



**TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL**  
INSENERITEADUSKOND  
Virumaa kolledž

**Petroter I, II mahutiparkide lämmastiku  
hingamissüsteemi ja aurude regenererimise  
projekteerimine**

**Design of the nitrogen breathing system and steam  
regenerator of Petroter I, II tank farms**

KEEMIASTEHNOLÓGIA ÖPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Valerija Nilova

Üliõpilaskood: 207673 EDKR

Juhendaja: Antonina Zguro, lektor

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“22” mai 2024.

Autor: Valerija Nilova

/ allkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle/magistritööle esitatud nõuetele  
“22” mai 2024.

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmiskomisjoni esimees: Antonina Zguro

/ allkiri /

**LIHTLITSENTS**                      **LÕPUTÖÖ**                      **ÜLDSUSELE**  
**KÄTTESAADAVAKS**                      **TEGEMISEKS**                      **JA**  
**REPRODUTSEERIMISEKS**

Mina Valerija Nilova (sünnikuupäev: 28.08.2001)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Petroter I, II mahutiparkide lämmastiku hingamissüsteemi ja aurude regenereerimise projekteerimine, mille juhendaja on Antonina Zguro,
  - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
  - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

# TalTech Inseneriteaduskond Virumaa kolledž

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane :** Valerija Nilova, 207673 EDKR

Õppekava, peeriala: EDKR16/17, Keemiatehnoloogia

Juhendaja: Programmijuht , Antonina Zguro, antonina.zguro@taltech.ee

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) Lämmastiku hingamissüsteemi projekteerimine ja mahutiparkide aurude kasutamine Petroter I,II

(inglise keeles) Design of a nitrogen breathing system and utilization of vapors of tank farms Petroter I,II

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Lämmastiku hingamissüsteemi projekteerimine ja uurimine

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Ettevõtte põlevkivi töötlemise tehnoloogia kirjeldus	21.02.2024
2.	Põlevkiviõlide omaduste kirjeldus	10.03.2024
3.	Arvutuslik osa	7.04.2024
4.	Lõputöö vormistamine	12.05.2024

**Töö keel:** Eesti keel

**Lõputöö esitamise tähtaeg:** "15" mai 2024a

**Üliõpilane:** Valerija Nilova

"15" mai 2024a

/allkiri/

**Juhendaja:** Antonina Zguro

"15" mai 2024a

/allkiri/

**Programmijuht:** Antonina Zguro

"15" mai 2024a

/allkiri/

# SISUKORD

LÜHENDITE JA TÄHISTUSTE LOETELU .....	6
SISSEJUHATUS .....	7
1.ÜLDANDMED PETROTER I, II TSEHHI KOHTA .....	8
1.1 Mahutipark .....	8
1.2 Tooted .....	10
2. NAFTATOODETE SÄILITAMISEKS MÕELDUD RESERVUAARID .....	12
2.1. Reservuaaride liigid .....	12
2.2 Reservuaaride seadmestus .....	14
2.3 Torustikud .....	15
2.4 Korrosioonikaitse.....	18
Keemiline korrosioon .....	18
Bioloogiline korrosioon.....	18
3. RESERVUAARIDE LÄMMASTIKU HINGAMISSÜSTEEM .....	20
3.1 Tehnoloogilise protsessi kirjeldus.....	23
3.2 Lämmastiku mahutitesse etteandmise süsteemi töö põhimõte .....	27
3.4 Toote aurude utiliseerimine mahutitest.....	28
4.ARVUTUSLIK OSA.....	30
4.1 Gaasitoru läbilaskvõime arvutusmeetodid .....	30
4.1.1 Torustiku läbilaskevõime määramise meetodid .....	30
4.1.2. Torustiku läbilaskevõime määramise tabelmeetod .....	31
4.2 Gaasitorustiku arvutus .....	34
KOKKUVÕTE.....	40
SUMMARY .....	41
KASUTATUD KIRJANDUS .....	42

# LÜHENDITE JA TÄHISTUSTE LOETELU

VKG – Viru Keemia Grupp

FVPJ- fenoolveepuhastusjaam

PTTTTO- Petroter tsehide tehnoloogilise tugi osakond

E-210- mahuti

F-215/1,2- filtrid

RKKEVS- raske, kerge-keskõli ettevalmistuse ja vaiguärastuse seade

DO- destillatsiooni osakond

KO- kondensatsiooni osakond

AGS- aurugaasisegu

LGJ- lämmastiku genereerimise jaam

TRPjNT- tööstuslikke reovete puhastamise ja neutraliseerimise tsehh

## SISSEJUHATUS

Põlevkivi töötlemisele spetsialiseerunud ettevõttel VKG Oil AS on lämmastikugaaside tehas, mis on mõeldud õhust lämmastiku saamiseks. Tekkiv lämmastik on ette nähtud mahutiparki varustamiseks. Tankipark koosneb üheksast mahutist, milles hoitakse põlevkivi termilise töötlemise saadusi (bensiin, põlevkiviõli, fenoolvesi jne). Lämmastikku tarnitakse torujuhtmete kaudu, mis on ühendatud üheks gaasilise lämmastiku etteandekollektoriks. Igal jaoskonnal (paigaldis, töökoda) on omakorda oma torusüsteem lämmastiku transportimiseks ja jaotamiseks kogu seadmetes.

Lämmastikugaasijaam pandi tootmisse 2022. aastal. Selle käitise põhiseadmed on lämmastikutanklad (SGA, 2SGA ja 3SGA), mida on aja jooksul kaasajastatud. Moderniseerimisel kaaluti erinevat tüüpi installatsioone, viidi läbi pilootkatsed, mille alusel otsustati paigaldised kaasajastada.

Kaasajastamise käigus esitati nõudmisi lämmastikujaamu tootvatele ettevõtetele, kes oma meetoditega arvasid välja erinevad moderniseerimisvõimalused ja pakkusid nende põhjal välja teatud lahendused. Käitiste valikuprotsess oli keeruline ja vaearikas, kuna paljudes konteinerites leiduvate ja põlevkivitööstuses kasutatavate komponentide füüsikalisi ja keemilisi omadusi ei ole veel täielikult uuritud.

Töö esimeses osas kirjeldatakse üldisi Petroter I ja Petroter II töökodasid, tankifarmi seadmeid ja lühikirjeldust toodetest.

Diplomi teises osas kirjeldatakse mahutite lämmastikuhingamise süsteemi, gaasilise lämmastiku tootmise peamisi meetodeid ning kirjeldatakse tehnoloogilist protsessi.

Töö kolmandas osas arvutab ja analüüsib autor mahutite optimaalset torustike läbimõõtu, et tagada läbilaskvus minimaalsete kadudega ning valib minimaalsete kadude tagamiseks täiendavad gaasipuhurid.

# 1.ÜLDANDMED PETROTER I, II TSEHHI KOHTA

Petroter I, II tsehh on mõeldud peendisperse tehnoloogilise põlevkivi termiliseks lagundamiseks (pürolüüsiks) eesmärgiga saada sellest põlevkiviõlisid ja kõrgkalorsusega poolkoksgaasi.

Põlevkivi pürolüüsi protsess toimub trumlitüüpi pöörlevas reaktoris põlevkivi segunemise arvel kuuma tuhaga (tahke soojuskandja) õhu juurdepääsuta temperatuuril  $475 \div 500$  °C. Protsessi kaasuvateks toodeteks on kõrgrõhuga aur, fenoolvesi. Protsessi jäätmeteks on suitsugaasid, termiliselt töödeldud tuhk. Kõrgrõhuauru saadakse suitsugaaside orgaaniliste ühendite põletamisest utiliseerimiskatlas. Samuti eraldub põlevkivituha utiliseerimisest energia, mida kasutatakse kütteevee soojendamiseks.

Petroter I, II tsehh koosneb Petroter I ja Petroter II seadmetest, fenoolvee puhastusseadmest, mis kuuluvad Petroter tootmise koosseisu. Petroter tootmine lülitab endasse Petroter I, II tsehhi, Petroter III tsehhi ja Petroter tsehhide tehnoloogilise tugi osakonda, mis on ühine nii Petroter I, II tsehhile, kui ka Petroter III tsehhile.

Petroter I,II seade koosneb destillatsioonijaoskonnast ja kondensatsioonijaoskonnast.

Destillatsioonijaoskond omakorda koosneb sisemise põlevkivi etteandmise ja tuhaeralduse jaoskonnast, pürolüüsi jaoskonnast, tuhasoojusvaheti jaoskonnast, utiliseerimiskatla jaoskonnast. [1]

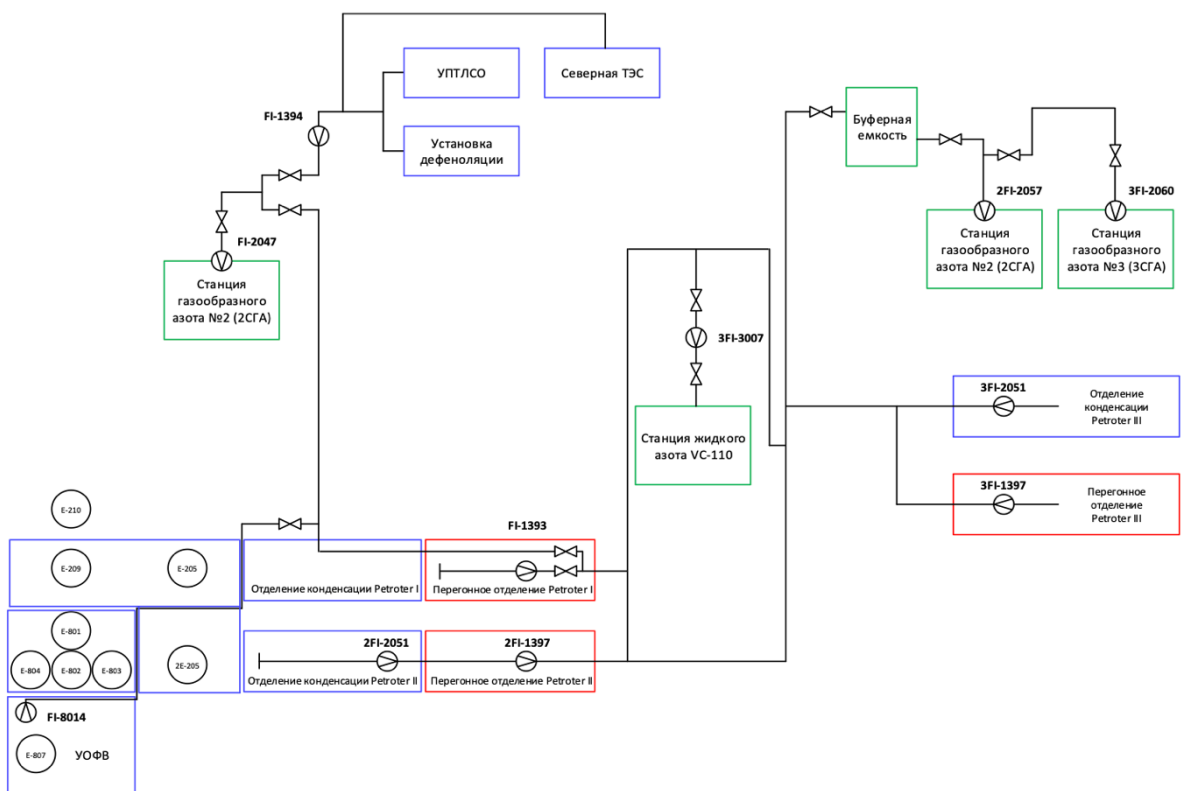
## 1.1 Mahutipark

Petroter I, II tsehhis paikneb kaks mahutiparki – Petroter I, II seadmete mahutipark ja fenoolvee puhastusseade. Petroter I, II seadmete mahutipark (Joonis 1.1.) koosneb neljast mahutist:

- E-205 – Petroter I seadme läbipesemisõli mahuti, vajalik õli kergfraktsiooni säilitamiseks ja edasiseks kasutamiseks läbipesemisõlina nende aparaatide ja kommunikatsioonide jaoks, milledes asuvad raskefraktsioonid (tsirkulatsioonõli, destillatsioonijääk);
- E-209 – Petroter II seadme läbipesemisõli mahuti, vajalik õli keskfraktsiooni säilitamiseks ja edasiseks kasutamiseks läbipesemisõlina nende aparaatide ja kommunikatsioonide jaoks, milledes asuvad raskefraktsioonid (tsirkulatsioonõli, destillatsioonijääk);
- 2E-205 – Petroter I ja Petroter II seadmete ühine, puhvermahuti, mis on vajalik tsirkulatsioonõli edasiseks transportimiseks raske, kerge-keskõli ettevalmistuse ja vaiguärastuse seadmele (RKKEVS);
- E-210 – tööstusvete mahuti, ühine Petroter I ja Petroter II seadmetele. Fenoolvete puhastusseadme mahutipark koosneb viiest mahutist:



- E-801 – Petroter I, Petroter II ja Petroter III seadmetelt transporditava fenoolvee mahuti, kust fenoolvesi suunatakse puhastamisele;
- E-802 – mahuti veeleeliselise lahuse või bensiinistatud leelilahuse säilitamiseks ja edasiseks kasutamiseks. Veeleelilahus tuleb defenolatsiooniseadmelt, bensiinistatud leelilahus tuleb generaatorõlide destillatsiooniseadmelt. Leelilahust kasutatakse fenoolvete puhastusseadme tehnoloogilistes protsessides.
- E-803 – puhastatud fenoolvee mahuti on mõeldud puhastatud fenoolvee kogumiseks ja edasiseks kasutamiseks tehnoloogilises protsessis Petroter tootmise tuha niisutamiseks;
- E-804 – veedestillaadi mahuti, mis moodustub aurugaasisegu kondenseerimise ja separeerimise käigus fenoolvete puhastusseadmelt, vajalik veedestillaadi kogumiseks ja edasiseks utiliseerimiseks Petroter tootmisjaoskondades;
- E-807 – CIP-pesu mahuti, vajalik fenoolvete puhastusseadme seadmetiku puhastamiseks mõeldud lahusti (pesuvahend) säilitamiseks selle lahtihermetiseerimiseta. [1]



Joonis 1.1 Lämmastiku etteandmise üldine plokk-skeem [1]

Mahutis moodustuvad toodete aurud transporditakse mahutiparkide üldkolektorite kaudu, kulgevad läbi söeabsorberite  $\Phi$ -805,  $\Phi$ -806 ning heidetakse atmosfääri.

Iga mahuti on varustatud kontrollmõõteseadmetega: nivoonäituriga, rõhuanduriga, temperatuurianduriga; heitkaitseklapiga juhuks, kui mahutis olev rõhk on kõrgem või madalam tootja poolt soovitatud parameetritest; tuletõkkega, mis on paigaldatud mahutist aurude ärajuhtimistorustikule, takistamaks leegi sattumist mahutisse. Mahutid E-205, E-209, 2E-205 on varustatud aurusoojenduse siugtorudega etteantud temperatuuri hoidmiseks. Mahuti 2E-205 on täiendavalt varustatud tsirkulatsioonitorustikuga mehhaaniliste lisandite (tuha) sadestumise vältimiseks mahuti põhjas. [1]

## 1.2 Tooted

Petroter I, II seadmel moodustuvad järgmised kergsüttivad tooted:

- kergmasuut
- keskmine õli
- tsirkulatsioonõli
- õline vesi

Kergmasuut – põlevkiviõli kergmasuut, plahvatustemperatuur suletud tiiglis 75 °C, tuha massosa 0,02%.

Keskmine õli – õli kergkeskmine fraktsioon, plahvatustemperatuur suletud tiiglis 45-65°C, keemise algtemperatuur 125 °C ja keemise lõpptemperatuur 260 °C, tuha massosa 0,02%, vee massosa – ei normeerita.

Tsirkulatsioonõli – põlevkiviõli raskefraktsioon, mis on mõeldud tootmisseadmelt tuleva aurugaasisegu puhastamiseks ja jahutamiseks. Tihedus 20 °C juures 1,170 g/cm<sup>3</sup>, suhteline viskoossus 100 °C juures 15,0 °E, tuha massosa 13,0%.

Õline vesi – vesi mahutist E-210. Vaigusisaldus 500 mg/l, tuha massosa 0,5%, pH – ei normeerita.

Fenoolvee puhastusseadmel moodustuvad järgmised kergsüttivad tooted:

- fenoolvesi
- bensiinistatud leelilahus
- puhastatud fenoolõli
- lahusti (bensiinfraktsioon)

Fenoolvesi – pürolüüsi protsessis moodustuv vesi, väljudes aurugaasiseguga reaktorist. Fenoolide massosa – ei normeerita, vaigu massosa 100 mg/l, pH – ei normeerita.

Bensiinistatud leelilahus – lahus, mis on vajalik toormevee (fenoolvee) happesuse (pH) tõstmiseks fenoolvee kvaliteetseks puhastamiseks selles sisalduvatest lahustitest ja gaasidest.

Puhastatud fenoolõli – ammooniumlämmastikust ja sulfiidioonidest puhastatud toormevesi. Ammooniumlämmastiku sisaldus 400 mg/l, sulfiidioonide sisaldus 300 mg/l.

Lahusti (bensiinfraktsioon) – fenoolvee puhastusseadme kõrvaltoode, mis on saadud aurutuskoloni aurugaasisegu kondenseerimise protsessis. Vaigusisaldus 500 mg/l, tuha massosa 0,5%, pH – ei normeerita. [2]

## **2. NAFTATOODETE SÄILITAMISEKS MÕELDUD RESERVUAARID**

Vedelate põlevkivitoodete säilitamiseks kasutatakse naftatoodete säilitamiseks mõeldud sarnaseid reservuaare.

Naftatoodete reservuaar – kohtkindel mahuti, reeglina silindriline.

### **2.1. Reservuaaride liigid**

Kasutatavate mahutite liike klassifitseeritakse erinevate tunnuste põhjal:

- Paigaldus-/asetuskoha põhjal;
- Reservuaari mahu põhjal – nimetatud omadus omab tähtsust muuhulgas ka mahuti ohuklassi määramisel;
- Põhi- ja täiendavate elementide konstruktiivlahenduse põhjal;
- Põhimahuti materjali põhjal.

Need on suurendatud kvalifikatsioonilised võtmetunnused, millede põhjal toimub mahutite jaotus tüüpide alusel. Igal konkreetsel juhul valitakse reservuaare arvestades paigalduskohta, pumpamise vahepealse etapi olemasolu, naftatoodete, nende koosseisu, objekti ohuklassi, millel neid kasutatakse jne.

Paigutusvariandi põhjal kasutatakse naftatoodete säilitamiseks erinevat tüüpi reservuaare (joon. 2.1.):

- Maapealsed – reservuaarid, mis toetuvad pinnasele ilma neid süvendamata;
- Maa-alused – täielikult maa alla süvistatud reservuaarid;
- Süvistatud – osaliselt maasse süvistatud reservuaarid.



Joonis 2.1. Naftatoodete säilitamiseks mõeldud reservuaaride tüübid [4]

Üheks peamiseks klassifikatsiooniks on materjali tüüp, millest on valmistatud reservuaarid. Nendest sõltuvalt võib neid jaotada karkass- või pehmeteks reservuaarideks. Kui aga rääkida nendest põhjalikumalt, võivad reservuaarid olla järgmised:

- Raudbetoonist, mis küll paistavad silma töökindluse poolest, kuid millel on terve rida puuduseid, muuhulgas nende transportimisega seotud probleemid;
- Metallist, millede valmistamiseks kasutatakse erinevaid teraseid;
- Mittemetallist, sellised kui plast- ja klaasplastreservuaarid, samuti kummikangast mahutid;
- Loomupärastes tingimustes seadmestatud, see tähendab reservuaarid, millede valmistamisel kasutati looduslikke tühimikke, nagu näiteks kaevandused või muu. [4]

Naftatoodete jaoks kasutatakse vertikaalseid ja horisontaalseid reservuaare. Horisontaalseid nimetatakse sageli tsisternideks.



Joonis 2.2. Horisontaalse ja vertikaalse reservuaari näited [3]

Horisontaalsed reservuaarid paistavad silma montaaži lihtsusega. Nendega on kergem ühendada kommunikatsioone, neid on lihtsam lülitada juba olemasolevatesse tehnoloogilistesse skeemidesse.

Vertikaalsed reservuaarid võtavad vähem ruumi, mis lubab kokku hoida pinna arvelt, annab võimaluse hoida suuremas koguses naftatooteid, tagavad loomuliku rõhu toorme võtmise korral alumise klapi kaudu. [3]

## 2.2 Reservuaaride seadmestus

Reservuaaride seadmestus — erinevad tehnoloogilised seadmed ja vahendid, mis on mõeldud reservuaaride vastupidava kasutamise tagamiseks ja naftatoodete kao alandamiseks aurustumisest.

### ***Hingamisklapid***

Nende põhifunktsioon — rõhu reguleerimine vertikaalsete reservuaaride gaasiruumis või vaakumis.

Lisaks täidavad nad ka järgmiseid funktsioone:

- Hermeetilisuse tagamine;
- Naftatoodete kadude vähendamine aurustumisel;
- Plahvatusohu tagamine;
- Keskkonnareostuse vähendamine;
- Tolmu, liiva ja muude osakeste sattumise välistamine;
- Ülemiste kihtide küllastunud alumiste kihtidega segunemise vältimine.

### ***Proovivõtuseadmed***

Proovivõtuseadmed kujutavad endast tervet rida proovivõtuseadmeid, mida kasutatakse naftatoodete ja vedeldatud süsivesinikgaaside proovide võtmiseks maapealsetest ja maa-alustest reservuaaridest, mahutitest, anumatest, tsisternidest nende kvaliteedi määramiseks.

### ***Tuletõke***

Nimetatud seadmestik on tuleohutuse esimeseks astmeks, soodustades reservuaaride ja nendes säilitavate toodete kaitset plahvatuste ja tulekahjude eest. Erinevat tüüpi tuletõkete põhimääratlus – takistada sädeme või leegi sattumist mahuti gaasiruumi ja tuleohtlike olukordade tekkimist.

### ***Reservuaaride luugid***

Nende põhifunktsioon — teenindava personali juurdepääsu tagamine mahuti korpusesse erinevate tööde tegemiseks. [6]

### ***Nivoonäiturid***

Eriseadmed, mis on mõeldud reservuaarides, hoidlates, paakides olevate vedelike tasemete määramiseks. Enamjuhul kasutatakse selliseid seadmeid tootmises olevate erinevate ainete katkematuks mõõtmiseks ja nende seisukorra kontrolliks. [5]

### ***Manomeetrid***

Eriseadmed, mis on mõeldud reservuaarides, hoidlates, paakides oleva rõhu mõõtmiseks. Manomeetreid võib kasutada rõhu erinevuse mõõtmiseks kahe punkti vahel või süsteemis oleva absoluutse rõhu mõõtmiseks. [7]

## **2.3 Torustikud**

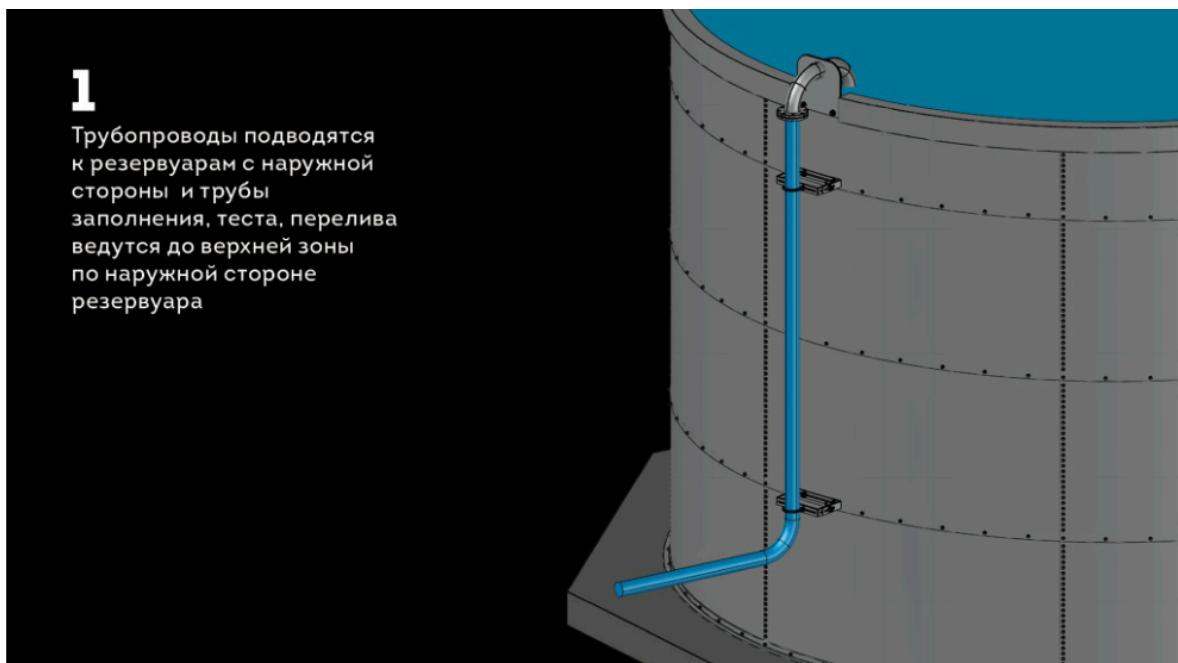
Reservuaarid on mähitud tehnoloogiliste torustikega. Reservuaaride gaasmähkimiseks loetakse torustike süsteemi, mis ühendavad omavahel üht liiki naftatoodetega reservuaaride gaasiruumi.

Reservuaaride gaasmähkimist tuleb teha torudest, millede diameeter tagaks aurõhksegu kulgemise naftatoote maksimaalse väljapumpamise või täispumpamise korral ja vaakumi kõrvaldamise ümbritseva õhu temperatuuri langemisel.

Reservuaaride mähkimine lubab tagada süsteemi osade kõrge hermeetilisuse, reservuaaride sisu täispumpamise ja überpumpamise katkematu protsessi torustiku kaudu, samuti lubab kontrollida täispumpamise kulu, mahtu reservuaari täitmise või tühjendamise kogu aja vältel.

Reservuaari gaasmähkimise vahetu ülesanne kasutamisel seisneb selles, et tagada toote automaatne tagastus torustiku kaudu seadmele. Reservuaari gaasmähkimist kasutatakse naftatoodete aurude haaramiseks atmosfäärirõhul töötavatest mahutitest. Torustike ühendamiseks reservuaariga on mitmeid variante. [12]

Mähkimise esimene variant: Torustikud (Joonis 2.3) viiakse reservuaari juurde välisküljest, seejärel kulgevad täitmise, testimise ja ülevalamise torustikud ülemise alani reservuaari välisküljest.



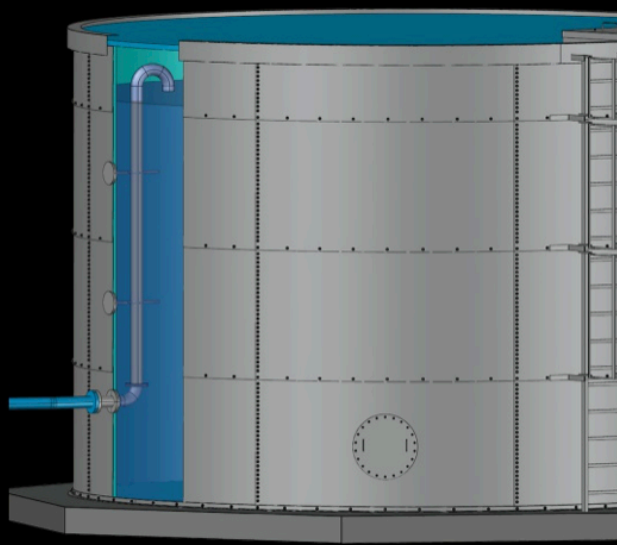
Joonis 2.3 Väline ühendamine [12]

Mähkimise teine variant: Torustikud (Joonis 2.4) viiakse reservuaarideni välisküljest, sisestatakse reservuaari alumises alas ja juba mahuti sees tõstetakse reservuaari ülemise osani.



## 2

Трубопроводы подводятся к резервуарам с наружной стороны, вводятся в резервуар в нижней зоне и поднимаются до верхней зоны резервуара уже внутри емкости

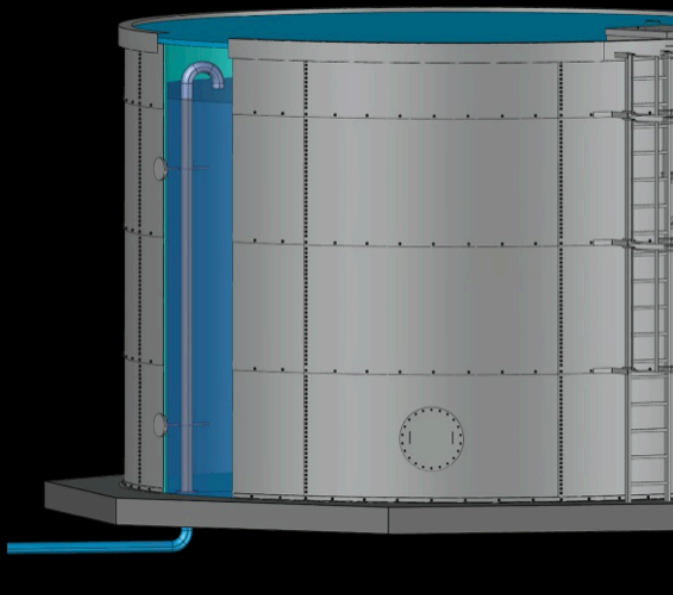


Joonis 2.4 Välisühendus (alumine ala) [12]

Mähkimise kolmas variant: Torustikud (Joonis 2.5) viiakse reservuaarideni maa all ja sisestatakse läbi vundamendi, tõstes seejärel need torustikud ülemise alani juba reservuaari sees.

## 3

Трубопроводы подводятся к резервуарам под землей и вводятся через фундамент + последующий подъем этих трубопроводов до верхней зоны уже внутри резервуара



Joonis 2.5 Maa-alune ühendamine [12]

Reservuaaride mähkimine gaasühtlustussüsteemi torustikega lubab vähendada gaasiheiteid keskkonda, mis on keskkonna reostuse vältimise seisukohalt väga tähtis. [8]

## 2.4 Korrosioonikaitse

Üheks peamiseks teguriks, mis mõjutab naftatoodete reservuaaride korrosiooni, on keskkond, milles reservuaar asub. Tavaliselt asuvad naftatoodete reservuaarid väljas või väljaspool ruume, mis teeb need reservuaarid aldimaks keskkonnatingimuste toimele.

Korrosioonil võivad olla erinevad mehhanismid, sellised kui elektrokeemiline, keemiline, mehhaaniline, bioloogiline jm. Üheks kõige levinumaks korrosiooni tüübiks, mis mõjub naftatoodete reservuaaridele, on elektrokeemiline korrosioon.

### ***Elektrokeemiline korrosioon***

Toimub elektrivoolu toimest, mis kulgeb läbi reservuaari metallpinna. Vool võib olla esile kutsutud erinevatest teguritest, sellistest kui elektrolüüdi (näiteks vesi või naftatooted), reservuaaris erinevate metallelementide, samuti mikropragude ja muude pinnal olevate defektide olemasolul.

### ***Keemiline korrosioon***

Veel üks korrosiooniliik, mis võib mõjuda naftatoodete reservuaaridele, on keemiline korrosioon. Keemiline korrosioon toimub keemiliselt aktiivsete ainete toimest, sellistes kui happed, leelised, soolad jm., mis võivad sisalduda naftatoodetes või keskkonnas. Nimetatud korrosiooniliik võib toimuda nii elektrivoolu olemasolul, kui ilma elektrivooluta.

### ***Bioloogiline korrosioon***

Veel üks korrosiooniliik, mis võib mõjuda naftatoodete reservuaaridele, on bioloogiline korrosioon. Seda võivad esile kutsuda naftatoodetes või keskkonnas olevate bakterite, seente ja muude organismide tegevus. Bioloogiline korrosioon võib vigastada reservuaari pinda ja lõppeda reservuaari hävimisega. [9]

Mahutite korrosioonikaitse meetodid:

- Katoodmeetod. Meetod, mille korral paigaldatakse mahutisse korrosiooniprotsessi vähendavad anoodid. Anode valmistatakse sellistest metallidest kui tsink, magneesium või alumiinium. Terasreservuaaride korrosioonivastane katoodkaitse – on efektiivne meetod, seda eriti nendele mahutitele, mis asuvad kõrge korrosiooniohu tingimustes.
- Lakk-värvimismeetod ja muud katted. Mahuti kaetakse korrosioonivastaste vahenditega – reservuaaridele mõeldud lakkide, värvide või kiledega, mis moodustavad terasel kaitsekile. Katted võivad olla epoksüüdist, polüuretaanist.

- Inhibiitorid. Mahutisse lisatakse korrosiooni kiirust alandavaid keemilisi aineid. Inhibiitorid võivad olla orgaanilised ja mitteorgaanilised.
- Keskkonna muutused. See on nende tingimuste muutmise meetod, milles asub mahuti, vähendamaks korrosiooniprotsesside arenemise kiirust. Näiteks võib alandada mahutis oleva vedeliku happesuse või leelisuse taset.
- Regulaarne tehniline hooldus. Mahutit kontrollitakse regulaarselt korrosioonikollete tuvastamiseks, korraldatakse korrosiooni kõrvaldamisega seotud töid. [10]

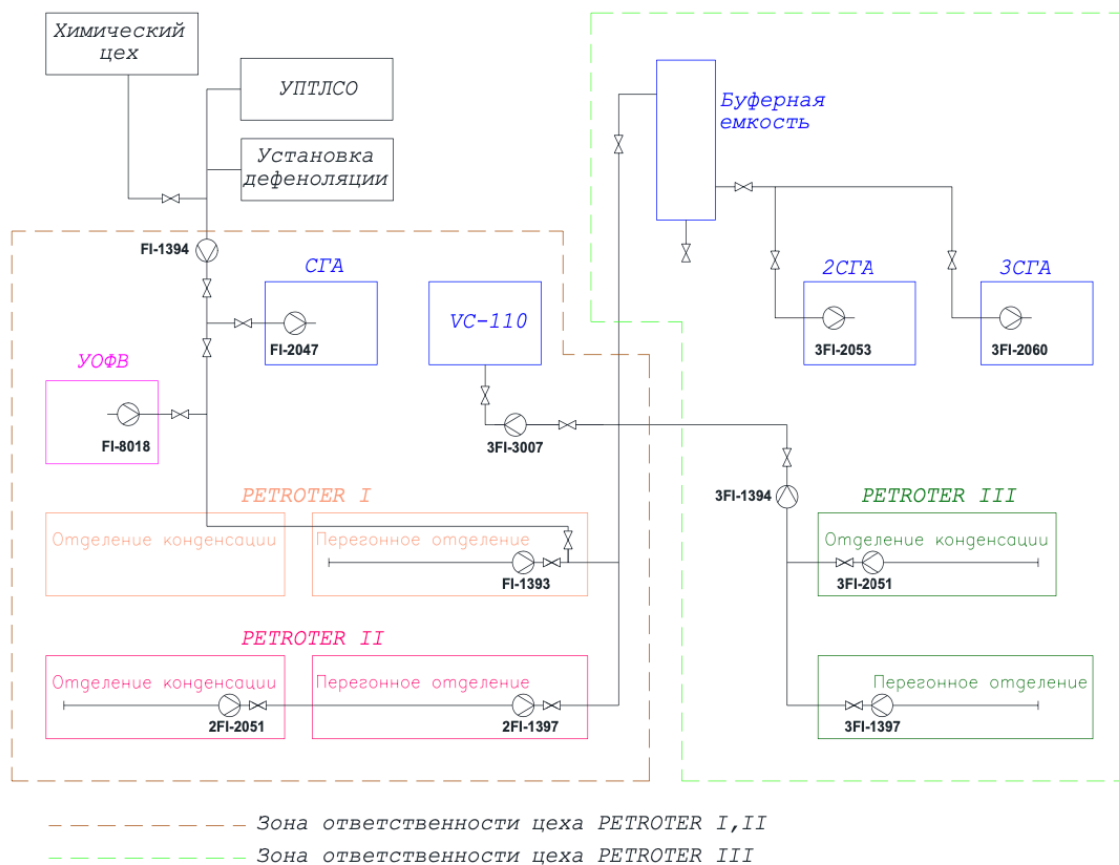
### 3. RESERVUAARIDE LÄMMASTIKU HINGAMISSÜSTEEM

Lämmastik – lõhnata ja maitseta värvitu gaas. Lämmastik on suhteliselt mitteaktiivne ja mittepõlev. Lämmastik ei ole toksiline, kuid võib esile kutsuda lämbuse (asfüksia). Tihedus 1,234 kgr/m<sup>3</sup> temperatuuril 273,15 K (0 °C) ja rõhul 100 kPa.

Petroter tootmise alljaoskondades kasutatakse lämmastikku plahvatusohtliku segu väljatõrjumiseks Petroter I, II ja Petroter III tsehhide aparaatidest ja tehnoloogilise skeemi seadmetest nende käivitamise ja seiskamise ajal, materjali võlvide varisemise ajal seadmete tööprotsessis, kontrollmõõteriistade ja automaatikaseadmete läbipuhumise ajal jm.

Lämmastiku antakse aparaatidele ja seadmetele Petroter tootmise lämmastiksüsteemist, millesse kuulub järgmine põhiseadmetestik: vedellämmastiku lämmastikjaam (6000 nm<sup>3</sup>/h gaasitaolist lämmastikku), gaasitaolise lämmastiku jaam CGA (180 nm<sup>3</sup>/h), 2CGA (400 nm<sup>3</sup>/h), 3CGA (450 nm<sup>3</sup>/h), sulg- ja reguleeriva armatuuriga torustikud. Petroter I, II tsehhi juures asuvad aurutitega vedellämmastiku mahutid, mis tagavad lämmastiku etteandmise süsteemi lämmastiku tippkasutuse ajal.

Kogu lämmastikseadmetestik on ühendatud torustikuga üldsüsteemi kaudu, mis on ühendatud kõikide VKG Oil AS seadmetega. [1]



Joonis 3.1 Lämmastiksüsteemi ja jaotustsooni üldine plokk-skeem [1]

Gaasilise lämmastiku jaamad (СГА, 2СГА и 3СГА) on mõeldud õhust gaasilise lämmastiku saamiseks (hapniku adsorbtsiooni meetodil) lämmastiku sagedustaseme 99% juures. Need jaamad on VKG OIL AS alljaoskondade tööstustarbimiseks mõeldud gaasilise lämmastiku põhitootjad ning hoiavad süsteemis lämmastiku rõhku vahemikus 8,5 - 9 bar. Juhul, kui tsehhidevaheliste lämmastiktorustike kollektoris langeb lämmastiku rõhk kuni 8,0 bar, algab automaatselt lämmastiku lisatoide veeldatud lämmastiku jaamast VC-110.

Kõikide lämmastikjaamade torustikud, mida mööda transporditakse gaasilist lämmastikku, on ühendatud ühtsesse gaasilise lämmastiku etteandmise kollektorisse (Joonis 3.1). Igal jaoskonnal (seadmel, tsehhil) omakorda on omad lämmastiku transportimise ja jaotamise torustiksüsteemid.

Iga gaasilise lämmastiku tootmise jaam kujutab endast püsikindlat terasest konteinerit, mis on paigaldatud eraldi betoonist vundamendiplaadile, millel asub jaama põhiseadmetestik. [11]

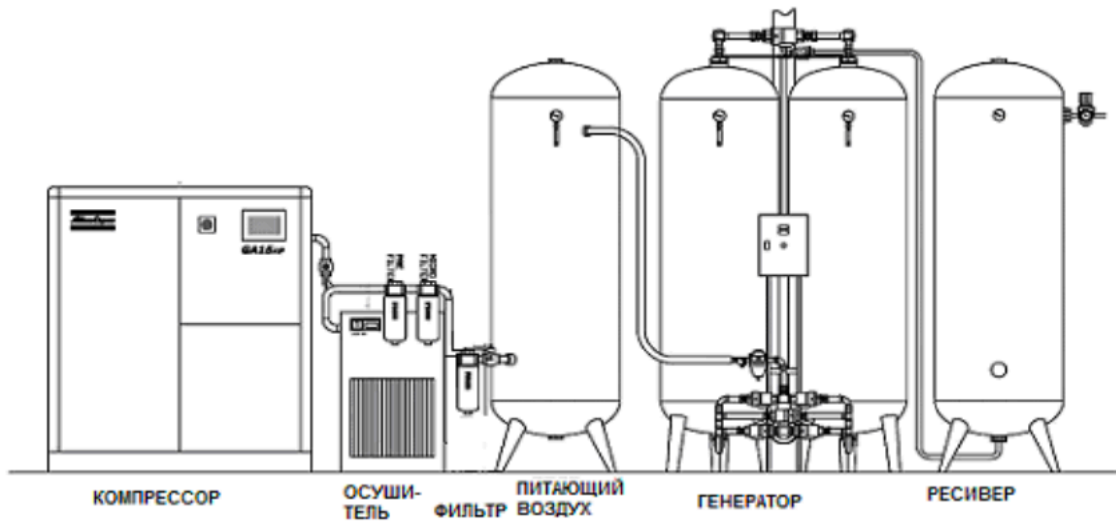


Joonis 3.2 Seadmetega gaasilise lämmastiku jaama konteineri üldvaade [11]

Iga gaasilise lämmastiku tootmisjaama põhiseadmeteks (Joonis 3.3) on:

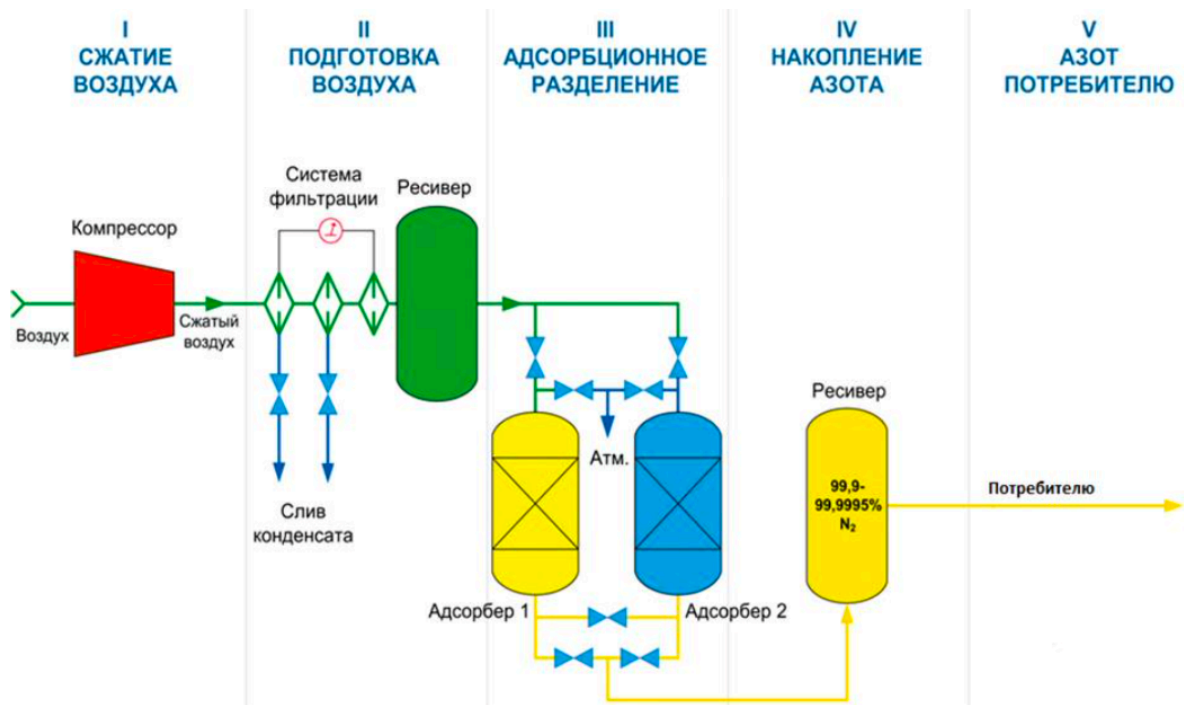
- õhukompressorid;
- õhu kuivatusplokid filtriga;
- õhu ressiiver;
- generaator lämmastiku saamiseks, mille koosseisu kuuluvad kaks absorberit;

- lämmastiku ressiiver.



Joonis 3.3 Gaasilise lämmastikjaama seadmestik [11]

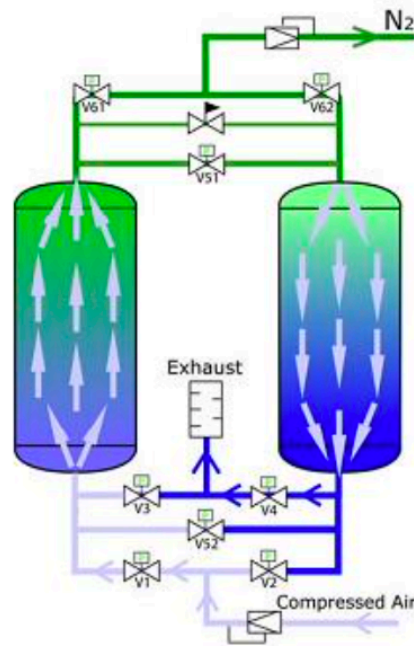
Peamiseks tootmismehhanismiks on lämmastiku generaator Oxymat, mis on ette nähtud lämmastiku eraldamiseks atmosfääriõhust. (Joonis 3.2) Generaatori tööpõhimõte põhineb lühitsüklilise soojendamatu adsorbtsiooni meetodil, see tähendab õhust tuleva hapniku ja muude gaaside selektiivsel neeldumisel.



Joonis 3.4 Gaasilise lämmastikjaama töö plokk-skeem [11]

Õhk rõhuga 9÷11 bar suunatakse õhkkompressoritega filtratsioonisüsteemi, milles õhust eemaldatakse niiskus (kondensaat), õli ja mustus. Seejärel suundub puhastatud

ja kuivatatud õhk ressiiverilt kahest adsorberist koosneva lämmastiku generaatorisse (Joonis 3.4). Iga adsorber kujutab endast adsorbendiga (aktiivsöega) täidetud molekulaarsõeltega mahutit. Adsorberi adsorbent 1 hoiab kinni hapnikku ja laseb puhta lämmastiku läbi lämmastiku etteandmisklappide lämmastiku ressiiverisse. Ressiiverite järel suundub jaamade 2CFA ja 3CFA poolt toodetud lämmastik üldisesse puhvermahutisse (kogumismahutisse), millest hiljem antakse lämmastikjuhtmete kaudu tsehhidevahelisse süsteemi.



Joonis 3.5 Gaasilise lämmastiku adsorbtsioonilise jaotusjaama sõlme töö skeem [11]

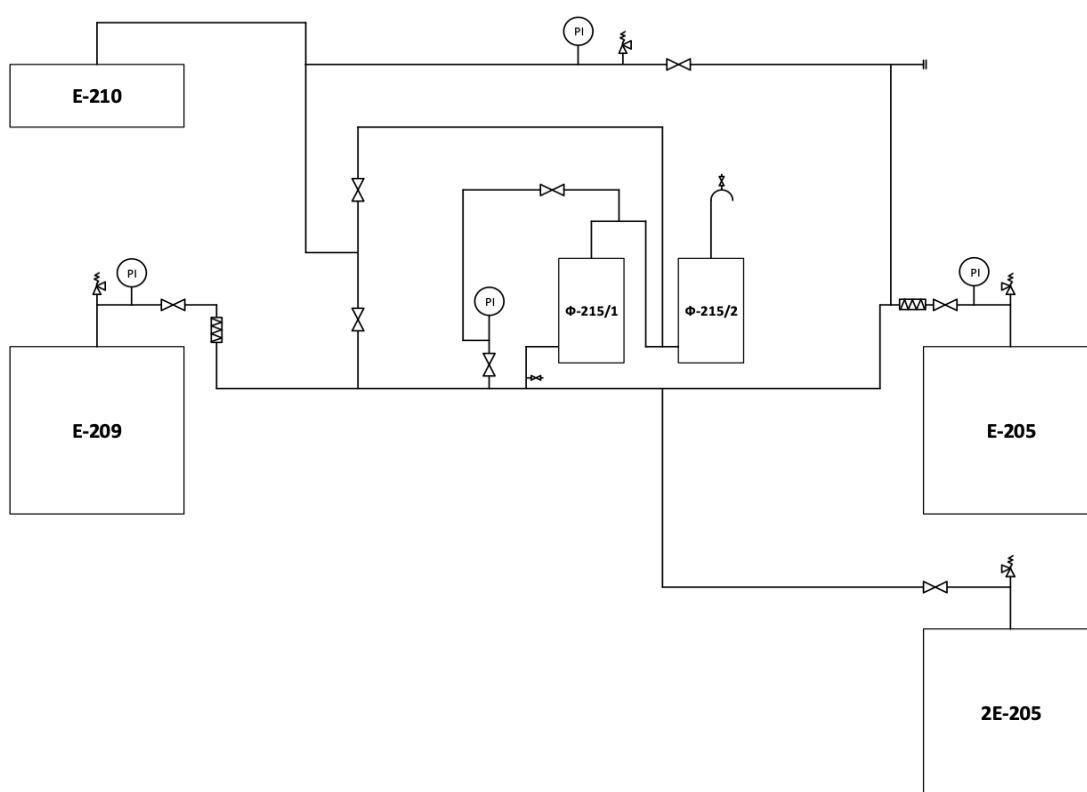
Mõne aja möödudes saavutab adsorbeeris 1 olev adsorbent piirküllastuse. Peale seda lülitavad lämmastiku generaatori (Joonis 3.5) tsükliliste operatsioonide klapid gaasivoolu ümber adsorbeeri 1 ja adsorbeeri 2 vahel. Sel hetkel hakkab adsorber 1 langetama rõhku, käivitades sellega regenereerimisprotsessi – adsorbendi puhastus sellesse kogunenud hapnikust edasise hapniku väljaheitmisega õhku künla kaudu. Õhk omakorda suundub adsorberisse 2, kus jätkubki adsorbtsiooni protsess (hapniku ja muude gaaside neeldumine). Seega toimub lämmastiku generaatori adsorbendi ümberlaadimine, lämmastiku tootmine aga jätkub vahetpidamata, kusjuures mõlemal staadiumil on protsessi temperatuur võrdne keskkonnatemperatuuriga. [11]

### 3.1 Tehnoloogilise protsessi kirjeldus

Lämmastikku toodetakse olemasolevates lämmastikgeneraatorites, mis paiknevad Petroter I ja Petroter II kondensatsioonijaoskonna piires.

Samuti asuvad Petroter I, II piirkonnas vedellämmastikuga ja aurustitega mahutid, mis tagavad rõhu ülalhoiu lämmastiku üldkollektoris ja piisavat lämmastiku kulu seadmetel suurema tarbimise korral.

Petroter I, II seadmete kondensatsioonijaoskonna tehnoloogilisse protsessi on kaasatud järgmised mahutid: dreneaž-tsinkulatsioonõli mahuti 2E-205, Petroter I seadme käivitusõli mahuti E-205, Petroter II seadme käivitusõli mahuti E-209 ja õlipüüdur E-210. (Joonis 4.1) Mahutis moodustuvad hingamisaurud juhitakse ära läbi mahuteid ühendava üldkollektori söefiltritesse (adsorbeerid), kus toimub naftatoodete väävelvesiniku ja lenduvate komponentide püüdmine. Peale aurude puhastamist söefiltrites heidetakse jääkaaurud küünla kaudu atmosfääri. [2]



Joonis 3.6 Petroter I, II hingamismahutite tehnoloogiline skeem [2]

Mahuti 2E-205 on mõeldud dreneaž-tsinkulatsioonõli kogumiseks käivitusoperatsioonide ajal, õliseadmete töö ajal peale Petroter I, II kondensatsioonijaoskonna seadmete läbipesemist. Mahutis olev õli pumbatakse pumbaga 2H-210/1,2 RKKEVS seadmetele (raske, kergkeskmise vaigu ettevalmistamise ja vaigutustamise seade) või reaktoritesse P-110, 2P-110 teiseseks pürolüüsiks.



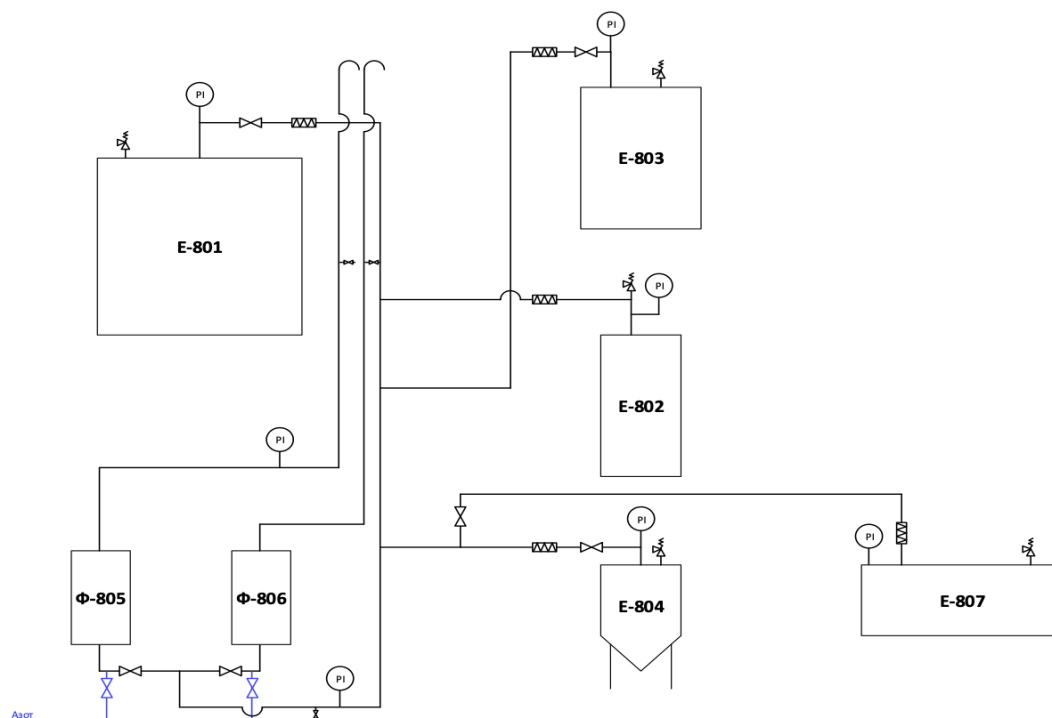
Käivitusõli mahutites E-205 ja E-209 asub kergmasuut ja põlevkiviõli keskmine fraktsioon, mida kasutatakse tehnoloogilises protsessis tsirkulatsioonõli märgpuhastussõlme lisatoiteks ja/või seadmete ja kommunikatsioonide läbipesemiseks.

Õlieraldaja E-210 vastuvõtusektsiooni suundub vallitustes olev vesi, milles võivad olla põlevkiviõlid. Põlevkiviõlid voolavad vastuvõtusektsioonist üle õlisektsiooni, vesi – veesektsiooni (erinevate tiheduste arvel). Õlisektsioonist pumbatakse põlevkiviõli pumbaga H-213 mahutitesse E-205 või E-209, veesektsioonis olev vesi suunatakse omavooluga tööstuskanalisatsiooni, tööstusvete puhastamise ja neutraliseerimise tsehhi.

Tabel 3.1 Toote maksimaalne lühiajaline saabumine Petroter I, II mahutipargi mahutitesse [2]

<b>Mahuti nr.</b>	<b>Toode</b>	<b>Toode mahutisse, m<sup>3</sup>/h</b>	<b>Toode mahutist, m<sup>3</sup>/h</b>
E-205	Kergmasuut	20	20
E-209	Keskmine fraktsioon	20	20
E-210	Vaigustatud vesi	25	25
2E-205	Drenaaž-tsirkulatsioonõli	20	20

Petroter I, II tsehhi fenoolvee puhastamisseadme tehnoloogilisse protsessi on kaasatud järgmised mahutid: toormevee mahuti E-801, bensiinistatud leelilahuse mahuti E-802, puhastatud fenoolvee mahuti E-803, veedestillaadi mahuti E-804 ja CIP-pesu mahuti E-807. Mahutites moodustuvad hingamisaurud juhatakse ära läbi mahuteid ühendava üldkollektori söefiltritesse (adsorbeerid), kus toimub naftatoodete väävelvesiniku ja lenduvate komponentide haare. Peale aurude puhastamist söefiltris heidetakse jääkaurud küünla kaudu atmosfääri.



Joonis 3.7 Fenoolvete puhastusseadme mahutite hingamise tehnoloogiline skeem [2]

Mahutis E-801 toimub Petroter I, II, III seadmete tehnoloogilises protsessis moodustuva fenoolvee kogumine, samuti on võimalus vastu võtta Kiviter tehnilist vett, mis tuleb RKKEVS seadmelt ja separaatorvett defenolatsiooniseadmelt selle edasiseks puhastamiseks madalkeevatest komponentidest (gaasidest, lahustitest).

Mahuti E-802 kujutab endast puhvermahutit defenolatsiooniseadmelt tuleva leeliselise vee või generaatorõlide destilleerimisseadmelt tuleva bensiinistatud leelilahuse kogumiseks ja kasutamiseks fenoolvee puhastusseadme tehnoloogilises protsessis.

Mahutis E-803 toimub puhastatud fenoolvee kogumine peale toormevee puhastamist fenoolvee puhastusseadmelt. Puhastatud fenoolvett kasutatakse Petroter tootmise tehnoloogilises protsessis moodustuva tuha jahutamiseks ja niisutamiseks.

Mahutis E-804 toimub veedestillaadi – toormevee puhastamise kõrvaltoote kogumine fenoolvete puhastusseadmelt. On võimalus vastu võtta Kiviter tehnilist vett RKKEVS seadmelt ja separaatorvett defenolatsiooniseadmelt. Veedestillaat suunatakse hiljem ümbertöötlusele (utiliseerimisele) Petroter I, II ja Petroter III tsehhide reaktoritesse või utiliseerimiskateldesse.

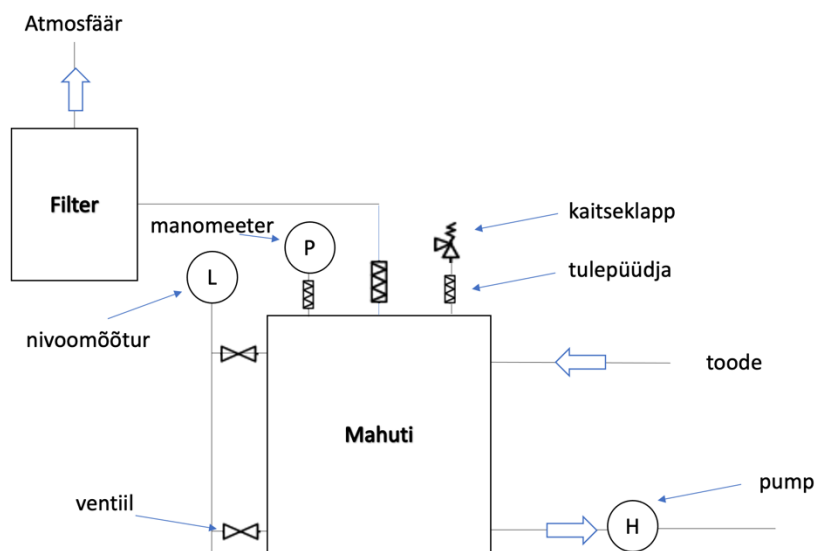
Mahuti E-807 on mõeldud reagendi (bensiin, happed ja leelised) säilitamiseks ja edasiseks kasutamiseks fenoolvee puhastusseadme tehnoloogilise seadmestiku läbipesemisel.

Tabel 3.2 Toote maksimaalne lühiajaline saabumine Petroter I, II mahutipargi mahutitesse [2]

Mahuti nr.	Toode	Toode mahutisse, m <sup>3</sup> /h	Toode mahutist, m <sup>3</sup> /h
E-801	Fenooltoormevesi	35	30
E-802	Bensiinistatud leelilahus	12	2
E-803	Puhastatud fenoolvesi	35	35
E-804	Veedestillaat	6	4
E-807	Lahusti seadmete läbipesemiseks	15	15

### 3.2 Lämmastiku mahutitesse etteandmise süsteemi töö põhimõte

Mahutite ohutuks kasutamiseks ja mahutites hoitava plahvatus- ja tuleohtliku toodangu aurude hapnikuga kontakteerumise vältimiseks on ette nähtud lämmastikpadja loomine, hõlmates mahutis kogu vaba ruumi toote taseme kohal. Lämmastikpadja süsteem (Joonis 5.1) hoiab mahutis etteantud rõhku kaitseklapi töösse rakendumise vältimiseks – ennetab vaakumi teket või kahjulike ainete heitmist atmosfääri.



Joonis 3.8 Mahuti seadmestik [2]

Tulepüüdja — see on reservuaarseadmestiku element, mis takistab leegi, sädemete ja tule tungimist läbi torustiku tuleohtlikesse kohtadesse, reservuaaridesse ja naftagaasi kambritesse.

Kaitseklapp – seade, mis on mõeldud süsteemi kaitsmiseks ülemäärasest rõhu tõusust, piirates selle lubatud piiri. Ohtlikule märgile lähenedes hakkab heiteklapp tööle, teostades töökeskkonna heidet süsteemisisesest rõhu normaliseerimise hetkeni.

Pump – masin, seade vedelike sisse- või väljapumpamiseks.

Ventiil – vedelike, auru või gaasi väljumise reguleerimisklapp mõnedes mehhanismides.

Toote mahutist väljapumpamisel langeb vedeliku tase, suureneb gaasfaasi maht, mahuti sees olevate aurude rõhk aga alaneb. Rõhu taastamiseks etteantud parameetriteni avaneb lämmastiku mahutisse etteandmise klapp. Kui mahutis oleva lämmastiku rõhk tõuseb määratud tasemeni, sulgub automaatselt lämmastiku etteandmisklapp.

Toote mahutisse kogunemise korral tõuseb selles olev vedeliku tase, gaasfaasi maht alaneb ja rõhk tõuseb. Rõhu vähendamiseks mahutis etteantud parameetriteni avaneb hingamisaurude ärajuhtimisklapp. Mahutis olev rõhk langeb. Etteantud parameetrite saavutamisel sulgub automaatselt hingamisaurude ärajuhtimisklapp. [2]

### **3.4 Toote aurude utiliseerimine mahutitest**

Mahutite E-205, E-209, E-210 hingamine on ühendatud hingamise üldkollektoriga, läbi kollektori suunatakse toote aurud Petroter I, II tsehhi poolkoksgaasi separaatorisse E-204, kust poolkoksgaasiga aurud suunatakse gaasipuhurite abil põletamisele VKG Energia olemasolevates utiliseerimiskateldes. [2]



## 4.ARVUTUSLIK OSA

Arvutuste eesmärk:

gaasitorustiku diameetri arvutus;

gaasitorustiku läbilaskevõime arvutus;

abiseadmestiku (gaasipuhur) valik.

### 4.1 Gaasitoru läbilaskvõime arvutusmeetodid

Läbilaskevõime määratleb torustiku sisemise ristlõike kaudu kulgeva gaasi koguse ja mahu ning torustike süsteemi projekteerimisel on üheks peamiseks näitajaks.

Torustiku diameeter on projekteerimisel küll peamine, kuid mitte ainus parameeter. Samatähtsaks parameetrik on ka tööõhk, mis sõltub gaasipuhurite/kompressorite võimsusest ja tööõhkimõttest. Gaasitorustiku diameetri ja selle tööõhu optimaalne suhe loovad tingimused kestvaks ja ohutuks kasutamiseks, samuti tarbija kindlustamiseks vajalikus koguses gaasiga.

#### 4.1.1 Torustiku läbilaskevõime määramise meetodid

Toru osa läbilaskevõimele osutavad toimet järgmised tegurid:

- tingimuslik pääs ( $D_y$  või  $D_n$ );
- valmistusmaterjal;
- parimispunktide arv;
- lõigu pikkus;
- kompressoriseade võimsus;
- transporditava keskkonna omadused.

Arvutuste tegemisel on gaasitorustiku peamise geomeetrilise suurusena kasutatakse reeglina tingliku läbimi ( $D_y$  või  $D_n$ ) suurst, mis osutab toru keskmistatud sisediameetritele.

Kasutatakse nelja peamist läbilaskevõime arvutusmeetodit, milledest igaühel on omad eripärad:

Kõige töömahukamaks on läbilaskevõime väljaarvutamine hüdraulvalemite põhjal, mis põhinevad itaalia teadlase Torrichelli uuringutel.

Arvutused eritabelite abil on küll väiksema töömahuga, kuid eeldavad vähemalt nende tabelite olemasolu.

Kõige lihtsamaks ja kindlamaks arvutusmeetodiks on programmtooded, mis on kohandatud hüdrodünaamika iga konkreetse valdkonnaga.

Arvutusmeetod online-arvutite abil sobib väiksema mahuga majasisestele süsteemidele, millede parameetrid ei ole eramuvaldajate jaoks kriitilised. [16]

#### 4.1.2. Torustiku läbilaskevõime määramise tabelmeetod

Tabelmeetod on läbilaskevõime arvutuste universaalseim meetod, kuna väldib online arvutussüsteemide programmeerijate eksimusi ning ei nõua hüdraulika valdkonnas kutsealast haridust.

Läbilaskevõime arvutuste tabelmeetodit kasutatakse mitte ainult vedelike jaoks, vaid ka gaasiliste ja aurutaoliste keskkondade jaoks. Taolise lähenemise näiteid demonstreerivad tabelid 4.1. ja 4.2.

Tabel 4.1. Vee, õhu või auru läbilaskevõime määramine erinevate parameetritega diameetri ja rõhu korral. [18]

ТАБЛИЦА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ:													
DN	15x25, 20x25, 25x25 (D0=10мм)			32x32 (D0=20мм)			40x40 (D0=25мм)			50x50 (D0=32мм)			
	Среда	Воздух	Пар	Вода	Воздух	Пар	Вода	Воздух	Пар	Вода	Воздух	Пар	Вода
Pн (бар)	м³/ч	кг/ч	м³/ч	м³/ч	кг/ч	м³/ч	м³/ч	кг/ч	м³/ч	м³/ч	кг/ч	м³/ч	м³/ч
0,5	70	57	1,01	275	221	4,06	404	325	6,34	449	362	10,38	
1	95	76	1,43	372	297	5,74	547	436	8,96	609	486	14,68	
1,5	120	95	1,76	470	372	7,02	690	546	10,97	768	608	17,98	
2	145	114	2,03	567	447	8,11	833	656	12,67	927	730	20,76	
2,5	170	133	2,27	665	521	9,07	976	765	14,17	1087	852	23,21	
3	195	152	2,48	762	595	9,93	1119	874	15,52	1246	973	25,43	
3,5	220	171	2,68	860	669	10,73	1263	982	16,76	1406	1093	27,47	
4	245	190	2,87	957	742	11,47	1406	1090	17,92	1565	1213	29,36	
4,5	270	209	3,04	1055	816	12,17	1549	1198	19,01	1725	1333	31,14	
5	295	228	3,21	1153	889	12,82	1692	1305	20,04	1884	1453	32,83	
5,5	320	246	3,36	1250	962	13,45	1835	1413	21,02	2043	1573	34,43	
6	345	265	3,51	1348	1035	14,05	1979	1520	21,95	2203	1692	35,96	
6,5	370	284	3,66	1445	1108	14,62	2122	23,71	22,85	2362	1811	37,43	
7	395	302	3,79	1543	1181	15,17	2265	24,54	23,71	2522	1930	38,84	
7,5	420	321	3,93	1640	1254	15,71	2408	25,35	24,54	2681	2049	40,21	
8	445	340	4,06	1738	1326	16,22	2551	26,13	25,35	2840	2168	41,53	
8,5	470	358	4,18	1835	1399	16,72	2695	26,95	26,13	3000	2287	42,8	
9	495	377	4,3	1933	1472	17,21	2838	27,76	26,88	3159	2406	44,05	
9,5	520	395	4,42	2030	1545	17,68	2981	28,58	27,62	3319	2525	45,25	
10	545	414	4,53	2128	1617	18,14	3124	29,39	28,34	3478	2643	46,43	
10,5	570	433	4,65	2225	1690	18,58	3267	30,21	29,04	3637	2762	47,57	
11	595	451	4,76	2323	1762	19,02	3411	31,03	29,72	3797	2881	48,69	
11,5	620	470	4,86	2420	1835	19,45	3554	31,85	30,39	3956	2999	49,79	
12	645	488	4,97	2518	1908	19,87	3697	32,67	31,04	4116	3118	50,86	
12,5	670	507	5,07	2615	1980	20,28	3840	33,48	31,68	4275	3237	51,91	
13	695	525	5,17	2713	2052	20,68	3983	34,29	32,31	4434	3355	52,94	
13,5	720	544	5,27	2810	2125	21,07	4126	35,09	32,92	4594	3474	53,94	
14	744	563	5,36	2908	2197	21,46	4270	35,88	33,53	4753	3592	54,93	
14,5	769	581	5,46	3005	2271	21,84	4413	36,67	34,12				
15	794	600	5,55	3103	2343	22,21	4556	37,45	34,71				
15,5	819	619	5,65	3200	2416	22,58	4699	38,23	35,28				
16	844	637	5,74	3298	2488	22,94	4842	39,01	35,84				

Käesoleva tabeli eeliseks võib olla toru erinevate diameetrite ja vajalike rõhkude eelnev hinnang ühesuguse suurusega läbilaskevõime tagamiseks.

Tabel 4.2. Toru läbilaskevõime sõltuvalt soojuskandja rõhust [18]

Расход		Пропускная способность, кг/ч								
Ди трубы 0		15 мм	20 мм	25 мм	32 мм	40 мм	50 мм	65 мм	80 мм	100 мм
Па/м	мбар/м	< 0,15 м/с			0,15 м/с					0,3 м/с
90	0,9	173	403	745	1627	2488	4716	9612	14940	30240
92,5	0,925	176	407	756	1652	2524	4788	9756	15156	30672
95	0,95	176	414	767	1678	2560	4860	9900	15372	31104
97,5	0,975	180	421	778	1699	2596	4932	10044	15552	31500
100	1	184	425	788	1724	2632	5004	10152	15768	31932
120	1,2	202	472	871	1897	2898	5508	11196	17352	35100
140	1,4	220	511	943	2059	3143	5976	12132	18792	38160
160	1,6	234	547	1015	2210	3373	6408	12996	20160	40680
180	1,8	252	583	1080	2354	3589	6804	13824	21420	43200
200	2	266	619	1151	2588	3780	7200	14580	22644	45720
220	2,2	281	652	1202	2617	3996	7560	15336	23670	47880
240	2,4	288	680	1256	2740	4176	7920	16056	24876	50400
260	2,6	306	713	1310	2855	4356	8244	16740	25920	52200
280	2,8	317	742	1364	2970	4356	8568	17338	26928	54360
300	3	331	767	1415	3078	4680	8892	18000	27900	56160

Taoliste tabelite mugavus seisneb selles, et lubavad näitlikult analüüsida rõhu muutuste toimet läbilaskevõimele juba valitud toru diameetri korral.

Gaasitoru läbilaskevõimet määratakse katkematute hangete tagamisest lähtudes maksimaalse tarbimise tundidel ja rõhu minimaalsetest kadudest võrgu alade vahel.

Magistraal- või gaasijaotustorustiku  $D_y$  diameetri määramiseks kasutatakse valemit:

$$Q_{max} = 196,386 \frac{D_y^2 \cdot p}{z \cdot t} \quad (4.1)$$

kus:

$Q_{max}$ - gaasi kulu, m<sup>3</sup>/h

Z – kokkusurutavuse koefitsient;

t – keskkonna temperatuur, °C

p- gaasi rõhk, bar



Tabel 4.3. Torustiku läbilaskevõime normaalingimustel [16]

P <sub>раб.</sub> (МПа)	Пропускная способность трубопровода (м <sup>3</sup> /ч), при wгаза=25м/с; z=1; T=20°C=293°K							
	DN 50	DN 80	DN 100	DN 150	DN 200	DN 300	DN 400	DN 500
0,3	670	1715	2680	6030	10720	24120	42880	67000
0,6	1170	3000	4690	10550	18760	42210	75040	117000
1,2	2175	5570	8710	19595	34840	78390	139360	217500
1,6	2845	7290	11390	25625	45560	102510	182240	284500
2,5	4355	11145	17420	39195	69680	156780	278720	435500
3,5	6030	15435	24120	54270	96480	217080	385920	603000
5,5	9380	24010	37520	84420	150080	337680	600320	938000
7,5	12730	32585	50920	114570	203680	458280	814720	1273000
10,0	16915	43305	67670	152255	270680	609030	108720	1691500

Gaasitorustikus olev gaas suureneb mahus. Kui läbilaskevõime osutub madalamaks, võivad tekkida lekked ja isegi plahvatused.

Tabel 4.4. Läbilaskevõime [16]

Расход		Пропускная способность кг/ч								
Ду трубы 0		15 мм	20 мм	25 мм	32 мм	40 мм	50 мм	65 мм	80 мм	100 мм
Па/м	мбар/м	<0,15 м/с			0,15 м/с					0,3 м/с
90,0	0,900	173	403	745	1627	2488	4716	9612	14940	30240
92,5	0,925	176	407	756	1652	2524	4788	9756	15156	30672
95,0	0,950	176	414	767	1678	2560	4860	9900	15372	31104
97,5	0,975	180	421	778	1699	2596	4932	10044	15552	31500 1,0
100,0	1,000	184	425	788	1724	2632	5004	10152	15768	31932 м/с
120,0	1,200	202	472	871	1897	2898	5508	11196	17352	35100
140,0	1,400	220	511	943	2059	3143	5976	12132	18792	38160
160,0	1,600	234	547	1015	2210	3373	6408	12996	20160	40680
180,0	1,800	252	583	1080	2354	3589	6804	13824	21420	43200 1,5
200,0	2,000	266	619	1151	2488	3780	7200	14580	22644	45720 м/с
220,0	2,200	281	652	1202	2617	3996	7560	15336	23760	47880
240,0	2,400	288	680	1256	2740	4176	7920	16056	24876	50400
260,0	2,600	306	713	1310	2855	4356	8244	16740	25920	52200
280,0	2,800	317	742	1364	2970	4356	8568	17338	26928	54360
300,0	3,000	331	767	1415	3078	4680	8892	18000	27900	56160

Selliste tabelite mugavus seisneb selles, et lubavad näitlikult analüüsida surve muutuste toimet läbilaskevõimele juba valitud diameetri korral.

## 4.2 Gaasitorustiku arvutus

Arvutuste lähteandmed

Torustiku pikkus lämmastiku jaamast mahutiteni, m .....	300
Survetorustiku pikkus mahutipargi mahutitelt kuni gaasipuhuriteni, m .....	350
Torustiku diameeter, mm .....	80
Lämmastiku kulu, m <sup>3</sup> /h .....	300
Gaasi (lämmastiku) tihedus, kg/m <sup>3</sup> .....	1,234
Ümarpainutatud äravoolude arv, tk .....	18
Gaasitorustikus olev rõhk, bar .....	8
Gaasi liikumiskiirus, m/s .....	7
Torustiku materjal .....	teras

1. Sisediameetri arvutuseks kasutame valemit:

$$d_p = (626 \times A \times \rho \times Q / \Delta P_{уд})^{\tau/\tau_1} \quad (4.2)$$

kus:

$d_p$ - arvutuslik diameeter, mm

$A$ ,  $\tau$ ,  $\tau_1$ - võrgu kategooriast ja materjalist sõltuv koefitsient (vt. Tabel 4.5)

Tabel 4.5 Gaasitorustiku materjalist sõltuvuskoefitsiendi tähendus [13]

Материал	A	$\tau$	$\tau_1$
Сталь	0,022	2	5
Полиэтилен	$0,3164 (9\tau v)^{0,25} = 0,0446$ , $v$ - кинематическая вязкость газа при нормальных условиях, м <sup>2</sup> /с	1,75	4,75

$Q$ - gaasi arvutuslik kulu, m<sup>3</sup>/h

$\Delta P_{уд}$ - rõhu erikaod, Pa/m madalrõhu võrkudele

Arvutame  $\Delta P_{уд}$

$$\Delta P_{уд} = \Delta P_{доп} / 1,1L \quad (4.3)$$

kus:

$\Delta P_{доп}$ - rõhu lubatud kaod, Pa

L- kaugus kõige kaugema punktini, m

$$\Delta P_{\text{уд}} = \frac{9,6}{1,1 \times 300} = 0,029 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

Kanname arvatud suurused valemisse (4.2)

$$d_p = (626 \times 0,022 \times 1,234 \times 300 / 0,029)^{2/5} = 125 \text{ mm}$$

2. Määrame Reynoldsi arvu Re ja gaasi liikumise režiimi gaasitorustikus

$$Re = 0,0354 \times \frac{Q}{d \times v} \quad (4.4)$$

kus:

d- gaasitorustiku diameeter, cm

v- gaasi kinemaatilise viskoossuse koefitsient, m<sup>2</sup>/a (vt. tabel 4.6)

Tabel 4.6 Gaasilise lämmastiku viskoossus [13]

Динамическая вязкость $\mu$ :	
паровой фазы, $10^7 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$	165,92
жидкой фазы, $10^6 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$	
Кинематическая вязкость $\nu$ , $10^6 \text{ м}^2/\text{с}$	13,55

$$Re = 0,0354 \times \frac{300}{12,5 \times 13,55 \times 10^{-6}} = 62701$$

Reynoldsi arv asub vahemikus  $4000 < Re < 100000$ , mis tähendab, et gaasi liikumine torustikus on turbulentne.

3. Hüdraulhõõrdumise koefitsienti  $\lambda$  määratakse sõltuvalt gaasi liikumisrežiimist gaasitorustikus, mis iseloomustub Reynoldsi arvuga. [13]

Suhte juures  $4000 < Re < 100000$

$$\lambda = 0,3164 / 25 \times Re^{0,25}$$

$$\lambda = \frac{0,3164}{25} \times Re^{0,25} = \frac{0,3164}{25} \times 62701^{0,25} = 0,2$$

4. Määrame survekao terasest torustikus diameetriga  $d=125 \text{ mm}$ , pikkusega  $L=300 \text{ m}$  kulu juures  $Q=300 \text{ m}^3/\text{h}=0,083 \text{ m}^3/\text{s}=83 \text{ l/s}$

F.A.Ševelevi arvutustabeli alusel leiame, et  $1000i=618,3$ ,  $v=5,75 \text{ m/s}$

Survekadu arvutatakse valemiga:

$$h = \frac{i}{1000} \times L \quad (4.5)$$

kus:

i- hüdraulkalle

L- kaugus kõige kaugema punktini, m

$$h = \frac{618,3}{1000} \times 300 = 185,49 \text{ m}$$

Tabel 4.7 Tabel toru hüdraularvutuseks [14]

Продолжение табл. 11

Q, л/с	d, мм																	
	100		125		150		175		200		250		300		350		400	
	v	1000 i	v	1000 i	v	1000 i	v	1000 i	v	1000 i	v	1000 i	v	1000 i	v	1000 i	v	1000 i
21,5	2,11	79,9	1,55	35,3	1,10	14,4	0,95	9,95	0,63	3,56	0,40	1,21	0,283	0,51	0,208	0,24	—	—
22,0	2,16	83,6	1,58	37,0	1,12	15,0	0,97	10,4	0,64	3,71	0,41	1,27	0,29	0,53	0,21	0,25	—	—
22,5	2,20	87,5	1,62	38,7	1,15	15,6	0,99	10,8	0,66	3,86	0,42	1,32	0,30	0,55	0,217	0,26	—	—
23,0	2,25	91,4	1,66	40,4	1,17	16,3	1,01	11,3	0,67	4,02	0,43	1,37	0,303	0,57	0,22	0,27	—	—
23,5	2,30	95,4	1,69	42,2	1,20	17,0	1,04	11,7	0,68	4,18	0,44	1,42	0,31	0,59	0,227	0,28	—	—
24,0	2,35	99,5	1,73	44,0	1,22	17,6	1,06	12,2	0,70	4,35	0,45	1,48	0,316	0,62	0,23	0,29	—	—
24,5	2,40	103,7	1,76	45,8	1,25	18,4	1,08	12,7	0,71	4,52	0,46	1,54	0,32	0,64	0,237	0,30	—	—
25,0	2,45	108,0	1,80	47,7	1,28	19,2	1,10	13,2	0,73	4,69	0,47	1,59	0,33	0,66	0,24	0,31	—	—
25,5	2,50	112,4	1,84	49,6	1,30	19,9	1,12	13,7	0,74	4,86	0,48	1,65	0,336	0,69	0,246	0,32	—	—
26,0	2,55	116,8	1,87	51,6	1,33	20,7	1,15	14,2	0,76	5,04	0,49	1,71	0,34	0,71	0,25	0,34	—	—
26,5	2,60	121,4	1,91	53,6	1,35	21,5	1,17	14,7	0,77	5,22	0,50	1,77	0,35	0,74	0,256	0,35	0,20	0,189
27,0	2,65	126,0	1,94	55,7	1,38	22,3	1,19	15,2	0,79	5,40	0,51	1,83	0,355	0,76	0,26	0,36	0,203	0,195
27,5	2,69	130,7	1,98	57,7	1,40	23,2	1,21	15,7	0,80	5,59	0,52	1,89	0,36	0,79	0,266	0,37	0,206	0,202
28,0	2,74	135,5	2,02	59,9	1,43	24,0	1,23	16,3	0,82	5,77	0,53	1,96	0,37	0,81	0,27	0,38	0,21	0,208
28,5	2,79	140,4	2,05	62,0	1,45	24,9	1,26	16,9	0,83	5,97	0,54	2,02	0,375	0,84	0,275	0,40	0,214	0,215
29,0	2,84	145,3	2,09	64,2	1,48	25,8	1,28	17,5	0,85	6,16	0,55	2,08	0,38	0,87	0,28	0,41	0,218	0,221
29,5	2,89	150,4	2,12	66,4	1,50	26,7	1,30	18,1	0,86	6,36	0,56	2,15	0,39	0,89	0,285	0,42	0,22	0,228
30,0	2,94	155,5	2,16	68,7	1,53	27,6	1,32	18,7	0,87	6,56	0,565	2,22	0,395	0,92	0,29	0,43	0,225	0,235
30,5	2,99	160,8	2,20	71,0	1,56	28,5	1,34	19,3	0,89	6,76	0,57	2,28	0,40	0,95	0,295	0,45	0,23	0,242
31,0	3,04	166,1	2,23	73,4	1,58	29,4	1,37	20,0	0,90	6,97	0,58	2,35	0,41	0,98	0,30	0,46	0,233	0,249

Survekadude määramisel eritakistuse alusel tabelis 4.7, leiame, et  $A=0,00006065$  (Q l/s)

Tabeli 4.8. alusel leiame A eritakistuste tähendused  $v=1\text{m/s}$  korral uute terasest ja malmist gaasitorudele (mõõdud antud mm-tes).

Tabel 4.8 A eritaktuste tähendus  $v = 1\text{m/s}$  korral [14]

Трубы стальные водогазопроводные ГОСТ 3262—75			Условный проход $d$	Трубы стальные электросварные ГОСТ 10704—76 и ГОСТ 8696—74			Трубы чугунные напорные ГОСТ 9583—75 и ГОСТ 21053—75	
Условный проход $d$	A (для Q в м³/с)	A (для Q в л/с)		Наружный диаметр	Толщина стенки	A (для Q в м³/с)	класс ЛА	класс А
							A (для Q в м³/с)	A (для Q в м³/с)
6	508 800 000	508,8	50	70	2,5	2362,0	—	—
8	68 510 000	68,51	60	76	2,5	1494,0	—	—
10	4 222 000	4,222	75/65	89	2,5	624,8	2556,0	—
15	3 962 000	3,962	80	102	3,0	307,8	831,7	—
20	824 600	0,8246	100	121	3,0	119,8	276,1	—
25	228 500	0,2285	125	140	3,0	53,88	83,61	—
32	52 570	0,05257	150	168	4,5	22,04	34,09	—
40	26 260	0,02626	175	180	4,5	15,09	—	—
50	6 864	0,006864	200	219	4,5	5,149	7,399	—
65	1 940	0,001940	250	273	6,0	1,653	2,299	—
80	772,7	0,0007727	300	325	7,0	0,6619	0,8336	—
90	360,1	0,0003601	350	377	7,0	0,2948	—	0,4151
100	192,7	0,0001927	400	426	7,0	0,1521	—	0,2085
125	60,65	0,0006065	450	480	7,0	0,08001	—	0,1134
150	24,35	0,0002435	500	530	7,0	0,04692	—	0,06479
—	—	—	600	630	7,0	0,01859	—	0,02493
—	—	—	700	720	7,0	0,009119	—	0,01111
—	—	—	800	820	8,0	0,004622	—	0,005452
—	—	—	900	920	8,0	0,002504	—	0,002937
—	—	—	1000	1020	8,0	0,001447	—	0,001699
—	—	—	1200	1220	9,0	0,0005651	—	—
—	—	—	1400	1420	10,0	0,0002547	—	—
—	—	—	1500	1520	10,0	0,0001776	—	—
—	—	—	1600	1620	10,0	0,0001268	—	—

Määrame surve mittekvardaatsuse suhte  $K_1$  vee keskmise liikumiskiiruse alusel vastavalt tabelile.

Tabel 4.9 Paranduskoeffitsiendid A tähendustele uute terasest ja malmist torude jaoks [14]

$v, \text{m/s}$	Значения K для новых труб		$v, \text{m/s}$	Значения K для новых труб	
	стальных	чугунных		стальных	чугунных
0,20	1,244	1,462	1,3	0,979	0,951
0,25	1,198	1,380	1,4	0,972	0,938
0,30	1,163	1,317	1,5	0,968	0,927
0,35	1,138	1,267	1,6	0,965	0,917
0,40	1,113	1,226	1,7	0,961	0,907
0,45	1,095	1,192	1,8	0,958	0,899
0,50	1,081	1,163	1,9	0,954	0,891
0,55	1,067	1,138	2,0	0,951	0,884
0,60	1,057	1,115	2,1	0,947	0,878
0,65	1,046	1,096	2,2	0,946	0,871
0,70	1,039	1,078	2,3	0,943	0,866
0,75	1,029	1,062	2,4	0,941	0,861
0,80	1,021	1,047	2,5	0,939	0,856
0,85	1,016	1,034	2,6	0,937	0,851
0,90	1,011	1,021	2,7	0,936	0,847
1,0	1,0	1,0	2,8	0,934	0,843
1,1	0,993	0,988	2,9	0,933	0,839
1,2	0,986	0,965	3,0	0,932	0,836

$v=7,0 \text{ m/s}$  korral tähendus  $K=0,736$

Survekadu arvutame valemiga:

$$h = AK_1IQ^2 \quad (4.6)$$

kus:

A- eritakistus

K<sub>1</sub>- paranduskoefitsient

l- lõigu pikkus, m

Q- gaasikulu, m<sup>3</sup>/h

$$h = 0,00006065 \times 0,736 \times 300 \times 83^2 = 92,3 \text{ m}$$

#### 4.3 Gaasipuhuri arvutus

Gaasipuhuri poolt arendatavat rõhku määrame võrrandist:

$$\Delta P_r = \Delta P_T + \Delta P_c \quad (4.7)$$

kus:

$\Delta P_c$ - võrgu hüdraultakistus, mille hulgas torustiku takistus, samuti gaasivoolu absorberisse sisenemise takistus, Pa. [15]

Võrgu hüdraultakistust määratakse valemiga:

$$\Delta P_c = \left( 1 + \lambda \times \frac{l_{TP}}{d_{TP}} + \sum \xi \right) \times \frac{w^2 \times \rho}{2} \quad (4.8)$$

kus:

$\lambda$  – hõõrdumistakistuse koefitsient

$l_{TP}$  – torustiku pikkus, m

$d_{TP}$  – torustiku diameeter, m

$\sum \xi$  – kohalike takistuste koefitsiendi summa

$w_{TP}$  – gaasi kiirus torustikus, m/s

$$\Delta P_c = \left( 1 + 0,2 \times \frac{300}{0,125} + 18 \right) \times \frac{7^2 \times 1,234}{2} = 12533 \text{ Pa}$$

Kirjanduses olevate andmete alusel võtame  $\Delta P_T = 22747$  [15]

Gaasipuhuriga tekitatav rõhk:

$$\Delta P_r = 12533 + 22747 = 35280 \text{ Pa}$$

Arvutame välja gaasipuhuri nõutava võimsuse:

$$N = \frac{V \times \Delta P_r}{1000 \eta} \quad (4.9)$$

kus:

$\eta$  – gaasipuhuri üldine kasutegur, milleks võtame  $\eta = 0,6$

$$N = \frac{1,6 \times 35280}{1000 \times 0,6} = 94,08 \text{ kW}$$

Antud arvutusest võime teha järelduse, et lämmastiku täielikuks kadudeta tarbimiseks läheb vaja gaasipuhurit võimsusega vähemalt 100 kW. [15]



Joonis 4.1 Läviv gaasipuhur [17]

Gaasipuhurite kataloogide võrdlemisel on kõige sobilikumaks variandiks - Pytca CCM (Venemaa) võimsusega 110 kW.

## KOKKUVÕTE

Selle töö käigus analüüsiti erinevaid kirjandusallikaid, mis kirjeldasid erinevaid torujuhtme läbimõõdu arvutamise meetodeid, mis sobivad kõikidele mahutitele ilma lämmastikgaasi läbipääsuta. Probleem oli selles, et selle töö kirjutamisel olid lämmastikutankla esialgsed näitajad puudu.

Kasutades [13] pakutud meetodit, määrati toru minimaalne läbimõõt, mis mahutitele sobiks. Gaasitoru minimaalne läbilaskevõime määrati tabelimeetodil.

Rõhukadu arvutati ka meetodil [17], mille käigus arvutati välja gaasipuhuri poolt välja töötatud kogurõhk ning gaasipuhuri vajalik võimsus, tänu millele võib järeldada, et rõhul 8 –9 baari õhu sissepritse ei ole piisav.

Arvutuste põhjal saame järeldada, et igasse lämmastikutanklasse saab paigaldada ühe kuni 100 kW võimsusega gaasipuhuri lämmastiku juurdevoolu kompenseerimiseks.

Sobivate seadmete valikul ja analüüsimisel analüüsiti paljusid katalooge erinevat tüüpi gaasipuhurite ning erinevate markide ja võimsustega. Valik langes Venemaalt pärit gaasipuhurile RUTSA SSM-ilt, võimsusega 110 kW.



## **SUMMARY**

Design of the nitrogen breathing system and steam regenerator of Petroter I, II tank farms was written by Valerija Nilova in which the theoretical and calculated part was considered. Fuel slate is considered the main mineral, which is used as raw materials at industrial enterprises such as Viru Keemia Grupp (VKG). The main goal of the thermal technologies for the processing of shale is to produce products in the form of liquid shale oils. At the VKG Oil AS enterprise, which specializes in the processing of shale, there is an installation of gaseous nitrogen, designed to obtain nitrogen from the air.

The resulting nitrogen is designed to supply the capacitive park. At present, the nitrogen enters pipelines that are united to the general collector of gaseous nitrogen. In turn, each unit (installation, workshop) has their own systems of pipelines for transporting and distribution of nitrogen on equipment. The main production mechanism is the OXYMAT nitrogen generator, which is designed to isolate nitrogen from atmospheric air. To increase the efficiency of gaseous nitrogen production, it is proposed to use additional equipment for each nitrogen station.

The purpose of this work is to show the theoretical possibility of using gaseous nitrogen using plants at the enterprise to produce gas and the introduction of technologies such as additional planning, avoids the loss of nitrogen over the entire length of the pipeline and increases the priority of the use of gas at the Petroter enterprise.

## KASUTATUD KIRJANDUS

1. Технологический регламент TR-4-2011 производства сланцевого масла в цехе Petroter, перегонное отделение, 2011. Часть 1.
2. Временная инструкция по эксплуатации системы азотного дыхания емкостного парка, OILj.PETR I,II/17, 2021. Часть 2.
3. Информационный портал «Нефтьрегион» [Online] <https://neftregion.ru/informaciya/vidy-rezervuarov-dlya-nefteproduktov> (10.03.2024)
4. «РЕМСТРОЙМАШ» производственное объединение [Online] <https://www.npommz.ru/blog/vidy-rezervuarov-dlya-khraneniya-nefti> (10.03.2024)
5. UWT level Control [Online] <https://uwtlevel.ru/document/kak-pravilno-vybrat-urovner-dlya-rezervuara-s-zhidkostyu-ili-sypuchim-materialom#:~:text=Уровнемер%20для%20резервуаров%20-%20это%20специальный,состояния%20разных%20веществ%20на%20производстве> (10.03.2024)
6. Производство, проектирование и строительство резервуарных парков «под ключ» [Online] [https://sarrz.ru/produkcija/rezervuarное\\_oborudovanie/](https://sarrz.ru/produkcija/rezervuarное_oborudovanie/) (10.03.2024)
7. «Теплобаза» продажа и монтаж инженерных сетей [Online] <https://teplobaza72.ru/services/manometry/> (10.03.2024)
8. «ВЗРК» проектирование, производство и монтаж металлоконструкций [Online] <https://vzrk.ru/montag-rezervuarov-i-obvyazok#point0> (10.03.2024)
9. Березовский завод емкостей, коррозия резервуаров для нефтепродуктов [Online] <https://bze66.ru/articles/korrozija-rezervuarov-dlja-nefteproduktov-vidi-korrozii-i-ih-vlijanie> (10.03.2024)
10. «АО ПКФ СПЕКТР» производство промышленных лакокрасочных материалов [Online] <https://spektrlkm.ru/news/563/> (10.03.2024)
11. OILj\_PETR\_T\_15\_Инструкция\_по\_эксплуатации\_азотной\_системы\_v1. Часть 3.
12. Наземные резервуары [Online] <https://www.flamax.ru/pressroom/articles/kakoy-variant-obvyazki-rvs-truboprovodami-luchshe-vsego-podkhodit-dlya-kholodnykh-regionov/> (10.03.2024)

13. Устройство газопровода низкого и среднего давления [Online] <https://fas.su/справочник-суг/глава-5-устройство-газопроводов-низкого-и-среднего-давления> (11.03.2024)
14. А. Ф. Шевелев Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. 1984
15. Министерство образования и науки Российской Федерации «Расчет абсорбционных установок» [Online] [https://sli.komi.com/files/tig/ucheb\\_posob\\_kaf\\_tig\\_2010.pdf](https://sli.komi.com/files/tig/ucheb_posob_kaf_tig_2010.pdf) (11.03.2024)
16. Пропускная способность трубопровода [Online] <https://e-metall.ru/blog/propusknaya-sposobnost-truby/#method> (11.03.2024)
17. СпецСтройМашина. Каталог воздуходувок [Online] <https://воздуходувки.рф/vozduhoduivki/16.html> (11.03.2024)
18. Методы определения пропускной способности трубопровода [Online] <https://tk-flex.ru/articles/propusknaya-sposobnost-truboprovoda> (11.03.2024)