



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**

**Arminas Myniotas**

**NAFTOS DEHIDRATO VALYMO TECHNOLOGINIŲ  
PARAMETRŲ TYRIMAS IR ĮRENGINIO SUPROJEKTAVIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

doc. dr. Viktoras Račys

**KAUNAS, 2016**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**

**NAFTOS DEHIDRATO VALYMO TECHNOLOGINIŲ  
PARAMETRŲ TYRIMAS IR ĮRENGINIO SUPROJEKTAVIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Aplinkosaugos inžinerija (621H17001)

**Konsultantas**

dokt. Martynas Tichonovas

2016-06-13

**Vadovas**

doc. dr. Viktoras Račys

2016-06-13

**Recenzentas**

lekt. Edvinas Krugly

2016-06-13

**Projektą atliko**

Arminas Myniotas

2016-06-13

**KAUNAS, 2016**



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

Cheminės technologijos fakultetas

(Fakultetas)

Arminas Myniotas

(Studento vardas, pavardė)

Aplinkosaugos inžinerijos studijų programa, 621H17001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

**„Naftos dehidrato valymo technologinių parametru tyrimas ir įrenginio suprojektavimas“**

**AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

2016 m. birželio 13 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Armino Mynioto**, baigiamasis projektas tema „**Naftos dehidrato valymo technologinių parametru tyrimas ir įrenginio suprojektavimas**“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Myniotas, Arminas. „*Naftos dehidrato valymo technologinių parametru tyrimas ir įrenginio suprojektavimas*“. Aplinkosaugos inžinerijos magistro baigiamasis projektas. Studijų programa: 621H17001. Vadovas doc. dr. Viktoras Račys; Kauno technologijos universitetas. Cheminės technologijos fakultetas. Aplinkosaugos technologijos katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Technologijos mokslai, Bendroji inžinerija;

Reikšminiai žodžiai: dehidratas, filtratas, filtruojanti įkrova, nafta, sorbcijos geba, sorbentas.

Kaunas, 2016. 59 p.

## SANTRAUKA

Nafta – svarbus energijos šaltinis ir yra pagrindinė žaliava naftos chemijos pramonei. Naftos gavyba generuoja didelius kiekius skystų atliekų, vadinamų dehidratu. Globaliai naftos gavybos apimtis yra apie 11 mln. t/d, o jos metu susidaro apie 34 mln. t/d. dehidrato. Dėl šių aktualių problemų **darbo tikslas** – parinkti optimalų sorbentą ir suprojektuoti filtro konstrukciją mechaniniam naftos angliavandenilių šalinimui iš dehidrato.

Remiantis mokslininkų atliktais tyrimais, teorinėje darbo dalyje yra aprašomi fizikiniai dehidrato valymo metodai, jų privalumai bei trūkumai, parinkta efektyviausia ir ekonomiškai naudingiausia fizikinės valymo technologijos alternatyva tolimesniems sorbento tyrimams atlikti.

Metodinėje darbo dalyje pateikta darbo metodika, aprašyta ir suprojektuota naudojama aparatūra ir technologinė schema. Pateiktas eksperimentų darbo eigos aprašymas ir numatomų uždavinių įgyvendinimas.

Tiriamojame darbo dalyje buvo nustatytos optimalios filtruojančios įkrovos darbo sąlygos: filtravimo greitis per įkrovą – 10 m/h, praplovimo vandens padavimo greitis – 13 m/h, praplovimo vandens debitas – 20 m<sup>3</sup>/h, oro padavimo greitis praplovimo metu – 10 m/s, oro padavimo debitas – 50 m<sup>3</sup>/h, oro padavimo trukmė – 3 sek intervalai kas pusė minutės, įkrovos regeneracijos trukmė – 10 min. Gauti rezultatai parodė, kad pariktas filtruojantis sorbentas yra labai efektyvus, nes po regeneracijos neprarado savo savybių, o filtro praplovimas yra reikalingas pasiekus slėgio nuostolius lygius 300 mm vandens stulpo.

Remiantis gautais rezultatais suprojektuoti ir pateikti realaus gamybinio įrenginio ir technologinės balansinės schemos, kurią sudaro keturi filtrai, kur vieno filtro našumas 15 m<sup>3</sup>/h, brėžiniai. Aptartos įrangos eksploatacijos galimybės ir filtro darbinis bei praplovimo režimai buvo tikrinami su SolidWorks programine įranga.

*Padėka:* noriu padėkoti doktorantui Martynui Tichonovui už pagalbą atliekant tyrimus.

Myniotas, Arminas. „*Investigation of Technological Parameters of Oil Dehydrate Treatment and the Design of a Treatment Device* “. Master’s thesis in Environmental Engineering. Study programme 621H17001. Supervisor doc. dr. Viktoras Račys. Department of Environmental Technology, The Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Science of Technology, General Engineering.

Key words: effluent, filter media, petroleum, produced water, resolution of sorption, sorbent. Kaunas, 2016. 59 p.

## SUMMARY

Crude oil is one of the most important energy sources and it is the main raw material for petroleum refinery. Petroleum extraction generates a huge amount of liquid waste which is called produced water. Global amount of petroleum extraction is about 11 million t/d. and the amount of produced water is 34 million t/d. Taking into consideration these current problems the aim of Master thesis is to select optimal sorbent and design the construction of filter in order to reduce hydrocarbons from produced water.

Physical methods of purification of produced water and their advantages and disadvantages are described in theoretical part of this work, which is based on scientific researches. The most efficient and cost-effective technology was chosen to carry out further investigation of a sorbent.

The methodological part of this Master thesis provides with information on methodology applied in the research, it also gives the technological scheme of the pilot plant and describes schematics of experimental set-up.

The optimal operating conditions of the filter media were identified in the research part of this work. Filtration rate – 10 m/h, backwash velocity – 13 m/h, backwash flowrate – 20 m<sup>3</sup>/h, air velocity – 10 m/s, air flowrate – 50 m<sup>3</sup>/h, the duration of air supply – 3 seconds intervals in every half minute, the duration of regeneration time – 10 min. The highly efficient removal of the filter media was obtained in this research. Filter media did not lose its operating properties after regeneration cycle and regeneration cycle is necessary when the pressure loss reaches 300 mm of the water column.

Proposed water treatment plant process schematics and schematic construction of the filter was design based on the results of the research. Drawings of water treatment plant were designed to 4 filter system, each flowrate is 15 m<sup>3</sup>/h. The possible ways to operate the equipment were discussed and the treatment and backwash modes were tested with SolidWorks software.

*Acknowledgements:* I would especially like to thank to the doctoral candidate Martynas Tichonovas for direct assistance in investigations.

# TURINYS

ĮVADAS.....	10
1. LITERATŪROS ANALIZĖ.....	12
1.1. Naftos produktų apžvalga.....	12
1.3. Dehidratas.....	13
1.4. Aplinkosauginiai ir ekonominiai aspektai.....	14
1.5. Valymo technologijos.....	16
1.5.1. CANMET ciklonas.....	17
1.5.2. Naujausi separatoriai. TORR.....	18
1.5.3. Filtravimas per sorbentus.....	20
1.5.4. Membranos.....	22
1.6. Literatūros apžvalgos apibendrinimas.....	25
2. METODINĖ DALIS.....	26
2.1. Bandomojo tyrimo eiga.....	26
2.1.1. Įkrovos efektyvumo kitimo analizė laboratorinėmis sąlygomis.....	27
2.1.2. Technologinių parametų nustatymo tyrimas pusiau gamybinėmis sąlygomis.....	29
2.3.3. Filtruojančios įkrovos regeneracijos poreikio tyrimas.....	32
2.3.4. Filtruojančios įkrovos efektyvumo po įkrovos regeneracijos tyrimas.....	33
3. TIRIAMOJI DALIS.....	35
3.1. Įkrovos efektyvumo kitimo analizė laboratorinėmis sąlygomis.....	35
3.2. Technologinių parametų nustatymo tyrimas pusiau gamybinėmis sąlygomis.....	37
3.3. Filtruojančios įkrovos regeneracijos poreikio tyrimas.....	38
3.4. Filtruojančios įkrovos efektyvumo po įkrovos regeneracijos tyrimas.....	42
3.5. Rekomendacijos planuojamam projektuoti įrenginiui.....	43
4. PROJEKTINĖ DALIS.....	46
4.1. Projektinių duomenų skaičiavimas.....	46
IŠVADOS.....	54
REKOMENDACIJOS ĮRANGOS EKPLOATACIJAI.....	55
LITERATŪROS ŠALTINIAI.....	56
PRIEDAI.....	60

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

<b>1 lentelė.</b> Fizikiniai dehidrato valymo metodai .....	16
<b>2 lentelė.</b> Membraniniam atskyrimui naudojamų membranų parametrai .....	23
<b>3 lentelė.</b> Dehidrato valymo technologijų palyginimas. ....	25
<b>4 lentelė.</b> Laboratorinėmis sąlygomis atlikto naftos efektyvumo tyrimo rezultatai. ....	35
<b>5 lentelė.</b> Rekomendacijos planuojamam įrenginiui projektuoti. ....	43

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

<b>1 pav.</b> CANMET hidrociklono principinė technologinė schema .....	17
<b>2 pav.</b> CANMET ciklono išvalymo efektyvumo priklausomybė nuo paduodamo srauto debito.....	18
<b>3 pav.</b> TORR technologijos principinė technologinė schema.....	19
<b>4 pav.</b> Dehidrato membraninio valymo principinė technologinė schema .....	23
<b>5 pav.</b> Dehidrato valymo kokybės parametrai po membraninio valymo .....	24
<b>6 pav.</b> Principinė laboratorinių tyrimų stendo schema. ....	28
<b>7 pav.</b> Bandomasis modelis naudotas tyrimuose pusiau gamybinėmis sąlygomis .....	30
<b>8 pav.</b> Principinė pusiau gamybinių sąlygų tyrimo stendo schema. ....	31
<b>9 pav.</b> Dehidrato granulotmetrinio tyrimo rezultatai po valymo laboratorinėmis sąlygomis.....	36
<b>10 pav.</b> Naftos produktų kiekio akumuliacijos priklausomybė laike prieš ir po filtruojančios įkrovos	39
<b>11 pav.</b> Naftos produktų koncentracijos ir slėgio nuostolių tyrimo rezultatai pusiau gamybinėmis sąlygomis.....	41
<b>12 pav.</b> Naftos produktų kitimo dinamika po filtro regeneravimo. ....	43



## **PRIEDŲ SĄRAŠAS**

<b>1 PRIEDAS.</b> Technologinių parametrų tyrimas.....	60
<b>2 PRIEDAS.</b> Filtruojančios įkrovos regeneracijos poreikio tyrimo rezultatai.....	61
<b>3 PRIEDAS.</b> Išsiskiriančių reikšmių tikrinimo rezultatai.....	62
<b>4 PRIEDAS.</b> Filtruojančios įkrovos po filtro regeneracijos tyrimo rezultatai .....	63
<b>5 PRIEDAS.</b> Gamybinio filtro detalusis brėžinys.....	64
<b>6 PRIEDAS.</b> Technologinė balansinė schema .....	65

## ĮVADAS

Nafta – svarbus energijos šaltinis, ji yra pagrindinė žaliava naftos chemijos pramonei: gaminant benzina, skystą kurą, žibala, tepalus, asfaltą, vazeliną ir kt. Naftą buities reikmėms pradėta naudoti XIX a. pabaigoje. XXI a. aplinkosaugos reikalavimai yra labai sugriežtėję, lyginant su tarptautinės aplinkosaugos teisės pradžia ir jos raida. Tam, kad būtų apsaugota mus supanti aplinka, kiekvienos gamybos nuotekų valymo įrenginiai ir pačios nuotekos turi atitikti griežtus aplinkosaugos reikalavimus [1].

**Temos aktualumas.** Naftos gavyba generuoja didelius kiekius skystų atliekų, vadinamų dehidratu [2]. Globaliai naftos gavybos apimtis yra apie 11 mln. t/d. Susidariusio vandens kiekis su naftos produktų kiekiu yra lyginamas santykiu 3:1, todėl išgaunant tokius naftos kiekius, susidaro apie 34 mln. t/d. dehidrato [3].

Naftos gavybos pramonė yra ypač reikli vandens sąnaudoms, o pats vanduo yra reikalingas gręžimui, hidrauliniams pramušimams ar gerinant išgavimo operacijas. Vanduo naudojamas šiems tikslams gali būti paduodamas iš paviršinio ar gruntinio vandens šaltinių, savivaldybių vandenruošos stočių arba iš valyto ar pakartotinai panaudoto vandens šaltinių ar gręžinių. Daug vandens papildomai atsiranda gręžinių hidraulinių pramušimų ir darbų užbaigimo metu, kuris taip pat grįžta į paviršių ir turi būti tvarkomas kaip atliekų srautas [4].

**Mokslinis naujumas.** Šiomis dienomis daugiausia tyrimų yra atliekama tiriant naftos nuotekų keliamą poveikį žmogaus sveikatai ir aplinkos kokybei, iš kurių didžiausia dalis yra skiriama angliavandenilių naftos išsiliejimams jūrinėje aplinkoje. Viena iš naujausių tyrimo kryptių yra skirta išsiaiškinti naftos produktų akumuliacijos galimybes gyvuosiuose organizmuose. Mokslininkė F. Aguilera teigia, kad naftos junginiai gali kauptis gyvuosiuose organizmuose, nes jie yra perleidžiami kartu su maisto grandine per naftos produktais užterštą jūros maistą [5].

Nemažai tyrimų yra skirta ieškant tobulesnių technologijų bei bandant ieškoti naujų naftos produktų valymo būdų gamyboje taip pat išsiliejus naftai į dirvožemį ar vandens telkinius. Šiame darbe bus atliekamos efektyviausios ir ekonomiškai naudingiausios naftos gavybos vandens valymo technologijų paieškos ir bandomieji tyrimai, skirti pasirinktai technologijai realizuoti, kad būtų galima valytą vandenį suleisti ne į gamtinius priimtuvus, o į 1 km gylyje esančius požeminius iš naftos išgavimo likusius rezervuarus.

Dėl šių aktualių problemų **darbo tikslas** – parinkti optimalų sorbentą ir suprojektuoti filtro konstrukciją mechaniniam naftos angliavandenilių šalinimui iš dehidrato.

Darbo tikslui pasiekti padėjo iškelti **uždaviniai**:

1. Atlikti literatūros analizę išsiaiškinant efektyviausias dehidrato valymo technologijas ir alternatyvas.
2. Sukurti metodologiją planuojamam tyrimui atlikti.
3. Atlikti eksperimentinį tyrimą laboratorinėmis ir pusiau gamybinėmis sąlygomis, nustatant optimalias sorbuojančios medžiagos darbo sąlygas.
4. Pateikti tyrimo rezultatų analizę ir rekomendacijas.
5. Suprojektuoti naftos dehidrato valymo įrenginį ir technologinę liniją.

**Tyrimo objektas** – naftos gavybos metu susidariusio dehidrato valymas.

## 1. LITERATŪROS ANALIZĖ

Literatūros analizės dalyje bus apžvelgtos fizikinės naftos produktų šalinimo technologijos bei analizuojami atliktų mokslinių tyrimų, paremtų technologijos, skirtos naftos produktų pašalinimui iš nuotekų, rezultatai.

### 1.1. Naftos produktų apžvalga

Nafta – riebus, degus žemės gelmių skystis, vienas iš svarbiausių gamtinių išteklių, naudojamas kurui ir įvairiems produktams (žibalui, benzinui ir kt.) gauti. Nafta randama nuosėdinės kilmės aktyose uolienose, įsisunkusi į smėlį, smiltainį, klintį [6].

Naftos produktai – iš naftos gaunami degalai, kuras, alyvos, tepalai ir kitos medžiagos, paprastai esančios gryni angliavandeniliai arba jų mišiniai. Naftos perdirbimo gamyklos, priklausomai nuo žalios naftos sudėties ir poreikių, gali gaminti gana įvairius naftos produktus: degalus ir kurą, žaliavą cheminei sintezei, tepalus, alyvas ir įvairius rišiklius bei tirpiklius [6].

#### Naftos fizinės savybės

Spalva. Naftos spalva pasitaiko labai įvairi. Gamtoje dažniausiai paplitusios tamsiai ruda ir juoda spalvos su žalsvu atspalviu – tokios spalvos būna beveik visų kontinentų nafta, o šviesiai rudos ir geltonos spalvos nafta randama žymiai rečiau.

Tankis. Tai yra svarbus naftos fizikinis rodiklis, kurį sąlygoja asfaltenuų ir dervų kiekis, angliavandenilių molekulinis svoris, ištirpusių dujų kiekis ir vanduo. Dėl šių rodiklių įtakos, naftos tankis gali kisti nuo 0,65 iki 1,00 g/cm<sup>3</sup>. Mažo tankio nafta paprastai susideda iš lengvųjų angliavandenilių ir mineralinės alyvos. Pagal tankį nafta yra skirstoma į:

- lengvąją (tankis iki 0,87 g/cm<sup>3</sup>),
- vidutinio tankio (0,87–0,91 g/cm<sup>3</sup>),
- sunkiąją (daugiau nei 0,91 g/cm<sup>3</sup>). [7]

Tirpumas. Naftos tirpumas vandenyje labai silpnas, tačiau atskiri jos komponentai tirpsta pakankamai gerai. Aromatiniai angliavandeniliai tirpsta geriau už metano junginius, o blogiausiai vandenyje tirpsta mineralinės alyvos frakcija. Taip pat reikėtų paminėti, kad aukštesnėje temperatūroje

nafta tirpsta geriau, o pagrindiniai naftą sudarantys komponentai gerai tirpsta chloroforme, benzene, anglies tetrachloride, etilo eteryje, anglies sulfide ir kai kuriuose kituose skysčiuose. Nafta gerai tirpina jodą, sierą, kaučiuką, įvairios sudėties dervas ir augalinės kilmės riebalus.

Liuminescencija. Daugelis naftą sudarančių komponentų pasižymi liuminescencinėmis savybėmis, kurias galima pamatyti, naftą sudarančius junginius apšvitinus monochromatine ar polichromatine šviesa, radioaktyvia spinduliuote arba nuo staigaus ir stipraus smūgio bei trinties. Ypač gerai švyti mineralinės alyvos frakcija (melsvai), dervos (rudai, gelsvai, oranžiniai) ir asfaltenai (geltonai). Pagal švytėjimą galima spręsti apie naftos sudėtį [6].

## **1.2. Naftos gavyba**

Išgaunant naftą ir dujas iš žemės gilumų, kaip ir kiekvienoje gavybos veikloje, susidaro dideli kiekiai atliekų ar nuotekų. Naftos gavyba generuoja didelius kiekius skystų atliekų, vadinamų dehidratu. Globaliai naftos gavybos apimtys yra apie 80 milijonų barelių naftos per dieną, kas yra lygu apie 11 milijonų tonų per dieną. Išgaunant tokius kiekius naftos, per dieną susidaro apie 250 milijonų barelių vandens, o tai yra 34 milijonai tonų vandens per dieną [3]. Lyginant pasaulio mastu, Lietuvoje naftos resursai ir jos gavyba yra nedideli. Per metus Lietuvoje yra išgaunama kiek daugiau nei 100 tūkst. tonų naftos, o nuo 1990 m. iki 2012 m. Lietuvoje išgauta apie 4,3 milijono tonų naftos [8]. Susidariusio vandens kiekis yra lyginamas su naftos produktų kiekiu santykiu 3:1 [3]. Vadinasi per 22 metus tik dėl naftos gavybos pramonės susidarė daugiau nei 12 mln. tonų dehidrato. Šis susidaręs vanduo būna užterštas įvairiomis pavojingomis organinėmis ir neorganinėmis medžiagomis, suspenduotais naftos likučiais, todėl turi būti pakartotinai panaudotas (išgaunant didesnę kiekį naudingų medžiagų), perdirbtas (atliekant požeminį suleidimą atgal į naftos telkinius, taip pagerinant naftos išgavimą) ar blogiausiu atveju išvalytas ir išleidžiamas į gamtinius nuotekų priimtuvus [2].

## **1.3. Dehidratas**

Naftos gavybos pramonėje susidarančio dehidrato sudėtis gali būti labai komplikuojanči, nes apima net kelis tūkstančius junginių su skirtingomis koncentracijomis. Dehidratas gali būti užterštas dispersinės formos nafta, aromatiniais angliavandeniliais, alkilfenoliais, sunkiaisiais metalais ar radioaktyviomis medžiagomis. Taip pat jo sudėtyje gali būti dideli kiekiai organinių medžiagų, skendinčių dalelių, neorganinių druskų, žemo molekulinio tankio rūgščių, tokių kaip acto ar propiono rūgščių. Dar dažnai yra nustatomi dideli sieros ir sulfidų kiekiai, monocikliniai aromatiniai

angliavandeniliai, tokie kaip: benzenas, toluenas, etilbenzenas ar ksilenas bei policikliniai aromatiniai angliavandeniliai ir kt [9].

Išanalizavus 2009 metų pasaulinę naftos gavybos dehidrato kokybės ataskaitos santrauką, galima susidaryti vaizdą apie dehidrato cheminę sudėtį ir komponentų koncentracijas [3]. ChDS vidutiniškai yra 1220 mg/l, skendinčios medžiagos gali svyruoti nuo 1–1000 mg/l ribose. Naftos produktų kiekis taip pat labai nevienodas 2–565 mg/l, lakūs organiniai junginiai 0,4–35 mg/l. Labiausiai gali svyruoti karbonatų kiekis 80–4000 mg/l; sulfatų 2–1650 mg/l; lakių riebiųjų rūgščių 2–4900 mg/l; bei sunkiųjų metalų kiekiai; kalcis iki 25800 mg/l; natris iki 97000 mg/l; kalis iki 4300 mg/l; magnis iki 6000 mg/l; baris iki 650 mg/l; aliuminis svyruoja 310–410 mg/l ribose [2]. Matant tokias koncentracijas ir jų nepastovumą, darosi aišku, kad susidariusio vandens valdymas yra labai svarbus naftos gavybos procesuose.

Dehidratas yra skirstomas į dvi kategorijas.

1. Naftos produktų išgavimo metu susidaro vanduo, kuris yra natūraliai susiformavęs ir iš žemės gelmių grįžta į paviršių per naftos išgavimo gręžinį bei tampa frakcijos dalimi.
2. Grįžtantis vanduo, kuris dideliu slėgiu paduodamas per patį gręžinį tam, kad hidrauliškai pramuštų sluoksnius. Tada, kai gręžimo drabai yra baigti, dalis paduoto vandens grįžta į paviršių su aukštomis ištirpusių druskų koncentracijomis ir būna užterštas naftos produktais [4].

Dehidrato susidarymo valdymas yra grindžiamas trijų pakopų hierarchija:

1. Technologijų gerinimas tam, kad būtų sumažinti susidarančio vandens kiekiai.
2. Pakartotinis naudojimas ir „perdirbimas“.
3. Šalinimas [9].

#### **1.4. Aplinkosauginiai ir ekonominiai aspektai**

Aplinkos užterštumas naftos produktais – labai plati sąvoka, nes aplinka gali būti užteršiama išgaunant, transportuojant, perdirbant ar naudojant naftą ir jos produktus. Manoma, kad bendras metinis naftos taršos kiekis vien dėl naftos angliavandenilių transportavimo gali siekti iki 10 milijonų tonų per metus.

Skirtingai nuo kitų vandens teršalų, ne visos šalys yra nustačiusios didžiausią leistiną alyvos ir tepalų koncentraciją geriamajame vandenyje. Pasaulio Sveikatos Organizacijos (WHO) geriamojo vandens gairėse (2011) ir Europos Bendrijų (su geriamuoju vandeniu (Nr.2)) nuostatuose (2007) nėra nustatyta didžiausia leistina naftos ir tepalų koncentracija geriamajame vandenyje, o JAV Aplinkos Apsaugos agentūra (USEPA) riboja naftos ir tepalų kiekį geriamajame vandenyje iki 0,3 mg/l [10, 11].

Naftos produktais užterštos nuotekos tiek iš natūralių, tiek iš sintetinių taršos šaltinių yra labai atsparus teršalas aplinkai. Nepritaikius atitinkamų tvarkymo būdų, šios nuotekos gali labai smarkiai paveikti sveikatą. Aukšta naftos tarša vandens telkiniuose neigiamai veikia vandens organizmus, ekonomiką ir turizmo veiklą, o dėl dangos savybių gali būti matomas nemalonus vaizdas ir jaučiamas kvapas [5].

Naftos gavybos metu susidariusio vandens valdymas kainos požiūriu yra skirtingas. Dehidrato valdymui gali būti panaudotos įvairios technologijos, tačiau savikaina yra vienas svarbiausių faktorių, kuris įtakoja naftos ir dujų operatorius. Daugumai sausumos gavybos aikštelių, naudojančių naujausias technologijas, dehidrato valdymas gali kainuoti iki 1€ už barelį (115,6 l), tačiau, jei yra reikalingas papildomas valymas (norint sumažinti naftos koncentraciją ar ištirpusias kietąsias daleles), vieno barelio kaina gali pakilti iki 10 € ir daugiau.

Kalbant apie savikainą, yra nemažai dedamųjų, kurie įtakoja savikainos vertę ir prisideda prie bendrųjų išlaidų, tokių kaip:

- Vietos paruošimas
- Pumpavimo išlaidos
- Elektra
- Valymo įranga
- Sandėliavimo įrengimai
- Valdymo liekanų pašalinimas susidaręs valymo metu
- Vamzdynai ir priežiūra
- Cheminės medžiagos
- Esamo ir būtini samdyti personalo konsultantai
- Leidimai
- Įpurškimas į gruntą
- Transportas
- Įrangos remontas
- Išsiliejimų valymas
- Kitos ilgalaikės atsakomybės [4].

Naftos gavybos pramonėje susidariusio vandens valymui galima pritaikyti nemažai atskirų ir kombinuotų fizikinio, cheminio ir biologinio valymo metodų. Atsižvelgiant į procesų sudėtingumą ir jų eksploatacijos kainas, toliau darbe bus analizuojamos fizikinės separacijos valymo technologijos kaip alternatyvos pigesniems valymo metodams.

## 1.5. Valymo technologijos

1 lentelė. Fizikiniai dehidrato valymo metodai [4].

Technologija	Kategorija	Privalumai	Trūkumai
Fizikinė separacija	Fitracija	Naudojant skirtingus metodus ir skirtingas filtruojančias medžiagas pasiekiamas aukštas išvalymo efektyvumas.	Reikalauja reguliaraus filtro regeneravimo. Neišvalo ištirpusių naftos produktų.
	Ciklonai	Nėra judančių dalių. Puikiai atskiria laisvai plūduriuojančią naftą.	Neveiksminga ištirpusiai ir pasklidusiai naftai.
	Naujausi separatoriai	Labai geras produktų atskyrimas lyginant su įprastais separatoriais.	Gerai dirba laisvai plūduriuojančiai naftai atskirti. Ištirpusiems produktams atskirti, reikalingas flokuliantas.
Koalescencija		Adsorbento paviršiuje nafta dispersinėje formoje desorbuojama į didesnius lašelius, taip pagerinamos atskyrimo galimybės kitoms technologijoms.	Netinka ištirpusiems produktams.
Flotacija	Ištirpusio oro flotacija	Pašalina laisvai plūduriuojančius produktus.	Netinka ištirpusiems produktams.
Ekstrakcija		Gali pašalinti labai mažų koncentracijų naftos produktus.	Labai brangi technologija.
Adsorbicija	Aktyvuotos anglies, zeolito	Gerai šalina tepalus ir naftą.	Filtrai negali būti pakartotinai panaudoti, dėl to generuoja didelius kiekius kietų atliekų.

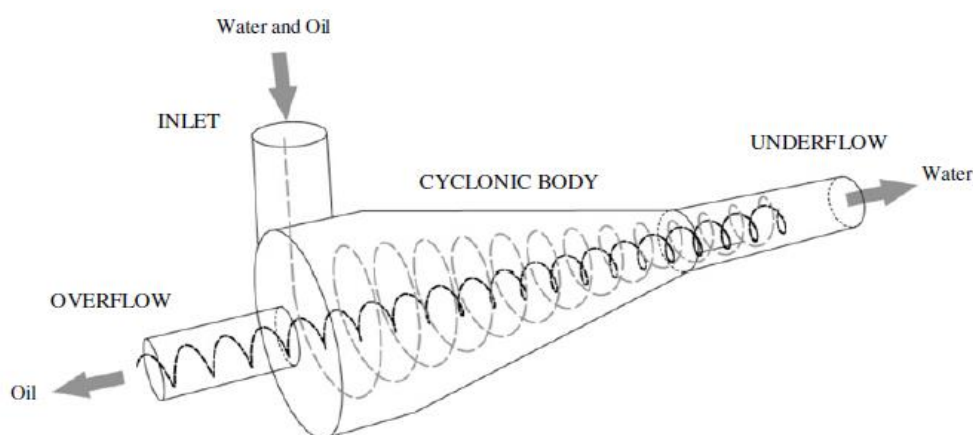


### 1.5.1. CANMET ciklonas

Susidariusio vandens valymas ciklonu yra naudojama jau 20 metų. Labiausiai ši technologija yra paplitusi valant dehidratą, susidariusį iš jūrų gilumų pumpuojamose naftos plokštėse, kur kompaktiški įrenginiai yra labai didelis privalumas. Beveik 90% valymo technologijų, jūrinėse naftos platformose, yra paremtos ciklonais [3].

Įprastas hidraulinis atskyrimo laikas ciklonuose yra 1–2 s, o atskiriant naftos produktus gravitaciniais separatoriais, procesas gali užtrukti iki kelių minučių. Trumpas atskyrimo laikas ciklonuose reikalauja tikslių operacijų ir jautrios valdymo sistemos. Realiose sistemose susidarančio dehidrato kiekis gali smarkiai svyruoti trumpais laiko intervalais ir turėti neigiamos įtakos ciklono efektyvumui [12].

Žemiau yra pateikta CANMET ciklono principinė technologinė schema su srautų judėjimo kryptimis.

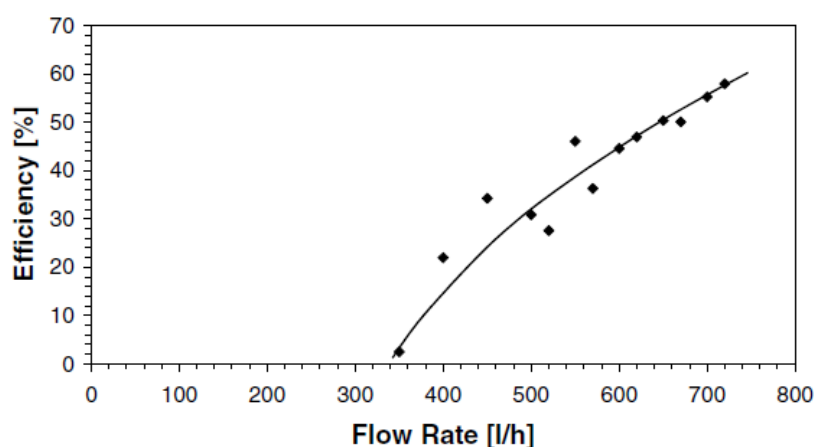


**1 pav.** CANMET hidrociklono principinė technologinė schema [12].

Dehidratas, kartu su slėgio tangentine judėjimo kryptimi, yra paduodamas į ciklono vidų, kur dėl tangentinio judėjimo yra sukuriama dviejų srautų sukurinė sistema: sunkesnė dehidrato dalis judėdama palei sienelės per ciklono apačią yra pašalinama, o lengvesnė frakcija, mažuoju sukuriu yra pašalinama per viršų. Cikloninė naftos likučių atskyrimo sistema sukuria 2000–3000 kartų didesnę gravitacinę lauką. Tokiame modelyje naftos likučiai juda centrine ciklono dalimi, kur sunkesnis vanduo yra priverstas judėti per ciklono sienelės ir pašalinamas, o sukonzentruota naftos produktų dalis yra pašalinama per ciklono viršų [13].

Mokslininkų grupė (K. A. Hashmi, H. A. Hamza, J. C. Wilson) atliko bandymus skirtus nustatyti ciklono išvalymo efektyvumo priklausomybę nuo paduodamo srauto debito. Gauti rezultatai

parodė, kad efektyvumui didelės įtakos turi paduodamo dehidrato debitas ir jame esančios naftos emulsijos kiekis. Valymo efektyvumas kito 0–60% ribose, priklausomai nuo paduodamo dehidrato srauto. Eksperimento metu debito konstanta buvo laikomas 600 l/h srautas, o sistemos išvalymo efektyvumas tesiekė 40%. Esant mažesniems debitams naftos ir vandens atskyrimas gali net neįvykti. Taip pat nustatyta, kad ciklono veikimą įtakoja ir naftos produktų kiekis dehidrate. Tokioje technologijoje naftos produktų kiekis negali būti mažesnis nei 1% paduodamo srauto [14]. Žemiau pateikti aptarto eksperimento rezultatai, kurie parodo naftos dehidrato valymo ciklonu efektyvumo priklausomybę nuo paduodamo debito.



**2 pav.** CANMET ciklono išvalymo efektyvumo priklausomybė nuo paduodamo srauto debito [14].

Valymas ciklonais kaip alternatyva naftos gavybos įmonėms, siekiančioms išgauti reikiamą išvalymo efektyvumą esant nedideliems gavybos debitams, galėtų būti nuosekliai sujungti keli ciklonai paduodant recirkuliuoti jau valytą dehidratą. Esant didesniems debitams, galima tokius ciklonus jungti ir lygiagrečiai. Įmonėse, kuriose susidaro labai dideli dehidrato debitai, norint pasiekti aukštą išvalymo efektyvumą, būtų galima projektuoti ciklonų baterijas kartu su srautų recirkuliacija.

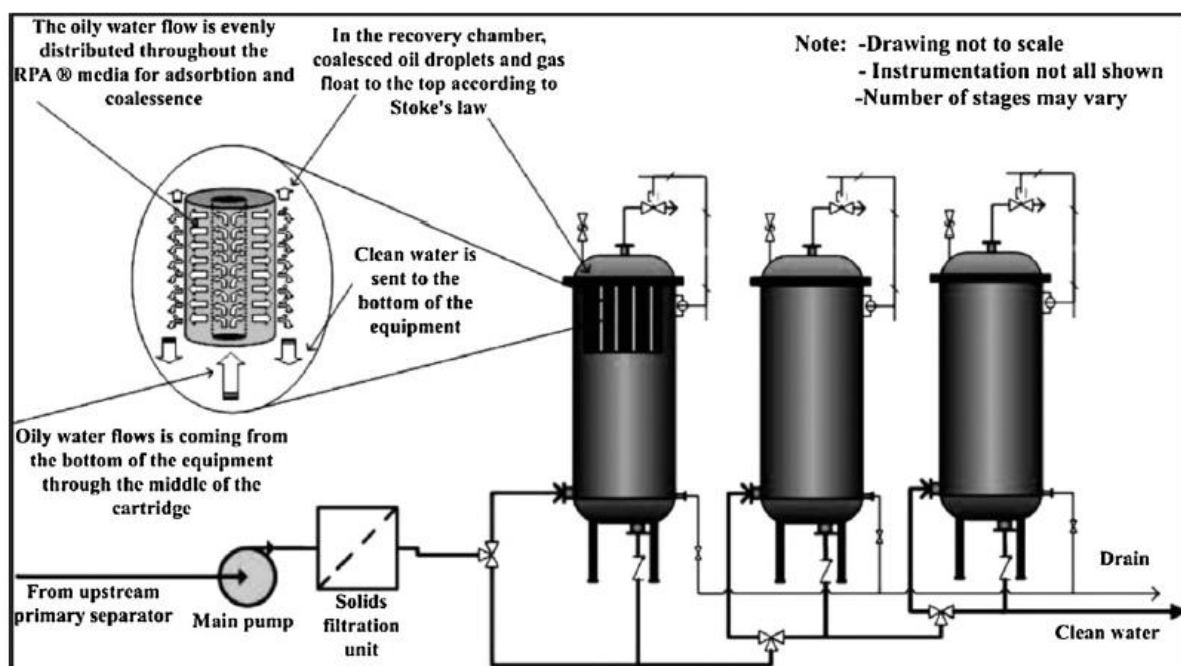
Šią technologiją Lietuvoje esančioms naftos gavybos įmonėms būtų sunku pritaikyti, kadangi debito svyravimai turi didelės įtakos sistemos veikimui ir jos efektyvumui. Sistema dirba labai jautriomis sąlygomis ir yra priklausoma nuo naftos likučių koncentracijos dehidrate.

### 1.5.2. Naujaisi separatoriai. TORR

Pasaulinė Kanados korporacija išrado technologiją pavadintą Total Oil Remedial and Recovery (pilnas naftos atstatymas ir atkūrimas (TORR<sup>TM</sup>)), kuri gali atskirti vandenyje esančią

dispersinės formos naftą, jei lašelių dydis ne mažesnis nei  $2 \mu\text{m}$ . Technologija yra sudaryta iš kelių pakopų, kuriose jungiami adsorbcijos ir separacijos procesai. Iš specialaus pluošto sukurtoje atskiroje talpoje vyksta naftos lašelių atskyrimas iš dehidrato, nepriklausomai nuo fazių būsenos (laisvai plaukiojantys ar emulsinėje formoje). Atskyrimas atliekamas remiantis daugkartinio naudojimo naftos adsorbentu, kuris yra gaminamas poliuretano pagrindu ir pasižymi hidrofobinėmis ir oleophilinėmis savybėmis yra netoksiškas terpes jungiantis agentas [15].

TORR technologijos atskyrimo procesas prasideda paduodant naftos produktais užterštą vandenį į filtravimo įrenginį, kuriame atskiriamos kietosios priemaišos, tokios kaip smėlis, žvyras, gruntas ir kt. Vėliau dehidratas paduodamas į separacijos talpą, kurioje vanduo pereina per įrenginiuose sumontuotas adsorbuojančios kasetes ir atkūrimo kameras. Čia esantis adsorbuojantis agentas nuolat adsorbuoja naftos emulsijas, kurios ant adsorbento paviršiaus yra desorbuojamos į didesnius naftos lašelius. Atkūrimo kameroje desorbuoti naftos lašeliai, dėl mažo tankio, kyla į viršų ir viršutinėje įrenginio dalyje yra pašalinami. Sistema taip pat gali atskirai pašalinti ir susidariusį dujų srautą, o atskirtos dujos ir naftos produktai net gali būti pakartotinai panaudojami [16].



**3 pav.** TORR technologijos principinė technologinė schema [17].

Naftos gavybos proceso metu susidariusio dehidrato sudėtis ir naftos produktų kiekis jame labai skiriasi. Tačiau TORR technologija jau yra pasiekusi tokį dehidrato valymo etapą, kai sistema

gali dirbti esant tokiems parametrams: API gravity <sup>1</sup>didesnis nei 15; temperatūra iki 100°C; naftos koncentracija iki 2000 mg/l., lašelių skersmuo nuo 2 µm; [17].

Mokslininko M.J. Plebon atlikti tyrimai parodė, kad įleidžiant į TORR sistemą dehidratą su emulsinės formos naftos likučiais, kurių dydis siekia iki 10 µm, galima pasiekti didesnę nei 90% išvalymo efektyvumą. Daugkartiniais tyrimais mokslininkas nustatė, kad įvedus į sistemą dehidratą, kuriame vidutiniškai naftos likučių koncentracija yra 29,84 mg/l, tai išleidžiamo dehidrato naftos likučių koncentracija neviršija 2,88 mg/l. Nustatytas technologijos išvalymo efektyvumas nepriklausomai nuo praleisto dehidrato kiekio per sistemą siekė 90,36%, tačiau norint pašalinti naftos produktus be vandens priemaišų, turi būti parinktas toks dehidrato tekėjimo greitis, kad atskyrimo kameroje nevyktų srautų turbulencija [15].

### 1.5.3. Filtravimas per sorbentus.

Sorbentai – tai netirpios medžiagos ar medžiagų mišiniai, kurie surenka ir išlaiko teršalus savo molekulinėje struktūroje ir juos absorbuoja visu tūriu (absorbentai) arba adsorbuoja ant savo porėto ir kapiliarinio paviršiaus (adsorbentai).

Sorbentus galima suskirstyti į tris pagrindines kategorijas:

- natūralūs organiniai sorbentai;
- natūralūs neorganiniai sorbentai;
- sintetiniai sorbentai.

Natūralūs organiniai sorbentai gali būti kerpės, šiaudai, šienas, pjuvenos, kukurūzų burbulių kotai, plunksnos ir kiti lengvai gaunami anglies pagrindo produktai. Natūralūs neorganiniai sorbentai gaminami iš molio, stiklo vatos, smėlio ar vulkaninės kilmės pelenų, o sintetiniai sorbentai yra žmogaus pagamintos medžiagos, kurios panašios į plastikus, tokios kaip poliuretanai, polietilenas ar polipropilenas ir yra sukurtos adsorbuoti skysčius jų paviršiuje. Sintetiniai sorbentai savo sudėtyje gali turėti įvairių polimerų ar dervų [12].

Natūralūs sorbentai yra viena paklausiausių alternatyvų naftos produktų šalinimui dehidrate. Skirtingai nei sintetiniai sorbentai, jie yra gaunami iš augalų, gyvūnų liekanų (organiniai sorbentai) arba mineralų (neorganiniai sorbentai). Natūralūs organiniai ir neorganiniai sorbentai gali absorbuoti

---

<sup>1</sup> API gravity – Amerikos Petroleum Instituto matavimo vienetas, parodantis kiek sunkus ar lengvas yra naftos tirpalas, lyginant jį su vandeniu. Jei API sunkis didesnis nei 10, tada jis yra lengvesnis už vandenį ir plūduriuos jo paviršiuje, jei mažiau nei 10, bus sunkesnis ir skęs.

naftą, atitinkamai nuo 3–15 ir 4–20 kartų savo paties svorio. Neorganiniai sorbentai yra mažiau naudojami dėl jų mažesnės sorbcijos gebos ir mažesnio plūdrumo. Organiniai pluoštiniai sorbentai pasižymi palyginti didele sorbcijos geba ir yra dažniau naudojami dėl mažesnės kainos ir draugiškumo aplinkai: lengvas sorbentų surinkimas, aukštas naftos atgavimas iš sorbento ir lengvas šalinimas lyginant su kitų tipų sorbentais.

Natūralūs naftos sorbentai yra cukranendrių išspaudos, ryžių lukštai, miežių šiaudai, medvilnė, vilna, medienos atliekos ir įvairių augalų bei gyvūnų medžiagos, kurie suformuojami į lakštus, bloknotus, filtrus ir pluoštus. Žalios gamtos sorbentai pasižymi puikia sorbcijos geba, neturi cheminių priedų, yra lengvai biologiškai skaidomi [4].

## **FIBROIL**

FIBROIL – registruotas prekinis pavadinimas, gaminamas natūralios vilnos pagrindu ir gali efektyviai sorbuoti naftos produktus (iki 8–14 g naftos/g sorbento). Šis pluoštas yra lengvai biologiškai skaidomas ir veiksmingas visų tipų angliavandenilių absorbavimui, ypač didelio klampumo alyvoms. Natūralus vilnos pluoštas turi išorinį oleophilinį ir vidinį hidrofilinį sluoksnius, kurie susideda iš mažų 30–38 mikronų skersmens kapiliarų įsipainiojusių ir susivyniojusių vienas aplink kitą. Vilnos pluošto tankis yra apie 1,31 g/ml, o įprasto FIBROIL pluošto tankis – 0,33 g/ml. Nuolatinio filtravimo sistemose, naudojant FIBROIL, filtrate galima pasiekti iki 5 mg/l naftos produktų koncentraciją [18].

VGTU mokslininkė A. Mažeikienė atliko tyrimą, siekdama išsiaiškinti atskirų organinių sorbentų efektyvumą absorbuoti naftos produktus. Ji atliko du eksperimentus, kuriuose vieną iš sorbuojančių medžiagų, ji naudojo lietuvišką vilną ir vilnos pagrindu gaminamą medžiagą FIBROIL. Tam, kad būtų galima nustatyti optimalias filtro darbo sąlygas, pirmojo tyrimo metu buvo filtruojamos naftos produktų turinčios nuotekos tol, kol filtre pastebimai išaugo slėgio nuostoliai. Tyrimo metu paaiškėjo, kad optimalus filtruojančios įkrovos aukštis yra 0,1 m, o filtravimo greitis 10 m/h. Antrajame tyrimo etape buvo numatyta filtruoti taip ilgai, kaip įmanoma, kol slėgio nuostoliai padidėjo, filtro užpildas tapo nepralaidus ir eksperimentas buvo baigtas. Nustatytas naftos produktų pašalinimo efektyvumas siekė 96%, o nustatyta sorbcijos geba 0.85 g/g [19].

Siekdamas nustatyti sorbcijos gebą ir naftos produktų pašalinimo efektyvumą mokslininkas V. Rajakovic, kaip ir A. Mažeikienė atliko tyrimus su natūralia ir vilnos pagrindu gaminta sorbuojančia medžiaga. Tyrimas buvo atliekamas tokiomis sąlygomis: sorbento kiekis 5g., filtro diametras 2 cm., filtravimo greitis 2 cm<sup>3</sup>/min., temperatūra 20 °C, kontakto trukmė 25 min., naftos produktų koncentracija 1511 mg/l. Gauti rezultatai parodė, kad natūralios vilnos pluošto sorbcijos geba 5.56 g/g, o išvalymo efektyvumas priklausė nuo paduodamų nuotekų tūrio ir praleidus 1 l nuotekų per

filtrą nukrito nuo 74 iki 55%. Atitinkamai su antrąja sorbuojančia medžiaga sorbcijos geba 5.48 g/g, o išvalymo efektyvumas kito 78–42% ribose [20].

Sekančiais metais (2008) tas pats mokslininkas atliko kitus tyrimus su vilnos pluošto pagrindu gaminta sorbuojančia medžiaga, siekdamas išsiaiškinti sorbcijos gebos priklausomybę nuo naftos produktų kiekio. Tyrimui buvo paruošta neapdirbtos naftos emulsija: į 400 ml demineralizuoto vandens pridėta 40 g naftos. Nustatyti sorbcijos gebai, mokslininkas įmetė 1 g sorbuojančios medžiagos ir 15 min 110 supurtymų/min greičiu mėginį purtė. Gauta sorbcijos geba buvo 11,06 g/g ir patenka į intervalą, kurį nurodo prekybininkai [21].

Aukščiau atlikti ir aprašyti mokslininkų tyrimų rezultatai parodė gerą sorbcijos gebą ir aukštą išvalymo efektyvumą, tačiau nei vienas iš jų neatliko pirminio regeneracijos bandymo. Tokie tyrimai yra labai svarbūs, norint pritaikyti šį natūralų organinį sorbentą pramonės įmonėms su dideliais debitu svyravimais ir aukštomis naftos produktų koncentracijomis dehidrate. Taip pat svarbu įvertinti ir patį medžiagos regeneravimą bei jos tarnavimo laiką prieš regeneraciją ir po jos.

#### **1.5.4. Membranos**

Per pastarąjį dešimtmetį membraninės technologijos tapo labai svarbia fizikinės separacijos valymo alternatyva. Didžiausi jų privalumai: darbinis režimas vykdomas be cheminių medžiagų, mažos energijos sąnaudos ir lengvai kontroliuojamos procesų sąlygos. Lyginant su tradiciniais metodais membraninė separacija yra pažengusi technologija. Proceso efektyvumas priklauso nuo membranos savybių, o atskyrimas yra labai paprastas ir pagrįstas transportacija per membraną tarp dviejų fazių [22].

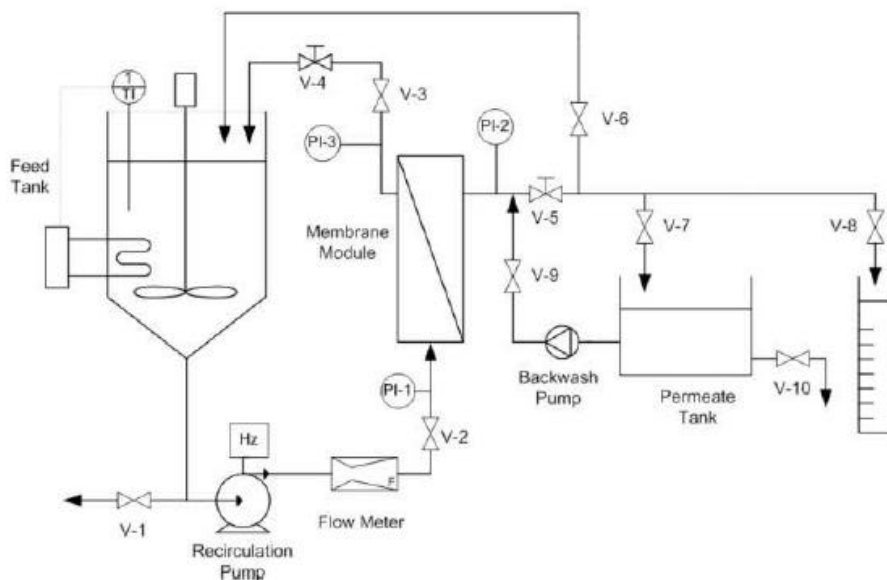
Kaip alternatyva naftos produktų šalinimui iš dehidrato vis dažniau pasirenkamas membraninis valymas. Slėgių skirtumo pagrįsti membraniniai procesai yra panašūs, bet skiriasi paviršiaus porų dydžiais ir dažniausiai skirstomi į mikrofiltraciją, ultrafiltraciją, nanofiltraciją ir atvirkščio osmoso filtraciją [23].

**2 lentelė.** Membraniniam atskyrimui naudojamų membranų parametrai [23].

Porų tipas (dydis, nm)	Membranos tipas (porų dydis, nm)	Rūšys, kurias gali atskirti.
Makroporos (>50)	Mikrofiltracija (50-500)	Mielės ir grybai, bakterijos, naftos emulsijos.
Mezoporos (2-50)	Ultrafiltracija (2-50)	Koloidinės dalelės, virusai, baltymai.
Mikroporos (0,2-2)	Nanofiltracija (<2) Atvirkštinio osmoso (0,3-0,6)	Bendrus ir organinius antibiotikus, neorganinius jonus, vandenį.

Iš visų membraninių procesų dehidrato valymui efektyviausiu yra pripažintas ultrafiltravimas, kadangi pasiekiamas didžiausias išvalymo efektyvumas, nepridedant jokių cheminių priedų, yra sąlyginai mažos energijos sąnaudos. Naudojant mikro- ir ultra- filtracijas nuotekoms, kuriuose yra 0.1–10% naftos likučių, išleidžiamame filtrate pasiekama mažesnė nei 5 mg/l naftos likučių ir suspenduotų dalelių koncentracija. Šiems valymams dažniausiai yra naudojamos cirkonio, aliuminio ar polimerinės membranos [24].

Vienas iš svarbių veiksnių yra membranos regeneravimas. Siekiant išlaikyti norimą efektyvumo lygį po kiekvieno periodo yra būtina regeneruoti membraną.

**4 pav.** Dehidrato membraninio valymo principinė technologinė schema [20].

Aukščiau yra pateikta bandomoji tyrimo principinė schema, kurioje buvo valoma 40 l nuotekų ir naudojama hidrofilinė keramikinė cirkonio membrana. Šiame tyrime, valomos nuotekos siurblių pagalba buvo paduodamas filtravimui per membraną. Dalis filtrato vėl paduodamas į padavimo

bunkerį, kuriame buvo sumaišytas ir pakaitintas iki 45°C. Procesui palaikyti reikalingas 3 barų slėgių skirtumas tarp membranų, o prasiskverbimas per membraną yra 2 m/s. Procesas buvo kartojamas apie 10 kartų, kol paduodamose nuotekose naftos likučių kiekis padidėjo iki 250 mg/l ir buvo vykdomas membranos plovimas [26].

Vienas iš membraninės separacijos privalumų tas, kad tinka dehidrato valymui įvairiomis sąlygomis: paduodamų nuotekų pH gali svyruoti nuo 0–14 ribose, technologija dirba iki 100°C temperatūroje, o membranos pralaidumas siekia iki 1000 l/hm<sup>2</sup>bar. Žemiau pateikti atlikto tyrimo išleidžiamo filtrato kokybės parametrai.

Component	Unit	OPW (feed)	Permeate
Barium ( $Ba^{2+}$ )	mg.L <sup>-1</sup>	2.0±0.1	2.0±0.1
Strontium ( $Sr^{2+}$ )	mg.L <sup>-1</sup>	48.8±0.2	48.9±0.2
Calcium ( $Ca^{2+}$ )	mg.L <sup>-1</sup>	1,940±10	1,935±10
Magnesium ( $Mg^{2+}$ )	mg.L <sup>-1</sup>	1,020±10	1,020±10
Chloride ( $Cl$ )	mg.L <sup>-1</sup>	58,900±100	59,000±100
Salinity ( $NaCl$ )	mg.L <sup>-1</sup>	98,800±200	98,900±200
Sulfate ( $SO_4^{2-}$ )	mg.L <sup>-1</sup>	99.4±2.0	99.0±2.0
Iron ( $Fe^{2+}$ )	mg.L <sup>-1</sup>	6.3±0.1	1.7±0.1
Conductivity	mS.cm <sup>-1</sup>	100±1	100±1
pH		6.6±0.1	6.6±0.1
Oil and Grease	mg.L <sup>-1</sup>	25±2	< 3.0
Suspended Solids	mg.L <sup>-1</sup>	60±2	ND*

\*Not Detected

**5 pav.** Dehidrato valymo kokybės parametrai po membraninio valymo [23].

Gauti duomenys parodė, kad remiantis membranine technologija galima pasiekti apie 88% išvalymo efektyvumą naftos ir tepalų pašalinimui iš dehidrato, o suspenduotų dalelių kiekis pašalinamas 100% efektyvumu [27].

Nepaisant to, kad su šia technologija pasiekiamas aukštas išvalymo efektyvumas, slėgio palaikymui tarp membranų reikia didelių energijos sąnaudų. Esant didesniems debitams reikalingi labai dideli membranos paviršiaus plotai, todėl sunkėja jų priežiūra. Taikant šia technologiją naftos pramonės nuotekų valymui, reikalingos kelios lygiagrečiai veikiančios linijos, nes membraninei technologijai būtinas regeneravimas, o tai užima nemažai laiko. Taip pat reikalingi ir cheminių medžiagų kiekiai, nes regeneravimas vyksta tokia eiga: plovimas, šarminis valymas, skalavimas, rūgštinis valymas, skalavimas. Aptarto bandomojo įrenginio regeneracija vykdoma apie 1,5 h [25].



## 1.6. Literatūros apžvalgos apibendrinimas

3 lentelė. Dehidrato valymo technologijų palyginimas.

	Privalumai	Trūkumai
CAMMNET Ciklonai	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Nuolatinio veikimo;</li> <li>2. Mažos energijos sąnaudos;</li> <li>3. Kompaktiški įrenginiai;</li> <li>4. Nereikia cheminių priedų;</li> <li>5. Galima jungti į recirkuliacinę, veikiančią lygiagrečiai ar nuosekliai, sistemą;</li> <li>6. Greitas procesas;</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Jautrios sistemos ribos;</li> <li>2. Reikalingi profesionalai procesų kontrolei;</li> <li>3. Naftos likučių kiekis negali būti mažesnis nei 1% srauto;</li> <li>4. Reikalingi palaikyti dideli paduodamo dehidrato debitai;</li> <li>5. Pasiekiamas &lt;60% išvalymo efektyvumas;</li> <li>6. Reikalingas papildomas valymas [7; 3];</li> </ol>
Membranos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Technologija veikia plačiose ribose: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Naftos konc. nuo 0,1-10%;</li> <li>• pH 0-14;</li> <li>• iki 100°C temperatūroje;</li> </ul> </li> <li>2. Pasiekiamas mažesnė nei 5 mg/l suspenduotų ir naftos likučių koncentracija filtrate</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Periodinio veikimo technologija;</li> <li>2. Didelės energijos sąnaudos;</li> <li>3. Reikalingos kelios, lygiagrečiai dirbančios linijos;</li> <li>4. Reikalingi dideli membranų paviršiaus plotai, dėl ko sunkėja priežiūra;</li> <li>5. Regeneracija užtrunka nemažai laiko, reikalingi ir cheminių medžiagų priedai [10;112;13];</li> </ol>
TORR	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Šalina iki 2 μm dydžio daleles;</li> <li>2. Efektyvumas &gt;90%;</li> <li>3. Nereikia cheminių priedų;</li> <li>4. Plačios sistemos ribos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Iki 2000 mg/l naftos priemaišų;</li> <li>• Temperatūra iki 95°C;</li> </ul> </li> <li>5. Lengva ir pigi eksploatacija;</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pašalina naftos produktus, kurių tankis mažesnis nei 0,9 g/cm<sup>3</sup>;</li> <li>2. Palyginti nedidelis našumas, iki 400 l/h. [6;9];</li> </ol>

Atlikus fizikinių valymo technologijų apžvalgą bei aptarus technologijų privalumus ir trūkumus, aiškiai buvo pastebimas TORR technologijos pranašumas kitų technologijų atžvilgiu. Dėl paprastos proceso kontrolės, paprastos įrangos priežiūros, lengvos filtrų regeneracijos ir ekonomiško bei efektyvumo, buvo nuspręsta tyrimus atlikti filtruojant naftos dehidratą per du sorbentus (FIBROIL, kuris yra gaminamas vilnos pagrindu ir yra lengvai yrantis bei sintetinį sorbentą X), kaip alternatyvą TORR technologijai.

## 2. METODINĖ DALIS

Metodinėje dalyje pateikiamas aparatūros aprašymas, technologinė principinė schema ir bandomojo tyrimo darbo eiga.

### 2.1. Bandomojo tyrimo eiga.

Tyrimo tikslas ir uždaviniai

Atliekamo **tyrimo tikslas** yra išsiaiškinti geriausiai naftos likučius sorbuojančią medžiagą ir nustatyti optimalius bandomojo įrenginio technologinius naftos dehidrato valymo parametrus laboratorinėmis sąlygomis, kad filtruojančią įkrovą su parinkta sorbuojančia medžiaga būtų galima pritaikyti pramonės poreikiams.

Tiksliui pasiekti padėjo išskelti **uždaviniai**:

1. Atlikti naftos suspencijos granulometrinį tyrimą.
2. Atlikti eksperimentinius tyrimus, padėsiančius nustatyti geriau naftos likučius sorbuojančią medžiagą.
3. Eksperimentinių tyrimų pagalba išsiaiškinti optimalias sorbuojančios medžiagos darbo sąlygas.
4. Sorbuojančios medžiagos regeneracijos tyrimas.

Planuojamas pagrindinis darbas buvo suskirstytas į 4 etapus:

I etapas: buvo skirtas preliminariam filtruojančių medžiagų analizavimui bei efektyvumų lyginimui laboratorinėmis sąlygomis.

II etapas: buvo skirtas pusiau gamybinėmis sąlygomis nustatyti bandomojo įrenginio ir filtruojančios įkrovos parametrus.

III etapas: rėmėsi antrojo darbo etapo rezultatais ir buvo skirtas nustatyti filtruojančios įkrovos regeneracijos poreikį.

IV etapas: regeneracijos poveikio tyrimas filtruojančios įkrovos darbui.

### **2.1.1. Įkrovos efektyvumo kitimo analizė laboratorinėmis sąlygomis.**

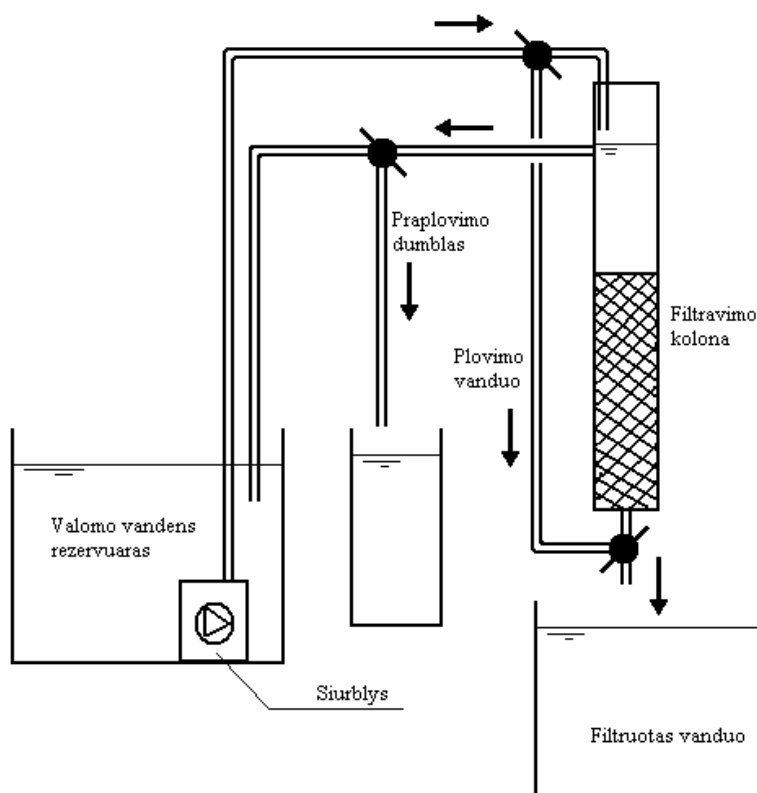
Pirmojo pilotinio tyrimo etapo **tikslas**: patikrinti siūlomos technologijos konstrukcinius sprendimus ir parinkti tinkamiausią sorbuojančią medžiagą tolimesniems tyrimams.

Tyrimo etapui suformuluoti **uždaviniai**:

1. Suprojektuoti ir įgyvendinti principinę laboratorinių bandymų stendo schemą.
2. Laboratorinėmis sąlygomis ją išbandyti.
3. Nustatyti sorbuojančią medžiagą, kuri bus naudojama tolimesniems tyrimams filtruojančiai įkrovai pusiau gamybinėmis.
4. Patikrinti stendo ir filtruojančio sorbento efektyvumą, nustatant liekamąją naftos produktų koncentraciją filtrate.

#### **Aparatūra:**

Filtravimo tyrimas, kuris skirtas efektyvumo ir liekamosios naftos koncentracijos nustatymui dehidrate, buvo atliktas laboratoriniame stende, kurio principinė schema pavaizduota 6 pav. Stendą sudarė valomo vandens rezervuaras, filtravimo kolona, išvalyto vandens rezervuaras, praplovimo dumblo rezervuaras. Filtravimo metu vanduo buvo paduodamas į stiklinę koloną iš viršaus, o vandens perteklius nutekėdavo atgal į valomo vandens rezervuarą. Filtravimo greitis buvo valdomas vožtuvų pagalba reguliuojant iš filtravimo kolonos ištekiančio vandens debitą. Praplovimo stadijos metu buvo naudojamas tas pats valomas vanduo, tik jis į stiklinę filtravimo koloną buvo paduodamas iš apačios. Praplovimo stadijos metu, pro kolonos viršuje esantį vamzdį, praplovimo vanduo kartu su dumblo dalelėmis patekdavo į praplovimo dumblo rezervuarą.



**6 pav.** Principinė laboratorinių tyrimų stendo schema.

### **Darbo eiga:**

Vanduo iš valomo vandens rezervuaro buvo paduodamas į stiklinę filtravimo koloną, kurioje vožtuvų pagalba nustatomas reikiamas debitas, kad pro filtravimo koloną būtų praleistas numatytas kiekis vandens. Nafta užterštas vanduo filtruojamas apytiksliai 5, 10, 13, 20, 30 m/h greičiais. Filtracijos kolonoje buvo patalpintas 15 cm aukščio filtruojantis mikropluošto sluoksnis. Filtracija buvo vykdoma su dviem skirtingomis filtruojančiomis įkrovomis: FIBROIL ir sintetiniu sorbuojančių medžiagų mišiniu.

Filtratas buvo surenkamas į filtruoto vandens surinkimo talpą. Filtruoto vandens pavyzdžių ėmimas buvo vykdomas kas valandą nuo filtravimo pradžios, o naftos produktų koncentracija buvo nustatoma AB „Klaipėdos vanduo“ sertifikuotoje nuotekų tyrimo laboratorijoje. Filtruoto vandens mėginiai buvo imami pagal AB „Klaipėdos vanduo“ pateiktus mėginių paėmimo nurodymus į įmonės pateiktą tarą.

Baigus filtravimą vandens padavimas į filtravimo koloną buvo sustabdytas, o filtruojanti įkrova buvo praplaunama filtruotu vandeniu iš filtruoto vandens rezervuaro naudojant išcentrinį siurbli ir paduodant vandenį iš apačios į viršų apie 0,3 l/s debitu. Taip pat nestabdant praplovimo vandens

padavimo, filtravimo kolonėlėje esanti įkrova, mechaniškai su specialiu stūmokliu buvo suspausta. Praplovimas buvo vykdomas tol, kol vizualiai pastebėtas ištekančio praplovimo vandens nuskaidrėjimas.

### **2.1.2. Technologinių parametrų nustatymo tyrimas pusiau gamybinėmis sąlygomis.**

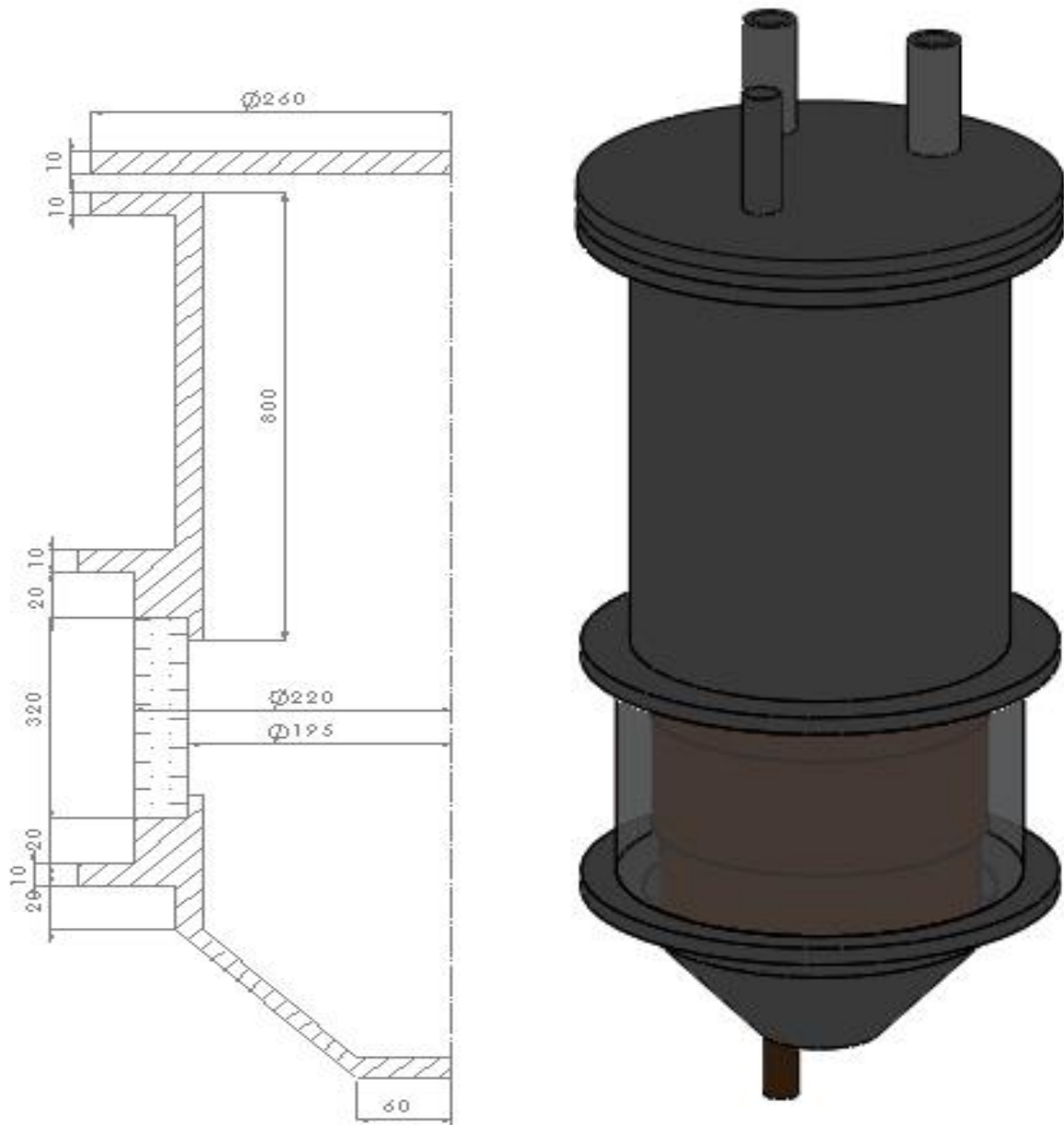
Tyrimo **tikslas**: nustatyti sąlygas, kurios labiausiai atitiktų realias, kad būtų galima nustatyti technologinius parametrus ir išsiaiškinti eksploatacijos sąlygas, būdingas naujai siūlomai technologijai.

Tyrimo etapui suformuluoti **uždaviniai**:

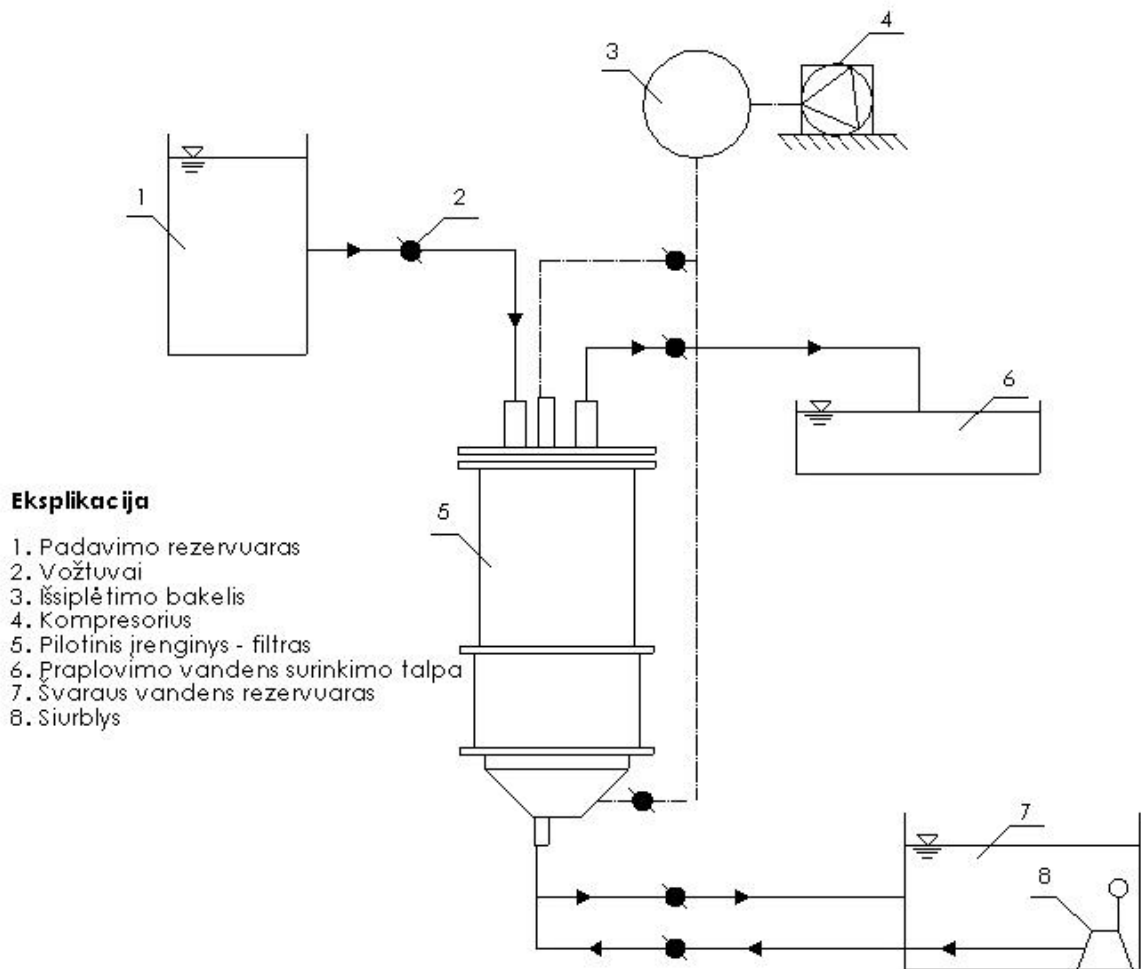
1. Pusiau gamybinėmis sąlygomis atlikti dehidrato valymo efektyvumo dinamikos tyrimus.
2. Atlikti filtro darbo trukmės tyrimą.
3. Nustatyti filtravimo greičio ir hidraulinių nuostolių kitimo tendencijas.
4. Nustatyti filtro praplovimo ypatybes.

#### **Aparatūra:**

Antrajame tyrimo etape buvo sumodeliuota ir surinkta filtruojamo įrenginio konstrukcija, skirta tyrimams pusiau gamybinėmis sąlygomis, sujungta į principinę technologinę tyrimų schemą ir išbandyta. Žemiau yra pateiktas filtravimo įrenginio trimatis paveikslas, pjūvis su matmenimis (7 pav.) ir sukonstruotas pusiau gamybinis tyrimų stendas (8 pav). Darbe naudojamo stendo, bandomojo įrenginio brėžiniai ir trimatė projekcija pateikti naudojant SolidWorks programinę įrangą.



**7 pav.** Bandomasis modelis naudotas tyrimuose pusiau gamybinėmis sąlygomis.



**8 pav.** Principinė pusiau gamybinių sąlygų tyrimo stendo schema.

### Darbo eiga:

Iškeltų uždavinių įgyvendinimui tyrimai antrajame etape buvo vykdomi nestabdant sistemos visą parą. Remiantis pirmajame etape nustatytu optimaliu filtravimo greičiu, antrajame tyrimo etape vanduo siurbliu reikiamai sureguliuotu režimu buvo paduodamas į filtrą. Per filtrą pratekančio srauto greitis buvo apskaičiuotas pagal tai, per kiek laiko prisipildė 5 litrų talpa. Skaičiavimas buvo vykdomas pagal formulę:

$$v = \frac{V \cdot 3600}{S \cdot t}, \text{ m/h;} \quad (1)$$

Čia:  $V$  – talpos tūris  $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ ;

$S$  – filtro skerspjūvio plotas  $3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ ;

$t$  – laikas, s;

Paduodamo vandens užterštumas buvo nustatinėjamas imant nevalyto vandens mėginius tyrimo pradžioje, o filtruotas vanduo periodiškai buvo tirtas imant mėginius naftos produktų nustatymui filtrate. Mėginiai buvo imti pagal AB „Klaipėdos vanduo“ pateiktus nurodymus.

Filtrui sulaikant vis daugiau teršalų ir pastoviai paduodant tą patį vandens srauto debitą, buvo tikimasi, kad jame keisis slėgio nuostoliai. Šiuos pokyčius turėjo parodyti vandens stulpelių aukščiai pjezometriniuose vamzdeliuose. Gauti rezultatai buvo fiksuojami kartu su naftos produktų analizei imtais mėginiais.

Tyrimų etapo pabaigoje, sustabdžius vandens padavimą į filtrą, iš švaraus (filtruoto) vandens rezervuaro (7), siurbliu (8) buvo paduodamas praplovimo vanduo. Praplovimo vandens srautas buvo paduodamas priešinga kryptimi nei buvo tiekiamas vanduo filtravimo metu. Vožtuvais buvo sureguliuotas praplovimo vandens srautas, kad vanduo pratekėtų į filtrą apytiksliai 10m/h greičiu. Praplovimo vandens sąnaudos buvo apskaičiuotos išmatuojant vandens lygių skirtumus prieš ir po praplovimo švaraus vandens rezervuare.

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot (h_1 - h_2), \text{ m}^3; \quad (2)$$

Čia:  $h_1$  – vandens aukščio lygis prieš praplovimą, m;

$h_2$  - vandens aukščio lygis po praplovimo, m;

$r$  – spindulys, m;

Oro srautas buvo reguliuojamas vizualiai kontroliuojant procesus vykstančius filtruojančiame užpilde. Periodiškai, kas pusė minutės, buvo nuspaudžiamas perforuotas diskas žemyn, mechaniškai suslegiant filtruojančią įkrovą. Praplovimo procedūra buvo nutraukta, kai išleidžiamas praplovimo vanduo nuskaidrėjo.

### 2.3.3. Filtruojančios įkrovos regeneracijos poreikio tyrimas.

Trečiojo tyrimo etapo **tikslas**: nustatyti filtruojančios įkrovos darbo trukmės bei regeneracijos poreikio priklausomybę nuo slėgio nuostolių ir nustatyti regeneracijos proceso technologinius parametrus.



Bandomųjų tyrimų etapui buvo suformuluoti **uždaviniai**, siekiant nustatyti technologinius parametrus:

1. Filtravimo greitį;
2. Slėgio nuostolių kitimo dinamiką;
3. Likutinės naftos koncentracijos kitimo dinamiką;
4. Praplovimo vandens padavimo intensyvumą ir trukmę;
5. Oro padavimo intensyvumą, slėgį ir trukmę;
6. Mechaninio poveikio jėgą ir intensyvumą;
7. Praplovimų skaičių nekeičiant įkrovos;

#### **Darbo eiga:**

Trečiame darbo etapo tyrime numatyta žymiai ilgesnė nepertraukiamo tyrimo trukmė, sutelkiant pagrindinį dėmesį į slėgio nuostolių kitimo dinamiką, vandens srauto tekėjimo greitį, naftos produktų koncentraciją pradinio ir filtruoto vandens pavyzdžiuose, naftos produktų kitimo dinamiką filtruotame vandenyje ir į filtrą atitekėjusių naftos produktų koncentraciją.

Naftos produktų koncentracija prieš filtrą ir filtruotame vandenyje buvo nustatoma sertifikuotoje laboratorijoje pripilant mėginius į specialiai paruoštus stiklinius indus. Slėgio nuostoliai filtruojančioje įkrovoje buvo matuojami fiksuojant vandens stulpelių pjezometriniuose vamzdeliuose aukščių skirtumą mm, o pratekantis vandens kiekis ir filtravimo greitis buvo nustatomi išmatuojant per kiek sekundžių pribėga 5 litrų talpa. Filtravimo greitis buvo apskaičiuotas naudojant antrojo darbo etapo metodinėje dalyje nurodytą lygtį (1).

Stebint vizualiai filtruojančio užpildo darbą per stiklinę filtro dalį, buvo stebima filtro užsiteršimo dinamika. Baigus filtravimo ciklą filtras buvo praplautas naudojant antrojoje darbo etapo dalyje aprašytą praplovimo eigą, o sunaudoto paplovimo vandens kiekis buvo apskaičiuotas pagal (2) lygtį.

#### **2.3.4. Filtruojančios įkrovos efektyvumo po įkrovos regeneracijos tyrimas.**

Tyrimo etapui suformuluotas **tikslas**: nustatyti filtruojančios įkrovos efektyvumą ir pralaidumą po įkrovos regeneracijos.

Tyrimo tikslui įgyvendinti iškelti **uždaviniai**:

1. Nustatyti naftos produktų koncentracijos kitimo dinamiką po filtro regeneracijos.
2. Nustatyti filtruojančios įkrovos pralaidumo kitimo dinamiką po filtro regeneracijos.

**Darbo eiga:**

Šis bandomojo tyrimo etapas buvo skirtas išsiaiškinti ar po filtro praplovimo pilnai atsistato įkrovos darbinis efektyvumas ir pralaidumas. Todėl tyrimo metu buvo nustatytas optimalus darbinis filtravimo greitis, procesas sureguliuotas savitakiu režimu ir kartą per dieną buvo imti filtruoto vandens pavyzdžiai į specialią tarą. Kiekvieną kartą imant pavyzdį buvo matuojama per kiek laiko prisipildo 5 l talpa, o filtravimo greitis buvo apskaičiuotas, naudojant (1) lygtį. Pradinio nefiltruoto vandens pavyzdžiai buvo imti tik pirmą ir paskutinę tyrimų dieną, tam kad įsitikinti, kad į filtrą patenka reprezentatyvus dehidratas.

Po baigiamojo filtravimo etapo filtras buvo praplaunamas. Praplaunant filtrą buvo panaudotas tik periodiškai paduodamas suspausto oro srautas ir priešinga filtravimui kryptimi buvo nuolat paduodamas praplovimo vanduo. Sunaudoto vandens kiekis buvo matuojamas pagal vandens lygių skirtumą praplovimo vandens talpoje.

### 3. TIRIAMOJI DALIS

Tiriamajoje darbo dalyje pateikiami gauti tyrimo rezultatai, aptariamos iškilusios problemos ir priimti sprendimai bei tolimesniam darbui nustatomi technologiniai filtruojančios įkrovos parametrai.

#### 3.1. Įkrovos efektyvumo kitimo analizė laboratorinėmis sąlygomis.

Filtravimo tyrimai buvo atliekami pagal metodiką, pateiktą metodinėje dalyje, ir po pirmų bandymų buvo nuspręsta atsisakyti FIBROIL filtruojančios medžiagos. Tyrimo metu sorbuojančiai medžiagai buvo keliami šie reikalavimai: sorbentas nesąveikautų su nafta, turėtų didelį paviršiaus plotą, neprarastų savo savybių po regeneracijos ir būtų elastingas. Po filtro regeneracijos FIBROIL nebeatsistatė, todėl buvo naudojamas tik kitas sorbentas X, kurį sudarė: 30% X markės tuščiaviduris mikropluoštas, 30% X markės pilnaviduris mikropluoštas ir 40% specialiai apdirbtos vilnos. Parenkant sorbentą, taip pat buvo svarbu, kad būtų užtikrintas medžiagos prieinamumas ir tiekimo garantija atsiradus filtruojančios įkrovos keitimo poreikiui.

Filtravimas buvo atliekamas įvairiais režimais, o užpildo darbas stebimas vizualiai. Filtravimo metu palaikant numatytus greičius užpildas išliko stabilus, jo pralaidumas nesumažėjo ir išlaikė tūrinį stabilumą. Po tyrimo išanalizavus gautus naftos koncentracijos rezultatus filtrate nustatyta, kad filtravimo užpildas buvo labai efektyvus, o filtrato kokybė gerokai viršijo keliamus reikalavimus (4 lentelė). Visais tirtais režimais palaikant filtravimo greitį (5, 10, 13, 20 ir 30 m/h) buvo pasiektas aukštas efektyvumas, kas leido daryti prielaidas dėl užpildo tinkamumo ir tolimesnių tyrimų pusiau gamybinėmis sąlygomis, optimizuojant technologinius parametrus, tikslingumo.

Toliau visoje tyrimų eigoje buvo naudojamas tas pats užpildas jį atitinkamai regeneruojant (praplauant). Panaudoto užpildo kiekis 9 g, tūris 188 cm<sup>3</sup>, sluoksnio aukštis 15 cm.

#### 4 lentelė. Laboratorinėmis sąlygomis atlikto naftos efektyvumo tyrimo rezultatai.

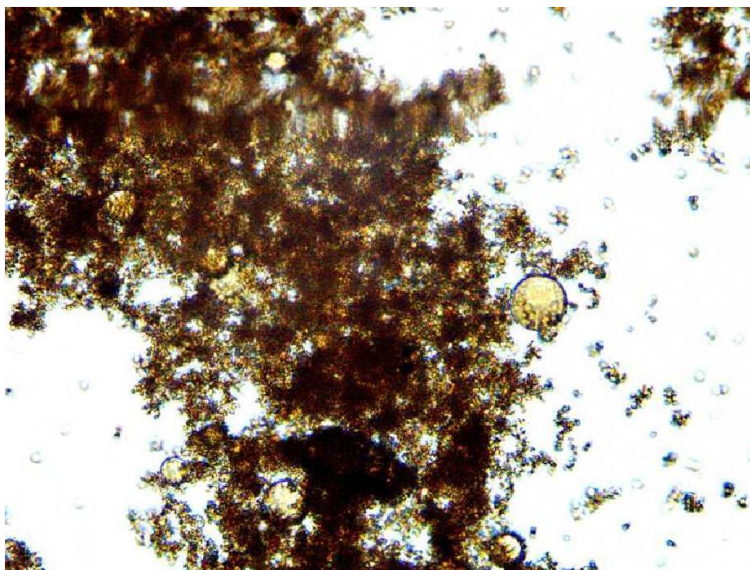
Naftos likučių koncentracija, mg/l	Filtravimo greitis; m/h				
	5	10	13	20	30
Filtravimo pradžioje	-	-	0,17	0,24	0,13
Filtravimo pabaigoje	0,11	0,12	0,24	0,61	0,53

Laboratorinėmis sąlygomis atliekant tyrimus, dėl ilgesnės dehidrato laikymo trukmės iki tyrimo pradžios suspėdavo susiformuoti druskų kristalai, kurie galėjo turėti įtakos valymo kokybei, t.y. filtruojanti pluoštinė įkrova, kai nėra filtruojamam vandenyje susiformavusių kristalų, galėjo blogiau sulaikyti naftos likučius dispersinėje formoje. Dėl šio priežasties buvo atlikti pirmieji bandomieji tyrimai pusiau gamybinėmis sąlygomis. Tyrimo pradžioje buvo sureguliuotas 10 m/h filtravimo greitis, kuris laboratorinių tyrimų metu buvo nustatytas kaip optimalus. Gauti naftos produktų koncentracijos filtruotame vandenyje rezultatai: po pirmos valandos 0,24 mg/l, po antros valandos 0,14 mg/l ir po trečios valandos filtravimo 0,09 mg/l.

Šiuo tyrimu norėta patikrinti ar laboratorinėmis sąlygomis atliktų tyrimų duomenys nesiskirs nuo gamybinėmis sąlygomis gaunamų rezultatų. Palyginus gautus duomenis su duomenimis gautais laboratorinių tyrimų metu, buvo pasiektas pakankamai aukštas efektyvumas ir buvo tikslinga toliau tęsti tyrimus, tikslinant technologinius parametrus.

Pasibaigus tyrimui buvo vykdomas regeneravimas pagal metodinėje dalyje aprašytą metodiką. Praplovimo procesas vyko sklandžiai, užtruko 4 min. ir buvo sunaudota 0,0752 m<sup>3</sup> praplovimo vandens. Praplovimo procesas buvo nutrauktas, kai vizualiai vertinant praplovimo vanduo tapo švarus. Per skaidrų stiklinį cilindrą akivaizdžiai matėsi užpildo uždumblėjimo ir plovimo proceso eiga.

Taip pat buvo atliktas naftos suspensijos granulometrinis tyrimas, kurio nuotrauka pateikta žemiau esančiame 9 paveiksle. Paveiksle matyti, kad praplovimo vandens dumble, esanti naftos suspensija išliko tokio pat agregatinio būvio, tik pakito jos koncentracija.



**9 pav.** Dehidrato granulotmetrinio tyrimo rezultatai po valymo laboratorinėmis sąlygomis.

### 3.2. Technologinių parametrų nustatymo tyrimas pusiau gamybinėmis sąlygomis.

Antruoju darbo etapu buvo numatyta stebėti, kaip eksperimento eigoje keisis slėgio nuostoliai ir filtravimo greitis modelyje, kaip dirba filtruojanti įkrova ir kaip keisis išleidžiamo filtrato kokybė viso tyrimo eigoje. Gauti preliminarių technologinių parametrų tyrimo rezultatai pateikiami priedų sąraše, 1 priede.

Antrasis darbo etapas nepertraukiamai tęsėsi daugiau kaip dvidešimt dvi valandas, o tyrimo metu buvo praleista daugiau kaip 5 m<sup>3</sup> tiriamojo vandens. Dėl vandens padavimo sistemos trūkumų, filtravimo greitis svyravo nuo 9,2 iki 7,5 m/h. Hidrauliniai nuostoliai buvo matuojami pjezometrinių vamzdelių pagalba prieš filtrą ir už jo, o gauti rezultatai kito nuo 20 mm iki 110 mm vandens stulpo. Matėsi aiški hidraulinių nuostolių augimo tendencija ir patvirtintos teorines prielaidos, kad hidrauliniai nuostoliai augs dėl priemaišų sulaikymo filtruojančios medžiagos sluoksnyje, o ne dėl filtruojančio sluoksnio sutankėjimo vandens srauto įtakoje (nors dauguma filtruojančių sluoksnių turi būtent šią problemą).

Vizualiai stebint viso tyrimo metu, pastebimai užsiteršė tik viršutinis trečdalis filtruojančios įkrovos, todėl galima daryti prielaidą, kad užsiteršus visam sluoksniui, hidrauliniai nuostoliai gali padidėti iki pusės metro. Paėmus filtrato mėginius ir nustatčius naftos produktų koncentraciją filtruotame vandenyje, kuri neviršijo 0,3 mg/l, buvo patvirtinta filtruojančios įkrovos tik viršutinio sluoksnio užsiteršimo hipotezė. Gauti rezultatai parodė aukštą sistemos efektyvumą, nes naftos produktų koncentracija filtrate daugiau nei 16 kartų buvo mažesnė už galimą maksimalią reikšmę. Pradinis į filtrą patenkančio vandens užterštumas paimtame pavyzdyje buvo nustatytas 7,7 mg/l, o gautas vandens išvalymo efektyvumas nuo naftos produktų siekė 96,1%.

Pasibaigus filtravimo tyrimams, bandomasis modelis buvo praplautas filtruotu vandeniu, kaip aprašyta metodinėje dalyje pateiktoje metodikoje. Filto regeneravimui buvo sunaudota 0.103 m<sup>3</sup> praplovimo vandens.

Atlikus filtro regeneravimą paaiškėjo filtruojančios įkrovos suformavimo trūkumai, todėl tolimesniems tyrimams buvo pakeistas filtro pluošto suformavimas (filtruojanti įkrova buvo patalpinta į tinklinį maišą neleidžiantį atskiriems pluošto gniužulėliams praplovimo metu patekti į praplovimo vandenį).

Atlikus visą preliminarių technologinių parametrų tyrimą, atsižvelgiant į technologinės sistemos trūkumus ir palyginti nedidelius hidraulinius nuostolius bandomajame modelyje, tolimesniam projekto plėtojimui sistema buvo perdaryta, atsisakius naftos produktais užteršto vandens padavimo

siurbliu ir filtravimo vandens patekimui į modelį užtikrinti buvo panaudotas sifonavimo procesas. Tolimesnius eksperimentus buvo nutarta pradėti nustatant didesnę nei 10 m/h filtravimo greitį, atsižvelgiant į tai, kad vis labiau užsiteršiant filtruojančiai įkrovai eksperimento metu, filtracijos greitis mažės savaime.

### **3.3. Filtruojančios įkrovos regeneracijos poreikio tyrimas.**

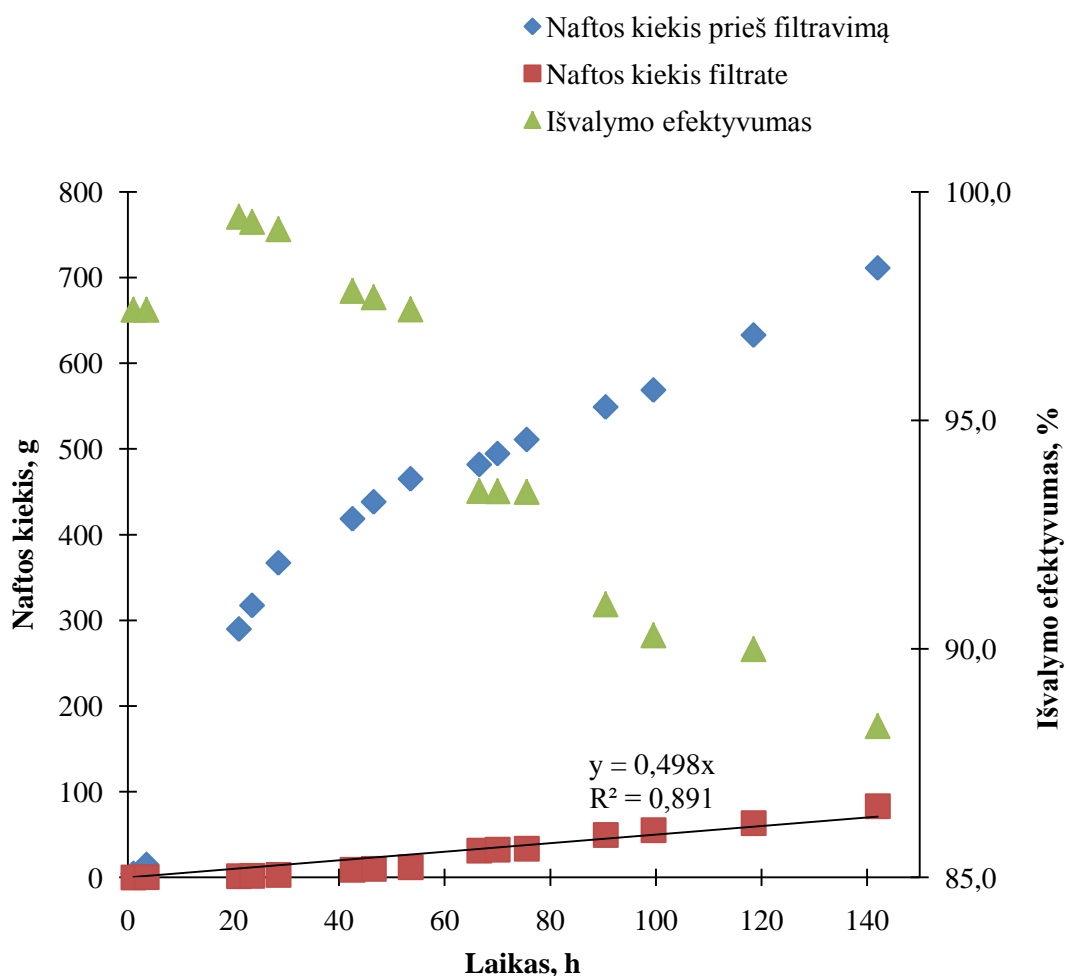
Trečiojo tyrimo metu buvo numatyta surinkti visus būtinus duomenis apie sistemos efektyvumą ir technologinius parametrus, nustatančius optimalias filtruojančios įkrovos darbo sąlygas. Gauti bandomojo projekto rezultatai pateikti priedų sąrašė, 2 priede.

Pagrindinis bandomojo modelio tyrimas nepertraukiamai vyko 142 valandas ir tyrimo metu buvo praleista virš 40 m<sup>3</sup> naftos produktais užteršto vandens. Tyrimo eigoje periodiškai į specialią tarą, pagal pateiktą AB „Klaipėdos vanduo“ metodiką, buvo imami pavyzdžiai naftos produktų koncentracijai nustatyti pradiniam ir filtruotame vandenyje. Tuo pat metu buvo fiksuojami slėgio nuostoliai filtre ir matuojamas laikas per kurį užsipildo 5 l matavimo indas. Remiantis gautais duomenimis buvo apskaičiuojamas debitas, filtravimo greitis ir praleistas vandens kiekis.

Atliekant eksperimentinius tyrimus ir vizualiai stebint filtruojančios įkrovos užsiteršimą jau trečią tyrimo dieną matėsi, kad visas filtro tūris užterštas sulaikytais nešvarumais. Vizualiai filtrato kokybė dar buvo pastebimai geresnė nei į bandomąjį modelį paduodamo naftos produktais užteršto vandens. Ketvirtą dieną pastebimai sumažėjo filtravimo greitis ir buvo galima daryti prielaidą, kad filtruotame vandenyje yra daugiau naftos nei pirmomis dienomis (ne toks skaidrus filtratas, aštresnis naftos produktų kvapas). Per visą pagrindinio tyrimo laikotarpį, nuosekliai didėjo slėgio nuostoliai filtre. Tyrimo pradžioje buvo nustatytas 32 mm vandens stulpo aukštis, o tyrimų pabaigoje slėgio nuostoliai sudarė beveik 300 mm vandens stulpo.

Po 142 val. nuo eksperimento pradžios buvo paimti paskutiniai nevalyto ir filtruoto vandens pavyzdžiai, filtratas buvo sustabdytas ir praplautas. Gautos naftos produktų koncentracijos filtruotame vandenyje atitiko keliamus reikalavimus, tačiau tyrimas buvo sustabdytas, nes buvo palikta 25% filtro darbo saugos zona. Praplovimas buvo vykdomas pagal metodiką, nurodytą metodinėje dalyje, o regeneravimui buvo sunaudota 0.148 m<sup>3</sup> vandens.

Žemiau 10 paveiksle pateikti gauti tyrimo rezultatai pusiau gamybinėmis sąlygomis, kuriame parodyta naftos produktų kiekio akumuliacijos priklausomybė laike prieš ir po filtruojančios įkrovos.



**10 pav.** Naftos produktų kiekio akumuliacijos priklausomybė laike prieš ir po filtruojančios įkrovos.

Atlikus duomenų analizę, aiškiai matomas aukštas technologijos efektyvumas. Per visą tyrimo laiką į bandomąjį modelį buvo paduodamas dehidratas, kuriame, remiantis AB „Klaipėdos vanduo“ nustatytais naftos produktų koncentracijomis prieš filtrą ir filtrate bei tyrimo metu nustatytais padavimo debitais, viso buvo 711,20 g naftos. Filtrate buvo nustatytas 83,17 g naftos kiekis per visą tyrimo laiką, o gautas išvalymo efektyvumas darbo pabaigoje siekė 88,3 %. Per visą tyrimo laiką, momentinis išvalymo efektyvumas svyravo nuo 99,5% iki 88,3%. Sulaikytas naftos kiekis paveiksle pavaizduotas sudedant gautų rezultatų reikšmes į tiesią liniją, norint pavaizduoti teorines prielaidas dėl tolimesnio filtro darbo. Teoriškai, toliau dirbant be filtro regeneracijos, naftos produktų kiekis filtrate, pasiekus filtro „pramušimo“ ribą, turėtų staigiai didėti, bet šiuo atveju, galima duomenis pateikti tokioje formoje, nes yra uždėta 25 % filtro darbo saugos zona. Filtruojanti įkrova be perstojo dirbo 142 valandas, kas yra lygu 15,7 darbo dienų, skaičiuojant, kad dirbama po 9 valandas per dieną [30].

Vadinasi, realiomis darbinėmis sąlygomis filtro regeneracija yra reikalinga, kai hidrauliniai nuostoliai filtre pasiekia 300 mm vandens stulpo.

Žemiau yra pateiktas 11 paveikslas, kuriame pavaizduotos naftos produktais užteršto vandens koncentracijos pokytis prieš filtravimą ir filtrate viso tyrimo metu. Rezultatų analizavimo metu, buvo kilusios abejonės dėl blogai paimtų mėginių naftos produktų nustatymui prieš filtrą. Dėl šios priežasties atrinkti ryškiai išsiskiriantys rezultatai buvo analizuojami IBM SPSS Statistics 22 ir Microsoft Excel programų pagalba.

Naudojant Kolmogorovo – Smirnovo suderinamumo kriterijų ryškiai išsiskiriančių duomenų atmetimui, atrinkti rezultatai buvo tikrinami. Papildomai naudojant Microsoft Excel programą, buvo skaičiuojamas aritmetinis vidurkis  $\bar{x}$ , standartinis nuokrypis  $\sigma$  ir variacijos patikimumo koeficientas  $u_\alpha$ , kur patikimumo koeficientas  $\alpha = 0.05$ . Pagal Kolmogorovo – Smirnovo kriterijų duomenys turi būti pasiskirstę normaliai ir yra atmetami, jei  $u_i \geq u_\alpha$  [28].

Kiekvienam atrinktam rezultatui patikimumo koeficientas  $u_i$  buvo skaičiuojamas pagal formulę:

$$u_i = \frac{|x - x_i|}{\sigma}; \quad (3)$$

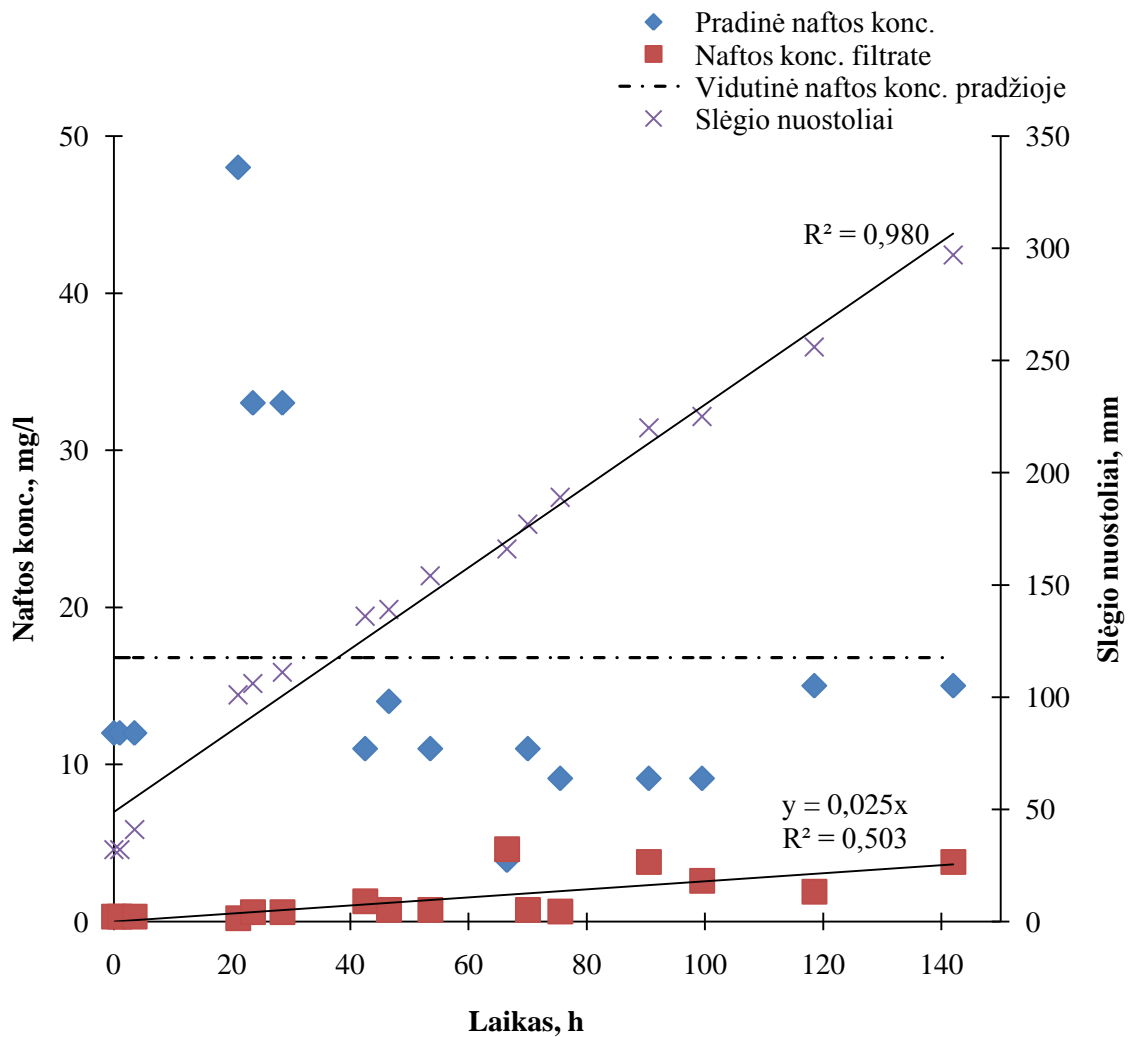
Čia:  $\sigma$  – standartinis nuokrypis.

$\bar{x}$  – vidurkis.

$x_i$  – atrinkta reikšmė.

Tam, kad išsiaiškinti koks yra duomenų pasiskirstymas buvo sudaryta histograma, naudojantis IBM SPSS Statistics 22 programa. Gautoje histogramoje matyti, kad duomenys yra pasiskirstę normaliai ir visi abejonės keliantys rezultatai atitiko iškeltą nelygybės reikalavimą, todėl rezultatai buvo naudojami tolimesniam duomenų analizavimui. Histograma, skaičiavimų ir rezultatų reikšmės pateiktos priedų sąrašė, 3 priede [29].





**11 pav.** Naftos produktų koncentracijos ir slėgio nuostolių tyrimo rezultatai pusiau gamybinėmis sąlygomis.

Remiantis gautais duomenimis matyti, kad paduodame užterštame vandenyje naftos produktų koncentracija kito labai plačiose ribose 3,9–48 mg/l, o filtrate nustatyta naftos produktų koncentracija laipsniškai didėjo nuo 0,31 mg/l iki 3,8 mg/l. Nepriklausomai nuo paduodamos naftos produktų koncentracijos išleidžiamo filtrato kokybė buvo labai aukšta ir atitiko keliamus reikalavimus. Gauti rezultatai parodė, kad esant plačiam užterštumo diapazonui technologija gali dirbti optimaliai. Paskutinė nustatyta naftos produktų koncentracija filtrate buvo 3,8 mg/l, tai sudarė 75% didžiausios leistinos koncentracijos filtrate. Gauti duomenys taip pat pateikti tiesėje, nurodant potencialų tolimesnį naftos produktų kitimą filtrate. Teoriškai, toliau dirbant tokiais pat režimais ir neregeneruojant filtruojančios įkrovos, būtų pasiekiamas taškas, kuriame naftos produktai įkrovoje nebūtų sulaikomi ir tiek paduodamos į filtruojantį modelį, tiek išleidžiamos filtrato koncentracijos naftos produktų atžvilgiu būtų vienodos.

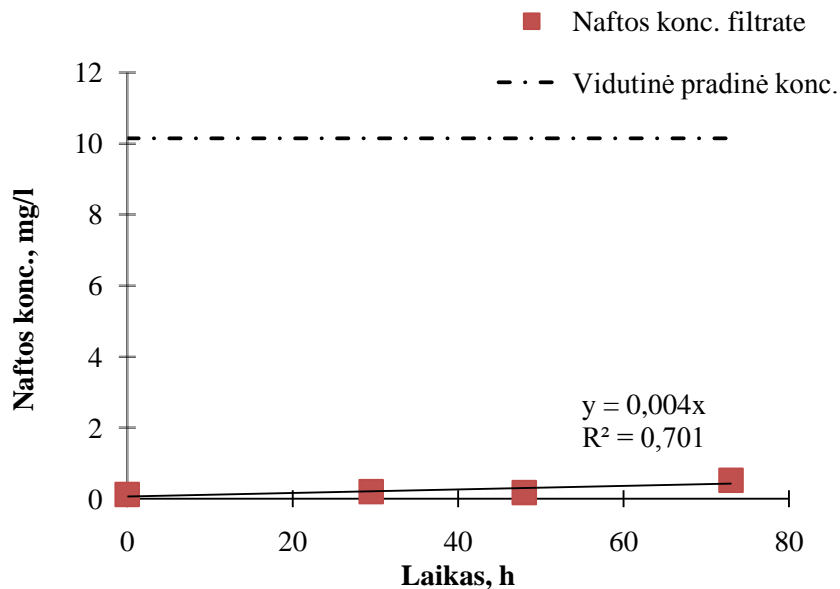
Atlikus slėgio nuostolių ir filtravimo greičio kitimo dinamikos analizę, pastebimas laipsniškas slėgio nuostolių augimas vis labiau užsiteršiant filtruojančiai įkrovai. Slėgio nuostoliai prieš filtro regeneraciją siekė 297 mm vandens stulpo, kas sudaro apie 0,03 bar. Slėgio nuostoliai sistemoje praplovimo metu gali išaugti dvigubai, nes praplovimo vandens padavimo debitas bus didesnis nei filtro darbo metu. Gautos reikšmės nėra didelės, todėl šie veiksniai įtakos filtruojančiai įkrovai ir filtro korpusui neturės. Praplovimo metu, taip pat turės būti paduodamas ir suspausto oro srautas, kuris suslėgtas iki 5 bar slėgio, todėl konstrukcijoms šis veiksnys turės įtakos ir jos turi atlaikyti 5 bar slėgį.

Filtravimo greitis viso tyrimo metu svyravo nuo 12,24 iki 7,41 m/h. Optimalaus filtravimo greičio sistemoje palaikymui, projektuojant turėtų būti numatyta, filtrato išleidimą reguliuoti su sklende, kuri daviklių pagalba būtų valdoma automatiškai.

### **3.4. Filtruojančios įkrovos efektyvumo po įkrovos regeneracijos tyrimas.**

Regeneracijos tyrimo tikslas buvo įsitikinti, ar po praplovimo filtras taip pat veikia efektyviai, ir išbandyti filtrą praplauti nenaudojant mechaninio nuspaudimo. Gauti regeneracijos tyrimo rezultatai pateikti priedų sąrašė, 4 priede.

Tyrimo metu vanduo savitaka buvo paleistas per bandomąjį modelį, o pagrindinis dėmesys buvo kreipiamas į filtrato kokybę. Pradinio vandens užterštumas buvo ištirtas tik dviejuose pavyzdžiuose, nes prieš tai atlikto tyrimo metu buvo nustatyta, kad filtrato kokybė praktiškai nepriklauso nuo atitekėjusio vandens, o priklauso tik nuo pratekėjusio pro filtrą vandens kiekio, t.y. nuo filtravimo trukmės. Paėmus filtruoto ir pradinio vandens pavyzdžius buvo pradėta filtro praplovimo procedūra. Praplovimas vyko įkrovos mechaniškai nespaudžiant, tik paduodant vandenį iš apačios į viršų ir kas dvidešimt sekundžių paduodant suspausto oro srautą. Tokiam praplovimui buvo sunaudota 0,385 m<sup>3</sup> praplovimo vandens. Taip pat, po šito bandymo buvo nustatyta, kad visa filtruojanti įkrova buvo darbinga, t.y. visa filtruojanti įkrova buvo užsiteršusi naftos produktų likučiais ir vizualiai nebuvo matoma švaraus filtro sluoksnio.



**12 pav.** Naftos produktų kitimo dinamika po filtro regeneravimo.

Gauti rezultatai pateikti 12 paveiksle parodė, kad filtro darbo efektyvumas, atsižvelgiant į filtrato kokybę, nėra nepablogėjo. Filtrate, po 73 valandų filtravimo, buvo nustatyta 0,52 mg/l naftos produktų koncentracija, kas parodė 94,8% išvalymo nuo naftos produktų efektyvumą.

### 3.5. Rekomendacijos planuojamam projektuoti įrenginiui

**5 lentelė.** Rekomendacijos planuojamam įrenginiui projektuoti.

Eil. Nr.	Parametro pavadinimas	Reikšmės	Pastabos
<b>1. Konstrukciniai parametrai</b>			
1.1	Filtro korpuso atsparumas slėgiui.	Filtro korpusas turi atlaikyti slėgio išaugimą, prapūtimo oru metu (5bar.).	Slėgio nuostoliai pritekėjimo sistemoje neįskaičiuoti, gali būti nustatyti tik projektavimo metu.
1.2	Matmenys	Bendras filtro plotas 4,3 m <sup>2</sup> . Įkrovos aukštis 0,25m.	Detalesnė informacija bus gauta atliekant filtro konstrukcijos projektavimą (aukštis, diametras ir t.t.)
1.3	Medžiagos	Medžiagos turi būti atsparios dehidrato poveikiui.	Rekomenduojamos medžiagos – polietilenas, spec. Plienas.
1.4	Filtravimo medžiagos kiekis	55 kg/1m <sup>3</sup>	Gali nežymiai koreguotis konstruojant ir įrengiant filtrą.

1.5	Matavimo, valdymo, kontrolės prietaisai	Vandens lygio fiksavimo, vandens debito, sistemos slėgio, oro debito, oro slėgio, pratekėjusio vandens kiekio.	Priklauso nuo užduoties projektavimui. Gali būti distanciniai, ar valdomi vietoje, su rezultatų kaupikliais ir t.t.
<b>2. Filtruojamo skysčio parametrai.</b>			
2.1	Filtruojamo skysčio slėgis	Iki 0,5m vandens stulpo aukščio (1bar~10m).	Slėgio nuostoliai pritekėjimo sistemoje neįskaičiuoti, gali būti nustatyti tik projektavimo metu įvertinus kelio ir vietinius hidraulinius nuostolius.
2.2	Filtruojamo skysčio debitas	15 m <sup>3</sup> /h	V=10m/h
<b>3. Praplovimo procesas be mechaninio nuspaudimo.</b>			
3.1	Praplovimo skysčio kiekis	8 m <sup>3</sup> .	Be mechaninio nuspaudimo
3.2	Praplovimo skysčio debitas	25 m <sup>3</sup> /h	Be mechaninio nuspaudimo
3.3	Praplovimo skysčio slėgis	~0,5 bar.	Priklauso nuo praplovimo skysčio surinkimo rezervuaro absoliutaus aukščio filtro atžvilgiu ir vamzdyno (nustatoma techninio projekto rengimo metu).
3.4	Praplovimo oro debitas	50 m <sup>3</sup> /h	Gali būti koreguojamas paleidimo ir derinimo metu.
3.5	Praplovimo oro slėgis	~5 bar.	Gali būti koreguojamas paleidimo ir derinimo metu.
3.6	Oro padavimo režimas	3 sek. kas 1 min.	Praplovimo proceso eigoje (20min.)
3.7	Oro padavimo trukmė	3 sek.	Gali būti koreguojamas paleidimo ir derinimo metu.
3.8	Bendra oro padavimo trukmė	30 sek.	Gali būti koreguojamas paleidimo ir derinimo metu.
<b>4. Praplovimo procesas su mechaniniu nuspaudimu.</b>			
4.1	Praplovimo skysčio kiekis	3 m <sup>3</sup> .	Su mechaniniu nuspaudimu
4.2	Praplovimo skysčio debitas	20 m <sup>3</sup> /h	Su mechaniniu nuspaudimu
4.3	Praplovimo skysčio slėgis	~0,5 bar.	Priklauso nuo praplovimo skysčio surinkimo rezervuaro absoliutaus aukščio filtro atžvilgiu ir vamzdyno.
4.4	Praplovimo oro debitas	50 m <sup>3</sup> /h	Gali būti koreguojamas paleidimo ir derinimo metu.
4.5	Praplovimo oro slėgis	~5 bar.	Gali būti koreguojamas paleidimo ir derinimo metu.
4.6	Oro padavimo režimas	3 sek. kas 0.5 min.	Praplovimo proceso eigoje (10min.)

4.7	Oro padavimo intervalo trukmė	3 sek.	Gali būti koreguojamas paleidimo ir derinimo metu.
4.8	Bendra oro padavimo trukmė	60 sek.	Gali būti koreguojamas paleidimo ir derinimo metu.
5. Nuspaudimo mechanizmo techniniai sprendimai			
5.1	Nuspaudimo jėga	1,06 N/cm <sup>2</sup> .	Gali kisti priklausomai nuo konstrukcijos.
5.2	Nuspaudimo eiga	15 cm.	Gali kisti priklausomai nuo konstrukcijos.
5.3	Nuspaudimo dažnis	-	Priklauso nuo nuspaudimo mechanizmo ir turėtų būti sukurtas konstrukcijos projektavimo metu.
5.4	Techninis mechanizmo sprendimas.	-	Turi būti sukurtas konstrukcijos projektavimo metu.

## 4. PROJEKTINĖ DALIS

Projektinėje darbo dalyje remiantis gautais tyrimo rezultatais, skaičiuojami technologinės balansinės schemos ir realaus filtravimo įrenginiui suprojektuoti reikalingi nežinomieji.

### 4.1. Projektinių duomenų skaičiavimas

Reikalingas darbinis filtravimo įrenginių debitas yra 350 m<sup>3</sup>/d. Planuojama projektuoti 4 darbinius filtravimo įrenginius iš kurių vienu metu darbinio režimu dirbs tik 3, o likęs bus naudojamas regeneracijai. Regeneracija filtruose bus vykdoma mechaniškai suspaudžiant filtruojančią įkrovą ir praplovimo kryptimi paduodant suspausto oro srautą. Praplovimo vanduo, po filtro regeneracijos, bus paduodamas atgal į filtrą. Remiantis šiais duomenimis darbe bus skaičiuojami projektuojamų filtravimo įrenginių ir praplovimo vandens rezervuaro matmenys, vamzdynai. Praplovimo vandens bei oro srautų tiekimui bus parenkami siurbliai ir kompresoriai.

#### Valandinis filtravimo įrenginių našumas:

$$Q_F = \frac{Q}{8}, \text{ m}^3/\text{h}; \quad (4)$$

Čia:  $Q_F$  – filtravimo įrenginių valandinis debitas.

$Q$  – filtravimo įrenginių dienos debitas.

8 – darbo valandos per parą.

$$Q = \frac{350}{8} = 43.75 \text{ m}^3/\text{h}; \text{ Priimu } 45 \text{ m}^3/\text{h};$$

#### Filtro našumas:

$$Q_{F1} = \frac{Q_F}{3}, \text{ m}^3/\text{h}; \quad (5)$$

Čia:  $Q_{F1}$  – vieno filtro našumas.

3 – planuojamas darbinių filtrų skaičius.

$$Q_{F1} = \frac{45}{3} = 15 \text{ m}^3/\text{h};$$

**Filtro spindulys:**

$$Q_{F1} = V \cdot S_{F1}, \text{ m}^3/\text{h}; \quad (6)$$

Čia:  $V$  – filtracijos greitis. Remiantis laboratoriniais duomenimis, optimalus filtravimo greitis buvo nustatytas 10 m/h. [rekomendacijos 2.2]

$$S_{F1} = \frac{Q_{F1}}{V}, \text{ m}^2; \quad (7)$$

$$S_{F1} = \frac{15}{10} = 1.5 \text{ m}^2;$$

$$S_{F1} = \pi \cdot r_F^2, \text{ m}^2; \quad (8)$$

Čia:  $r_F$  – filtro spindulys.

$$r_F = \sqrt{\frac{S_{F1}}{\pi}}, \text{ m}; \quad (9)$$

$$r_F = \sqrt{\frac{1.5}{3.14}} = 0.69 \text{ m. Priimu, kad filtro spindulys bus } 0,7 \text{ m.};$$

**Filtro aukštis:**

Eksperimentinių tyrimų metu nustatyta, kad reikalingas filtruojančios įkrovos aukštis turi būti apie 0.25 m. Priimu, kad įkrovos aukštis bus 0.3 m.

$$h_F = h_1 + h_2 + h_3 + h_4, \text{ m}; \quad (10)$$

Čia:  $h_1$  – minimalus aukštis paliktas naftos produktų kaupimuisi (paviršiuje). Priimu 0.15 m [31].

$h_2$  – minimalus aukštis nuosėdų kaupimuisi (dugne). Priimu 0.35 m.

$h_3$  – filtruojančios įkrovos aukštis. Priimu 0.3 m [rekomendacijos 1.2].

$h_4$  – filtro darbinis aukštis.  $h_4 = h_1 + h_2 + h_3$ .

$$h_F = 0.15 + 0.35 + 0.3 + 0.8 = 1.6 \text{ m.};$$

### Skylučių skaičius perforuotame diske:

Reikiamam skylučių kiekiui perforuotame diske apskaičiuoti imamas didžiausias numatomas debitas. Skaičiavimui bus naudojamas praplovimo vandens debitas.

$$Q_{pr} = F_{sk} \cdot V_{sk}, \text{ m}^3/\text{s}; \quad (11)$$

$$F_{sk} = \frac{Q_{pr}}{V_{sk}}, \text{ m}^2; \quad (12)$$

Čia:  $Q_{pr}$  – praplovimui reikalingas paduodamas debitas.  $20 \text{ m}^3/\text{h} = 5.55 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ .

$F_{sk}$  – perforuoto disko skylučių plotas.

$V_{sk}$  – praplovimo vandens greitis skylutėje. Priimu  $2 \text{ m/s}$ .

$$F_{sk} = \frac{5.55 \cdot 10^{-3}}{2} = 2.77 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2;$$

$$F_{sk} = \frac{\pi \cdot d_{sk}^2}{4} \cdot n, \text{ m}^2; \quad (13)$$

$$n = \frac{4 \cdot F_{sk}}{\pi \cdot d_{sk}^2}; \quad (14)$$

Čia:  $d_{sk}$  – skylučių perforuotame diske skersmuo. Priimu  $0,005 \text{ m}$ .

$n$  – skylučių perforuotame diske skaičius, vnt.

$$n = \frac{4 \cdot 2.77 \cdot 10^{-3}}{3.14 \cdot 0.005^2} = 141,1 \approx 145 \text{ vnt};$$

Bandomųjų eksperimentų metu buvo atlikti tyrimai įkrovos suspaudimui ir nustatyta reikalinga perforuoto disko apkrova  $1,06 \text{ N/cm}^2 = 10,6 \text{ kN/m}^2$ . Reikalingas mažas apsisukimų skaičius, nes perforuotas diskas praplovimo metu turi lengvai ir lėtai suspausti filtruojančią įkrovą ir vėl grįžti į pradinę padėtį. Taip pat turi būti numatyta galimybė disko pakėlimui aukščiau filtruojančios



įkrovos, tam kad būtų galima ją pakeisti. Atsižvelgiant į tyrimo metu gautus duomenis yra parenkamas BS serijos reduktorinis variklis su sliekine pavara. Variklio galia 5,5 kW, sukimo momentas 25–1000 Nm, išėjimo greitis 0,2–300 min<sup>-1</sup> [32]. Parenkama sraigtinė sliekinė pavara skirta apkrovoms nuo 5–500 kN/m<sup>2</sup> [33].

**Naftos produktais užteršto vandens padavimo vamzdinių skaičiavimas:**

$$Q_{F1} = F_{V1} \cdot V_p, \text{ m}^3/\text{h}; \quad (15)$$

$$F_{V1} = \frac{Q_{F1}}{V_p}, \text{ m}^2; \quad (16)$$

Čia:  $F_{V1}$  – vamzdžio skerspjūvio plotas.

$Q_{F1}$  – vieno filtro našumas. 15 m<sup>3</sup>/h  $\approx$  4.2 · 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/s.

$V_p$  – filtruojamo vandens tėkmės greitis vamzdynuose. 1.2 m/s.

$$F_{V1} = \frac{4.2 \cdot 10^{-3}}{1.2} = 3.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2;$$

$$F_{V1} = \frac{\pi \cdot d_{V1}^2}{4}, \text{ m}^2; \quad (17)$$

$$d_{V1} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{V1}}{\pi}}, \text{ m}; \quad (18)$$

$$d_{V1} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3.5 \cdot 10^{-3}}{3.14}} = 6.67 \cdot 10^{-2} \text{ m};$$

Priimu, kad bus montuojami standartiniai 75 mm skersmens polipropileno vamzdžiai [34].

**Praplovimo vamzdynai:**

Tyrimo metu buvo nustatyta, kad optimalus praplovimo vandens tekėjimo greitis yra apie 12 m/h., optimalus praplovimo debitas 20 m<sup>3</sup>/h., praplovimo trukmė 10 min. [rekomendacijos 4.1–4.3]. Remiantis šiais duomenimis, bus skaičiuojami praplovimui reikalingi vamzdynai.

$$Q_{pr} = F_{V2} \cdot V_{prv}, \text{ m}^3/\text{s}; \quad (19)$$

$$F_{V2} = \frac{Q_{pr}}{V_{prv}}, \text{ m}^2; \quad (20)$$

Čia:  $Q_{pr}$  – praplovimo vandens debitas,  $20 \text{ m}^3/\text{h} = 5.55 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ ;

$F_{V2}$  – praplovimo vamzdžio skerspjūvio plotas,  $\text{m}^2$ ;

$V_{prv}$  – praplovimo vandens tėkmės greitis vamzdyje,  $1.2 \text{ m/s}$ .

$$F_{V2} = \frac{5.55 \cdot 10^{-3}}{1.2} = 4.63 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2;$$

$$d_{V2} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{V2}}{\pi}}, \text{ m}; \quad (21)$$

$$d_{V2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5.55 \cdot 10^{-3}}{3.14}} = 8.4 \cdot 10^{-2} \text{ m};$$

Priimu, kad bus montuojami standartiniai 110 mm skersmens polipropileno vamzdžiai [34].

### **Praplovimo rezervuaras:**

Praplovimo vandens rezervuaras, bus projektuojamas įvertinant tai, kad nenumatytais atvejais vienu metu, gali būti vykdoma ir dviejų filtrų regeneracija. Praplovimo vandens padavimui bus įleistas panardinamas elektrinis 0,9 kW galios,  $25 \text{ m}^3/\text{h}$  maksimalaus darbinio našumo Ready 8S tipo siurblys, galintis pakelti vandenį su nešvarumais, kurių skersmuo ne didesnis nei 38 mm, iki 14 m aukščio. Siūloma montuoti du tokius siurblius, vieną naudojant kaip atsarginį nenumatytiems atvejams [35].

### **Vieno filtro regeneracijai sunaudojamo praplovimo vandens kiekis:**

$$V_{pr} = Q_{pr} \cdot t, \text{ m}^3; \quad (22)$$

Čia:  $V_{pr}$  – praplovimo vandens kiekis,  $\text{m}^3$ ;

$Q_{pr}$  – praplovimo vandens debitas,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$t$  – praplovimo trukmė,  $10 \text{ min} = \frac{1}{6} \text{ h}$ ;

$$V_{pr} = 20 \cdot \frac{1}{6} = 3.33 \text{ m}^3;$$

**Praplovimo rezervuaro tūris:**

$$V_r = V_{pr} \cdot 2, \text{ m}^3; \quad (23)$$

Čia:  $V_{pr}$  – vienam filtrui praplauti reikiamas vandens kiekis,  $\text{m}^3$ ;

2 – koeficientas, nurodantis vienu metu plaunamų filtrų skaičių.

$$V_r = 3.33 \cdot 2 = 6.66 \text{ m}^3; \text{ Priimu } 7 \text{ m}^3;$$

**Praplovimo rezervuaro spindulys:**

$$V_p = \pi \cdot r_r^2 \cdot h_3, \text{ m}^3; \quad (24)$$

Čia:  $r_r$  – praplovimo rezervuaro spindulys, m;

$$r_r = \sqrt{\frac{V_p}{\pi \cdot h_3}}, \text{ m}; \quad (25)$$

$$r_r = \sqrt{\frac{7}{3.14 \cdot 2}} = 1.05 \text{ m}; \text{ Priimu } 1.1 \text{ m}.$$

**Praplovimo rezervuaro aukštis:**

$$h_{pr} = h_1 + h_2 + h_3, \text{ m}; \quad (26)$$

Čia:  $h_{pr}$  – praplovimo rezervuaro bendras aukštis, m;

$h_1$  – minimalus aukštis paliktas naftos produktų kaupimuisi (paviršiuje). Priimu 0.15 m.

$h_2$  – minimalus aukštis paliktas nuosėdų kaupimuisi (dugne). Priimu 0.35 m [22].

$h_3$  – filtro darbinis aukštis. Priimu 2 m.

$$h_{pr} = 0.15 + 2 + 0.35 = 2.5 \text{ m};$$

### Oro padavimo įrenginių skaičiavimas:

Tyrimo metu buvo nustatyta, kad reikalingas paduodamo oro debitas yra 50 m<sup>3</sup>/h. Praplovimo proceso eigoje, tokiu debitu oras turės būti paduodamas į filtrą praplovimo vandens tekėjimo kryptimi, kas 30 sek., 3 sek. intervalais. [rekomendacijos 4.4–4.8].

### Momentinis paduodamo oro kiekis:

$$V_{oro} = Q_{oro} \cdot t, \text{ m}^3; \quad (27)$$

Čia:  $V_{oro}$  – momentinis reikalingo oro kiekis, m<sup>3</sup>;

$Q_{oro}$  – paduodamo oro debitas 50 m<sup>3</sup>/h = 1.39·10<sup>-2</sup> m<sup>3</sup>/s;

$t$  – paduodamo oro trukmė, 3 sek.;

$$V_{oro} = 1.39 \cdot 10^{-2} \cdot 3 = 4.17 \cdot 10^{-2}, \text{ m}^3;$$

Oro padavimui bus sumontuotas sraigtinis RDS-TOP 5,5 oro kompresorius su 500 l talpos oro resiveriu, tam, kad reikiamu metu būtų galima užtikrinti reikalingą oro padavimo debitą. Kompresoriaus našumas 51,6 m<sup>3</sup>/h, galia 5,5 kW [36].

### Oro padavimo vamzdinių skaičiavimas:

$$Q_{oro} = F_{orov} \cdot V_{oro}, \text{ m}^3/\text{s}; \quad (28)$$

$$F_{orov} = \frac{Q_{oro}}{V_{oro}}, \text{ m}^2; \quad (29)$$

Čia:  $F_{orov}$  – oro vamzdžio skerspjūvio plotas, m<sup>2</sup>;

$Q_{oro}$  – paduodamo oro debitas, m<sup>3</sup>/s;

$V_{oro}$  – oro tėkmės greitis vamzdyje, 10 m/s;

$$F_{orov} = \frac{1.39 \cdot 10^{-2}}{10} = 1.39 \cdot 10^{-3}, \text{ m}^2;$$

$$F_{orov} = \frac{\pi \cdot d_{oro}^2}{4}, \text{ m}^2; \quad (30)$$

Čia:  $d_{oro}$  – oro padavimui reikiamas vamzdžio skersmuo, m;

$$d_{oro} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{orov}}{\pi}}, \text{ m}; \quad (31)$$

$$d_{oro} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1.39 \cdot 10^{-3}}{3.14}} = 4.2 \cdot 10^{-2} \text{ m};$$

Priimu, kad bus montuojami standartiniai 50 mm skersmens slėginiai vamzdžiai [37].

Atlikus visus skaičiavimus ir naudojant SolidWorks 2014 Premium programinę įrangą buvo projektuojamas įrenginys ir technologinė linija. Programinės įrangos pagalba, buvo stebimas darbinis ir regeneracinis filtravimo įrenginio režimai ir tikrinta slėgio įtaka įrenginiui. Gauti rezultatai, technologinės linijos ir detalaus filtro brėžiniai pateikti priedų sąrašė, 5 priede.

## IŠVADOS

1. Darbe atlikta fizikinių valymo technologijų apžvalga bei nustatyti technologijų privalumai ir trūkumai, kuriais remiantis buvo atliekami tyrimai naftos gavybos nuotekas filtruojant per naftos likučius sorbuojančią įkrovą. Tyrimų atlikimui buvo pasirinkta vienalytė FIBROIL filtruojanti įkrova ir mišri sorbuojančių medžiagų įkrova sudaryta iš: 30% X markės pilnavidurio mikropluošto, 30% X markės tuščiavidurio mikropluošto ir 40% specialiai apdirbtos natūralios vilnos pluošto.

2. Tyrimo atlikimui buvo sukurta metodika, sumodeliuoti ir surinkti principiniai tyrimų standai, skirti optimalios filtruojančios įkrovos parinkimui ir efektyvumo analizavimui laboratorinėmis sąlygomis bei technologinio proceso optimalių parametrų nustatymui pusiau gamybinėmis sąlygomis. Galutinė bandomojo projekto įranga veikė sifonavimo principu su 195 mm skersmens ir 1250 mm aukščio bandomuoju modeliu, kuriame buvo palaikomas užsiduotas filtravimo greitis.

3. Atlikus tyrimus laboratorinėmis ir pusiau gamybinėmis sąlygomis buvo nustatytos optimalios filtruojančios įkrovos darbo sąlygos: filtravimo greitis per įkrovą – 10 m/h, o filtro darbo trukmė reguliuojama pagal slėgio nuostolius. Slėgio nuostoliams pasiekus 300 mm vandens stulpo turi būti pradėtas praplovimo procesas.

4. Tyrimo metu buvo nustatyti praplovimo proceso su mechaniniu nuspaudimu parametrai: praplovimo vandens padavimo greitis – 13 m/h, praplovimo vandens debitas – 20 m<sup>3</sup>/h, oro padavimo greitis praplovimo metu – 10 m/s, oro padavimo debitas – 50 m<sup>3</sup>/h, oro padavimo trukmė – 3 sek intervalai kas pusė minutės, įkrovos regeneracijos trukmė – 10 min.

5. Bandomojo modelio regeneracijos tyrimas parodė, kad filtruojanti įkrova po regeneracijos nepraranda savo savybių ir išleidžiamo filtrato kokybė atitinka keliamus reikalavimus, todėl remiantis gautais rezultatais ir reikalingais įmonei technologiniais parametrais, buvo suprojektuotas realus naftos dehidrato valymo gamybinis įrenginys bei technologinė balansinė schema, kurios našumas 45 m<sup>3</sup>/h. Valymo technologija susideda iš keturių filtravimo įrenginių, kurių kiekvieno našumas 15 m<sup>3</sup>/h. Vieno darbinio filtro diametras 1400 mm, aukštis 1600 mm, filtruojančios įkrovos aukštis 300 mm, praplovimo rezervuaro diametras 2200 mm, o aukštis 2500 mm.

## REKOMENDACIJOS ĮRANGOS EKSPLOATACIJAI

Remiantis gautais rezultatais ir reikalingais įmonei technologiniais parametrais, buvo suprojektuotas realus gamybinis įrenginys bei technologinė balansinė schema, kurios našumas 45 m<sup>3</sup>/h. Valymo technologija susideda iš keturių filtravimo įrenginių, vieno filtro diametras 1400 mm, aukštis 1600 mm, filtruojančios įkrovos aukštis 300 mm.

Filtravimo įrenginius siūloma gaminti iš dehidratui ir slėgiui atsparios polietileno medžiagos. Rekomenduojama įdiegti 4 darbinius filtrus iš kurių vienu metu dirbtų tik 3, o vienas būtų naudojamas regeneracijai, arba kaip atsarginis. Srautų padavimui ir procesų kontrolei užtikrinti projektinėje dalyje yra paskaičiuoti bei parinkti reikalingo diametro vamzdžiai ir pasiūlyta, kokius vamzdžius diegti į sistemą.

Suprojektuoto vieno filtro našumas 15 m<sup>3</sup>/h, kurio darbo metu reikalingam filtravimo greičiui palaikyti įrenginiuose, siūloma diegti automatines sklendes sujungtas su nuotoliniu valdymo pultu, kurios filtravimo metu, priklausomai nuo filtre fiksuojamo filtravimo greičio atitinkamai dirbtų išleidžiant reikalingą filtrato srautą. Įdiegta technologija su numatyta naudoti filtruojančia įkrova gali dirbti plačiame užterštumo diapazone, o palaikant 10 m/h filtravimo greitį ir su debito svyravimais.

Tyrimais buvo nustatyta, kad filtro regeneraciją reikalinga atlikti kas dvi savaites, tačiau filtrato išleidimo vietoje, siūloma diegti momentinius naftos produktų koncentracijos daviklius bei slėgio matuoklius, kad pasiekus 300 mm vandens stulpo slėgio nuostolius, būtų pradedamas praplovimo procesas. Paskaičiuotas praplovimo rezervuaro diametras 2200 mm, o aukštis 2500 mm. Praplovimo rezervuaras turėtų būti užpildomas filtratu, o reikalingo vandens lygio nustatymui turėtų būti sumontuotos plūdės, kurios duotų signalą ir sklendės užsidarytų. Filtravimo įrenginių regeneracija vykdoma 10 min, siurbliais paduodant praplovimo vandenį iš praplovimo vandens rezervuaro 20 m<sup>3</sup>/h debitu. Praplovimo vandens tiekimo užtikrinimui siūloma diegti du 0,9 kW galios Ready 8S tipo siurblius. Tuo pat metu, kas pusė minutės 3 sek intervalais iš orapūčių paduodamas suspausto 50 m<sup>3</sup>/h oro srautas. Paduodant oro srautą, paduodamo praplovimo vandens sklendės uždaromos, o oro padavimo atidaromos. Reikalingam oro srauto padavimui užtikrinti turi būti montuojamas sraigtinis RDS-TOP 5,5 tipo oro kompresorius su 500 l talpos oro resiveriu. Praplovimo metu, BS serijos 5,5 kW galios reduktorinis variklis su sliekine pavara nuolatos dirba, lėtai suspausdamas filtruojančią įkrovą iki pusės įkrovos aukščio.

Suprojektuota technologinė balansinė schema su siūlomais naudoti varikliais, siurbliais, orapūtėmis ir detalus gamybinio filtro brėžinys pateikiamas priedų sąrašė, 5 priede.

## LITERATŪROS ŠALTINIAI

1. BARKAUSAS, Virginijus, Vytautas MICKEVIČIUS ir Linas MIKNIUS. Naftos ir jos produktų analizė, mokomoji knyga. Kaunas, „Technologija“ [interaktyvus]. 2011, (83), 4-10 p. [žiūrėta 2016 m. balandžio 17 d.]. ISBN 9955-09-780-9. Prieiga per doi: 10.5755/e01.9786090206416.
2. Hussein I. Adbel-Shafy, Mona S.M. Mansour. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian Journal of Petroleum*. [interaktyvus]. 2016, 25, 107-123 [žiūrėta 2016 m. balandžio 2 d.]. ISSN 1110-0621. Prieiga per doi: 10.1106/j.ejpe.2015.03.011.
3. F. Ahmadun, A. Pendashteha, L. C. Abdullah, D. R. A. Biak, S. S. Madaeni, Z. Z. Abidi., Review of technologies for oil and gas produced water treatment. *Journal of Hazardous Materials*. [interaktyvus]. 2009, (170), 530–551 [žiūrėta 2016 m. balandžio 5 d.] ISSN 0304-3894/\$. Prieiga per doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.05.044.
4. MANGMENT OF PRODUCED WATER FROM OIL AND GAS WELLS. *Working Document of the NPC American Resource Development Study Made Available September* [inertaktyvus] 2011, 15. [žiūrėta 2016 m. balandžio 6 d.]. Prieiga per internetą: [http://www.npc.org/Prudent\\_Development-Topic\\_Papers/2-17\\_Management\\_of\\_Produced\\_Water\\_Paper.pdf](http://www.npc.org/Prudent_Development-Topic_Papers/2-17_Management_of_Produced_Water_Paper.pdf)
5. R. Wahi, L.A. Chuah, T.S.Y. Choong, Z. Ngaini, M.M. Nourouzi. Oil emoval from aqueous state by natural fibrous sorbent: An overview. *Separation and Purification Technology*. [interaktyvus] 2013, (113), 51 – 63. [žiūrėta 2016 m. balandžio 14 d.]. ISSN 1383-5866/\$. Prieiga per doi: 10.1016/j.seppur.2013.04.015.
6. C. Grattoni, M. Roshni., R.A. Dawe, Photographic observations showing spreading and non-spreading of oil on gas bubbles of relevance to gas floatations for oily wastewater cleanup. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng., Aspects* [interaktyvus] 2003, (214) 151 – 155. [žiūrėta 2016 m. balandžio 17 d.]. ISSN 0927-7757/02/\$. Prieiga per doi: 10.1016/S0927-7757(02)00385-0.
7. M.C. Samchez-Lemus, F. Schoeggl, S.D. Taylor, H.W. Yarranton. Physical properties of heavy oil distillation cut. *Fuel*. [interaktyvus] 2016, (180), 457-472. [žiūrėta 2016 m. kovo 16 d.]. ISSN 0016-2361. Prieiga per doi: 10.1016/j.fuel.2016.04.059.
8. Aplinkos ministerija. *NAFTOS IŠTEKLIAI IR GAVYBA LIETUVOJE*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2016 m. kovo 7 d.]. Prieiga per internetą: [www.am.lt/VI/files/0.622372001376900757.doc](http://www.am.lt/VI/files/0.622372001376900757.doc)
9. T. Bakke, J. Klungsoyr, S. Sanni. Environmental impact of produced water and drilling waste discharges from the Norwegian offshore petroleum industry. *Marine Envirenmental Reasearch*.



- [interaktyvus]. 2013, (92), 154-169. [žiūrėta 2016 m . kovo 24 d.]. ISSN 0141-1136. *Prieiga per doi:* 10.1016/j.marevres.2013.09.012.
10. The Council of European Union. Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. *Official Journal*. [interaktyvus]. 1988, (330), 32-54. [žiūrėta 2016 m. vasario 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1998/83/oj>.
11. World Health Organization. Guidline for Drinking-water Quality. [interaktyvus] 2011. [žiūrėta 2016 m. vasario 15 d.] ISBN 978 92 4 154815 1. Prieiga per internetą: [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf).
12. J.L. Mognon, J.M. da Silva, I.C. Bicalho, C.H. Ataide, C.R. Duarte. Mini-hydrocyclones applied to the removal of solids from non-Newtonian fluids and analysis of the scale-up effect. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. [interaktyvus]. 2016, (146), 255-263. [žiūrėta 2016 m. gegužės 1 d.]. ISSN 0920-4105. Prieiga per doi: 10.1016/j.petrol.2016.04.034.
13. T. Husveg, O. Rambeau, T. Drengstig, T. Bilstad. Performance of a deoiling hydrocyclone during variable flow rates. *Minerals Engineering*. [interaktyvus]. 2007, (20), 368 - 379. [žiūrėta 2016 m. kovo 29 d.] Prieiga per doi: 10.1016/j.mineng.2006.12.002.
14. K. A. Hashmi, H. A. Hamza, J. C. Wilson. CANMET hydrocyclone: an emerging alternative for the treatment of oily waste stresams. *Minerals Engineering*. [interaktyvus]. 2004,(17) 643 – 649. [žiūrėta 2016 m. kovo 25 d.]. Prieiga per doi: 10.1016/j.mineng.2004.01.019.
15. M.J. Plebon, M. Saad, S. Fraser. *FURTHER ADVANCES IN PRODUCED WATER DE-OILING UTILIZING A TECHNOLOGY THAT REMOVES AND RECOVERS DISPERSED OIL IN PRODUCED WATER 2 MICRONS AND LARGER*. EARTH. (Canada) Corporation Montreal, Quebec Canada. [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2016 sausio 17 d.]. Prieiga per internetą: [http://ipec.utulsa.edu/Conf2005/Papers/Plebon\\_Further\\_Advances.pdf](http://ipec.utulsa.edu/Conf2005/Papers/Plebon_Further_Advances.pdf).
16. R.M.S. Sokolovic, D.D. Govedarica. , D.S. Sokolovic. Separation of oil-in-water emulsijon using two coalescers of different geometry. *Journal of Hazardous Materials*. [interaktyvus]. 2010, (175), 1001-1006. [žiūrėta 2016 m. sausio 25 d.]. ISSN 19962828. Prieiga per doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.10.109.
17. U.S. Department of Energy. FACT SHEET – COALECCENCE. *National Energy Technology Laboratory*. [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2016 m. sausio 27 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.netl.doe.gov/research/coal/crosscutting/pwmis/tech-desc/coal>.
18. HYDRO-CARBON Filtration&Separation. OIL ADSORBION SYSTEMS. *Filtration and Separation Engineering Solutions*. [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2016 m. vasario 17 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.hydro-carbon.nl/hydro-carbon-separation/oil-adsorption-woolspill/>.

19. A. Mažeikienė, R. Vaiškūnaitė, V. Vaišis. Oil removal from runoff with natural sorbing filter fillers. *Journal of Environmental Management*. [interaktyvus]. 2014, (141), 155 – 160. [žiūrėta 2016 m. balandžio 14 d.]. ISSN 0301-4797. Prieiga per doi: 10.1016/j.jenvman.2013.12.037.
20. V. Rajakovic, G. Aleksic, M. Radetic, Lj. Rajakovic. Efficiency of oil removal from real wastewater with different sorbent materials. *Journal of Hazardous Materials*. [interaktyvus]. 2007, (143), 494 – 499. [žiūrėta 2016 m. kovo 13 d.]. ISSN 0304-3894. Prieiga per doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.09.060.
21. M. Radetic, V. Ilic, D. Radojevic, R. Miladinovic, D. Jovic, P. Jovancic. Efficiency of recycled wool-based nonwoven material of the removal of oils from water. *Chemosphere*. [interaktyvus]. 2008, (70), 525 -530. [žiūrėta 2016 m. balandžio 25d.]. ISSN 0045-6535. Prieiga per doi: doi:10.1016/j.chemosphere.2007.07.005.
22. H. Shi, Y. He, Y. Pan, H. Di, G. Zeng, L. Zhang, C. Zhang. A modified mussel-inspired method to fabricate TiO<sub>2</sub> decorated superhydrophilic PVDF membrane for oil/water separation. *Journal of Membrane Science*. [interaktyvus]. 2016, (506), 60-70. [žiūrėta 2016 m. gegužės 4 d.]. ISSN 0376-7388. Prieiga per doi: doi:10.1016/j.memsci.2016.01.053.
23. M. Padaki, R. S. Murali, M. S. Abdullah, N. Misdan, A. Moslehyani, M. A. Kassim, N. Hilal, A.F. Ismail. Membrane technology enhancement in oil-water separation. A review. *Desalination*. [interaktyvus]. 2015, (357), 197 – 207. [žiūrėta 2016 m. balandžio 13 d.]. ISSN 0011-9164. Prieiga per doi: doi:10.1016/j.desal.2014.11.023.
24. B. Chakrabarty, A.K. Choshal, M.K. Purkait. Ultrafiltration of stable oil-in-water emulsion by polysulfone membrane. *Journal of Membrane Science*. [interaktyvus]. 2008, (325), 427-437. [žiūrėta 2016 m. kovo 29 d.]. Prieiga per doi: 10.1016/j.memsci.2008.08.007.
25. S.E. Weschenfelder., A.M.T. Louvise, C.P. Borges, E. Meabe. J. Izquardo, J. C. Campos. Evaluation of ceramic membranes for oilfield produced water treatment aiming reinjection in offshore units. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. [interaktyvus]. 2015, (131), 51-57. [žiūrėta 2016 m. gegužės 1d.]. ISSN 0920-4105. Prieiga per doi: 10.1016/j.petrol.2015.04.019.
26. J. Kong. K. Li. Oil removal from oil-in-water emulsions using PVDF membranes. *Separation and Purification Technology*. [interaktyvus]. 1999, (16), 83 – 93. [žiūrėta 2016 m. kovo 27 d.]. Prieiga per doi: 10.1016/S1383-5866(98)00114-2.
27. A. Cambiella, E. Ortea, G. Rios, J. M. Benito, C. Pazos, J. Coca. Treatment of oil-in-water emulsions: Performance of a sawdust bed filter. *Journal of Hazardous Materials*. [interaktyvus]. 2006, (B131), 195 – 199. [žiūrėta 2016 m. kovo 28 d.]. Prieiga per doi: 10.1016/j.jhazmat.2005.09.023.
28. MARTINĖNAS, Bronislovas. *Eksperimento duomenų statistinė analizė*. Mokomoji knyga, 2-asis pataisytas ir papildytas leidimas. Vilnius „Technika“. [interaktyvus]. 2004, (102), 35-40. [žiūrėta

- 2016 m. gegužės 19 d.]. ISBN 9986-05-529-6. Prieiga per internetą: <ftp://ekokat.asu.lt/jurgitab/Taikomoji%20ekonometrija/LITERATURA/B.Martineno%20knyga.pdf>.
29. MORKEVIČIUS, Vaidas. *Statistinė kiekybinių duomenų analizė su SPSS ir STATA*. Lietuvos HSM duomenų archyvas, LIDA. [interaktyvus]. 2015. [žiūrėta 2016 m. gegužės 15 d.] ISBN 114975. Prieiga per internetą: [http://www.lidata.eu/index.php?file=files/mokymai/stat/stat.html&course\\_file=stat\\_II\\_3.8.1.html](http://www.lidata.eu/index.php?file=files/mokymai/stat/stat.html&course_file=stat_II_3.8.1.html).
30. MACKENZIE, L. Davis. *Water and Wastewater Engineering. Design Principles and Practice*. Mc Graw Hill. Michigan State University. Waste water engineering. 2010, 408-482. ISBN 978-0-07-171385-6.
31. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas. *DĖL NUOTEKŲ VALYMO ĮRENGINIŲ TAIKYMO REGLAMENTAS*. [interaktyvus]. 2006 (D1-412). [žiūrėta 2016 m. gegužės 17 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.6F589E878882>.
32. DOTRONIKA. BS serijos reduktorinis variklis su sliekine pavarą. [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2016 m. gegužės 19 d.]. Prieiga per internetą: <http://dotronika.lt/motoreduktoriai/worm-variklis-su-reduktoriumi-bs-serija/>.
33. FABRILĖ. Inovatyvios technologijos. Sliekinės sraigtinės pavaros. [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2016 m. gegužės 19 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.fabrile.lt/lt/elektrines-pavaros/sliekines-sraigtnes-pavaros>.
34. PIPELIFE. Standartinė PP HP vidaus nuotekų/kanalizacijos plastikinių vamzdžių sistema. [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2016 m. gegužės 19 d.]. Prieiga per internetą: [http://www.pipelife.lt/lt/products/vidaus\\_nuotekos/PP\\_HT.php](http://www.pipelife.lt/lt/products/vidaus_nuotekos/PP_HT.php).
35. READY. Durable, lightweight and easily serviceable submersible pumps. [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2016 m. gegužės 14 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.xylem.com/Assets/Resources/Xylem-Flygt-Ready-Product-Brochure-50Hz.pdf>.
36. MANTORAS. Suspausto oro sistemos. [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2016 m. gegužės 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.kompresorius.lt/rs-top-nuo-3kw-iki-75-kw/>.
37. STADEMA. Inžinerinių tinklų sistemos. Santechnika. Šildymas. Moviniai PVC slėgio vamzdžiai. [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2016 m. gegužės 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.stadema.lt/prekiu-katalogas/lauko-inzineriniu-tinklu-sistemas/vamzdziai/pvc-slegio-vamzdziai.html>.

## PRIEDAI

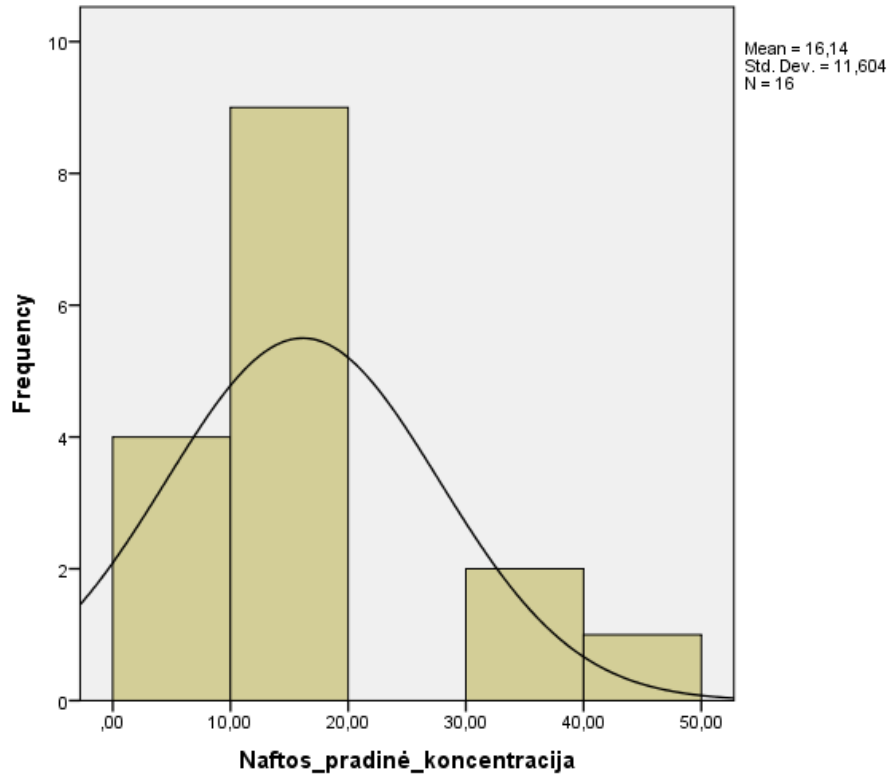
### 1 PRIEDAS. Technologinių parametų tyrimas.

Eil. Nr.	Data / Laikas	Etapo trukmė, h	Slėgio nuostoliai, mm	Debito mat., 5 l/s	Debitas, m <sup>3</sup> /h	Greitis, m/h	Praleista vandens, m <sup>3</sup>	Praleista nuo pradžios, m <sup>3</sup>	Pavyzdys 2015-06-08/Nr.15-587	Naftos produktų koncentracija, mg/l	
										Pradinė 11	Filtruota 12
1	06.08 / 12:30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	06.08 / 13:30	1	20	65	0,277	9,23	0,28	0,28	108	7,7	-
3	06.08 / 14:30	1	20	65	0,277	9,23	0,28	0,55	140	-	0,26
5	06.08 / 17:00	2,5	-	69	0,261	8,70	0,65	1,21	-	-	-
6	06.08 / 19:00	2	-	74	0,243	8,11	0,49	1,69	-	-	-
7	06.08 / 20:00	1	40	75	0,240	8,00	0,24	1,93	-	-	-
9	06.08 / 21:00	1	-	80	0,225	7,50	0,23	2,16	-	-	-
10	06.08 / 21:30	0,5	45	80	0,225	7,50	0,11	2,27	-	-	-
11	06.08 / 22:00	0,5	48	76	0,237	7,89	0,12	2,39	-	-	-
12	06.08 / 22:30	0,5	52	74	0,243	8,11	0,12	2,51	157	-	0,12
13	06.08 / 23:00	0,5	54	74	0,243	8,11	0,12	2,63	-	-	-
14	06.09 / 08:30	9,5	95	79	0,228	7,59	2,16	4,80	-	-	-
15	06.09 / 9:00	0,5	101	79	0,228	7,59	0,11	4,91	-	-	-
16	06.09 / 10:30	1,5	109	79	0,228	7,59	0,34	5,25	-	-	-
17	06.09 / 11:00	0,5	110	80	0,225	7,50	0,11	5,36	182	-	0,24

**2 PRIEDAS.** Filtruojančios įkrovos regeneracijos poreikio tyrimo rezultatai.

Eil. Nr.	Data/Laikas	Etapo trukmė, h	Trukmė nuo pradžios, h	Debito mat. 5 l/s	Debitas, m <sup>3</sup> /h	Greitis, m/h	Praleista vandens, m <sup>3</sup>	Praleista nuo pradžios, m <sup>3</sup>	Slėgio nuost., mm	Naftos pr. konc., mg/l		Naftos kiekis dehidrate, g		Naftos kiekis filtrate, g		Išvalymo efektyvumas, %
										Pradinė	Filtruota	Per etapą	Viso	Per etapą	Viso	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18
1	09.07 / 15:00	0	0	52	0,346	11,54	0,00	0,00	32	12	0,31	0	0	0	0	-
2	09.07 / 16:00	1	1	49	0,367	12,24	0,37	0,37	32	12	0,31	4,41	4,41	0,11	0,11	97,4
3	09.07 / 18:30	2,5	3,5	51	0,353	11,76	0,88	1,18	41	12	0,31	10,59	15,00	0,27	0,39	97,4
4	09.08 / 12:00	17,5	21	55	0,327	10,91	5,73	6,83	101	48	0,21	274,91	289,91	1,20	1,59	99,5
5	09.08 / 14:30	2,5	23,5	54	0,333	11,11	0,83	7,60	106	33	0,61	27,50	317,41	0,51	2,10	99,3
6	09.08 / 19:30	5	28,5	60	0,300	10,00	1,50	9,10	111	33	0,61	49,50	366,91	0,92	3,01	99,2
7	09.09 / 09:30	14	42,5	54	0,333	11,11	4,67	13,76	136	11	1,3	51,33	418,24	6,07	9,08	97,8
8	09.09 / 13:30	4	46,5	51	0,353	11,76	1,41	15,17	139	14	0,74	19,76	438,00	1,04	10,12	97,7
9	09.09 / 20:30	7	53,5	51	0,353	11,76	2,47	17,63	154	11	0,75	27,18	465,18	1,85	11,98	97,4
10	09.10 / 09:30	13	66,5	55	0,327	10,91	4,25	21,88	166	3,9	4,6	16,59	481,77	19,57	31,55	93,5
11	09.10 / 13:00	3,5	70	54	0,333	11,11	1,17	22,98	177	11	0,75	12,83	494,61	0,88	32,42	93,4
12	09.10 / 18:30	5,5	75,5	56	0,321	10,71	1,77	24,68	189	9,1	0,64	16,09	510,69	1,13	33,56	93,4
13	09.11 / 09:30	15	90,5	64	0,281	9,38	4,22	28,90	220	9,1	3,8	38,39	549,08	16,03	49,59	91,0
14	09.11 / 18:30	9	99,5	75	0,240	8,00	2,16	31,05	225	9,1	2,6	19,66	568,74	5,62	55,20	90,3
15	09.12 / 13:30	19	118,5	80	0,225	7,50	4,28	35,34	256	15	1,9	64,13	632,87	8,12	63,32	90,0
16	09.13 / 13:00	23,5	142	81	0,222	7,41	5,22	40,51	297	15	3,8	78,33	711,20	19,84	83,17	88,3

### 3 PRIEDAS. Išsiskiriančių reikšmių tikrinimo rezultatai.



Stand. nuokrypis	11,60	Naftos pr. konc., mg/l
Var. Koef. $U_\alpha$	5,69	Pradinė
Vidurkis	16,14	12
Tikrinama reikšmė	$U_i$	12
48	2,75	12
33	1,45	48
3,9	1,05	33
		33
		11
		14
		11
		3,9
		11
		9,1
		9,1
		9,1
		15
		15

**4 PRIEDAS.** Filtruojančios įkrovos po filtro regeneracijos tyrimo rezultatai.

Eil. Nr.	Data / Laikas	Trukmė nuo pradžios, h	Vandens pritekėjimo trukmė	Filtavimo greitis	Naftos produktų koncentracija, mg/l	
			5 l/s	m/h	Pradinė	Filtruota
1	2	3	4	5	6	7
1	09.24 / 11:00	0	62	11,53	6,3	0,12
2	09.25 / 16:30	29,5	65	12,23	-	0,2
3	09.26 / 11:00	48	62	11,73	-	0,17
4	09.27 / 12:00	73	58	10,9	14	0,52