frac{100}{\eta} = 92,88 \cdot \frac{100}{80} = 116,1 \text{ g}$$

čia m_t - teorinė nusodinamos medžiagos masė, įvertinus proceso naudingumą, g; m_2 - apskaičiuotas nusodinamos medžiagos masė, g; η - proceso naudingumo koeficientas, %.

Pagal teorinę nusodinamos medžiagos masę apskaičiuojamas laikas, naudojantis pirmąjį Faradėjaus dėsnis.

$$m_t = \frac{E \cdot I_2 \cdot t}{F} \rightarrow t_{el} = \frac{m_t \cdot F}{E \cdot I_2} = \frac{116,1 \cdot 96485,332}{28,98 \cdot 742} = 520,94 \text{ s} = 7,2 \text{ min}$$

čia m_t - teorinė nusodinamos medžiagos masė, g; F - Faradėjaus konstanta, lygi 96 485,332 C/mol; E - elektrocheminis ekvivalentas (M/n), g/mol; I_2 - elektros srovė, A; t_{el} - vieno ciklo elektrocheminio nusodinimo trukmė, s.

Kadangi rulono ilgis yra 100 metrų apskaičiuojamas vieno rulono apdirbimo laikas.

$$T_{el} = \frac{L_g}{L_{ap}} \cdot t_{el} = \frac{100}{2} \cdot 7,2 = 434,12 \text{ min} = 7,23 \text{ h}$$

čia T_{el} - viso rulono apdirbimo elektrolizeryje laikas, min; L_g - grafito veltinio rulono ilgis, m; L_{ap} - vieno ciklo metu modifikuojamas medžiagos ilgis, m; t_{el} - vieno ciklo nusodinimo trukmė, min.

Norint apskaičiuoti reikiamo elektrolito tūrį elektrocheminiam nusodinimui reikia įvertinti elektrolizerio konfigūraciją. Elektrolizerio vonia yra trapecijos formos ir elektrolitu elektrolizeris užpildomas 26 cm skysčio lygiu nuo elektrolizerio dugno. Taigi reikiamas elektrolito tūris paskaičiuojamas taip:

$$V_{EL} = \frac{W_E + W_{2E}}{2} \cdot H_{el} \cdot L_E = \frac{224,7 + 250}{2} \cdot 260 \cdot 150 = 925665 \text{ cm}^3 = 925,665 \text{ l}$$

čia V_{EL} - reikiamas elektrolito tūris elektrolizeryje, cm^3 ; W_E - elektrolizerio plotis apačioje, cm; W_{2E} - elektrolizerio plotis viršuje, cm; H_{el} - elektrolito lygio aukštis, cm; L_E - elektrolizerio ilgis, cm.

Taip pat pagal elektrocheminę reakciją įvertinama KMnO_4 masė, kurios reikia nusodinti norimą MnO_2 masę.

Elektrocheminė reakcija vyksta iš 1 mol KMnO_4 susidarant 1 mol MnO_2 , todėl KMnO_4 masė apskaičiuojamas taip:

$$V_{\text{KMnO}_4} = \frac{m_{\text{MnO}_2}}{M_{\text{MnO}_2}} = \frac{116,1}{86,94} = 4,451 \text{ l}$$

čia V_{KMnO_4} - reikiamas $KMnO_4$ tirpalo tūris pagal elektrocheminę reakciją, l; m_{MnO_2} - nusodinamos MnO_2 masė, g; M_{MnO_2} - MnO_2 molinė masė, lygi 86,94 g/mol; C_{KMnO_4} - $KMnO_4$ tirpalo koncentracija, mol/l.

Nepaisant to, jog skaičiavimai pagal elektrocheminio redokso lygtį rodo, kad užtenka daug mažiau tirpalo, pasilikam prie tinkamo vonios užpildymo bei vykdoma tirpalo recirkuliacija.

Reikiama kalio permanganato masė vienam ciklui apskaičiuojamas taip:

$$m_{KMnO_4} = C_{KMnO_4} \cdot V_{EL} \cdot M_{KMnO_4} = 0,3 \cdot 925,67 \cdot 158,032 = 43885,407 \text{ g} = 43,89 \text{ kg}$$

čia m_{KMnO_4} - reikiama kalio permanganato masė vienam ciklui, g; C_{KMnO_4} - tirpalo koncentracija, mol/l; V_{EL} - elektrolito tūris, l; M_{KMnO_4} - $KMnO_4$ molinė masė, lygi 158,032 g/mol.

Elektrolizerio gamybos apimtys pateikiamos 9 lentelėje.

9 lentelė. Žaliavų sunaudojimas atliekant vieno rulono modifikaciją

Cheminė medžiaga	Vieno ciklo metu sunaudojama	Vieno rulono gamybai sunaudojama ¹
$KMnO_4$	43,89 kg	2194,27 kg
Vanduo	925,67 l	46283,25 l

Tyrimo metu buvo nustatyta elektrocheminei celei suteikiama įtampa – 1,5 V, naudodamiesi šiuo duomeniu yra apskaičiuojam pramoniniam elektrolizeriui reikiama galia, vieno ciklo metu.

$$P = I \cdot U = 742 \cdot 1,5 = 1113 \text{ W}$$

čia P - elektrolizerio naudojama galia vieno ciklo metu, W; I - pratekanti elektros srovė, A; U - elektrocheminei celei suteikiama įtampa, V.

Todėl sunaudojama 0,161 kWh elektros energijos.

3.1.2.3. Plovimo įrenginys

Plovimo įrenginys yra analogiškas drėkinimo įrenginiu. Proceso technologiniai parametrai pateikiami 10 lentelėje.

10 lentelė. Plovimo proceso techninės charakteristikos

Vieną metu apdirbamų rulonų skaičius, K_p , vnt	Per vieną ciklą apdirbamas ilgis, $L_{p.ap}$ m	Juostos judėjimo greitis, v_p , m/min	Vieno ciklo laikas, min	Naudojamų purkštukų skaičius, vnt
2	10	8	1,25	90

Įvertinus grafito veltinio rulono ilgį – 100 m, apskaičiuojamas rulono apdirbimo laikas:

$$T_p = \frac{L_g}{L_{p.ap}} \cdot t_p = \frac{100}{10} \cdot 1,25 = 12,5 \text{ min}$$

¹ Skaičiavimai atliekami priimant maksimalias sąlygas, jei tirpalas nebūtų recirkuliuojamas.

čia T_P - viso rulono plovimo trukmė, min; L_g - grafito veltinio rulono ilgis, m; $L_{P.ap}$ - per vieną ciklą apdirbamas ilgis, m; t_p - vieno ciklo plovimo trukmė, min.

Plovimas vykdomas naudojant dejonizuotą vandenį, jo sąnaudos apskaičiuojamos toliau:

$$V_{P.1} = T_P \cdot V_P \cdot K_P = 12,5 \cdot 15,81 \cdot 90 = 17786,25 \text{ l} = 17,8 \text{ m}^3$$

čia $V_{P.1}$ - vieno plovimo ciklo vandens sąnaudos, l; T_P - viso rulono plovimo trukmė, min; V_P - vieno purkštuko skysčio debitas, l/min; K_P - naudojamų purkštukų skaičius, vnt.

Plovimas atliekamas po drėkinimo ir elektrocheminio nusodinimo procesų, todėl vandens sąnaudos padidėja 2 kartus:

$$V_{P.H_2O} = 2 \cdot V_{P.1} = 35572,5 \text{ l} = 35,57 \text{ m}^3$$

3.1.2.4. Džiovinimo įrenginys

Po elektrocheminio nusodinimo ir plovimo grafito veltinis yra džiovinamas karštu oru kuris yra pakaitinamas elektriniais kaitinimo elementais. Bendrieji technologinio įrenginio rodikliai yra pateikiami 11 lentelėje.

11 lentelė. Džiovinimo įrenginio techninės charakteristikos

Vieno ciklo metu apdirbamas ilgis, $L_{Dž.ap}$, m	Džiovinimo aparato plotis, $W_{Dž}$, m	Džiovinimo aparato ilgis, $L_{Dž}$, m	Džiovinimo aparato aukštis, $H_{Dž}$, m
20	3	20	2

Į įrenginį įeinančio ir iš jo išeinančio grafito veltinio savybės pateikiamos 12 lentelėje.

12 lentelė. Grafito veltinio savybės džiovinimo procese

Absoliučiai sauso grafito veltinio masė per vieną ciklą, G , kg	Įeinančios medžiagos santykinis drėgnis, ω_{S1} , %	Išeinančios medžiagos santykinis drėgnis, ω_{S2} , %
2,64	80	5

Apskaičiuojamas drėgmės masė įeinančioje medžiagoje ir išeinančioje, pagal tai įvertinama kiek vandens išgarinama.

$$m_{H_2O.1} = \frac{\omega_{S1} \cdot G}{1 - \omega_{S1}} = \frac{0,8 \cdot 2,64}{0,2} = 10,56 \text{ kg}$$

čia $m_{H_2O.1}$ - drėgmės masė įeinančioje medžiagoje, kg; ω_{S1} - įeinančios medžiagos santykinis drėgnis, %; G - apdorojamos medžiagos masė, kg.

$$m_{H_2O.2} = \frac{\omega_{S2} \cdot G}{1 - \omega_{S2}} = \frac{0,05 \cdot 2,64}{0,95} = 0,1389 \text{ kg}$$

čia $m_{H_2O.2}$ - drėgmės masė išeinančioje medžiagoje, kg; ω_{S2} - išeinančios medžiagos santykinis drėgnis, %; G - apdorojamos medžiagos masė, kg.

Išgarinama drėgmės masė per vieną ciklą (2,5 min) apskaičiuojamas kaip pateikta žemiau.

$$W = m_{H_2O.1} - m_{H_2O.2} = 10,56 - 0,1389 = 10,421 \text{ kg}$$

Oro sąnaudos priklauso nuo jo savybių procese. Jos pateikiamos 13 lentelėje.

13 lentelė. Oro srauto parametrai džiovavimo proceso metu

Įtekantis oro srautas į džiovyklę		Ištekantis oro srautas iš džiovyklės	
Temperatūra, T_1 , °C	Santykinis drėgnis, φ_1 , %	Temperatūra, T_2 , °C	Santykinis oro drėgnis φ_2 , %
20	60	50	80

Naudojantis lentelėje pateiktais duomenimis yra apskaičiuojami absoliutinis oro drėgnumas įtekant ir ištekant, kuris panaudojamas sauso oro sąnaudoms džiovykloje skaičiuoti.

$$x_1 = 0,622 \cdot \frac{\varphi_1 \cdot p_s}{P - \varphi_1 \cdot p_s} = \frac{0,6 \cdot 2,338}{101325 - 0,6 \cdot 2,338} = 0,00874 \text{ kg}_{\text{drėgmės}}/\text{kg}_{\text{sausos oro}}$$

čia x_1 - absoliutinis oro drėgnumas įtekant į džiovyklę, $\text{kg}_{\text{drėgmės}}/\text{kg}_{\text{sausos oro}}$; φ_1 - santykinis oro drėgnis įtekant, %; p_s - sočiųjų vandens garų slėgis esant T_1 temperatūrai, Pa; P - atmosferos slėgis, Pa.

$$x_2 = 0,622 \cdot \frac{\varphi_2 \cdot p_s}{P - \varphi_2 \cdot p_s} = \frac{0,8 \cdot 12,349}{101325 - 0,8 \cdot 12,349} = 0,0672 \text{ kg}_{\text{drėgmės}}/\text{kg}_{\text{sausos oro}}$$

čia x_2 - absoliutinis oro drėgnumas ištekant iš džiovyklės, $\text{kg}_{\text{drėgmės}}/\text{kg}_{\text{sausos oro}}$; φ_2 - santykinis oro drėgnis ištekant, %; p_s - sočiųjų vandens garų slėgis esant T_2 temperatūrai, Pa; P - atmosferos slėgis, Pa.

Galiausiai apskaičiuojamos sauso oro sąnaudos vieno ciklo metu.

$$L = \frac{W}{x_2 - x_1} = \frac{10,421}{0,0672 - 0,00874} = 178,3 \text{ kg}$$

čia L - sauso oro sąnaudos vieno džiovavimo ciklo metu, kg; W - per ciklą pašalinama drėgmės masė, kg; x_1 - absoliutinis oro drėgnumas įtekant į džiovyklę, $\text{kg}_{\text{drėgmės}}/\text{kg}_{\text{sausos oro}}$; x_2 - absoliutinis oro drėgnumas ištekant iš džiovyklės, $\text{kg}_{\text{drėgmės}}/\text{kg}_{\text{sausos oro}}$.

Taip pat apskaičiuojamos drėgno oro entalpijos, kad būtų galima įvertinti šilumos sąnaudas.

$$h_1 = (c_o + c_g \cdot x_1) \cdot t_1 + r_0 \cdot x_1 = (1,01 + 1,97 \cdot 0,00874) \cdot 20 + 2493 \cdot 0,00874 = 43,58 \text{ kJ/kg}_{\text{s,o}}$$

$$h_2 = (c_o + c_g \cdot x_2) \cdot t_2 + r_0 \cdot x_2 = (1,01 + 1,97 \cdot 0,0672) \cdot 50 + 2493 \cdot 0,0672 = 224,6 \text{ kJ/kg}_{\text{s,o}}$$

čia h_1 - drėgno oro entalpija įtekant į džiovyklę, $\text{kJ/kg}_{\text{s,o}}$; h_2 - drėgno oro entalpija ištekant iš džiovyklės, $\text{kJ/kg}_{\text{s,o}}$; c_o - sauso oro savitoji šiluminė talpa, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; c_g - vandens garų savitoji šiluminė talpa, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$; r_0 - vandens garavimo savitoji šiluma 0 °C temperatūroje, kJ/kg ; t_1 - oro temperatūra įtekant į džiovyklę, °C; t_2 - oro temperatūra ištekant iš džiovyklės, °C; x_1 , x_2 - absoliutiniai oro drėgnumai įtekant ir ištekant, $\text{kg}_{\text{drėgmės}}/\text{kg}_{\text{sausos oro}}$.

Apskaičiuojamas šilumos kiekis kurį reikia suteikti vienam džiovavimo ciklui pagal žemiau pateiktą formulę.

$$Q = L \cdot (h_2 - h_1) = 178,3 \cdot (224,6 - 43,58) = 32275,87 \text{ kJ}$$

čia Q - šilumos kiekis, kurį reikia suteikti vienam džiovimo ciklui, kJ; L - sauso oro sąnaudos vieno ciklo metu, kg; h_1 - drėgno oro entalpija įtekant į džiovyklę, kJ/kg_{s.o.}; h_2 - drėgno oro entalpija ištekant iš džiovyklės, kJ/kg_{s.o.}

Norint apskaičiuoti reikiamą oro temperatūrą taikoma tokia formulė:

$$T_1 = T_{\text{aplinkos}} + \frac{h_2 - h_1}{c_o + x_1 \cdot c_g} = 20 \cdot \frac{224,6 - 43,58}{1,01 + 0,00874 \cdot 1,97} = 176,22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Apskaičiuojama reikiama galia vieno ciklo metu bei reikiama galia vieno rulono išdžiovinimui

$$P = \frac{Q}{T_{\text{DŽ}}} = \frac{32275,87}{2,5 \cdot 60} = 215,2 \text{ kW}$$

Kad išdžiovinti vieną ruloną reikia 1075,86 kW arba 8,97 kWh.

3.1.2.5. Technologinio proceso siurbliai

Apskaičiuojami drėkinimo ir plovimo įrangos siurbliai. Kadangi į vieną purkštuką tiekama 15,81 l/min, tai į 90 – 1422,9 l/min. Vamzdynas, kuriuo tiekama yra DN100. Kiti reikalingi duomenys pateikiami 14 lentelėje.

14 lentelė. Tiekiamo srauto parametrai

Bendrieji rodikliai	
Srauto tankis ρ , kg/m ³	937,22
Laisvojo kritimo pagreitis g , m/s ²	9,81
Vamzdyno skersmuo d , m	0,1
Srauto vidutinis tekėjimo greitis v , m/s	3,02
Srauto pradžia	Srauto pabaiga
$z_1 = 0$ m	$z_2 = 9,3$ m
$P_1 = 101325$ Pa	$P_2 = 500000$ Pa

Naudojantis 14 lentelės duomenimis ir pagal žemiau pateiktą formulę, taip pat priimant 15 % susidarančių nuostolių yra paskaičiuojama reikiamas siurblio pakėlimo aukštis.

$$H = \left(\frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g} + z \right)_2 - \left(\frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g} + z \right)_1 = 52,66 \text{ m}$$

čia P_1, P_2 – slėgiai srauto pradžioje ir pabaigoje, Pa; ρ – skysčio tankis, kg/m³; g – laisvojo kritimo pagreitis, m/s²; v – srauto greitis, m/s; z_1, z_2 – srauto pradžios ir pabaigos aukščiai, m.

Pridėjus 15 % gaunamas reikalingas pakėlimo aukštis yra 60,6 m.

Apskaičiuojama vieno siurblio variklio galia:

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot V \cdot H}{\eta_s \cdot \eta_v} = 18276,39 \text{ W} = 18,3 \text{ kW}$$

čia ρ – skysčio tankis, kg/m³; g – laisvojo kritimo pagreitis, m/s²; V – skysčio debitas, m³/s; H – siurblio pakėlimo aukštis, m; η_s – siurblio naudingumo koeficientas (85 %); η_v – variklio naudingumo koeficientas (85 %).

Kadangi siurblys dirba 1 valandą tai gaunasi 18,3 kWh

Visoje gamybos linijoje statomi vienodi siurbliai taigi iš viso yra 10 siurblių, kurie bendrai sunaudoja 183 kWh.

3.1.2.6. Technologinio proceso sąnaudos metinėje apyvartoje.

Apskaičiuojama vieno darbo ciklo trukmė kurio metu lygiagrečiai modifikuojami 2 vnt. grafito veltinio rulonų, vertės pateikiamos 15 lentelėje. Projektuojamoje gamykloje yra dvi analogiškos linijos, todėl vieno proceso ciklo metu iš viso gali būti modifikuoti 4 vnt. grafito veltinio rulonai.

15 lentelė. Vieno proceso ciklo trukmė

Drėkinimo proceso trukmė, T_D , min	Plovimo proceso trukmė, T_P , min	Elektrocheminio nusodinimo proceso trukmė T_E , min	Džiovinimo proceso trukmė, T_D , min	Grafito rulonų perkabinimo į kita ciklą trukmė T_{EKS} , min	Visas užtrunkamas laikas, T , min
60	12,5	434,12	25	25	556,62

Siekiant apskaičiuoti metinę apyvartą pirmiausiai įvertinamas GV plotas, kurį galima apdirbti per vieną darbo dieną, per metus. Skaičiavimams naudojama gamybos darbo režimo informacija, kuri yra pateikta 3 lentelėje.

Kadangi vieno rulono plotas yra 120 m², o per vieno proceso ciklą galima apdirbti juos 4, tai iš vis apdirbamas plotas yra 480 m².

Per vieną darbo dieną:

$$S_{d.d.ap} = \frac{P \cdot PT}{T} \cdot S_{ap} = \frac{2 \cdot 8}{9,28} \cdot 480 = 827,853 \text{ m}^2$$

čia $S_{d.d.ap}$ - per vieną darbo dieną apdirbamas plotas, m²; P - pamainų skaičius per dieną; PT - pamainos trukmė, h; T - vieno proceso ciklo trukmė, h; S_{ap} - per vieną ciklą apdirbamas plotas, m².

Todėl per metus apdirbamas GV plotas apskaičiuojamas kaip pateikta žemiau.

$$S_{m.ap} = S_{d.d.ap} \cdot DDS = 827,853 \cdot 251 = 207791,24 \text{ m}^2$$

čia $S_{m.ap}$ - per metus apdirbamas plotas, m²; $S_{d.d.ap}$ - per vieną darbo dieną apdirbamas plotas, m²; DDS - darbo dienų skaičius per metus.

Įvertinant 5 % nuostolius, gaunamas GV plotas yra 197401,68 m². Tai sudaro 1645 grafito veltinio rulonus po 120 m²

Tuomet pagal modifikuotą medžiagos kiekį atitinkamai įvertinamos sunaudojamų žaliavų masė/tūris, neatsižvelgiant į tirpalų recirkuliaciją, o vertinant maksimalias galimas sąnaudas. Duomenys pateikiama lentelėje (16).

16 lentelė. Medžiagų balansas

Medžiaga	Vieno ciklo sunaudos (240 m ²) modifikuoti	Vienos darbo dienos sąnaudos	Metinės sąnaudos	Nusodinta MnO ₂ masė
KMnO ₄	2,194 t	15,14 t	3609,61 t ²	3,82 t

² Apskaičiuojama visos gamyklos sąnaudos, esant 4 elektrolizeriams, ir įvertinus 5% nuostolius per metus

2-propanolis	38,42 m ³	132,52 m ³	31599,32 m ³³	
H ₂ O ⁴	328,06 m ³	1192,95 m ³	284458,04 m ³	

Sunaudojamas energijos kiekis per metus pagal atitinkamą procesą pateikiamas 17 lentelėje.

17 lentelė. Energetinės technologinio proceso sąnaudos

Drėkinimas		Plovimas		Elektrolizė		Džiovinimas		SiurbLIAI	
Per darbo dieną, kWh	Per metus, kWh	Per darbo dieną, kWh	Per metus, kWh	Per pdarbo dieną, kWh	Per metus, kWh	Per darbo dieną, kWh	Per metus, kWh	Per darbo dieną, kWh	Per metus, kWh
65,1 ⁵	16337,1	70,4 ⁶	17670,4	10,32	2587,25	573,79 ⁷	144022,1	2928	734928

3.2. Statybiniai sprendimai

2-4 prieduose yra pateikiami sklypo plano, gamybos patalpų išdėstymo ir technologinės linijos pjūvio brėžiniai.

3.2.1. Bendrieji duomenys

Projektuojama gamykla, kurios pagrindinė veikla yra grafito veltinio modifikavimas, naudojant KMnO₄ tirpalą, elektrocheminio nusodinimo metodu. Technologinį procesą sudaro naudojamų tirpalų paruošimas, drėkinimo, plovimo elektrocheminio nusodinimo ir džiovinimo ir pakavimo etapai.

Įmonė statoma ant sklypo, kurio reljefas lygus ir neturi ryškesnių paaukštėjimų, nutolusio nuo Kauno per 20 km, Šašių gatvėje. Iki sklypo yra atvesta 10 kV elektros linija. Sklypas ribojasi su magistrale, todėl lengvai pasiekiamas sunkiojo transporto. Sklypas nepatenka į saugomas teritorijas, todėl specialieji paveldosaugos reikalavimai netaikomi.

Projektuojamas gamyklos pastatas turės tris pagrindines dalis:

- Gamybos korpusas
- Laboratorijos korpusas
- Administracinis korpusas

18 lentelė. Bendrieji statinio rodikliai

Pavadinimas	Dydis	Matavimo vienetai	Pastabos
Sklypas			
Sklypo plotas	39434	m ²	
Sklypo užstatymo plotas	9328,32	m ²	

³ Apskaičiuojama visos gamyklos reikalaujančias, sąnaudas, t.y., dviejų lygiagrečių linijų ir įvertinus 5 % nuostolių per metus.

⁴ Apskaičiuojamas sumuojant visuose procesuose kuomet ruošiami tirpalai, vyksta praplovimai sąnaudos.

⁵ Drėkinime dirba taip pat 2 volai ir kiekviena linija turi po 3 įrenginius, yra 2 linijos.

⁶ Įvertinama jog plovimo aparatų yra 4 apimant 2 linijas, kurie turi po 2 identiškus velenus. 1 variklis reikalauja 8,8 kWh.

⁷ Džiovinimas sudarytas iš 2 džiovyklų linijoje, yra 2 linijos.

Pastatas: Gamykla			
Pastato bendras plotas	9004,06	m ²	
Pastato pagrindinis plotas	8248,57	m ²	
Pastato pagalbinis plotas	755,49	m ²	
Pastato tūris	128238,39	m ³	
Aukštų skaičius	1	vnt.	
Pastato aukštis	15,9	m	
Kiti statiniai: Automobilių stovėjimo aikštelė			
Plotas	3085,90	m ²	

3.2.2. Sklypas

3.2.2.1. Esami statiniai ir inžineriniai tinklai

Sklype nėra esamų statinių.

Per sklypo apatinę kairią kampą praeina ESO elektros tinklų linija, taip pat apačioje sklypo 1509 m² užima SŽNS vandens telkinių apsaugos zonos ir juostos.

3.2.2.2. Susisiekimo komunikacijos

Į sklypą pasinaudojus esamomis nuovažomis yra numatomas vienas įvažiavimas. Sklypo viduje automobilių stovėjimo vietos numatomas iš rytinės pusės.

Kadangi bendras darbuotojų skaičius pastate siekia 300, vadovaujantis STR “Gamybos, pramonės ir sandėliavimo sklypų tvarkymas“ numatoma 150 stovėjimo vietų. Kieme numatomo pakrovimo rampos, kiemo plotis projektuojamas atsižvelgiant į vilkikų apsisukimo galimybes. Kieme taip pat numatomos buitinių ir gamybos atliekų konteinerių vietos.

Pagrindinis įėjimas į gamyklos pastatą yra pro rytinės pusės duris.

3.2.2.3. Pastato išdėstymas sklype

Projektuojamas vienas gamybos paskirties pastatą. Pastatas yra nutolęs 95 metrus nuo gatvės pusės sklypo ribos dėl esamų apsaugos zonų.

3.2.3. Architektūriniai sprendimai

Pastatas projektuojamas stačiakampės formos. Jis turi pagrindinį gamybos korpusą bei administracijos ir laboratorijos korpusus. Pagrindiniai įėjimai į šias dalis numatomi iš rytinės pusės. Visas pastatas yra vieno aukšto.

Gamybos korpuso zoną sudaro žaliavų sandėliavimas, gamybos linijos, kompresorinės patalpos, techninės patalpos, operatorinė bei galutinės produkcijos sandėlis. Laboratorijos zoną sudaro laboratorijų patalpos ir kabinetai – rytinėje pastato dalyje.

Pagrindinės techninės patalpos numatomos šiaurinėje pusėje, taip užtikrinant patogų pajungimą prie gatvėje praeinančių tinklų.

3.2.4. Konstrukciniai sprendimai

Administraciniam korpusui naudojamos surenkamos g/b konstrukcijos – perdangos ir sienos, o taip pat surenkamo trisluoksnio betono fasadai.

Gamybos dalyje numatomos g/b kolonos, metalinės stogo konstrukcijos su profpaklotu, o sienoms *sandwich paneliai*.

Prie pastato projektuojami gaisrinių automobilių privažiavimas ne siauresniais kaip 3,5 m ir ne žemesniais kaip 4,5 m keliais.

3.3. Finansai ir ekonomika

Elektrochemiškai MnO₂ modifikuoto grafito veltinio gamybos inovacinis projektas skirtas funkcinių elektrodinių medžiagų rinkai, kuri intensyviai auga dėl plečiamos elektrocheminių energijos kaupimo sistemų, vandens valymo ir aplinkosaugos technologijų paklausos. Pagrindiniai konkurentai tarptautinėje rinkoje yra *SGL Carbon* (Vokietija), *Toray Industries* (Japonija) ir *Morgan Advanced Materials* (JK). Šie gamintojai siūlo grafito elektrodus bei anglies pluošto produktus nuo 55 iki 80 EUR/m². Siūlomo produkto pranašumas – elektrosintezės būdu suformuotas MnO₂ paviršiaus sluoksnis, kuris pagerina elektrocheminį aktyvumą ir leidžia pasiekti aukštesnę kainą bei diferencijuotą padėtį rinkoje.

Inovacijos diegimo aplinkos analizė rodo, kad Europos Sąjungos tvariosios energetikos ir žaliosios chemijos politika (*REPowerEU, Green Deal*) skatina funkcinių medžiagų paklausą. Numatomos investicijos atitinka inovaciniu projektu pagrindžiamo produkto gyvavimo ciklo brandos ir augimo stadijų reikalavimus penkerių metų laikotarpiu.

3.3.1. Projekto investicijos ir jų finansavimo šaltiniai

Projekto investicijų poreikis susideda iš ilgalaikio turto įsigijimo sąnaudų ir trumpalaikio, t.y. apyvartinio kapitalo įsigijimo sąnaudų. Finansavimui naudojamos dvi priemonės: nuosavos lėšos (52 %) ir banko ilgalaikė paskola (48%) 4,5 % palūkanų norma, gražinama per 5 metus.

19 lentelė. Projekto finansavimo poreikis ir šaltiniai

Investicijų objektas	Suma, eur	Finansavimo šaltinis	Suma, eur
Žemės sklypas ⁸	394 340	Nuosavos lėšos	3 710 674
Pastatas ir inžinerinės sistemos ⁹	4 500 000	Banko paskola	3 425 237
Technologinė įranga ¹⁰	2 000 000		
Kiti ilgalaikiai turto objektai	11 379		
Trumpalaikiam turtui įsigyti	230 192		
Iš viso:	7 135 991	Iš viso:	7 135 991

⁸ Reali pasirinkto sklypo kaina

⁹ Statybos sąnaudos apskaičiuotos remiantis *BIMGATES* Lietuvos statybos kainų duomenų baze.

¹⁰ Kaina grindžiama tiekėjų komerciniais pasiūlymais

3.3.2. Ilgalaikio turto vertės skaičiavimai

Ilgalaikio turto vertė nustatyta remiantis *BIMGATES* kainų duomenų baze ir technologinės įrangos komerciniais pasiūlymais.

20 lentelė. Ilgalaikio turto vertė

Eil. Nr.	Pastato ir įrengimo pavadinimas	Vertė, tūkst. eur
1.	Gamybiniai pastatai	4 500
2.	Žemės sklypas	394
3.	Darbo mašinos ir įrengimai (elektrolizės linijos, džiovavimo įrenginiai)	1 800
4.	Kėlimo ir transporto priemonės	200
5.	Kiti įrengimai, įranga	11
	Viso	$\Sigma = 6\,906$

3.3.3. Trumpalaikio turto vertės skaičiavimai

Apyvartinio kapitalo/lėšų poreikį pirmaisiais projekto gyvavimo metais galima nustatyti apytiksliai, remiantis formule:

$$AL_1 = B_{GKI} / 360 \times n_{ap}$$

čia n_{ap} - apyvartos trukmė, dienomis; B_{GKI} – 1-ųjų metų gamybos kaštai, tūkst. Eur.

Pagal formulę apskaičiuojamas apyvartinių lėšų poreikis kiekvieniems kitiems projekto metams, naudojant atitinkamų metų gamybos kaštus.

Apyvartinių lėšų papildomas poreikis tam tikrais metais nustatomas pagal formulę:

$$\Delta AL_i = AL_1 - AL_{i-1}$$

21 lentelė. Trumpalaikio turto poreikis

Rodiklis	0 m. ¹¹	1 m.	2 m.	3 m.	4 m.	5 m.
Gamybos kaštai, EUR	—	6 138 448	8 586 435	10 055 228	10 055 228	10 055 228
Apyvartos trukmė (nap), d.		45	45	45	45	45
Apyvartinis kapitalas (AL), EUR		767 306	1 073 304	1 256 904	1 256 904	1 256 904
Papildomas poreikis (ΔAL), EUR	230 192	537 114	305 998	183 600	0	0

3.3.4. Produkcijos gamybos apimties planavimas

Gamybos apimtys planuojamos pagal inovacijos gyvavimo ciklo principą. Pirmaisiais metais panaudojama 60% pajėgumo (rinkos įėjimo etapas), antraisiais – 85 %, nuo trečiųjų metų pasiekiamas

¹¹ 0 metais formuojama 30% pirmų metų apyvartinių lėšų sumos (papildomas kapitalas paleisties etapui)

pilnas 100 % pajėgumų lygis. Maksimalus metinis pajėgumas – 197401,68 m²/ metus (2 gamybinės linijos, 2 pamainos po 8 valandas, 251 darbo diena).

22 lentelė. Produkcijos gamybos apimties planavimas

Rodiklis	1 m.	2 m.	3 m.	4 m.	5 m.
Pajėgumų išnaudojimas, %	60%	85%	85%	100%	100%
Gamybos apimtis, m ²	118 441	167 792	167 792	197 402	197 402
Pardavimo kaina, EUR/m ²	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00
Pardavimų pajamos, EUR	7 698 665	10 906 480	10 906 480	12 831 130	12 831 130

3.3.5. Gamybos kaštų skaičiavimas

Pagal kaštų priskyrimą atskiroms produkcijos rūšims, gamybos kaštai skirstomi į tiesioginius ir netiesioginius kaštus. Pagal kaštų priklausomybę nuo gamybos apimties kitimo gamybos kaštai skirstomi į pastoviuosius (sąlyginai pastovūs) ir kintamus (proporcinguosius) kaštus.

3.3.5.1. Tiesioginiai gamybos kaštų skaičiavimai

23 lentelė. Išlaidos pagrindinėms medžiagoms ir žaliavoms

Medžiagos pavadinimas	Gamybos planas, m ²	Sunaudojimo norma, vnt./m ²	Medžiagos kaina, eur/vnt.	Poreikis, vnt.	EUR/m ²	Viso, tūkst. eur
1 metai						
KMnO ₄	118 441	0,002743	3 500,00	324,88	9,60	1 137
2-Propanolis	118 441	0,006303	1 500,00	746,53	9,45	1 119
Pramoninis vanduo	118 441	1,441013	0,90	170 675,02	1,30	154
Grafito veltinis (pagrindas)	118 441	0,001100	15 000,00	130,29	16,50	1 954
Iš viso	118 441	—	—	—	—	∑ = 4 364
Brandos metai (2, 3 metai)						
KMnO ₄	167 792	0,002743	3 500,00	460,25	9,60	1 611
2-Propanolis	167 792	0,006303	1 500,00	1 057,59	9,45	1 586
Pramoninis vanduo	167 792	1,441013	0,90	241 790,45	1,30	218
Grafito veltinis (pagrindas)	167 792	0,001100	15 000,00	184,57	16,50	2 769
Iš viso	167 792	—	—	—	—	∑ = 6 184
4 metai						
KMnO ₄	197 402	0,002743	3 500,00	541,47	9,60	1 895
2-Propanolis	197 402	0,006303	1 500,00	1 244,22	9,45	1 865
Pramoninis vanduo	197 402	1,441013	0,90	284 458,85	1,30	257
Grafito veltinis (pagrindas)	197 402	0,001100	15 000,00	217,14	16,50	3 257
Iš viso	197 402	—	—	—	—	∑ = 7 274

5 metai						
KMnO ₄	197 402	0,002743	3 500,00	541,47	9,60	1 895
2-Propanolis	197 402	0,006303	1 500,00	1 244,22	9,45	1 865
Pramoninis vanduo	197 402	1,441013	0,90	284 458,85	1,30	257
Grafito veltinis (pagrindas)	197 402	0,001100	15 000,00	217,14	16,50	3 257
Iš viso	197 402	—	—	—	—	Σ = 7 274

24 lentelė. Tiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui

Gaminiai	Gamybos apimtis, m ²	Darbo imlumas, nh/m ²	Valandinis atlyg., eur/nh	Programos darbo imlumas, nh	DU pagrind., tūkst. eur	DU papild., tūkst. eur	DU bendras, tūkst. eur	Atskaitymai SoDra ¹² , tūkst. eur
1 metai								
Elektroch. MnO ₂ grafito veltinis	118 441	0.402	5.68	47 613	270	—	270	5
Iš viso	118 441	0.402	5.68	47 613	270	—	270	5
Brandos metai (2, 3 metai)								
Elektroch. MnO ₂ grafito veltinis	167 792	0.402	5.68	67 452	383	—	383	7
Iš viso	167 792	0.402	5.68	67 452	383	—	383	7
4 metai								
Elektroch. MnO ₂ grafito veltinis	197 402	0.402	5.68	79 356	451	—	451	8
Iš viso	197 402	0.402	5.68	79 356	451	—	451	8
5 metai								
Elektroch. MnO ₂ grafito veltinis	197 402	0.402	5.68	79 356	451	—	451	8
Iš viso	197 402	0.402	5.68	79 356	451	—	451	8

25 lentelė. Tiesioginės išlaidos elektros energijai

Variklių suminis galingumas, kW	Panaudojimo koef.	Metinis efektyvus darbo laikas, h	Elektros poreikis, kWh (4=1×2×3)	1 kWh kaina, eur	Išlaidos, tūkst. eur (6=4×5)
1 metai: 60 kW	0,75	2 410	108 450	0,18	20

¹² Darbdavio atskaitymai SoDra – 1,77 % nuo DU

Brandos metai (2, 3 metai): 60 kW	0,75	3 414	153 630	0,18	28
4 metai: 60 kW	0,75	4 016	180 720	0,18	33
5 metai: 60 kW	0,75	4 016	180 720	0,18	33

26 lentelė. Tiesioginės išlaidos šiluminei energijai

Gaminiai	Gamybos apimtis, m ²	Energijos norma, Gkal/m ²	Energijos kaina, eur/Gkal	Poreikis, Gkal	Kaštai, tūkst. eur
1 metai					
MnO ₂ grafito veltinis	118 441	0.000417	52,00	49,4	3
Iš viso	118 441	—	—	49,4	∑ = 3
Brandos metai (2, 3 metai)					
MnO ₂ grafito veltinis	167 792	0.000417	52,00	70,0	4
Iš viso	167 792	—	—	70,0	∑ = 4
4 metai					
MnO ₂ grafito veltinis	197 402	0.000417	52,00	82,3	4
Iš viso	197 402	—	—	82,3	∑ = 4
5 metai					
MnO ₂ grafito veltinis	197 402	0.000417	52,00	82,3	4
Iš viso	197 402	—	—	82,3	∑ = 4

3.3.5.2. Netiesioginių gamybos kaštų skaičiavimai

Prie netiesioginių gamybos išlaidų priskiriamos tiesiogiai su gamyba nesusijusios, bet sudarančios sąlygas gamybai (cechų meistrų, viršininkų, kontrolierių, sandėlininkų, valytojų ir kt. darbuotojų darbo užmokestis), darbo medžiagų, energijos ir amortizacijos (nusidėvėjimo) išlaidos.

27 lentelė. Netiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui

Projekto gyvavimo metai	Profesijos pavadinimas	Darbuotojų sk.	Mėnesio alga, eur/mėn.	DU per metus, tūkst. eur	Atskaitymai SoDra, tūkst. eur (1,77%)
Brandos studija (2, 3 metai)	Pagalbiniai darbininkai:				
	Technologas	2	3 200	76,80	1,36
	Kokybės specialistas	2	2 800	67,20	1,19
	Inžinierius (TP priežiūra)	2	2 600	62,40	1,10
	Vadovai, specialistai ir techniniai vykdytojai:				
	Gamybos vadovas	1	4 500	54,00	0,96
2m.	Iš viso:	7		260,40	4,61
Pirmieji metai	Pagalbiniai darbininkai:				

	Technologas	2	3 040	72,96	1,29
	Kokybės specialistas	2	2 660	63,84	1,13
	Inžinierius (TP priežiūra)	2	2 470	59,28	1,05
	Vadovai, specialistai ir techniniai vykdytojai:				
	Gamybos vadovas	1	4 275	51,30	0,91
1m.	Iš viso:	7		247,38	4,38
Ketvirtį metai	Pagalbiniai darbininkai:				
	Technologas	2	3 360	80,64	1,43
	Kokybės specialistas	2	2 940	70,56	1,25
	Inžinierius (TP priežiūra)	2	2 730	65,52	1,16
	Vadovai, specialistai ir techniniai vykdytojai:				
	Gamybos vadovas	1	4 725	56,70	1,00
4m.	Iš viso:	7		273,42	4,84
Penktį metai	Pagalbiniai darbininkai:				
	Technologas	2	3 520	84,48	1,50
	Kokybės specialistas	2	3 080	73,92	1,21
	Inžinierius (TP priežiūra)	2	2 860	68,64	1,21
	Vadovai, specialistai ir techniniai vykdytojai:				
	Gamybos vadovas	1	4 950	59,40	1,05
5m.	Iš viso:	7		286,44	5,07

Į netiesiogines išlaidas energijai įtraukiamos išlaidos vandeniui (buičiai), apšildymui ir apšvietimui. Eksploatacinės išlaidos sudaro 10 - 20 % nuo atitinkamų bendrų išlaidų. Vandens sunaudojimą per parą 50 l vienam darbuotojui. Daroma prielaidam, kad išlaidos vandeniui kasmet tos pačios.

28 lentelė. Netiesioginės išlaidos vandeniui

Išlaidų pavadinimas	Sunaudojimas per parą, l/1 darb.	Poreikis metams, m ³ (3=1×2×251/1000)	1 m ³ vandens kaina, eur	Išlaidos, tūkst. eur (5=3×4)
Šaltam vandeniui (sanitarinės reikmės)	50	389	0,90	0,35
Viso:		389		0,35
Eksploatacinės išlaidos (15% nuo vandens sąnaudų)	—	—	—	0,05
Iš viso:	—	—	—	0,4

29 lentelė. Netiesioginės išlaidos gamybinių patalpų šildymui

Projekto metai	Šiluminės energijos poreikis, Gkal	Kaina, eur/Gkal	Išlaidos šildymui, tūkst. eur	Eksploatacinės išlaidos, tūkst. eur (5=4×15%)	Viso išlaidų, tūkst. eur (6=4+5)
1	206,4	52,00	11	2	12

2	206,4	52,00	11	2	12
3	206,4	52,00	11	2	12
4	206,4	52,00	11	2	12
5	206,4	52,00	11	2	12

30 lentelė. Netiesioginės išlaidos apšvietimui

Proj. metai	Patalpų plotas, m ²	Apšviet. norma, W/m ²	Energija apšvietimui, kWh (4=2×3×darbo val.)	1 kWh kaina, eur	Išlaidos apšviet., tūkst. eur (6=4×5)	Ekspluat. išlaidos, tūkst. eur (7=6×15%)	Viso, tūkst. eur (8=6+7)
1	3 000	10	120 480	0,18	22	3	25
2	3 000	10	120 480	0,18	22	3	25
3	3 000	10	120 480	0,18	22	3	25
4	3 000	10	120 480	0,18	22	3	25
5	3 000	10	120 480	0,18	22	3	25

Projekte taikomas tiesinis pagrindinių priemonių nusidėvėjimo apskaičiavimo metodas. Šiuo atveju metinė nusidėvėjimo suma apskaičiuojama, remiantis pagrindinių priemonių eksploatavimo trukme.

$$N = \frac{V_1 - V_2}{T}$$

čia N – metinė nusidėvėjimo vertė, Eur; V_1 – turto pradinė vertė, Eur; V_2 – turto likvidacinė vertė, Eur; T – normatyvinė pagrindinių priemonių eksploatavimo trukmė, metai.

Pagrindinių priemonių amortizacinius atskaitymus skaičiuojame atskirai gamybiniais cechams ir administracijai bei kitiems negamybiniais įmonės padaliniais, nes šios sumos, apskaičiuojant netiesiogines išlaidas, įtraukiamos į skirtingas sąmatas

31 lentelė. Ilgalaikio turto nusidėvėjimas

Ilgalaikio turto rūšis	Įsigijimo vertė, tūkst. EUR	Normatyvinė eksploatavimo trukmė, m.	1	2	3	4	5	Likutinė vertė po 5 m., tūkst. EUR
1. Gamybiniai pastatai	4 500	50	81	81	81	81	81	4 095
2. Žemės sklypas (nedeginama)	394	—	—	—	—	—	—	394
3. Vertingas inventorius	—	—	—	—	—	—	—	—
4. Darbo mašinos ir įrengimai	1 800	10	162	162	162	162	162	990
5. Kėlimo ir transporto priemonės	200	10	18	18	18	18	18	110
6. Kiti įrengimai, įranga	11	5	2	2	2	2	2	—
Viso:	6 906		263	263	263	263	263	5 589

32 lentelė. Netiesioginių gamybos išlaidų sąmata

Išlaidų rūšys	1	2	3	4	5
---------------	---	---	---	---	---

Pagalbinės medžiagos įrengimų ir patalpų priežiūrai	45	45	45	45	45
Darbo užmokestis (pagalbiniai darb. ir cecho administracija)	247	260	260	273	286
Atskaitymai VSD, GF ir IDIF (SoDra 1,77%)	4	5	5	5	5
Elektros energija (apšvietimui) su eksploatacinėmis	25	25	25	25	25
Vanduo (buičiai) su eksploatacinėmis	0	0	0	0	0
Šiluminė energija (šildymui) su eksploatacinėmis	12	12	12	12	12
Amortizaciniai atskaitymai	263	263	263	263	263
Pagalbinių ir aptarnaujančių tarnybų paslaugos:					
Įrengimų remontas	30	30	30	30	30
Vidaus transporto remontas	5	5	5	5	5
Gamybinių cechų pastatų remontas	20	20	20	20	20
Kitos išlaidos	10	10	10	10	10
Iš viso:	663	676	676	689	702

33 lentelė. Gamybos kaštai

Kaštų rūšys (komponentai)	Gaminio kaštai, tūkst. Eur	Viso, tūkst. Eur
Brandos stadijoje (2, 3 metai)		
1. Pagrindinės medžiagos	6 184	6 184
2. Energija (šiluminė, elektros) technologijai	32	32
3. Gamybinių darbininkų (pagrindinių) DU	383	383
4. Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	7	7
5. Gamybinės netiesioginės išlaidos	676	676
Viso gamybos kaštų, tūkst. EUR	$\Sigma = 7\,282$	$\Sigma = 7\,282$
Produkcijos gamybos planas, m ²	167 792	—
Gaminio gamybinė savikaina, EUR/m ²	43.40	—
Pirmaisiais projekto gyvavimo metais		
1. Pagrindinės medžiagos	4 364	4 364
2. Energija (šiluminė, elektros) technologijai	23	23
3. Gamybinių darbininkų (pagrindinių) DU	270	270
4. Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	5	5
5. Gamybinės netiesioginės išlaidos	663	663
Viso gamybos kaštų, tūkst. EUR	$\Sigma = 5\,325$	$\Sigma = 5\,325$
Produkcijos gamybos planas, m ²	118 441	—
Gaminio gamybinė savikaina, EUR/m ²	44.96	—
4-siais projekto gyvavimo metais		
1. Pagrindinės medžiagos	7 274	7 274
2. Energija (šiluminė, elektros) technologijai	37	37
3. Gamybinių darbininkų (pagrindinių) DU	451	451
4. Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	8	8

5. Gamybinės netiesioginės išlaidos	689	689
Viso gamybos kaštų, tūkst. EUR	$\Sigma = 8\,459$	$\Sigma = 8\,459$
Produkcijos gamybos planas, m ²	197 402	—
Gaminio gamybinė savikaina, EUR/m ²	42.85	—
5-siais projekto gyvavimo metais		
1. Pagrindinės medžiagos	7 274	7 274
2. Energija (šiluminė, elektros) technologijai	37	37
3. Gamybinių darbininkų (pagrindinių) DU	451	451
4. Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	8	8
5. Gamybinės netiesioginės išlaidos	702	702
Viso gamybos kaštų, tūkst. EUR	$\Sigma = 8\,472$	$\Sigma = 8\,472$
Produkcijos gamybos planas, m ²	197 402	—
Gaminio gamybinė savikaina, EUR/m ²	42.92	—

3.3.6. Veiklos kaštai

Veiklos sąnaudos apima pardavimų bei bendrosios administracinės veiklos išlaidas. Daroma prielaida, kad veiklos sąnaudos keičiamos proporcingai gamybos pajėgumų išnaudojimui.

34 lentelė. Veiklos sąnaudos

Išlaidų rūšys	Suma, tūkst. Eur
1. Pardavimų sąnaudos:	
Reklama ir skelbimai	20
Prekių išvežimas	10
2. Bendrosios ir administracinės sąnaudos:	
Pagalbinės medžiagos	3
Administracijos darbuotojų DU	125
Atskaitymai VSD, GF ir IDIF (SoDra 1,77%)	2
Energija (šiluminė ir elektros)	2
Išlaidos vandeniui	0
Amortizaciniai atskaitymai	—
Administracijos transporto remonto ir išlaikymo išlaidos	2
Administracijos pastatų remontas	1
Ryšių paslaugos	4
Komandiruotės	2
Mokesčiai ir rinkliavos	5
Viso:	176

Veiklos sąnaudos yra netiesioginės, pastovios išlaidas, kurias atskiriems gaminiams paskirstome proporcingai jų gamybos kaštų struktūrai.

35 lentelė. Veikos sąnaudų pasiskirstymas

Rodikliai	Viso	Gaminio pavadinimas: MnO ₂ modifikuotas grafito veltinis
Brandos metai (2, 3 metai)		
Gamybos kaštai, %	100	100
Veiklos sąnaudos, tūkst. EUR	150	150
Pardavimo planas, m ²	167 792	167 792
Gaminiui tenkančios veiklos sąnaudos, EUR/m ²	—	0.89
1 metai		
Gamybos kaštai, %	100	100
Veiklos sąnaudos, tūkst. EUR	106	106
Pardavimo planas, m ²	118 441	118 441
Gaminiui tenkančios veiklos sąnaudos, EUR/m ²	—	0.89
4 metai		
Gamybos kaštai, %	100	100
Veiklos sąnaudos, tūkst. EUR	176	176
Pardavimo planas, m ²	197 402	197 402
Gaminiui tenkančios veiklos sąnaudos, EUR/m ²	—	0.89
5 metai		
Gamybos kaštai, %	100	100
Veiklos sąnaudos, tūkst. EUR	176	176
Pardavimo planas, m ²	197 402	197 402
Gaminiui tenkančios veiklos sąnaudos, EUR/m ²	—	0.89

3.3.7. Finansinės veiklos sąnaudos

Paskolos suma 3315 tūkst. Eur (48 % investicijų), metinė palūkanų norma – 4,5 %. Gražinimas linijiniu metodu: vienoda pagrindinė dalis 663 tūkst. Eur kasmet.

36 lentelė. Palūkanų mokėjimo ir paskolos gražinimo planas

Rodiklis	1	2	3	4	5
1. Paskolos suma (likutis m. pradžioje), tūkst. Eur.	3 315	2 652	1 989	1 326	663
2. Metinė palūkanų norma, proc.	4.5%	4.5%	4.5%	4.5%	4.5%
3. Palūkanos, tūkst. Eur.	149	119	89	60	30
4. Paskolos padengimas, tūkst. Eur	663	663	663	663	663

3.3.8. Gaminių kainos skaičiavimai

Gaminių kaina apskaičiuojama pagal formulę:

$$c = sp_i + pel_i$$

čia c – gaminio kaina, Eur ; sp_i – pilnoji savikaina, Eur; pel_i – pelnas.

Pilnoji savikaina:

$$sp_i = sg_i + fv_i + vs_i$$

čia sg_i - gamybinė savikaina, Eur; vs_i - veiklos sąnaudos, Eur; fv_i – finansinės veiklos sąnaudos.

37 lentelė. Gaminio kainos apskaičiavimas

Gaminiai	Gaminio gamyb. savikaina, EUR/m ²	Veiklos sąn./vnt., EUR/m ²	Investic. veiklos sąn./vnt., EUR/m ²	Pilnoji savikaina, EUR/m ²	Pelnas, %	Pelnas, EUR/m ²	Kaina, EUR	Vertė, tūkst. EUR
1 metai								
MnO ₂ grafito veltinis	44.96	0.89	1.26	47.11	38.0%	17.89	65,00	7 699
2 metai								
MnO ₂ grafito veltinis	43.40	0.89	0.71	45.00	44.4%	20.00	65,00	10 906
3 metai								
MnO ₂ grafito veltinis	43.40	0.89	0.53	44.82	45.0%	20.18	65,00	10 906
4 metai								
MnO ₂ grafito veltinis	42.85	0.89	0.30	44.04	47.6%	20.96	65,00	12 831
5 metai								
MnO ₂ grafito veltinis	42.92	0.89	0.15	43.96	47.9%	21.04	65,00	12 831

3.3.9. Projekto pelnas ir grynujų pinigų srautai

Šioje projekto dalyje sudaroma prognostinė pelno (nuostolio) ataskaita ir apskaičiuojami projekto grynieji pinigų srautai.

Įmonės pelno (nuostolio) ataskaita kiekvieniems projekto gyvavimo metams pateikiama 38 lentelėje.

38 lentelė. Įmonės pelno (nuostolio) ataskaita

Rodiklis	1	2	3	4	5
1. Pardavimų pajamos	7 699	10 906	10 906	12 831	12 831
2. Parduodamos produkcijos gamybos kaštai	5 325	7 282	7 282	8 459	8 472
3. Bendras pelnas (nuostolis)	2 374	3 624	3 624	4 372	4 359
4. Veiklos sąnaudos	106	150	150	176	176
5. Veiklos pelnas (nuostolis)	2 268	3 474	3 474	4 196	4 183

6. Finansinė ir investicinė veiklos sąnaudos (palūkanos)	149	119	89	60	30
7. Pelnas (nuostolis) prieš apmokestinimą	2 119	3 355	3 385	4 136	4 153
8. Pelno mokeskis (17%)	360	570	575	703	706
9. Grynasis pelnas (nuostolis)	1 759	2 785	2 810	3 433	3 447

Finansinės būklės pakitimų (pinigų srautų) skaičiavimas Pinigų srautų ataskaitoje (37 lentelė) parodomi per ataskaitinį laikotarpį gauti ir išleisti pinigai. Prognozuojant pinigų srautus atskirai nustatomi pinigų srautai iš įmonės pagrindinės veiklos, pinigų srautai iš finansinės veiklos, pinigų srautai iš investicinės veiklos.

Apskaičiuojant investicijų efektyvumą, įvertinami kiekvieno laikotarpio grynieji pinigų srautai iš įmonės pagrindinė bei finansinės veiklos (skaičiuojama kartu) veiklos ir investicinės veiklos.

39 lentelė. Finansinės būklės pakitimų (pinigų srautų) ataskaita

Eil. Nr.	Rodikliai	0	1	2	3	4	5
I.	Pinigų srautai iš įmonės įprastinės veiklos						
1.1.	Grynasis pelnas (nuostolis)	—	1 759	2 785	2 810	3 433	3 447
1.2.	Nusidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudos	—	263	263	263	263	263
1.3.	Papildomos investicijos į apyvartinį kapitalą	237	553	296	177	2	2
1.4.	Finansinės veiklos sąnaudų eliminavimas	—	812	782	752	723	693
	Grynieji pinigų srautai iš įmonės įprastinės veiklos (1.1+1.2–1.3–1.4)	–237	657	1 970	2 144	2 971	3 015
II.	Pinigų srautai iš investicinės veiklos						
2.1.	Ilgalaikio turto perleidimas (išsigijimas)	–6 906	—	—	—	—	5 589
	Grynieji pinigų srautai iš investicinės veiklos	–6 906	—	—	—	—	5 589
III.	Grynieji metiniai pinigų srautai (I+II)	–7 143	657	1 970	2 144	2 971	8 604

3.3.10. Projekto investicinio efektyvumo vertinimas

Vidutiniai svertiniai kapitalo kaštai – visų projekto investicijų finansavimo šaltinių kainų svertinis vidurkis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$KK = \sum_{i=1}^n w_i \cdot r_i = 0,52 \cdot 12 + 0,48 \cdot 3,735 = 8,03 \%$$

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

Projekte naudojamas skolintas ir nuosavas kapitalas. Nuosavo kapitalo kaina yra kapitalo savininkų pageidaujamas pelningumas. Skolinto kapitalo kaina apskaičiuojama:

$$SKK = (1 - t) \cdot i = (1 - 0,17) \cdot 4,5 = 3,735 \%$$

čia t – pelno mokesčio tarifas, 17 %; i – paskolos palūkanų norma.

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

Projekto metai	Paprasti GPS, metiniai, tūkst. Eur	Paprasti GPS, bendri, tūkst. Eur	Diskontuoti GPS, metiniai, tūkst. Eur	Diskontuoti GPS, bendri, tūkst. Eur
0	-7 143	-7 143	-6 906	-6 906
1	657	-6 486	607	-6 299
2	1 970	-4 516	1 688	-4 611
3	2 144	-2 372	1 701	-2 910
4	2 971	599	2 181	-729
5	8 604	9 203	5 848	5 119

Pagal diskontuotų pinigų srautų skaičiavimus ir pateiktus duomenis lentelėje aukščiau, nustatomi šie ekonominiai parametrai:

- atsipirkimo laikotarpis (T);
- grynoji esamoji vertė (GEV);
- vidinė gražos (pelno) norma (IRR);
- pelningumo indeksas (PI).

3.3.10.1. Atsipirkimo periodo nustatymas

Laikotarpis per kurį diskontuoti projekto grynujų pinigų srautai padengia investiciją vadinamas atsipirkimo periodu T.

Atsipirkimo periodas randamas pagal formulę:

$$T = T_{t-1} - \frac{BGPS_{t-1}}{GPS_t}$$

čia: T_{t-1} – metai prieš visišką išmokų padengimą, $BGPS_{t-1}$ – bendras grynujų pinigų srautas prieš visišką išmokų padengimą, GPS_t – visiško padengimo metų grynas pinigų srautas.

Pagal apskaičiuotas vertes, atsipirkimo periodas yra mažesnis už 5 metus, kurie rodo projekto įgyvendinimo laikotarpį, $T < 5$, tai rodo, jog projektas priimtinas.

3.3.10.2. Grynosios esamosios vertės nustatymas

Sudedant pagal kaštus diskontuotus grynuosius pinigų srautus (GPS), nustatome grynąją esamąją vertę (GEV). GEV – nuo nulinių metų skaičiuojama grynujų pinigų srautų suma.

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

čia n – metai, t – metų skaičius, KK - kapitalo kaina/diskonto norma.

Kai $GPS > 0$, projektas yra atsiperkantis.

3.3.10.3. Vidinės gražos normos (IRR) apskaičiavimas

Vidinė pelno (grąžos) norma (angl. *IRR*) - aprašo diskonto normą, su kuria projekto būsimųjų grynųjų pinigų įplaukų dabartinė vertė yra lygi projekto būsimų išlaidų dabartinei vertei. Vidinės gražos normos išraiška:

$$GEV = 0 = \sum_{t=0}^n \frac{GPS_t}{(1+IRR)^t}$$

3.3.10.4. Pelningumo indekso PI skaičiavimas

Pelningumo indeksas nustatomas kaip diskontuotų įplaukų (teigiamų GPS) sumos santykis su diskontuotų išmokų (neigiamų GPS) suma, įskaitant ir pradinę investicijų sumą („0“ metų GPS)

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n (+)GPS_t}{\sum_{t=1}^n (-)GPS_t}$$

čia (+) *GPS* – diskontuotų teigiamų GPS suma, (-) *GPS* – diskontuotų neigiamų GPS suma.

Apskaičiuotas pelningumo indeksas didesnis už 1 rodo, jog projektas yra atsiperkantis.

41 lentelė. Projekto ekonominio vertinimo rodikliai

Rodikliai	Matavimo vienetai	Reikšmės
Diskontuotas atsipirkimo laikas	metai	4.12
Grynoji esamoji vertė (GEV)	tūkst. Eur	5 119
Vidinė pelno (grąžos) norma (IRR)	%	23.92%
Modifikuota vidinė pelno norma (MIRR)	%	19.89%
Pelningumo indeksas (PI)	koeficientas	1.74

3.3.11. Lūžio taško skaičiavimai

Šioje darbo dalyje apskaičiuojamas lūžio taškas, kuris parodo kiek reikia pagaminti tam tikro produkto kad įmonės veikla būtų pelninga. Lūžio tašku laikomas toks produkcijos ir pardavimų kiekis, su kuriuo bendri kaštai lygūs bendroms projekto pajamoms, įmonės pelningumas yra nulinis. Sudarius projekto lūžio taško grafiką galima numatyti, kokios turi būti gamybos ir pardavimų apimtys, kad veikla taptų pelninga. Lūžio taško gamybos apimtis nustatoma naudojantis 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 pastoviuųjų kaštų suma, Eur; C_j - j-ojo gaminio vieneto kaina, Eur; VKK_j - j-ojo gaminio vidutiniai kintamieji kaštai (gamybinė savikaina), Eur.

42 lentelė. Lūžio taško skaičiavimai

Rodikliai	Gaminio pavadinimas: MnO ₂ modifikuotas grafito veltinis
Pastoviuųjų kaštų suma, priskirta gaminiui, Eur	852000
Gaminio kaina, Eur/m ²	65,00
Gaminio kintamieji kaštai, Eur/m ²	39,33

Lūžio taškas, m ²	33 191
Pardavimų planas brandos metais, m ²	167 792
Kritinis pajėgumų lygis, %	19,8

Projekto balansas parodo kiekvienų projekto metų grynuosius pinigų srautus (GPS) ir būsimuosius GPS, t.y. sukauptus po atitinkamų metų. Projekto balansas pateikiamas 41 lentelėje.

43 lentelė. Projekto balansas

Projekto gyvavimo metai	0	1	2	3	4	5
0	-7 143	-7 143	-7 143	-7 143	-7 143	-7 143
1		657	657	657	657	657
2			1 970	1 970	1 970	1 970
3				2 144	2 144	2 144
4					2 971	2 971
5						8 604
Būsimieji GPS	-7 143	-6 486	-4 516	-2 372	599	9 203

3.3.12. Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai

Suvestinėje lentelėje pateikiami pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai: pajamos, gamybos kaštai, darbo našumas, pelno ir pelno santykiniai rodikliai, grąžos rodikliai ir kt. rodikliai.

$$P_{\text{bendrasis}} = (Pel_{\text{bendrasis}} \cdot 100) / B_{\text{pard}}$$

$$P_{\text{veiklos}} = (Pel_{\text{veiklos}} \cdot 100) / B_{\text{pard}}$$

$$P_{\text{grynasis}} = (Pel_{\text{grynasis}} \cdot 100) / B_{\text{pard}}$$

$$Rg_{\text{investicijų}} = (Pel_{\text{grynasis}} \cdot 100) / (PF + AL)$$

$$Rg_{\text{veiklos}} = (Pel_{\text{grynasis}} \cdot 100) / (GK + VS)$$

$$ROI = (Pel_{\text{grynasis}} / \text{projekto investicijų}) \cdot 100$$

čia $P_{\text{bendrasis}}$ - bendrasis pelningumas; P_{veiklos} - veiklos pelningumas; P_{grynasis} - grynas pelningumas; $Rg_{\text{investicijų}}$ - investicijų grąža (rentabilumas); Rg_{veiklos} - veiklos rentabilumas; $Pel_{\text{bendrasis}}$ - bendrasis pelnas; Pel_{veiklos} - veiklos pelnas; Pel_{grynasis} - grynas pelnas; B_{pard} - pardavimų pajamos; PF ir AL - pagrindinių priemonių ir apyvartinių lėšų vertė; GK ir VS - parduodamos produkcijos gamybos kaštai ir veiklos sąnaudos; ROI - investicijų grąža.

44 lentelė. Projekto finansiniai ekonominiai rodikliai (brandos stadija, 3 m.)

Rodikliai	Reikšmė
1. Produkcijos pardavimo apimtis, m ² (brandos stadijoje):	167 792
2. Pardavimų pajamos, tūkst. EUR	10 906
3. Įmonės personalas, žmonėmis	37

tame skaičiuje darbininkai	24
4. Darbo našumas, tūkst. EUR (darbuotojo)	294.757
Darbo našumas, tūkst. EUR (darbininko)	454.417
5. Vidutinis metinis DU, EUR (darbuotojo)	20 796
Vidutinis metinis DU, EUR (darbininko)	22 800
6. Gamybos kaštai, tūkst. EUR	7 282
7. Gaminio pilnoji savikaina, EUR/m ²	44.82
8. Grynasis pelnas, tūkst. EUR	2 810
9. Investicijų apimtis, tūkst. EUR	6 906
10. Bendrasis pelningumas (BP/pajamos × 100), %	33.2%
11. Veiklos pelningumas (EBIT/pajamos × 100), %	31.9%
12. Grynasis pelningumas (NP/pajamos × 100), %	25.8%
13. Investicijų grąža (ROI = NP/Inv. × 100), %	40.7%
14. Veiklos rentabilumas (NP/(GK+VS) × 100), %	37.8%
15. Apyvartų skaičius per metus	8
16. Apyvartos trukmė, dienomis	45
17. Produkcijos imlumas apyvartinėms lėšoms, EUR/EUR	0.08105
18. Projekto kapitalo kaštai (WA), %	8.03%
19. Diskontuotas atsipirkimo laikotarpis, metais	4.12
20. Projekto grynoji esamoji vertė (GEV), tūkst. EUR	5 119
21. Vidinė grąžos norma (IRR), %	23.92%
22. Modifikuota vidinė grąžos norma (MIRR), %	19.89%
23. Pelningumo indeksas (PI)	1.7363

3.4. Aplinkosauginis vertinimas

Aplinkosauginio vertinimo skyriuje įvertinamas elektrocheminio MnO₂ nusodinimo ant grafito veltinio proceso žaliavų, produktų ir paties technologinio proceso poveikis aplinkai.

3.4.1. Bendrieji duomenys

Elektrocheminio nusodinimo proceso žaliavos yra kalio permanganato (KMnO₄) vandeninis tirpalas, 2-propanolio tirpalas, vanduo ir substratas – grafito veltinis. Įrenginio našumas – 197401,68 m² modifikuoto grafito veltinio per metus (1645 rulonų po 120 m²). Žaliavų charakteristika pateikiama 45 lentelėje ^[38]

45 lentelė. Žaliavų charakteristika

Žaliavos pavadinimas	UN kodas	Suvartojamas žaliavos kiekis, t	Cheminės medžiagos klasifikavimas		
			Kategorija	Pavojaus nuoroda	Pavojingumo frazė
Vanduo	—	345679,6	Nepavojingas	—	—

Kalio permanganatas	1490	4386,47	Pavojinga (GHS03, GHS07, GHS09	H272, H302, H400, H410
Grafito veltinis	—	263,88	Nepavojingas	—	—
2-propanolis	1219	30182,54	Pavojinga	GHS02, GHS07	H225, H319, H336

Technologiniame įrenginyje elektros energija yra naudojama elektrolizerio, siurblių, maišyklių, plovimo, drėkinimo bei dažymo vonių ir džiovyklos darbui, taip pat gamyklos apšvietimui ir buitiniams paslaugoms. Šiluminė energija naudojama tirpalams pašildyti iki proceso temperatūros. Suvartojama energija kinta priklausomai nuo metų laiko ir gamybos našumo. Žaliavų transportavimo, sandėliavimo ir gaminių saugojimo informacija pateikiama 46 lentelėje.

Suminis metinis elektros energijos suvartojimas, įvertinus elektrolizerio (~16 MWh), džiovyklės ventiliatorių ir kaitintuvų (~18 MWh), drėkinimo bei plovimo siurblių ir maišyklių (~6 MWh), apšvietimo, ventiliacijos ir buitinių reikmių (~12 MWh), sudaro apie 52 MWh per metus.

Šiluminė energija reikalinga džiovinimo oras temperatūrai pakelti iki 176 °C. Vieno džiovinimo ciklo metu sunaudojama 32,3 MJ (8,97 kWh) šilumos, todėl metinis šiluminės energijos poreikis sudaro apie 900 GJ (~250 MWh).

46 lentelė. Žaliavų transportavimo ir sandėliavimo planas

Žaliava	Transportavimo būdas	Tiekimo forma	Sandėliuojamas kiekis	Sandėliavimo dažnis	Sandėliavimo tipas
Kalio permanganatas (KMnO ₄)	Sunkusis autotransportas	200 kg plastikiniai būgnai	1 mėnesio poreikis	Perkama 1 kartą per mėnesį	Sausa, vėdinama cheminių medžiagų saugykla, atskirai nuo degių ir organinių medžiagų
2-propanolis	Sunkusis autotransportas (ADR)	200 l metaliniai būgnai	1 mėnesio poreikis	Perkama 1 kartą per mėnesį	Sausa, gerai vėdinama degių medžiagų saugykla, atskirai nuo oksidatorių (KMnO ₄), apsaugota nuo uždegimo šaltinių, žaibo ir statinės elektros
Distiliuotas vanduo	Vidiniu vamzdynu	—	Pagal proceso poreikį	Nuolat	Buferinė vandens talpa
Grafito veltinis	Sunkusis autotransportas	Rulonai (120 m ²)	628 rulonai (po 120 m ²)	Užperkama 1 kartą per ketvirtį	Sausa medžiagų sandėliavimo patalpa

Procese gaminamas produktas – elektrochemiškai MnO₂ modifikuotas grafito veltinis – yra chemiškai stabilus, netirpus vandenyje, nedegus ir nepatenka į CLP reglamento (EB) Nr. 1272/2008 pavojingų medžiagų sąrašą, todėl klasifikuojamas kaip nepavojingas. Pagrindinis aplinkosauginis poveikis

siejamas su žaliavos (KMnO₄, 2-propanolio) saugojimu, panaudoto elektrolito tvarkymu ir technologinio proceso tirpalais.

3.4.2. Atliekų tvarkymas

Atliekos projektuojamo technologinio įrenginio teritorijoje gali susidaryti dėl technologinio proceso, buitinės veiklos, įrenginio priežiūros ir remonto metu.

Dėl buitinės veiklos susidarančios atliekos gali įtraukti: plastiko atliekas, kartono ir popieriaus atliekas, tekstilės atliekas. Visos buitinės atliekos yra surenkamos, sandėliuojamos pagal visus saugumo reikalavimus, rūšiuojamos ir personalo periodiškai išvežamos į atitinkamus surinkimo punktus.

Įrenginio planinių remontų metu, darbuotojams dirbant su statybinėmis medžiagomis, kurios savo sudėtyje turi asbesto, susidaro asbesto atliekos. Asbesto atliekos yra kruopščiai surenkamos, sandėliuojamos ir transportuojamos į atitinkamą statybinių atliekų surinkimo punktą.

Pagrindinė technologinio proceso atlieka – panaudotas KMnO₄ tirpalas (elektrolitas), kuriame likę Mn²⁺/Mn(VII) jonai, bei panaudotas 2-propanolio drėkinimo tirpalas ir su juo užterštos plovimo nuotekos. Ši pavojinga atlieka surenkama į pažymėtas talpas, sandėliuojama uždaroje pavojingų atliekų saugyklose ir perduodama licencijuotam pavojingų atliekų tvarkytojui. Dėl reguliarios siurblių, maišyklių, elektrolizerio ir kitos įrangos priežiūros susidaro įvairių, su vykdoma veikla susijusių atliekų. Jų tvarkymo planas pateikiamas 47 lentelėje ^[39]

47 lentelė. Atliekų suvestinė ir jų tvarkymo planas

Procesas	Atliekos pavadinimas	Kiekis, t/m	Agregatinė būseną	Kodas	Kategorija	Laikymo sąlygos	Tvarkymo būdas, kodas
Elektrocheminis nusodinimas	Panaudotas KMnO ₄ tirpalas	48 626	Skystis	06 03 11	Pavojinga	Hermetiškoje cheminių atliekų talpykloje	D9
Drėkinimas ir plovimas	Alkoholio turinčios atliekos	30 182	Skystis	07 01 04	Pavojinga	Atskira talpykla iki neutralizavimo	R2
Reguliari įrangos priežiūra	Metalo atliekos	N/d	Kieta	12 01 99	Nepavojinga	Sandėliavimo konteineriai	R4
Reguliari įrangos priežiūra	Naudoti tepalai	~1	Skystis	13 02 08	Pavojinga	Naudotų tepalų talpykla	R9
Buitinė veikla	Pakuočių atliekos (popierius, kartonas)	N/d	Kieta	20 01 01	Nepavojinga	Rūšiavimo konteineriai	R3
Buitinė veikla	Plastiko pakuotės	~110	Kieta	20 01 39	Nepavojinga	Rūšiavimo konteineriai	R3
Administracinė veikla	Mišrios komunalinės atliekos	N/d	Kieta	20 03 01	Nepavojinga	Sandėliavimo konteineriai	D1

3.4.3. Nuotekos

Elektrocheminio MnO_2 nusodinimo proceso metu gamybinės nuotekos nesusidaro. Į gamyklos nuotekų tinklą patenka tik buitinės nuotekos iš administracinių ir higienos patalpų, kurios išleidžiamos į miesto nuotekų surinkimo sistemą pagal galiojančias normas. Įrenginio teritorijoje paviršinės (lietaus) nuotekos surenkamos atskira sistema ir prieš išleidžiant į aplinką praleidžiamos per smėlio ir naftos produktų gaudykles.

3.4.4. Fizikinė tarša

Eksploatuojant projektuojamą technologinį įrenginį bus sukeliama fizikinė tarša. Fizikinės taršos šaltinių rūšis apima triukšmą, sukliamą siurblių, maišyklių ir variklių. Fizikinės taršos šaltiniai nurodomi 4.4.3 skyrelio 53 lentelėje

Remiantis Lietuvos higienos normomis, gamyklose maksimali taršos šaltinio sukeliama garso vertė negali viršyti 87 dB. Pastato konstrukcija yra specialiai pritaikoma garso izoliacijai, kad į aplinką išmetama tarša neviršytų nustatytos ribos yra

3.4.5. Biologinė tarša

Projektuojamame technologiniame įrenginyje nėra nustatyta biologinė tarša, susidaranti elektrocheminio MnO_2 nusodinimo ant grafito veltinio proceso metu.

4. Darbuotojų sauga ir sveikata

4.1. Projektuojamojo objekto charakteristika

Šiame skyriuje pateikiama darbuotojų saugos ir sveikatos vertinimas projektuojamajame objekte – elektrochemiškai mangano(IV) oksido modifikuoto grafito veltinio gamykla. Naudojantis Lietuvos Respublikos specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatymo 2 priedu, projektuojamajam objektui nustatoma sanitarinės apsaugos zonos dydis – 500 metrų. Objektas priskirtas prie pagrindinių chemikalų, trašų ir azoto junginių pirminių plastikų ir pirminio sintetinio kaučiuko gamyba pagal vykdomą veiklą. ^[40]

Gamyboje naudojamos kalio permanganato ($KMnO_4$), 2-propanolio (izopropanolio) ir grafito veltinio žaliavos. Pagal jų chemines ir fizikines savybes, kurios pateikiamos lentelėje x bei bendrą darbo pobūdį, gamybos ir sandėliavimo patalpoms priskiriami saugos ir sveikatos apsaugos išėjamieji ženklai (22 -25 paveikslai). ^[41]



22 pav. Toksinė medžiaga



24 pav. Oksiduojančioji medžiaga



26 pav. Atsargiai - elektra



23 pav. Pramoninės transporto priemonės



25 pav. Ėsdinančioji medžiaga

4.2. Profesinės rizikos vertinimas

Žemiau aprašomas profesinės rizikos vertinimas, nustatomi profesinės rizikos veiksniai, turintys galimybę susidaryti darbo metu projektuojamame technologinio proceso įgyvendinime. Šie veiksniai yra įvertinami nustačius tikėtiną riziką, minėtiems veiksniams yra randami sprendimai, kurie sumažina profesinės rizikos tikėtumą iki toleruotinos rizikos, priimtinos rizikos arba visiškai pašalinti riziką sukeltantį veiksni.

Pagal profesinės rizikos vertinimo bendruosius nuostatus, profesinis rizikos vertinimas atliekamas žemiau pateiktais etapais:

- parengiamieji darbai;
- rizikos veiksnių tyrimas, rizikos dydžio nustatymas, sprendimas dėl rizikos priimtimumo priėmimas;
- rizikos pašalinimas arba sumažinimas;

– rizikos stebėjimas.

48 lentelė. Rizikos veiksnių identifikavimas ir įvertinimas

Rizikos veiksnys, keliantis pavojų profesiniai saugai ir sveikatai	Specifikavimas	Rizikos veiksnio atsiradimo ar veikimo vieta	Žalos sveikatai sunkumo vertinimas	Žalos pasireiškimo tikimybės vertinimas	Rizikos dydžio vertinimas	Prevencinių priemonių būtinumas
Cheminis veiksnys	Cheminiai nudegimai, apsinuodijimas	KMnO ₄ sandėliavimo patalpose	Vidutinė	Mažai tikėtina	Vidutinė rizika	Aprūpinama papildomomis apsaugos priemonėmis arba apsauginių rūbų bei pirštinių pakeitimas į chemiškai atsparesnius
Cheminis veiksnys	Gaisro ir sprogo rizika, garų įkvėpimas (galvos svaigimas, narkotinis poveikis), akių dirginimas	2-propanolio sandėliavimo patalpose	Vidutinė	Mažai tikėtina	Vidutinė rizika	Aprūpinama papildomomis apsaugos priemonėmis arba apsauginių rūbų bei pirštinių pakeitimas į chemiškai atsparesnius
Cheminis veiksnys	Kietųjų dalelių įkvėpimas	Grafito veltinio sandėliavimo patalpose	Maža	Mažai tikėtina	Labai maža rizika	Nereikia jokių papildomų veiksmų
Cheminis veiksnys	Cheminių medžiagų naudojamų gamyboje poveikis	Laboratorijos patalpos	Maža	Mažai tikėtina	Labai maža rizika	Nereikia jokių papildomų veiksmų
Fizikinis veiksnys	Triukšmas, apšvietimas	Bendrosios gamybos patalpos	Maža	Mažai tikėtina	Labai maža rizika	Nereikia jokių papildomų veiksmų
Fizikinis veiksnys	Triukšmas	Kompresorinė	Vidutinė	Mažai tikėtina	Vidutinė rizika	Aprūpinama papildomomis apsaugos priemonėmis arba esamų apsauginių ausinių
Fizinis veiksnys	Kėlimo, stūmimo darbai	Sandėliavimo ir bendrosios gamybos patalpos	Maža	Mažai tikėtina	Labai maža rizika	Nereikia jokių papildomų veiksmų
Psichosocialinis veiksnys	Pamaininis darbas	Bendra	Maža	Mažai tikėtina	Labai maža rizika	Nereikia jokių papildomų veiksmų

Ergonominis veiksnys	Sėdimo ar stovimo darbo daromas poveikis	Administracinės ir bendrosios gamybinės patalpos	Maža	Tikėtina	Maža rizika	Nereikia jokių papildomų veiksmų
----------------------	--	--	------	----------	-------------	----------------------------------

49 lentelė. Naudojamų cheminių medžiagų poveikis sveikatai

Cheminė medžiaga	Poveikis sveikatai
KMnO ₄	Kenksmingas akims ir gali sukelti aklumą
2-propanolis	Labai degus skystis (pliūpsnio temperatūra 12 °C); garai gali sudaryti sprogią atmosferą su oru (LEL 2 % tūr.). Dirgina akis (H319), gali sukelti mieguistumą arba galvos svaigimą (H336). Ilgalaikis kontaktas su oda nuriebina ir dirgina.
Vanduo	-
Grafito veltinis	Suvartojimas gali sukelti skrandžio sudirginimą, pykinimą, viduriavimą, vėmimą. pridėjimas prie akių ar įkvėpimas sukelia lengva dirginimą plaučiams ar akims

Pagal cheminių medžiagų toksikologinę informaciją bei bendrą darbo specifiką darbuotojai yra aprūpinami žemiau pateikiamomis apsaugos priemonėmis: [42]

- apsauginis šalmas,
- ausinės, tvirtinamos prie apsauginio šalmo,
- apsauginiai akiniai,
- respiratorius su filtrais,
- pirštines tiek apsaugančios nuo mechaninio poveikio tiek nuo cheminio,
- antistatiniai batai,
- apsauginiai drabužiai.

Be asmeninių apsaugos priemonių taip pat visose gamybinės zonos patalpose įrengiamas reakuperacinis vėdinimas, apsauginiai dušai, akių plovimo stotelės, taip pat įrengiami vaistinėlių stendai.

Toliau įvertinamos medžiagų, naudojamų gamyboje, gaisrinio pavojingumo rodikliai, kurie pateikiami 50 lentelėje.

50 lentelė. Medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliai ir kitos charakteristikos

Cheminė medžiaga	Sunaudojama per darbo dieną	Pavojingumo klasė	Pliūpsnio temperatūra, °C	Sprogumo ribos, °C	Savaiminio užsidegimo temperatūra, °C	Užsidegimo temperatūra, °C	Ribinė medžiagos vertė darbo aplinkoje, mg/m ³
Vanduo ^[43]	1449,69 m ³	0	-	-	-	-	-
KMnO ₄ ^{[44], [45]}	18,4 t	3	-	-	-	240	5
2-propanolis ^[46]	161,04 m ³	3	12 °C	11 - 32	399 °C	12 °C	2
Grafito veltinis ^[47]	1,05 t	2			730		15

Gamyboje naudojamos medžiagos normaliomis sąlygomis yra nedegios ir nesprogios. Avariniu atveju gali išsiskirti vandenilio dujo, kurios gali sprogti susidarius sprogiam mišiniui (IIC kategorija ir T1 temperatūrinė klasė).

Įvertinus medžiagų gaisrinio pavojingumo rodiklius, nustatoma patalpų kategorija pagal sprogo ir gaisro pavojų ir pateikiami 51 lentelėje. ^[48]

51 lentelė. Patalpų kategorijos pagal sprogo ir gaisro pavojų

Klasifikuojamos pavojingos vietos pavadinimas	Požymis nulemiantis kategoriją	Zona pagal sprogos aplinkos susidarymo dažnumą	Kategorija pagal sprogo ir gaisro pavojų
KMnO ₄ sandėliavimo patalpos	Stiprus oksidatorius, elektrostatinė medžiaga	21	Cg
Grafito veltinio sandėliavimo patalpos	Plaušų dalelių susidarymas ore	22	Cg
2-propanolio sandėliavimo patalpos	Labai degus organinis tirpiklis, garai sudaro sprogią atmosferą	1	Asg
Bendros gamybos patalpos	Avarinės situacijos metu susidariusios vandenilio dujos	2	Asg

Įvertinus atskirų pagrindinių patalpų kategorijas nustatoma bendra pastato kategorija pagal sprogo ir gaisro pavojų, kuri yra A_{sg}.

4.3. Saugi gamyba

Šiame poskyryje nagrinėjamo fizinių rizikos veiksnių sukelti pavojai ir numatomos prevencinės priemonės. Išnagrinėjamas gamybos technologinio proceso ir jo įrenginių saugumas, numatomas galimos avarijos ir priemonės joms išvengti.

Elektros įrenginių eksploatavimo patalpos pagal elektros srovės pavojingumą skiriamos į tris pavojingumo klases. ^[49]

- labai pavojinga patalpa;
- pavojinga patalpa;
- normali patalpa;
- sprogi patalpa.

Projektuojamos gamyklos pavojingumo klasės matomos 52 lentelėje

52 lentelė. Patalpų pavojingumo klasės ir elektros žeminimas

Patalpa	Pavojingumo klasė	Požymis dėl kurio priskiriama tokia klasė	Elektros įrenginių žeminimas
KMnO ₄ sandėliavimo patalpa	Pavojinga patalpa	KMnO ₄ dalelės yra elektrostatiškos	Žeminami visi prietaisai nepriklausomai nuo naudojamos įtampos
Bendroji gamyba	Nepavojinga patalpa	-	Visi įrenginiai veikiantis naudojant elektros energiją

2-propanolio tirpalo paruošimo zona	Labai pavojinga patalpa	2-propanolis yra labai degus skystis (pliūpsnio temperatūra 12 °C) ir kaupia statinę elektrą; avarijos atveju jo garai gali sudaryti sprogį atmosferą, taip pat pažeisti elektros įrangos izoliacijas dėl tirpinamojo poveikio.	Visa Ex II 2G klasės įranga įžeminama; metalinės talpyklos ir vamzdynai sujungiami potencialų išlyginimo sistema statinei elektrai nuvesti.
-------------------------------------	-------------------------	---	---

Elektros prietaisai turi automatizuotas apsaugines priemones – elektros grandinių trumpojo jungimo srovių apsauga.

Elektrolizeriui, plovimo ir džiovavimo prietaisams papildomai taikomas apsauginis įžeminimas. Pagal Lietuvos Respublikos statinių apsaugos nuo žaibo įsakymą gamybos pastatui taip pat yra parenkama ir įrengiama žaibolaidžių ėmikių apsauga. ^[50]

Visa įranga, skirta naudoti potencialiai degioje ir sprogioje aplinkoje, turi būti aiškiai, neištrinamai pažymėta ir nurodyta ši būtina informacija: gamintojo pavadinimas ir adresas, CE atitikties žymuo, serija arba tipas, serijos numeris, pagaminimo metai, apsaugos nuo sprogo ženklas.

4.4. Darbo higiena

Šiame poskyryje nagrinėjami cheminiai, biologiniai, fizikiniai rizikos veiksniai. Analizuojami gamybos patalpose esančių rizikos veiksnių dydžiai, poveikio trukmė ir priežastys.

4.4.1. Šiluminė aplinka

Kategorizuojant gamyboje dirbančio operatoriaus darbo specifika, tokio pobūdžio darbą atliekantis personalas yra priskiriamas Ib darbo sunkumo kategorijai. Pagal tai yra parenkamas žemiau nurodytas šiluminis komfortas. ^[51]

53 lentelė. Privalomojo šiluminio komforto palaikymo rodikliai

Metų laikotarpis	Darbų kategorija	Oro temperatūra, °C	Oro judėjimo greitis, m/s ne daugiau kaip
Šaltasis	Lengvas – Ib	21-23	0,1
Šiltasis	Lengvas – Ib	22-24	0,2

4.4.2. Apšvieta

Dirbtinės apšvietos ribinės vertės nustatytos pagal regos darbų reikalavimus, praktinius eksperimentus bei elektros energijos taupymo sumetimais. Rekomenduojamos dirbtinės apšvietos ribinės vertės leidžia gerai matyti darbo objektą bei užtikrinti gerą darbuotojo savijautą. ^[52]

Elektrochemiškai modifikuojamo grafito veltinio gamybos apšvietos ribinės vertės pagal darbo zonas pateikiamos 54 lentelėje.

54 lentelė. Apšvietos ribinės vertės ir vertės esant normaliam darbo režimui skirtingoms darbo zonoms

Darbo zona	Veiklos tipas	Apšvietos ribinės vertės, lx	Apšvietos vertė esant normaliam darbui, lx
Sandėliavimo patalpos	Medžiagų papildymas	50 – 100 - 150	150

Bendrosios gamybos patalpos	Įprastas stebėjimas, procesų priežiūra	200 – 300 - 500	300
Laboratorinės patalpos	Kokybės kontrolė	500 – 750 - 1000	750
Administracinės patalpos	Darbas prie kompiuterio, administracinis darbas	300 – 500 - 750	500

4.4.3. Triukšmas

Šiame skyriuje įvertinamas galimas triukšmo lygis priklausomai nuo naudojamų technologinių įrenginių gamyklos patalpose. Preliminarūs duomenys pateikiami 55 lentelėje.

55 lentelė. Kasdieninio triukšmo lygio ekspozicijos vertės

Technologinis įrenginys	Įrenginių skaičius technologiniame procese, vnt	Vieno įrenginio keliamas triukšmas, dBA
Išcentrinis siurblys	10	75
Kompresorius	3	85
Varikliai	20	75
Maišyklės	2	50

Nustačius triukšmo keliamą riziką, ji yra šalinama arba kiek įmanoma sumažinama. Taikant darbo metodus, leidžiančius sumažinti triukšmo veikimą, iš jų trumpinant darbuotojų, kuriuos veikia triukšmas, darbo laiką ir numatant specialias poilsio pertraukas. Taip pat naudojant kitas darbo priemones, pakeičiant darbo vietų įrengimą ir jose esančių darbo priemonių įrengimą (instaliavimą ir/ar išdėstymą). Įrengiant pagalbinę įrangą, sumažinančią triukšmo veikimą, pavyzdžiui, akustinio triukšmo sumažinimui naudojant skydus, aptvarus, garsą sugeriančias dangas; triukšmas statiniuose sumažinamas garsą slopinant arba izoliuojant. Jeigu triukšmo negalima išvengti darbuotojai aprūpinami klausos priemonėmis, kurios yra pritaikytos konkrečiam darbuotojui ir parenkamos taip, jog klausai keliami rizika būtų sumažinta arba visiškai panaikinta. ^[53]

4.5. Gaisrinė sauga

Šiame skyriuje pateikiami sprendimai gaisrų ir sprogimų prevencijos klausimais. Projektuojant pastatus, būtina parinkti statybines konstrukcijas, priimti planavimo sprendimus, neleidžiančius patalpoje, tarp patalpų, aukštų, gaisrinių skyrių, pastatų susidaryti ir išplisti pavojingiems gaisro veiksniams.

Projektuojant taip pat reikia numatyti žmonių evakuacinius išėjimus iš patalpų. Iš kiek vieno aukšto turi būti ne mažiau kaip du evakuaciniai išėjimai. Koridoriuose, laiptinėse ir ant evakuacijos keliuose esančių durų turi būti evakuacijos kryptį nurodantys ženklai, kurių bent vienas turi būti gerai matomas iš bet kuro evakuacijos kelio taško. Evakuacijos keliai ir išėjimai turi būti neužkrauti, parengti žmonėms evakuoti. Durys evakuaciniuose išėjimuose iš vidaus turi lengvai atsidaryti bet kuriuo paros metu. Kilus gaisrui, naudoti liftus, eskalatorius ir keltuvus žmonėms evakuoti draudžiama. ^{[48]. [54]}

Kadangi projektuojamos gamyklos pastatas yra priskiriamas A_{sg} kategorijai, patalpose privalo būti pakabintos gaisrinės saugos instrukcijos. Gaisrams gesinti yra suteikiamas priešgaisrinis vandentiekis, taip pat numatomos stacionarios gaisrų gesinimo sistemos. Sandėliuose įrengiamos gaisrinės signalizacijos taip pat bendrosiose gamybos patalpose yra įrengti automatiniai oro analizatoriai, nustatantys vandenilio dujų bei 2-propanolio garų esančių patalpoje kieki.

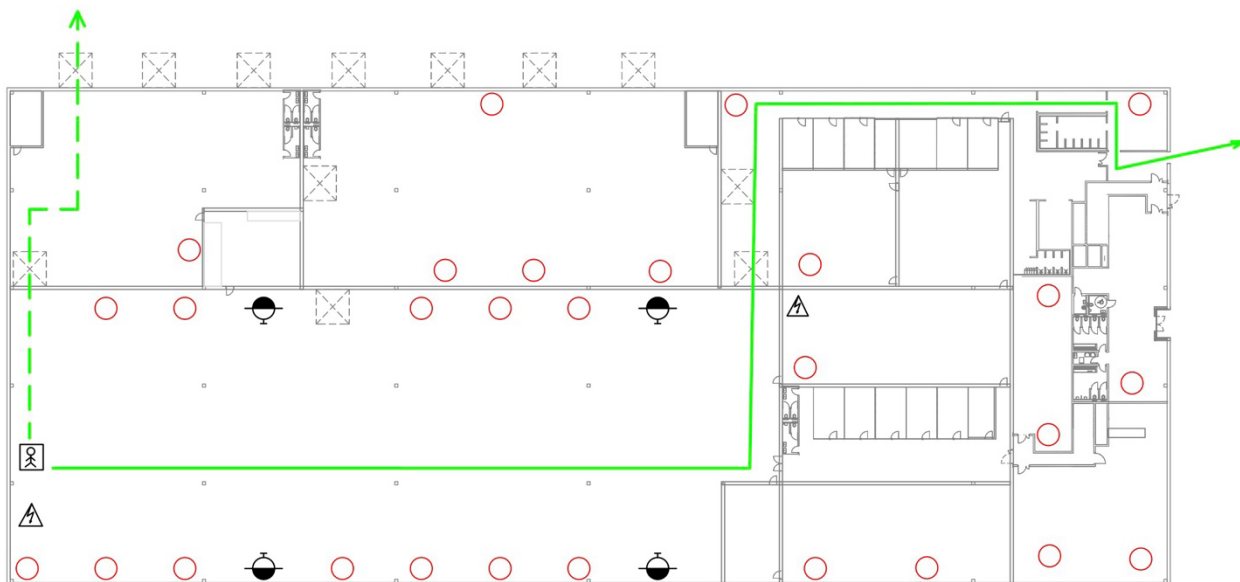
Pastate yra 150 pirminių gaisro gesinimo priemonių. Gesintuvai paringi pagal medžiagų galinčių užsidegti kategoriją bei patalpų pavojingumo gaisrui ir sproginui kategoriją. Naudojami 6 kg ABC tipo milteliniai gesintuvai išdėlioti kas 10 metrų.

Kadangi projektuojama gamykla užima daugiau nei 5000 m² pirminėms gaisro gesinimo priemonėms laikyti yra įrengiami specialūs skydai ir stendai. Juose laikomi:

- 2 gesintuvai
- 2 kibirai
- Smėlio dėžė ir kastuvas
- Nedegus audeklas (0,9x1,8 m)
- 2 laužtuvai
- 2 kirviai

Pastate yra du evakuacijos maršrutai. Pagrindinis maršrutas (žalia ištisinė linija) eina iš pastato kairiosios pusės link pastato rytinės pusės. Tuomet pasukama į kaire ir per koridorių dešiniajame sparne pasiekiamos evakuacinės durys rytinėje pastato pusėje. Atsarginis maršrutas (žalia punktyrinė linija) naudojamas tada, kai pagrindinis išėjimas neprieinamas. Evakuacinis kelias eina iš vidurinės dalies aukštyn, praeinama pro sandėliavimo patalpas, pro šiaurinę sieną. Gesintuvai išdėstyti tolygiai visame pastate. Evakuacijos planas pateikiamas 27 paveiksle.

- Raudoni apskritimai žymi gesintuvus
- Juodi apskritimai žymi gaisrinius čiaupus
- Trikampiai žymi elektros skydelius;
- Kvadratas su žmogumi žymi „Jūs esate čia“ vietą.



27 pav. Evakuacijos planas

Išvados

1. Atlikta srautinių baterijų, jose naudojamų anglinių elektrodų ir jų modifikavimo metodų apžvalga. Nustatyta, kad vanadžio jonų srautinės baterijos (VRFB) išsiskiria ilga eksploatacijos trukme bei nepriklausomu galios ir talpos skalių didinimu, o grafito veltinis išlieka plačiausiai naudojama elektrodų medžiaga dėl poringos trimatės struktūros, cheminio bei mechaninio atsparumo ir pakankamo elektrinio laidumo; pagrindinis jo trūkumas — ribotas elektrocheminis aktyvumas vanadžio jonų atžvilgiu dėl prasto drėkstumumo ir nepakankamo aktyviųjų centrų skaičiaus, kurį siekiama pašalinti elektrodo modifikavimu.
2. Atlikta mangano(IV) oksido cheminių ir elektrocheminių sintezės būdų apžvalga. Nustatyta, kad skirtingi metodai (hidroterminis, *sol-gel*, kietafazis ir elektrocheminis nusodinimas) leidžia gauti įvairių kristalinių struktūrų ir morfologijų MnO_2 . Tolesniam darbui pasirinktas elektrocheminis nusodinimas iš $KMnO_4$ tirpalo kaip technologiškai paprastas vienpakopis būdas, leidžiantis tiesiogiai padengti grafito veltinio paviršių MnO_2 sluoksniu.
3. Eksperimentiškai ištirtas grafito veltinio elektrocheminis modifikavimas MnO_2 iš skirtingų koncentracijų $KMnO_4$ tirpalų (0,0125–0,125 M, -0,5 V vs. Ag/AgCl/KCl sot., 15 min). Nustatyta, kad didinant koncentraciją pratekėjęs krūvis ir nusodinta MnO_2 masė nuosekliai didėja — nuo 9,34 C (2,2 mg) iki 80,88 C (23,2 mg); SEM patvirtino vis tolygesnę dangą, o EDS — mangano ir deguonies sudėtį. Optimaliausia laikoma 0,125 M koncentracija. Stabilumo bandymai vanadžio elektrolite (0,1 M $VOSO_4$ + 2 M H_2SO_4) parodė, kad MnO_2 danga chemiškai neištirpsta, tačiau patiria struktūrinę pertvarką (lokalų sutrūkinėjimą ir aglomeraciją), tai patvirtino pakartotinė SEM ir RSD analizė.
4. Atlikti gamybos įrenginio masės ir energijos balansų skaičiavimai suprojektuotai technologinei linijai, kurią sudaro penkios pagrindinės stadijos: drėkinimas, plovimas, elektrocheminis nusodinimas, pakartotinis plovimas ir džiovinimas. Skaičiavimai parodė, kad linija užtikrina reikiamą žaliavų (grafito veltinio, $KMnO_4$ ir 2-propanolio tirpalų bei vandens) suvartojimą, esant projektiniam modifikuoto grafito veltinio našumui apie 197 401,68 m^2 /metus.
5. Atlikti konstrukciniai, technologiniai, statybiniai ir ekonominiai skaičiavimai parodė, kad projektas yra finansiškai patrauklus: pilnoji gaminio savikaina — 44,82 EUR/ m^2 , grynasis pelnas — 2 810 tūkst. EUR, investicijų grąža (ROI) — 40,7 %, diskontuotas atsipirkimo laikotarpis — 4,12 metų, grynoji esamoji vertė (NPV) — 5 119 tūkst. EUR, vidinė grąžos norma (IRR) — 23,92 %, o pelningumo indeksas (PI) — 1,74. Visi rodikliai patvirtina projekto įgyvendinimo tikslingumą.
6. Įvertinti darbuotojų saugos ir sveikatos bei aplinkosaugos klausimai. Darbuotojų saugos požvilgiu pagrindiniai rizikos veiksniai gamybos metu — darbas su $KMnO_4$ ir 2-propanolio tirpalais; numatoma vietinė ištraukiamoji ventiliacija ir asmeninės apsaugos priemonės. Aplinkosaugos požvilgiu nustatyta, kad gamybinės nuotekos proceso metu nesusidaro, o pagrindinė susidaranti atlieka — panaudotas elektrolitas ir plovimo tirpalai — surenkama ir perduodama licencijuotam pavojingų atliekų tvarkytojui pagal galiojančius reikalavimus.
7. Parengti sklypo plano, statybiniai ir technologinės schemos brėžiniai A1 formatu (1–5 priedai), iliustruojantys suprojektuotą technologinę liniją ir jos išdėstymą.

Literatūros sąrašas

1. M. Park, J. Ryu, W. Wang, ir J. Cho, „Material design and engineering of next-generation flow-battery technologies“, *Nat. Rev. Mater.*, t. 2, nr. 1, lapkr. 2016, doi: 10.1038/NATREVMATS.2016.80.
2. P. Arevalo-Cid, P. Dias, A. Mendes, ir J. Azevedo, „Redox flow batteries: A new frontier on energy storage“, *Sustain. Energy Fuels*, t. 5, nr. 21, p. 5366–5419, lapkr. 2021, doi: 10.1039/D1SE00839K.
3. A. Z. Weber, M. M. Mench, J. P. Meyers, P. N. Ross, J. T. Gostick, ir Q. Liu, „Redox flow batteries: A review“, *J. Appl. Electrochem.*, t. 41, nr. 10, p. 1137–1164, rugs. 2011, doi: 10.1007/S10800-011-0348-2/FIGURES/15.
4. C. Doetsch ir J. Burfeind, „Vanadium redox flow batteries“, *Storing Energy: with Special Reference to Renewable Energy Sources*, Elsevier, 2022, p. 363–381. doi: 10.1016/B978-0-12-824510-1.00030-1.
5. K. Lourenssen, J. Williams, F. Ahmadpour, R. Clemmer, ir S. Tasnim, „Vanadium redox flow batteries: A comprehensive review“, *J. Energy Storage*, t. 25, spal. 2019, doi: 10.1016/J.EST.2019.100844.
6. A. Aluko ir A. Knight, „A Review on Vanadium Redox Flow Battery Storage Systems for Large-Scale Power Systems Application“, *IEEE Access*, t. 11, p. 13773–13793, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3243800.
7. [X. Z. Yuan *ir kt.*, „A review of all-vanadium redox flow battery durability: Degradation mechanisms and mitigation strategies“, *Int. J. Energy Res.*, t. 43, nr. 13, p. 6599–6638, spal. 2019, doi: 10.1002/ER.4607.
8. E. Sánchez-Díez *ir kt.*, „Redox flow batteries: Status and perspective towards sustainable stationary energy storage“, *J. Power Sources*, t. 481, saus. 2021, doi: 10.1016/J.JPOWSOUR.2020.228804.
9. J. Winsberg, T. Hagemann, T. Janoschka, M. D. Hager, ir U. S. Schubert, „Redox-Flow Batteries: From Metals to Organic Redox-Active Materials“, *Angew. Chem. Int. Ed.*, t. 56, nr. 3, p. 686–711, saus. 2017, doi: 10.1002/ANIE.201604925.
10. J. Xie, Y. Tian, S. Sulide, M. Skyllas-Kazacos, ir C. Menictas, „Optimizing Vanadium Redox Flow Battery Performance with Embroidered Porous Electrodes and Corrugated Bipolar Plates“, *ECS Meeting Abstracts*, t. MA2024-02, nr. 1, p. 1–1, lapkr. 2024, doi: 10.1149/MA2024-0211MTGABS.
11. L. F. Castañeda, F. C. Walsh, J. L. Nava, ir C. Ponce de León, „Graphite felt as a versatile electrode material: Properties, reaction environment, performance and applications“, 2017 m. gruodžio 20 d., *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.electacta.2017.11.165.
12. L. Li *ir kt.*, „Recent advances and perspectives of practical modifications of vanadium redox flow battery electrodes“, 2024 m. balandžio 17 d., *Royal Society of Chemistry.* doi: 10.1039/d4gc00584h.
13. M. Kogler *ir kt.*, „Unveiling the Role of Electrografted Carbon-Based Electrodes for Vanadium Redox Flow Batteries“, *ChemSusChem*, t. 17, nr. 12, birž. 2024, doi: 10.1002/cssc.202301659.

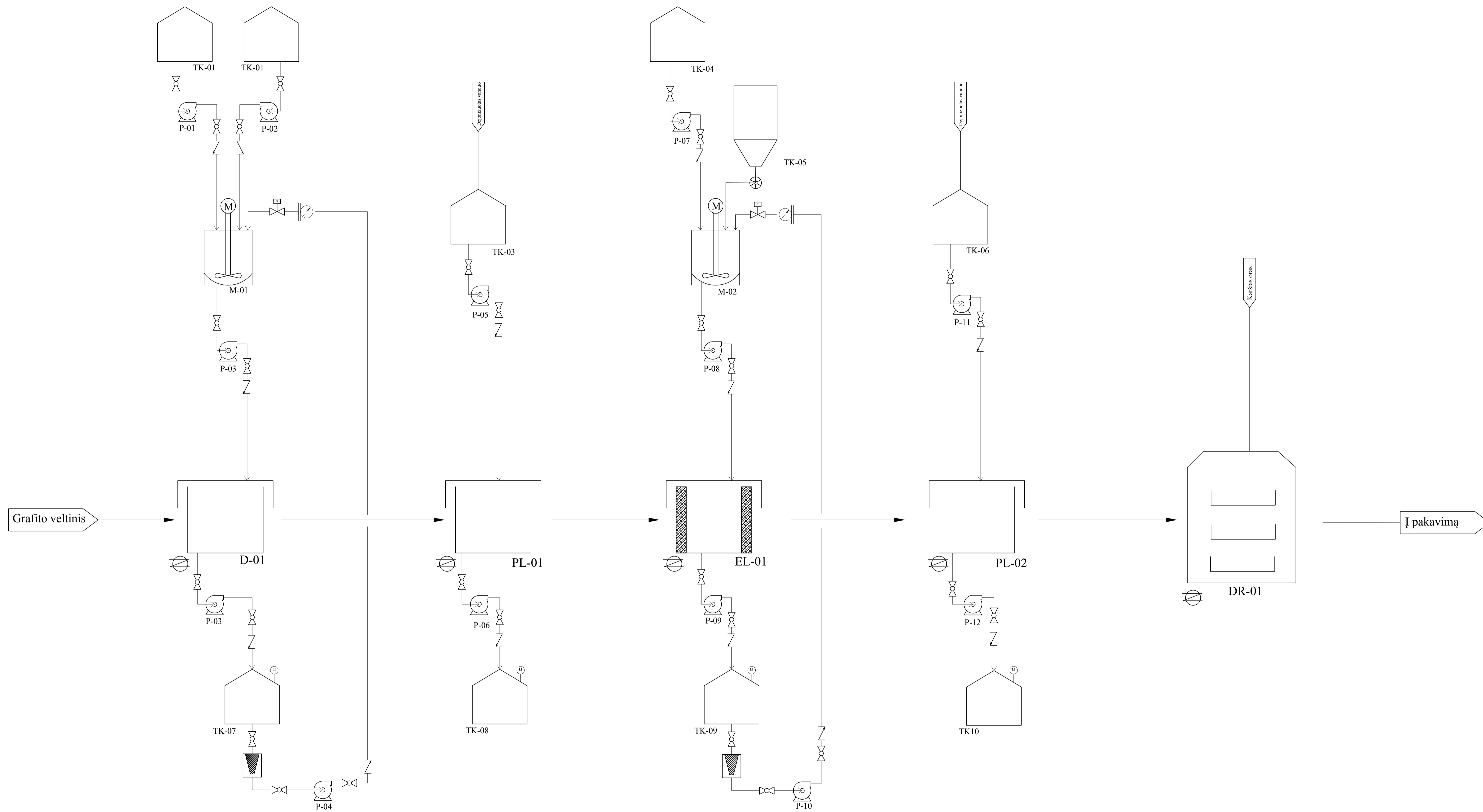
14. Y. Wang, S. Dou, Y. Wu, M. Wang, ir T. Wu, „Modification Strategies of Carbon-Based Electrodes From Structural Regulation to Multifunctional Integration“, *Advanced Science*, kovo 2026, doi: 10.1002/ADVS.202518189.
15. B. Shanahan *ir kt.*, „Rapid wet-chemical oxidative activation of graphite felt electrodes for vanadium redox flow batteries“, *RSC Adv.*, t. 11, nr. 51, p. 32095–32105, rugs. 2021, doi: 10.1039/d1ra05808h.
16. K. Köble *ir kt.*, „Revealing the Multifaceted Impacts of Electrode Modifications for Vanadium Redox Flow Battery Electrodes“, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, t. 15, nr. 40, p. 46775–46789, spal. 2023, doi: 10.1021/acsami.3c07940.
17. S. H. Park *ir kt.*, „Mesoporous graphite felt electrode prepared via thermal oxidative etching on all-vanadium redox flow batteries“, *Chemical Engineering Journal*, t. 500, lapkr. 2024, doi: 10.1016/j.cej.2024.157238.
18. M. B. Karimi, F. Mohammadi, ir K. Hooshyari, „Recent approaches to improve Nafion performance for fuel cell applications: A review“, *Int. J. Hydrogen Energy*, t. 44, nr. 54, p. 28919–28938, lapkr. 2019, doi: 10.1016/J.IJHYDENE.2019.09.096.
19. Y. Shi *ir kt.*, „Recent development of membrane for vanadium redox flow battery applications: A review“, *Appl. Energy*, t. 238, p. 202–224, kovo 2019, doi: 10.1016/J.APENERGY.2018.12.087.
20. J. Xu, Y. Zhang, Z. Huang, C. Jia, ir S. Wang, „Surface Modification of Carbon-Based Electrodes for Vanadium Redox Flow Batteries“, *Energy and Fuels*, t. 35, nr. 10, p. 8617–8633, geg. 2021, doi: 10.1021/ACS.ENERGYFUELS.1C00722.
21. Z. Manzoor Bhat, M. Furquan, M. Aurang Zeb Gul Sial, U. Alam, A. Saeed Alzahrani, ir M. Qamar, „Implications of electrode modifications in aqueous organic redox flow batteries“, 2024 m. rugpjūčio 1 d., *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.jechem.2024.03.058.
22. A. M. Abdelrahim, M. G. Abd El-Moghny, M. E. El-Shakre, ir M. S. El-Deab, „High mass loading MnO₂/graphite felt electrode with marked stability over a wide potential window of 1.9 V for supercapacitor application“, *J. Energy Storage*, t. 57, saus. 2023, doi: 10.1016/J.EST.2022.106218.
23. R. K. Sankaralingam, S. Seshadri, J. Sunarso, A. I. Bhatt, ir A. Kapoor, „Overview of the factors affecting the performance of vanadium redox flow batteries“, 2021 m. rugsėjo 1 d., *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.est.2021.102857.
24. E. Davidi, X. Xue, ir Y. Li, „Electrodeposited manganese dioxide for pseudocapacitors and batteries“, *Inorg. Chem. Front.*, vas. 2025, doi: 10.1039/D5QI01411E.
25. Y. Jiang *ir kt.*, „Electrocatalytic activity of MnO₂ nanosheet array-decorated carbon paper as superior negative electrode for vanadium redox flow batteries“, *Electrochim. Acta*, t. 322, lapkr. 2019, doi: 10.1016/j.electacta.2019.134754.
26. J. Xu, Y. Zhang, Z. Huang, C. Jia, ir S. Wang, „Surface Modification of Carbon-Based Electrodes for Vanadium Redox Flow Batteries“, *Energy & Fuels*, t. 35, nr. 10, p. 8617–8633, geg. 2021, doi: 10.1021/ACS.ENERGYFUELS.1C00722.
27. Y. X. Miao, L. H. Ren, L. Shi, ir W. C. Li, „Hydrothermal synthesis of manganese oxide nanorods as a highly active support for gold nanoparticles in CO oxidation and their stability at low temperature“, *RSC Adv.*, t. 5, nr. 77, p. 62732–62738, 2015, doi: 10.1039/C5RA12182E.

28. C. Xie, Z. Xu, Y. Zheng, S. Wang, M. Dai, ir C. Xiao, „Research Progress on the Preparation of Manganese Dioxide Nanomaterials and Their Electrochemical Applications“, *Nanomaterials*, t. 14, nr. 15, rugpj. 2024, doi: 10.3390/NANO14151283.
29. B. Li, G. Rong, Y. Xie, L. Huang, ir C. Feng, „Low-Temperature Synthesis of r-MnO₂ Hollow Urchins and Their Application in Rechargeable Li + Batteries“, 2006, doi: 10.1021/ic0606274.
30. K. Dawson, A. Wahl, R. Murphy, ir A. O’Riordan, „Electroanalysis at single gold nanowire electrodes“, *Journal of Physical Chemistry C*, t. 116, nr. 27, p. 14665–14673, liep. 2012, doi: 10.1021/JP302967P.
31. Q. Yin, N. P. Brandon, ir G. H. Kelsall, „Electrochemical synthesis of Cr(II) at carbon electrodes in acidic aqueous solutions“, *J. Appl. Electrochem.*, t. 30, nr. 10, p. 1109–1117, spal. 2000, doi: 10.1023/A:1004052419708/METRICS.
32. E. L. Gyenge ir C. W. Oloman, „Electrosynthesis of hydrogen peroxide in acidic solutions by mediated oxygen reduction in a three-phase (aqueous/organic/gaseous) system Part I: Emulsion structure, electrode kinetics and batch electrolysis“, *J. Appl. Electrochem.*, t. 33, nr. 8, p. 655–663, rugpj. 2003, doi: 10.1023/A:1025082709953/METRICS.
33. C. A. Hodges, „Mineral resources, environmental issues, and land use“, *Science (1979)*, t. 268, nr. 5215, p. 1305–1312, 1995, doi: 10.1126/SCIENCE.268.5215.1305.
34. S. Gupta, H. Huang, ir E. Yeager, „Studies of the adsorption of tetrasulfonated phthalocyanines on graphite substrate“, *Electrochim. Acta*, t. 36, nr. 14, p. 2165–2169, saus. 1991, doi: 10.1016/0013-4686(91)85225-V.
35. F. Yu, M. Zhou, L. Zhou, ir R. Peng, „A Novel Electro-Fenton Process with H₂O₂ Generation in a Rotating Disk Reactor for Organic Pollutant Degradation“, *Environ. Sci. Technol. Lett.*, t. 1, nr. 7, p. 320–324, liep. 2014, doi: 10.1021/EZ500178P.
36. L. F. Castañeda, F. C. Walsh, J. L. Nava, ir C. Ponce de León, „Graphite felt as a versatile electrode material: Properties, reaction environment, performance and applications“, *Electrochim. Acta*, t. 258, p. 1115–1139, gruodž. 2017, doi: 10.1016/J.ELECTACTA.2017.11.165.
37. „lechler_flat_fan_nozzles_series_652“.
38. „CELEX_32008R1272_LT_TXT“.
39. „VIII-787 Lietuvos Respublikos atliekų tvarkymo įstatymas“. Žiūrėta: 2026 m. gegužės 17 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.59267/asr>
40. „XIII-2166 Lietuvos Respublikos specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatymas“. Žiūrėta: 2026 m. gegužės 17 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/420f4dd0927c11e9ae2e9d61b1f977b3/smArmyQTRF>
41. „95 Dėl Saugos ir sveikatos apsaugos ženklų naudojimo darbovietėse nuostatų“. Žiūrėta: 2026 m. gegužės 18 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.91610/gJFuLbySWs>
42. „A1-331 Dėl Darbuotojų aprūpinimo asmeninėmis apsaugos priemonėmis nuostatų patvirtinimo“. Žiūrėta: 2026 m. gegužės 17 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.309802>
43. „Water | H₂O | CID 962 - PubChem“. Žiūrėta: 2026 m. gegužės 18 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Water>
44. „POT-PERMANGANATE-CR-ACS-500G“.

45. „Potassium Permanganate | KMnO4 | CID 516875 - PubChem“. Žiūrėta: 2026 m. gegužės 18 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Potassium-Permanganate>
46. „2-PROPANOL-CERT-ACS-HPLC-1L“.
47. „GRPHTE-FELT-1-12C-99-9-10X10CM“.
48. „1-338 Dėl Gaisrinės saugos pagrindinių reikalavimų patvirtinimo“. Žiūrėta: 2026 m. gegužės 17 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.388658/asr>
49. „1-22 Dėl Elektros įrenginių įrengimo bendrųjų taisyklių patvirtinimo“. Žiūrėta: 2026 m. gegužės 17 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.418124>
50. „D1-693 Dėl statybos techninio reglamento STR 2.01.06:2009 "Statinių apsauga nuo žaibo. Išorinė statinių ..." Žiūrėta: 2026 m. gegužės 19 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.358695>
51. „V-770 Dėl Lietuvos higienos normos HN 69:2003 "Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo ..." Žiūrėta: 2026 m. gegužės 17 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.230880>
52. „LIETUVOS HIGIENOS NORMOS HN 98:2014 „NATŪRALUS IR DIRBTINIS DARBO VIETŲ APŠVIETIMAS. APŠVIETOS RIBINĖS VERTĖS IR BENDRIEJI MATAVIMO REIKALAVIMAI“ TAIKYMAS“.
53. „A1-103/V-265 Dėl Darbuotojų apsaugos nuo triukšmo keliamos rizikos nuostatų patvirtinimo“. Žiūrėta: 2026 m. gegužės 17 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.254877/asr>
54. „64 Dėl Bendrųjų gaisrinės saugos taisyklių patvirtinimo“. Žiūrėta: 2026 m. gegužės 17 d. [Interaktyvus]. Adresas: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.250714/asr>

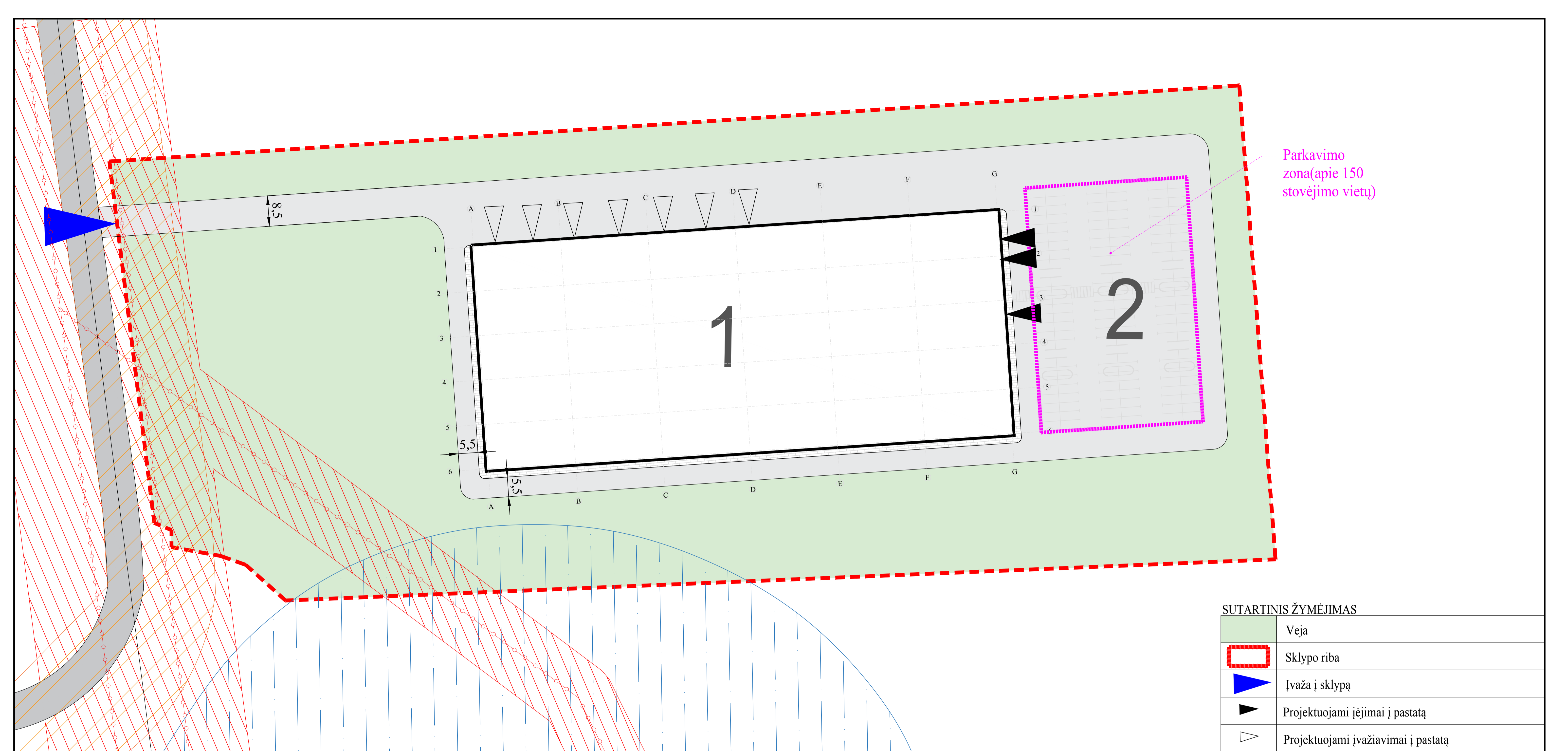
Priedai

- 1 Priedas. Proceso technologinė schema**
- 2 Priedas. Statybos teritorijos planas**
- 3 Priedas. Gamybos patalpų planas ir įrengimų išdėstymas**
- 4 Priedas. Technologinės linijos išilginis pjūvis**
- 5 Priedas. Suderinimai**



Žymėjimas	Specifikacija
D - 01	Drėkinimo įrenginys
PL - 01; PL - 02	Plovimo įrenginiai
EL - 01	Elektrocheminio nusodinimo reaktorius
DR - 01	Džiovinimo įrenginys
M - 01; M - 02	Tirpalų maišymo įrenginys
TK - 01-06	Reagentų talpos
TK - 07; TK - 09	Recirkulicinės talpos
TK - 08; TK - 10	Panaudoto vandens talpos
P	Išcentriniai siurbiai

Grupė	KTU Cgeminės technologijos fakultetas			Magistro baigiamasis projektas	
TMC-4	Studentas	K. Klemanskaitė	2026-05-24	Elektrochemiškai mangano(IV) oksidu modifikuotas grafito veltinis: gamybos technologija ir taikymas	
	Vadovas	prof. dr. E. Griškoniis	2026-05-24	Technologinė schema	
	Recenzentas	doc. dr. I. Barauskas		Laida	
				O	
	Fizininės ir neorganinės chemijos katedra Radvilėnų pl., 19, Kaunas			Lapas	Lapų
				1	4

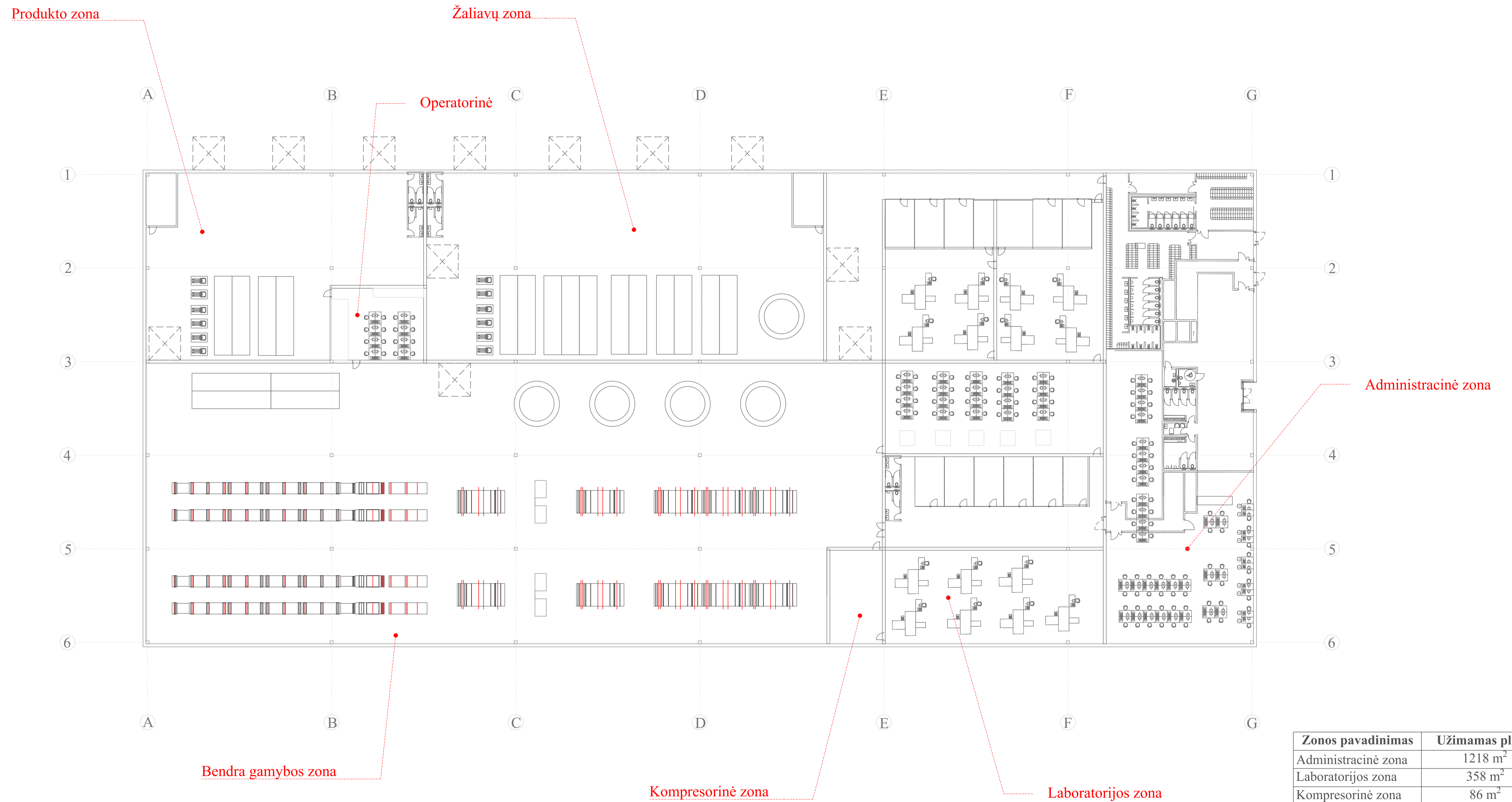


Parkavimo zona (apie 150 stovėjimo vietų)

SUTARTINIS ŽYMĖJIMAS

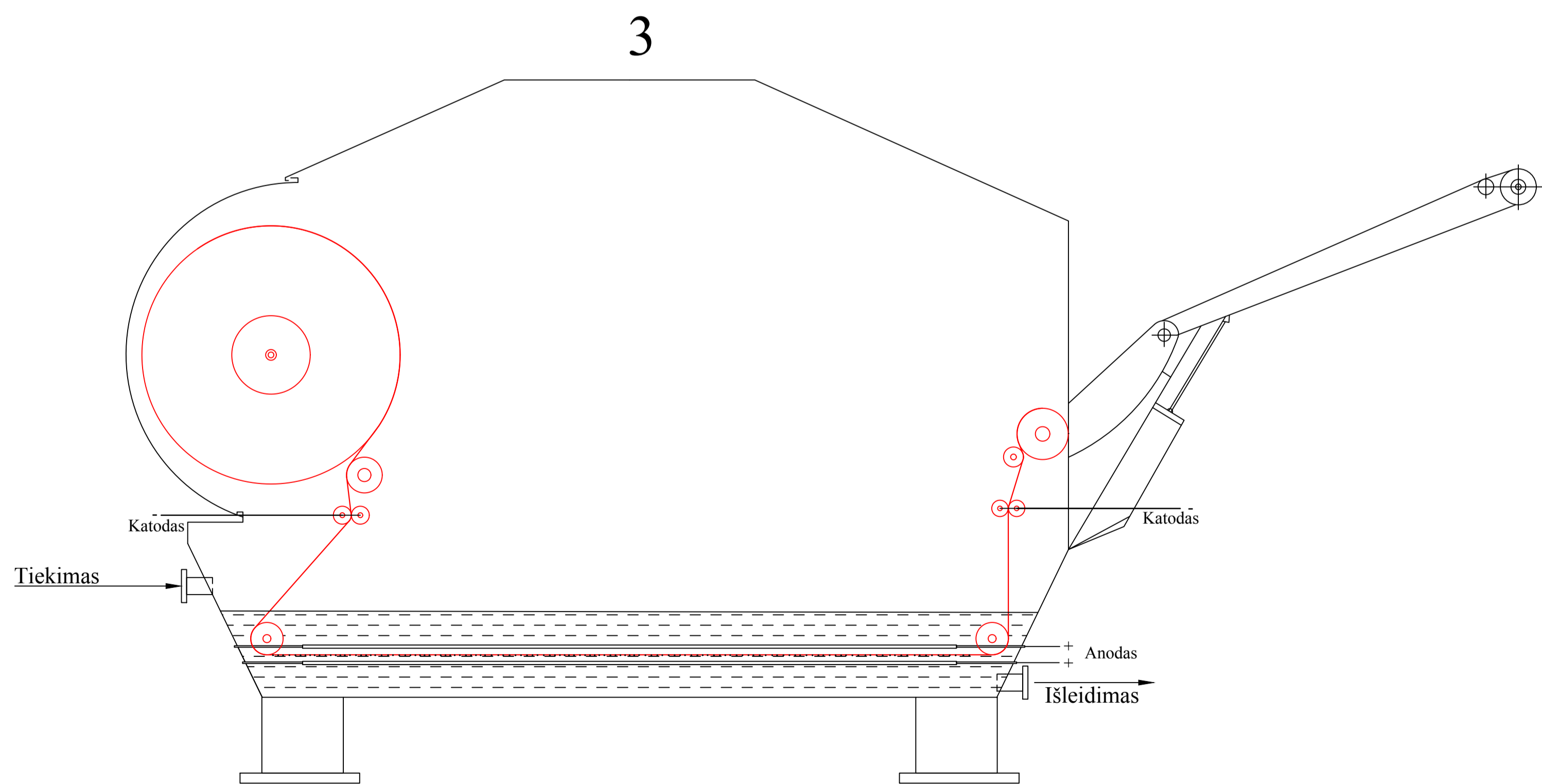
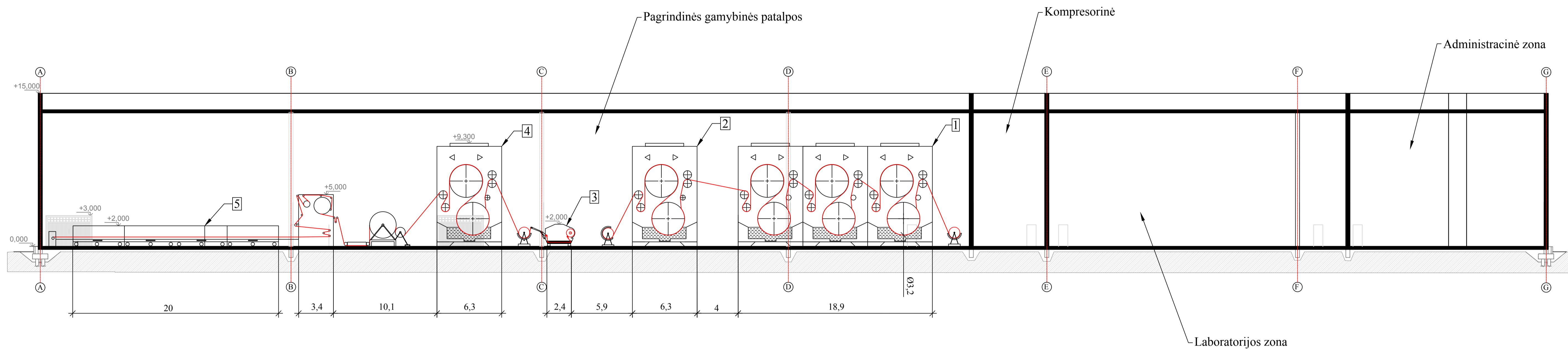
	Veja
	Sklypo riba
	Įvažą į sklypą
	Projektuojami įėjimai į pastatą
	Projektuojami įvažiavimai į pastatą
	Projektuojamas pastatas
	Automobilių parkavimo aikštelė
	Asfaltas
	Trinkelės
	Elektros tinklų apsaugos zona
	Vandens telkinių apsaugos zona
	Elektros tinklai
	Kelio apsaugos zona

Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas			Magistro baigiamasis projektas			
TMC-4	Studentas	K. Kiemanskaitė	2026-05-24	Elektrochemiškai mangano(IV) oksidu modifikuotas grafito veltinis: gamybos technologija ir taikymas	Laida		
	Vadovas	prof. dr. E. Griškoniš	2026-05-24		Technologinės linijos išilginis pjūvis. Mastelis 1:100	O	
	Recenzentas	doc. dr. I. Barauskas				Lapas	
	Konsultantas	lekt. dr. O. Viliūnaitė				Lapų	4
	Fizinė ir neorganinė chemijos katedra Radviėnų pl., 19, Kaunas				2		



Zonos pavadinimas	Užimamas plotas
Administracinė zona	1218 m ²
Laboratorijos zona	358 m ²
Kompresorinė zona	86 m ²
Bendra gamybos zona	3537 m ²
Produkto zona	785 m ²
Operatorinė	116 m ²
Žaliavų zona	1300 m ²

Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas			Magistro baigiamasis projektas		
TMC-4	Studentas	K. Kiemanskaitė	2026-05-24	Elektrochemiškai mangano(IV) oksidu modifikuotas grafito veltinis: gamybos technologija ir taikymas		
	Vadovas	prof. dr. E. Griškoniš	2026-05-24	Technologinės linijos išilginis pjūvis. Mastelis 1:100		
	Recenzentas	doc. dr. I. Barauskas		Laida		
	Konsultantas	lekt. dr. O. Vilūnaitė		O		
	Fizinė ir neorganinė chemijos katedra Radvilėnų pl., 19, Kaunas			Lapas	Lapų	
				3	4	



Nr.	Paaškinimas
1	Drekinimo įrangos blokas
2	Pirminio plovimo blokas
3	Elektrolizeris
4	Antrinio plovimo blokas
5	Džiovinimo blokas

Grupė				KTU Cheminės technologijos fakultetas		Magistro baigiamasis projektas	
TMC-4	Studentas	K. Kiemanskaitė	2026-05-24	Elektrochemiškai mangano(IV) oksidu modifikuotas grafito veltinis: gamybos technologija ir taikymas			
	Vadovas	prof. dr. E. Griškoniš	2026-05-24	Technologinės linijos išilginis pjūvis. Mastelis 1:100			
	Recenzentas	doc. dr. I. Barauskas		Laida O			
	Konsultantas	lekt. dr. O. Vilionaitė		Lapas Lapų			
				Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra		4 4	
				Radvilėnų pl., 19, Kaunas			



Gintaras Denafas

Ats.: Aplinkosaugos dalis magistro darbe

To: Kristina Klemanskaitė, Cc: Andrius Jaskūnas

Inbox - University 13:07

[Details](#)

Studentės **Kristinos Klemanskaitės** baigiamojo magistro projekto „**Elektrochemiškai mangano(IV) oksidu modifikuotas grafito veltinis: gamybos technologija ir taikymas**“ skyrius „**Aplinkosauginis vertinimas**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas **Gintaras Denafas**

Pagarbiai / Sincerely

Prof. dr. Gintaras Denafas

Kauno technologijos universitetas / Kaunas University of Technology

Cheminės technologijos fakultetas / Faculty of Chemical Technology

Aplinkosaugos technologijos katedra / Department of Environmental Technology

1 Message

[Summarise](#)



Odeta Viliūnienė

Patvirtinimas

To: Kristina Klemanskaitė

Inbox - University 19:49

Studentės **Kristinos Klemanskaitės** baigiamojo magistro projekto „**Elektrochemiškai mangano(IV) oksidu modifikuotas grafito veltinis: gamybos technologija ir taikymas**“ skyrius „**Statybiniai sprendimai**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantė lekt. Odeta Viliūnienė

Pagarbiai

Odeta Viliūnienė

Studentės Kristinos Klemanskaitės baigiamojo magistro projekto „ Elektrochemiškai mangano(IV) oksidu modifikuotas grafito veltinis: gamybos technologija ir taikymas “ skyrius „ Darbuotojų sauga ir sveikata “ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.
--

Konsultantas **doc. dr. Dalia Nizevičienė**



Irena Pekarskienė

Ats.: Finansai ir ekonomika dalies patvirtinimas KRISTINA KLEMANSKAITĖ

To: Kristina Klemanskaitė

Inbox - University 15:03

Laba diena,

Šiuo laišku patvirtinu, kad studentės **Kristinos Klemanskaitės** baigiamojo magistro projekto „**Elektrochemiškai mangano(IV) oksidu modifikuotas grafito veltinis: gamybos technologija ir taikymas**“ skyrius „**Finansai ir ekonomika**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantė **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.ed