



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Virumaa kolledž

Ammooniumsalpeetri lahustamise seadme projekt

Project of the unit for dissolving ammonium nitrate

KEEMIASTEKNOLOOGIA ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Margarita Ermolaeva

Üliõpilaskood: 178676EDKR

Juhendaja: Antonina Zguro, lektor

Kohtla-Järve, 2021

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.

“03” juuni 2021

Autor: Margarita Ermolaeva

/ allkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle esitatud nõuetele

“04” juuni 2021

Juhendaja: Antonina Zguro

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud “04” juuni 2021

Kaitsmiskomisjoni esimees: Antonina Zguro

/ nimi ja allkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS

Mina Margarita Ermolaeva (sünnikuupäev:07.07.1987)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Ammooniumsalpeetri lahustamise seadme projekt, 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: Margarita Ermolaeva, 178676EDKR

Õppekava, peeriala: EDKR 16/17, Keemiatehnoloogia

Juhendaja(d): lektor, Antonina Zguro, antonina.zguro@taltech.ee

Konsultant: -

Lõputöö teema:

Ammooniumsalpeetri lahustamise seadme projekt.

(inglise keeles) Project of the unit for dissolving ammonium nitrate.

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Välja töötada ammooniumsalpeetri lahustamise tehnoloogiline protsess lõhkainete tootmises.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Ammooniumnitraadi ja lõhkeainete selle baasil füüsikalis-keemilised ja lõhke omadused	14.03.2021
2.	Ammooniumnitraati lahustamise tehnoloogilise protsessi kirjeldus	31.03.2021
3.	Tehnoloogilised arvutused	21.04.2021
4.	Tööinstruktsiooni aparaaditöölisele väljatöötamine	30.04.2021

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg:

"25" mai 2021.a

Üliõpilane: Margarita Ermolaeva
/allkiri/

"20" veebruar 2021.a

Juhendaja: Antonina Zguro
/allkiri/

"22" veebruar 2021.a

Programmijuht: Antonina Zguro
/allkiri/

"22" veebruar 2021.a

SISUKORD

EESSÕNA	4
SISSEJUHATUS	5
1. LÕHKEAINED AMMOONIUMNITRAADI BAASIL	7
1.1. Ajaloost	7
1.2. Ammooniumnitraat ja selle plahvatusohtlikud omadused	8
1.3. Ammooniumnitraadil põhinevad lõhkesegud ja nende koostisosad	13
1.4. Eestis kasutatavad lõhkeained	17
1.5. Ammooniumnitraadil põhinevate segude omadused	20
1.6. Ammooniumnitraatlõhkeainete liigid	22
2. AMMOONIUMNITRAADIL PÕHINEVATE LÕHKEAINETE MAAILMATURU ÜLEVAADE TOOTMISE JA TARBIMISE VALDKONNAS	25
2.1. Tööstuslike lõhkeainete tootmine.....	25
2.2. Tööstuslike lõhkeainete kasutamine.....	26
2.3. Poorse ammooniumnitraadi tootmine ja tarbimine	27
3. TEHNOLOOGILINE OSA	30
3.1. Ammooniumnitraadi lahustamise protsessi kirjeldus	30
3.2. Põhiaparaat	32
4. ARVUTUSLIK OSA	35
4.1. Ammooniumnitraadi lahustamise protsessi materiaalne bilanss.....	35
4.2. Ammooniumnitraadi lahustamise protsessi soojusbilanss	35
4.3. Seguri arvutus.....	38
5. TÖÖDOKUMENTATSIOON APARAADITÖÖLISTE JAOKS.....	45
5.1. Aparaditöölise tööjuhend	45
5.2. Aparaditöölise tööohutusjuhend.....	47
5.3. Tooraine ohutu käitlemine	50
5.4. Töökoha riskianalüüs	52
5.4.1. Ohutegurite iseloomustus.....	52
5.4.2. Aparaditöölise töökoha riskianalüüs	53
5.4.3. Aparaditöölisele soovitatavad isikukaitsevahendid.....	56
KOKKUVÕTE	57
SUMMARY.....	58
KASUTATUD KIRJANDUS	60
Lisa 1 Arvutustabel komponentide laadimiseks ammooniumnitraadi lahuse valmistamiseks	64
Lisa 2 Elliptiliste põhja ja kattega reaktorite- katelde põhilised tehnilised andmed ..	65
Lisa 3 Mõne tüüpi segamiseadmete põhiomadused ja töötingimused	66
Lisa 4 Ajami väljundvõlli nimivõimsus ja pöörlemiskiirus segajatega seadmete jaoks kiirusevahemikus 80-1500 min ⁻¹	67

EESSÕNA

Käesolev lõputöö on kirjutatud lõhkeainete tootmisega tegeleva ettevõtte jaoks. Teema valiti aparaaditöölise jaoks granuleeritud ammooniumnitraadi lahustamise tehnoloogilises protsessis vajaliku töödokumentatsiooni puudumise tõttu ettevõttes. Töö on seotud ammooniumnitraadipõhiste lõhkeainete saamise teoreetiliste aluste ja tehnoloogilise protsessi tundmaõppimisega ning selle arvutustega, aga ka aparaaditöölise töödokumentatsiooni ja töökoha riskianalüüsi koostamisega.

Töös kasutatud tehniline dokumentatsioon on saadud ettevõttelt. Ettevõtte poolt on lõputöö valmimisele kaasa aidanud meistrid, operaatorid ja aparaaditöölised.

Võtmesõnad: lõhkeained ammooniumnitraadi baasil, ammooniumnitraadi lahustamise protsess, diplomitöö.

SISSEJUHATUS

Käesoleval ajal eelistatakse paljudes riikides tööstuslikel eesmärkidel lõhketööde teostamisel tööstuslikke lõhkeaineid, mille põhikomponendiks on ammooniumnitraat kas tahkes või vedelas olekus.

Ammooniumnitraadi selline laialdane kasutamine on tingitud selle headest oksüdeerivatest omadustest, mis mängib tööstuslike lõhkeainete tootmisel olulist rolli. Arvestades, et ammooniumnitraat on ka väetiseks, võib kindlalt öelda, et antud tööstuslike lõhkeainete kasutamine põhjustab traditsiooniliste lõhkeainetega (dünaamiit, trotüül jt.) võrreldes keskkonnale minimaalset kahju.

Ammooniumnitraati lõhkeainete toorainena kasutavad tööstusharud on põllumajanduse järel teise suurima ammooniumnitraadi tarbimisega majandussegmendiks.

Tänapäeval kaevandatakse Eestis ammooniumnitraadil põhinevaid lõhkeaineid kasutades selliseid maavarasid nagu põlevkivi (kukersiit) ja lubjakivi. Teostatakse pealmaakaevandamist (karjäärid) ja allmaakaevandamist. Eestis on olemas oma lõhkeainetehas, mis katab peaaegu täielikult kohaliku mäetööstuse lõhkeainevajaduse. Ammooniumnitraatlõhkeainete tootmiseks kasutatakse peamiselt ammooniumnitraadi sulatist. Ammooniumnitraadi sulatist tarnitakse ettevõttesse spetsiaalsetes isothermilistes tsisternides (25-tonnise mahutavusega), mis on varustatud temperatuuri (125-140°C) hoidmise süsteemidega ja lahuse soojendamise võimalusega kristalliseerumise vältimiseks. Eestis vajaliku kontsentratsiooniga ammooniumnitraadi sulatist ei toodeta, lähimad tehased asuvad Leedus, Soomes ja Venemaal. Ammooniumnitraadi kohaletoimetamise maksumus on küllaltki kõrge.

Samal ajal on võimalik granuleeritud ammooniumnitraadi tarnimine pehmetes konteinerites (big-bag). Tarnimist võib teostada nii autotranspordi, kui ka raudtee- või meretranspordiga. See muudab kohaletoimetamise hinna märgatavalt odavamaks. Lisaks sellele võib tahket ammooniumnitraati suurtes kogustes pikka aega säilitada. Ammooniumnitraadi sulatise säilitamine aga nõuab hoiumahutites 125°C temperatuuri alalhoidmiseks vajalikke energiakulusid.

Seoses sellega on aktuaalne ammooniumnitraadi sulatise valmistamine granuleeritud tootest kohapeal.

Lõputöö eesmärgiks on lõhkeainete tootmiseks kasutatava ammooniumnitraadi sulatise saamise tehnoloogilise protsessi väljatöötamine.

Sellest lähtuvalt pannakse paika rida ülesandeid:

- õppida tundma ammooniumnitraadi ja sellel põhinevate lõhkeainete omadusi;
- töötada välja ammooniumnitraadi lahustamise tehnoloogiline protsess;
- teha vajalikud tehnoloogilised arvutused;
- aparaaditöölise tööjuhendi väljatöötamine;
- riskide analüüs ja ohutusnõuete väljatöötamine.

Struktuuriliselt koosneb lõputöö sissejuhatuses, teoreetilisest osast, ammooniumnitraadil põhinevate lõhkeainete maailmaturu ülevaatest tootmise ja tarbimise valdkonnas, tehnoloogilisest osast, arvutuslikust osast, aparaaditöölise jaoks väljatöötatud töödokumentatsioonist ja kokkuvõttest.

Esimeses peatükis vaadeldakse ammooniumnitraadi peamisi füüsikalisi-keemilisi ja lõhkeomadusi, ammooniumnitraadil põhinevate segude erinevaid liike ja lühiiseloostust ning peamisi Eestis kasutatavaid lõhkeaineid. Teises peatükis antakse ammooniumnitraadil põhinevate lõhkeainete maailmaturu ülevaade tootmise ja tarbimise valdkonnas. Kolmandas peatükis kirjeldatakse ammooniumnitraadi sulatise valmistamise tehnoloogilist protsessi ja põhiaparaadi konstruktsiooni. Edasi teostatakse ammooniumnitraadi lahustamise protsessi materjali- ja soojusbilansi arvutused ning turbiinseguri arvutus. Lõputöö tähtsaks osaks on töödokumentatsiooni, mis hõlmab aparaaditöölise tööjuhendit, tööohutusjuhendit, toorme ohutut käitlemist ning töökoha võimalike riskide analüüsi ja soovitatavaid isikukaitsevahendeid väljatöötamine.

Käesolev lõputöö omab suurt praktilist tähtsust, kuna selle teema on välja pakutud tegutseva ettevõtte poolt. Väljatöötatud töödokumentatsiooni hakatakse kasutama ammooniumnitraadi sulatise valmistamise protsessi teenindavate aparaaditöölise igapäevatoos. See võimaldab parandada tööprotsessi teenindamise kvaliteeti ja suurendada töö ohutust. Esitatud tööprotsessi riskianalüüs suurendab aparaaditöölise ohutust töökohal.

1. LÕHKEAINED AMMOONIUMNITRAADI BAASIL

1.1. Ajaloost

Ajaloost on teada, et muistsed aasialased tegelesid iidsetel aegadel alkeemia tõdede katsetamisega. Nad segasid kokku erinevaid aineid, mis tulel kuumutades plahvatasid ning sellega kaasnes nende uskumus igavesele elule, kuid nad ei teadnud, et on esimesed lõhkeaine valmistajad. Aegade jooksul saadi aru, et segades omavahel soola ja väävlit on võimalik esile kutsuda plahvatust. Algselt kasutasid nad leiutist signaalrakettides, kuid peagi mõistsid selle tegelikku sõjatarbelist olemust, katsetades seda vibunoolte otstes.

Aasialaste teadmised võtsid kiirelt üle araablased ning sellest ajast loetakse lõhkeaineajaloo algust. 1242. aastal oli lõhkeainetest huvitatud inglane Roger Bacon, kes arendas aasialaste teadmisi. Ta oli ka esimene teadaolev teadlane, kes oma katsetused kirjalikult üles märkis ning seega peetakse teda esimeseks püssirohu leiutajaks, kuigi ta "rohtu" reaalselt käivitama ehk tööle ei saanud. Sada aastat hiljem uuris tema kirjutisi saksa munk Berthold Shwartz, kes proovis 1380. sama segu, toppides segu metallist torusse, mille tulemina valmisid esimesed püssirohuga täidetud püssid.

Viissada aastat hiljem tuli itaallane Ascan(i)o Sobrero mõttele segada omavahel lämmastikhapet ja glütseriini. 1846. aasta segu osutus äärmiselt võimsaks, kuid tegemist oli väga ebastabiilse vedela lõhkeainega, mida ta nimetas nitroglütseriiniks, kuid mida ei võetud kasutusele lõhkeainena.

Itaallane pidas nitroglütseriini sõjanduses massiliseks kasutamiseks liialt ohtlikuks, kuid sellest hoolimata hakati nitroglütseriini mäenduses laialdaselt kasutama, peamiselt tunnelite, kanalite ja teede ehitamisel. Kuna nii mitmedki lõhkajad ei teadnud nende poolt kasutatava aine ohtlikust, tuli ette juhtumeid, kus nitroglütseriini kasutati lambiõlina või määrili vagunitelgi. Nagu arvata võib, jäi vähemasti samale tegijale esimene taoline eksitus ka viimaseks. Nitroglütseriin oli oma suure tundlikkuse tõttu äärmiselt ohtlik ning 1860 – 1870. aastatel keelati aine igasugune kasutamine. [45]

1867 aastal proovis sama segu valmistada rootsi teadlane Alfred Nobel, kuid teades selle ohtlikust, lisas segule erinevaid kuivaineid, sealhulgas želatiini. Segu õnnestus, kuid ei põlenud soovitud. Ta proovis ka lisada sütt ja puujahu, kuid segu muutus taas äärmiselt ohtlikuks. Peagi tuli ta mõttele lisada silikalgeeli, mis oli ka läbimurre teaduses. Alfred Nobel nimetas segu dünamiidiks. Nobel patenteeris 1863. aastal kapseldetonaatori ning hiljem toimiva nitroglütseriini ning dünamiidi. 1865. aastal

ehitas Alfred Nobel esimese lõhkeaine tehase, mis hakkas tootma nitroglütseriini ja hiljem dünamiiti.

1863. a. valmistas Saksa keemik Josep Wilbrand esimesena trotüüli, mida hakati sõjanduses kasutama kümnekonna aasta pärast, mäetööstuses aga veelgi hiljem. [1, lk.7]

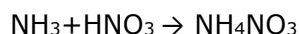
Ammooniumsalpeetriliste lõhkeainete ajalugu algas 1867. a, mil kaks Rootsi keemikut C. Ohlsson ja J. Norrbin leiutasid ja patenteerisid ammoniakpüsirohu, mis sisaldas peale ammooniumnitraadi veel saepuru, pikriinhapet, sütt ja nitrobenseeni. Varem oli ammooniumnitraati mõningal määral kasutatud kaaliumsalpeetri asendajana (hapnikuasendajana) püsirohtudes. Mõned aastad hiljem omandas Nobel ammoniakpüsirohu patendi ning muutis selle segu nitroglütseriini lisamisega tundlikumaks. Üldiselt aga hakati ammooniumsalpeetrilisi lõhkeaineid mäetööstuses laialdaselt kasutama alles XX sajandi alguses, peamiselt kahe maailmasõja vahelisel ajal. [17, lk.203]

1954. a leiutati USA-s ammooniumnitraadist ja kütteõlist koosnev uus, ohutu ja kergesti käsitsetav lõhkeaine ANFO, mida hakati pea kogu maailma mäetööstuses laialdaselt kasutama, kuna seda lõhkeainet sai väikeste kulutustega ohutest komponentidest kohapeal kokku segada. Nõukogude Liidus (ka Nõukogude Eestis) tunti seda lõhkeainet igdaniidina (venekeelne lühend sõnadest Institut Gornogo Dela Akademii Nauk SSSR). Algul kasutati ANFO-t peamiselt USA-s ja Kanada suurtes karjäärides kohapeal kokkusegatava lõhkeainena suurlaengute lõhkamiseks, hiljem hakati ANFO-t kasutama ka muudel lõhketöödel. [17, lk.203]

1959. a. leiutati Kanadas pulplõhkeained, mille põhikomponentideks on trotüül, püroksüliin, alumiiniumipulber, mitmesugused õlid ja (õli- või vesilahuses) ammooniumsalpeeter. Nende lõhkeainete peamiseks vooruseks on nende ülisuur veekindlus (vees praktiliselt lahustamatud) ning käsitlemisohutus, ka on nende lõhkeainete plahvatusgaasid tunduvalt vähem mürgised. Vesiemulsioonlõhkeainete võidukäik sai alguse peamiselt 80. aastatel, millega oluliselt täiustati nende lõhkeainete valmistamise tehnoloogiat. [1, lk.8]

1.2. Ammooniumnitraat ja selle plahvatusohtlikud omadused

Ammooniumnitraat on anorgaaniline tööstusliku sünteesi saadus. Seda saadakse gaasilise ammoniaagi reaktsioonil:



Ammooniumnitraat NH_4NO_3 on valge kristalne pulber. Puhtal kujul sisaldab see 35% lämmastikku, 5% vesinikku ja 60% hapnikku, 20% millest eraldub vabas olekus aine täielikul lagunemisel.

Ammooniumnitraadi füüsikalised-keemilised omadused:

Molekulmass.....	80,04
Tekkesoojus, kJ/mol.....	354,5
Lahustumissoojus, kJ/mol	26,37
Sulamissoojus, kJ/kg.....	67813
Sulamistemperatuur, °C.....	169,6
Lagunemistemperatuur, °C.....	200–260
Hapnikubilanss, %.....	+20 [3, lk.14]

Tahke ammooniumnitraadi iseloomulikuks spetsiifiliseks näitajaks on selle omaduste polümorfism. Selle all mõistetakse ammooniumnitraadi võimet muuta oma kristallstruktuuri ja kristallvõre ruumala sõltuvalt keskkonna temperatuurist.

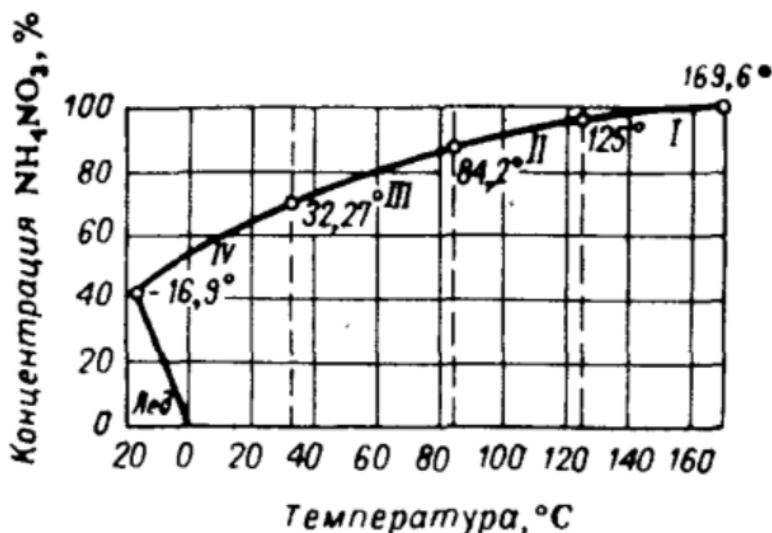
Temperatuurivahemikus -18°C kuni $169,9^\circ\text{C}$ võib ammooniumnitraat eksisteerida viies kristallmodifikatsioonis [Tabel 1.1.]. Soojendamisel või jahutamisel, temperatuuridel -18°C ; $+32^\circ\text{C}$; $+85^\circ\text{C}$; $+125^\circ\text{C}$ läheb see üle ühest modifikatsioonist teise. Selliste üleminekute juures suureneb ammooniumnitraadi paakuvus järsult. Seoses sellega pakendatakse ammooniumnitraati tehastes temperatuuril mitte üle 30°C . [4, lk. 101-103]

Ühest modifikatsioonist teise ülemineku protsessid on pöörduvad. Nendega kaasneb soojuse eraldumine või neeldumine ning eriruumala, soojusmahtuvuse ja entroopia hüppeline muutumine.

Tabel 1.1. NH_4NO_3 kristallmodifikatsioonide iseloomustus [4]

Modifikatsioon	Kristallide struktuur	Temperatuuri-piirid, °C	Ülemineku-soojus, kJ/kg	Ruumala muutus, %	Tihedus, g/cm ³
I	Kuubiline	169,6 - 125,8	70,13	-2,13	1,55
II	Tetragonaalne	125,8 - 84,2	51,25	-1,33	1,6
III	Rombiline	84,2 - 32,3	70,13	-2,13	1,55
IV	Rombiline-bipüramidaalne	32,3 - (-18)	20,89	-3,3	1,7
V	Heksagonaalne	vähem -18	6,7	+1,65	1,72

Ammooniumnitraat lahustub hästi vees, temperatuuri tõusul ammooniumnitraadi lahustuvus oluliselt suureneb. Vees lahustumisel neelab ammooniumnitraat soojust, mistõttu vee temperatuur selle lahustumise hetkel alaneb.



Joonis 1.1. Ammooniumnitraadi lahustuvus vees [5, lk. 1179]

Ammooniumnitraat võib plahvatada, kui sellesse satub orgaanilisi aineid või pulbrilisi metalle, aga ka pikaajalisel kuumutamisel üle 110°C ning piisava võimsusega detonaatorite (sütikute) toimel.

Tuleb märkida, et ammooniumnitraati saab kasutada iseseisva tööstusliku lõhkeainena, kuid väga piiratult, kuna selle detonatsioonivõime, tundlikus lähteimpulsi suhtes ja plahvatuse eriennergia on väikesed, kahjulike gaaside (lämmastiku oksiidide) sisaldus plahvatussaadustes aga suur. Vahel kasutatakse seda lõhkamiseks suure läbimõõduga kombineeritud laengutes maapealsel kaevandamisel. [6]

Ammooniumnitraadil on kaks küllaltki negatiivset omadust – paakuvus ja hügroskoopsus. Paakuvuseks nimetatakse kristallide võimet kaotada teatud tingimustes oma puistuvus ja muutuda tahkeks massiks. Ammooniumnitraadi paakuvust seletatakse sellega, et rea põhjuste (näiteks temperatuuri- ja rõhumuutuste, õhuniiskuse neeldumise) tõttu muutuvad kristallide kuju, ruumala ja vastastikune paiknemine, mistõttu need haakuvad omavahel. Sageli paakub ammooniumnitraat ladudes virnastatavates (üksteise peale paigutatavates) kottides. Erilise monoliitsusega paistavad silma kottide alumised read, millele mõjub ülemiste ridade raskus.

Ammooniumnitraadi teiseks negatiivseks omaduseks on hügroskoopsus, mis tähendab võime imada õhuniiskust. Mida kõrgem on ammooniumnitraadi säilitustemperatuur,

seda rohkem imab see niiskust ja hakkab seejuures laiali valguma. Temperatuuridel alla 0°C ei paaku ammooniumnitraat üldse; soola minimaalse niiskusesisalduse korral ja kui see väljastatakse tootmisest temperatuuriga, mis ei ületa 32°C, paakub ammooniumnitraat tühisel määral, kui hoida seda kuivades ladudes ja tihedas taaras. Ammooniumnitraadi paakumise ärahoidmiseks lisatakse sellele mineraalaineid (fosforiite, apatiiti, dolomiiti), mis eelnevalt lahustatakse lämmastikhappes. Need ained lisatakse mitte valmisprodukti, vaid kuivaks soolaks ümbertöödeldavasse ammooniumnitraadi lahusesse. Mineraalsete lisandite sisaldus valmissoolas ei ületa ühte protsenti. Tänu lisanditele saadakse puisteaine kujul säiliv ammooniumnitraat. [7, lk.134-135]

Üheks ammooniumnitraadi olulistest iseärasustest on selle tugev oksüdeerimisvõime paljude orgaaniliste ja anorgaaniliste ainete suhtes.

Selleks, et plahvatus toimuks maksimaalse võimsusega, peavad kõik lõhkeaine koosseisu kuuluvad põlevelendid plahvatusreaktsioonide käigus ühinema kogu lõhkeaines oleva hapnikuga. Juhul kui lõhkeaine koostises on just nii palju hapnikku, kui palju on tarvis kõigi lõhkeaine koosseisu kuuluvate põlevellementide täielikuks oksüdeerimiseks, on ka plahvatuse võimsus maksimaalne.

Lõhkeaine hapnikubilanss näitabki, kas lõhkeaines on hapnikku piisavalt tema koosseisu kuuluvate põlevellementide oksüdeerimiseks. Tehnilises mõttes korrektselt nimetatakse hapnikubilansiks lõhkeaines leiduva hapnikuhulga ning lõhkeaines olevate põlevellementide täielikuks oksüdeerimiseks vajaliku hapnikuhulga vahe suhet lõhkeaine molekulmassi. Arvuliselt väljendatakse hapnikubilanssi protsentides. [2, lk. 15]

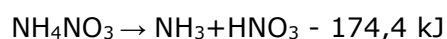
Sõltuvalt lõhkeaines tegelikult sisalduva hapniku liiast või vaegusest eristatakse null-, positiivset ja negatiivset hapnikubilanssi. Ammooniumnitraadi hapnikubilanss on positiivne. Seda ammooniumnitraadi omadust rakendataksegi selle lõhkesegude komponendina kasutamisel. Teistest oksüdeerijatest (kaalium- või naatriumnitraadist jms.) erineb ammooniumnitraat selle poolest, et selle laguproduktides ei sisaldu tahkeid aineid, mistõttu on ammooniumnitraadil põhinevad lõhkeained suurema töövõimega. Orgaaniliste ainete lisandid suurendavad isegi väikestes kogustes oluliselt ammooniumnitraadi plahvatusenergiat. Parafiin ja sellele sarnased ained, mis on lõhkeainete jaoks flegmatisaatoriteks, omades tavaliselt negatiivset või nullhapnikubilanssi, mängivad ammooniumnitraadi jaoks väikestes kogustes (kuni 5%) sensibilisaatorite rolli, kuna reaktsioonis osaledes ja plahvatusenergiat suurendades suurendavad need ka ammooniumnitraadi vastuvõtlikkust detonatsioonile segu positiivse ja nullhapnikubilanssi korral. Kui segu hapnikubilanss

muutub negatiivseks, flegmatiseerivad lisandid segu ja see kaotab detonatsioonivõime.

Ammooniumnitraat astub aktiivselt reaktsiooni väävli, sulfiidide, lämmastik-, väävel- ja fosforhappega ning metallidega (tsink, vask, nikkel, magneesium). Eriti ohtlikud on lämmastikhappe lisandid, kuna need võivad põhjustada ammooniumnitraadi isesüttimise. Alumiinium ja raud ammooniumnitraadiga ei reageeri. Lämmastikhappe neutraliseerumist soodustavad lisandid (uurea, difenüülamiin) vähendavad ammooniumnitraadi ja põlevainete (puupuru, tärklis, paber jt.) segude keemilist püsivust suurendades selliste segude isesüttimise tõenäosust. [3, lk. 101–103]

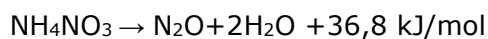
NH₄NO₃ termiline lagunemine

Kuumutamise algjärgus toimub 110°C juures järk-järgult ammooniumnitraadi endotermiline dissotsieerumine ammoniaagiks ja lämmastikhappeks vastavalt valemile:



165°C juures ei ületa ammooniumnitraadi massikadu 6% ööpäevas. Dissotsiatsiooni kiirus sõltub mitte üksnes temperatuurist, vaid ka teistest teguritest: ammooniumnitraadi pindala ja ruumala vahekorra, lisandite sisaldusest jms.

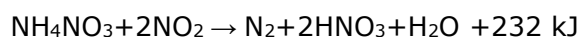
Temperatuurivahemikus 200–270°C kulgeb peamiselt nõrgalt eksotermiline ammooniumnitraadi dilämmastikoksiidiks ja veeks lagunemise reaktsioon:



Lisaks hapniku, lämmastikoksiidi ja -dioksiidi jälgedele sisaldavad laguproduktid umbes 2% lämmastikku (ümberarvutatult kuivale gaasile).

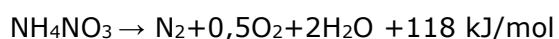
Märgatavat mõju ammooniumnitraadi termilise lagunemise kiirusele avaldab lämmastikdioksiid, mis moodustub ammooniumnitraadi dissotsieerumise produktiks oleva lämmastikhappe termilisel lagunemisel.

Lämmastikdioksiidi vastastiktoimel ammooniumnitraadiga moodustuvad lämmastikhape, vesi ja lämmastik:



Seega võib eeldada, et happeliseks muutunud ammooniumnitraadis toimub isegi tavatemperatuuridel olulisel määral eksotermilise reaktsiooni lämmastikdioksiidiga tõttu iseeneslik termiline lagunemine, mis ammooniumnitraadi suure massi korral võib viia selle termilise lagunemiseni.

Ammooniumnitraadi plahvatuslik lagunemine kulgeb vastavalt võrrandile:



Temperatuuri alanemine suurendab erinevate produktide lahustuvust vedelas ammooniumnitraadis, st muudab termilise lagunemise protsessi intensiivsemaks. [8, lk. 155]

1.3. Ammooniumnitraadil põhinevad lõhkesegud ja nende koostisosad

Ammooniumnitraatlõhkeained on ammooniumnitraadi ja teiste lõhkeainete ning mitmesuguste mitteplahvatavate ainete mehhaanilised segud, mille peamiseks komponendiks ja hapnikukandjaks on ammooniumnitraat. Teiste lõhkeainetena kasutatakse peamiselt aromaatses rea nitroderivaate (trotüül, ksülüül, dinitronaftaliin). Mitteplahvatavatest ainetest aga kasutatakse peamiselt põlevaid aineid nagu puidujahu või diiselkütus. [2, lk. 43]

Ammooniumnitraadi sisaldus mõnedes segudes ulatub 94-95%, keskmiselt aga moodustab 80-90% lõhkeainete massist. Selle tagajärjeks on, et lõhkeaine omadused on esmajärjekorras määratud nii ammooniumnitraadi kui keemilise aine omadustega, kui ka selle aine füüsilise vormiga konkreetses lõhkeaine tüübis (liigis). [9]

Ammooniumnitraatlõhkeainete peamisteks positiivseteks omadusteks on nende suhteline odavus ja käsitlemisohutus. Nad on vähetundlikud leegi, hõõrdumise ja löögi mõju suhtes.

Ammooniumnitraatlõhkeainete peamisteks puudusteks on nende vähene veekindlus (ammooniumnitraat lahustub hästi vees) ning nende kalduvus pikaajalisel hoidmisel paakuda. Ka on ammooniumnitraat lõhkeained tunduvalt väiksema töövõime ja brisantsusega kui dünamiidid. [2, lk.43]

Tabel 1.2. Ammooniumnitraadi kasutamine erinevate lõhkeainetüüpide tootmisel [10]

Peamine oksüdeeriv sool	Komponent		Lõhkeaine
Ammooniumnitraat	+	Trotüül	= Ammooniumnitraadi pulbrilised lõhkeained
	+	Nitroglütseriin	= Dünamiit
	+	Kütteõli	= ANFO
	+	Vesi, kütteõli, paksendaja	= Vesigeeli lõhkeaine (läga)
	+	Vesi, Kütteõli, emulgaator	= Emulsioon lõhkeained
	+	Emulsioonimaatriks	= Raske ANFO

Allpool vaadeldakse enimkasutatavaid ammooniumnitraadil põhinevaid lõhkeaineid.

Ammoniidid – kõige levinumad ammooniumnitraadi põhised lõhkeained, mis kujutavad endast ammooniumnitraadi pulbrilisi segusid trotüüli (harvem heksogeeni, dinitronaftaleeni) ja mitteplahvatavate põlevkomponentidega. Lõhkesegu komponentide vahekord arvutatakse selliselt, et ammoniitide hapnikubilanss oleks nullilähedane, ning seetõttu kasutatakse ammoniite nii maapealsetel, kui maa-alustel mäetöödel.

Kõige levinum ammoniit on ammoniit 6 ŽV.

Tabel 1.3. Ammoniit 6 ŽV koostis [11]

Komponent	Sisaldus, %
Ammooniumnitraat	79±1.5
Trotüül	21±1.5
Omadus	Väärtus
Plahvatussoojus, kJ/kg	4312
Gaaside ruumala, l/kg	895
Brisantsus	14
Töövõime, cm ³	365
Hapnikubilanss, %	-0,53

Grammoniidid – granuleeritud ammooniumnitraadi ja trotüüli segud. Kõige laialdasemat kasutamist on leidnud grammoniidid, mis kujutavad endast sulatrotüüli või trotüülhelvestega kaetud ammooniumnitraati graanuleid, ning veekindlad grammoniidid, mis kujutavad endast trotüülkesta kapseldatud ammooniumnitraadi graanuleid.

Teatud liiki grammoniite võib kasutada allmaatöödel kaevandustes, kus puudub gaasi- ja tolmuoht, käsitsi- või mehhaniseeritud laadimisega. Veekindlaid grammoniite kasutatakse maapealsetel mäetöödel voolava või seisva veega märgades lõhkeaukudes ja teatud määral võivad need asendada kallihinnalist granulotooli. [12, lk. 82]

Toodetakse järgmist marki grammoniite:

79/21-II klass

50/50-B, 30/70-B- veekindlad 1. klass

50/50, 30/70- 1. klass

Tabel 1.4. Grammoniidi koostis ja omadused [13]

Komponent	Norm, %, vastavat marki grammoniidi jaoks		
	79/21	30/70	50/50-B
Ammooniumnitraat	79,0±1,5	30±5	50±3
Trotüül	21,0±1,5	-	50±3
Granulotool	-	70±5	-
Omadus	Väärtus		
Plahvatussoojus, kJ/kg	4291	3977	3684
Gaaside ruumala, l/kg	895	800	810
Töövõime, cm ³	360-370	330-340	340-350
Hapnikubilanss, %	+0,02	-45,9	0,9

Ammonaalid – pulbrilise ammooniumnitraadi ja trotüüli segud põleva metallilise lisandiga – alumiiniumpuudriga. Granuleeritud olekus ammonaale nimetatakse grammonaalideks. [12]

Tabel 1.5. Kaljuammonaali №1 koostis ja omadused [14]

Komponent	Norm, %, kaljuammonaali №1 jaoks
Ammooniumnitraat	66,0±1,5
Trotüül	5,0±0,7
Heksogeen	24,0±1,5
Alumiiniumpuuder	5,0±1,0
Omadus	Väärtus
Plahvatussoojus, kJ/kg	5409
Gaaside ruumala, l/kg	830
Hapnikubilanss, %	-0,79
Detonatsioonikiirus, km/s	4,8-5,3
Töövõime, cm ³	Vähemalt 460
Brisantsus	Vähemalt 18

Dünamoovid – ammooniumnitraadi segud mitteplahvatavate vedelate või tahkete põlevlisanditega (solaarõli, puupuru, tahm, alumiiniumpuuder jne.). Granuleeritud olekus dünamoone nimetatakse **granuliitideks**. Dünamoovide hulka arvatakse igdaniidid – lihtlõhkeained, mida valmistatakse otse töökohal. Need koosnevad granuleeritud (või helbelisest) ammooniumnitraadist, mis on läbi immutatud väikese koguse vedelikütusega (solaarõli või diislikütusega). See katab ammooniumnitraadi

graanulid õhukese kilega, suurendades lõhkeaine tundlikkust ja võimsust. Igdaniidid on mäetööstuses kasutatavatest lõhkeainetest kõige odavamad ja sobivad mehhaniseeritud laadimiseks. [12]

Tabel 1.6. Granuliitide koostis ja omadused [15]

Komponent	Norm, %, vastavat marki granuliidi jaoks	
	AC-8	AC-4
Ammooniumnitraat	89,0±1,5	91,8±1,5
Alumiiniumpuuder	8,0±0,8	4,0
Tööstusõli	3,0±0,5	4,2±0,5
Omadus	Väärtus	
Plahvatussoojus, kJ/kg	5225	4522
Gaaside ruumala, l/kg	847	907
Trotüüliekvivalent	1,25	1,08
Töövõime, cm ³	410-430	390-410
Hapnikubilanss, %	+0,34	+0,41

Erilise rühma moodustavad pulplõhkeained. Selliste lõhkeainete koostisse kuulub vesi. **Akvatoolid** – plastilise konsistentsiga suspensioon-pulplõhkeained, mille tahkeks faasiks on grammoniit või grammonaal, vedelaks aga küllastunud paksendatud ammooniumnitraadi lahus. Akvatoolid on ette nähtud kasutamiseks maapealsetel mäetöödel ja neid ei või kasutada maa-alustes tingimustes, kuna negatiivse hapnikubilansi tõttu eraldavad nad plahvatusel palju mürgiseid gaase. Kõige tuntum akvatool on akvatool T-20.

Tabel 1.7. Akvatool T-20 koostis [16]

Komponent	Sisaldus, %
Ammooniumnitraat	70
Trotüül	20
Vesi	8
Omadus	Väärtus
Plahvatussoojus, kJ/kg	3750
Gaaside ruumala, l/kg	895
Hapnikubilanss, %	-0,80

Akvaniidid ja akvanaalid – plastilise konsistentsiga suspensioon-pulplõhkeained, mille aluseks on ammoniit- ja ammonaalsegud, milles sisalduvad kaltsium- või

naatriumnitraat ja plastifitseerivad lisandid. Need lõhkeained omavad nullilähedast hapnikubilanssi ja neid võib kasutada maa-alustel mäetöödel.

Viimastel aastatel on laialdast kasutamist leidnud niinimetatud kuumvoolavad pulplõhkeained. Nende lõhkeainete valmistamisel viiakse kogu nende koostisse kuuluv ammooniumnitraat eelnevalt üle kõrge kontsentratsiooniga lahuseks, mis lihtsustab laadimisprotsessi, mida teostatakse isothermilise lahusemahuti ja granulotooli punkriga varustatud spetsiaalsete transpordi-laadimismasinade abil. [12]

Tabel 1.8. Akvaniit 3L ja Akvanaal №1 omadused

Omadus	Akvaniit 3L	Akvanaal №1
Plahvatussoojus, kJ/kg	3915	-
Gaaside ruumala, l/kg	680	-
Töövõime, cm ³	335-385	400-410
Brisantsus	18-20	15-19

1.4. Eestis kasutatavad lõhkeained

1) Ammoniit 6 ŽV

Lõhkeaine lühiiseloostus ja omadused on toodud jaos 1.3, tabel 1.3.

2) Trinitrotolueen (Trinitrotoluene)

TNT, ka tool on kahvatukollane tahke aine, kaubandulikul kujul siiski kollase kuni pruuni värvusega. Ta saadakse tolueeni nitreerimisel, kasutades lämmastik- ja väävelhappe segu: viimane toimib katalüsaatorina.

Trinitrotolueeni mõnigad tähtsamad füüsikalised omadused on ära toodud tabelis 1.9.

Tabel 1.9. Trinitrotolueeni mõned füüsikalised omadused [17]

Tihedus, g/cm ³	1,59 (valatud) 1,45 (pressitud) 0,8 (granuleeritud)
Detonatsioonikiirus, km/s	5,1-6,9
TLV	1,5 ppm (nahk)
Sulamistäpp, °C	81
Tundlikkus	madal
Detonatsioonitemperatuur, °C	470

3) Fortis Advantage 70

Emulsioonlõhkeained ei detoneeru lahtise tule või löögi toimet. Kasutusala – maavarade kaevandamine ja mistahes kõvadusega kivimite lõhkamine, sõltumata veetasemest lõhkeaukudes. Lõhkeained on vees praktiliselt lahustumatud.

Tabel 1.10. Lõhkeainete koostisosad [18]

Komponent	Proportsioon
Ammooniumnitraat	>60%
Kütused, diisel	<10%
Mitteohtlikud komponendid	Kuni 100%

4) Dünamiidid

Tänapäeval on dünamiit tavaliselt kolmes vormis: ammooniumdünamiit, puhas dünamiit (Straight Dynamite) ja želatiindünamiit (Gelatin Dynamite). Kõik kolm vormi sisaldavad ülalkirjeldatud segu, kuid ammooniumdünamiit ja puhas dünamiit sisaldavad oksüdeerijana vastavalt ammooniumnitraati ja naatriumnitraati, želatiindünamiit sisaldab umbes 1 massi % nitrotselluloosi, mida lisatakse nitroglütseriini paksendamiseks ja dünamiidile plahvatusjõu lisamiseks plahvatusel. Želatiindünamiit on löögile ja hõõrdumisele vähem tundlik kui ammooniumdünamiit ja puhas dünamiit; märkigem, et ta võib sisaldada ka nitroglütseriini üle 30% enam kui kaks ülejäänud vormi (tabel 1.11.).

Tabel 1.11. Mõnede dünamiidivormide füüsikalised omadused [17]

	Puhas dünamiit	Ammooniumdünamiit	Želatiindünamiit
Tihedus	1,3	0,8-1,2	1,3-1,6
Keemiline koostis	20% - 60% nitroglütseriini sõltuvalt liigist naatriumnitraat, süsinikku sisaldav materjal, happevastane aine ja niiskus	20% - 60% nitroglütseriini sõltuvalt liigist ammooniumnitraat, süsinikku sisaldav materjal, väävel, happevastane aine ja niiskus	20% - 60% nitroglütseriini sõltuvalt liigist, želatiniseeritud nitrotselluloosis
Detonatsioonikiirus, km/s	4-6	0,8-1,2	0,7-1,1
Tundlikkus	Kõrge	Kõrge	Kõrge

5) ANFO

Kujutab endast kahe komponendi – poorse ammooniumnitraadi ja diislikütuse – mehaanilist segu.

Tabel 1.12. Lõhkeainete koostisosad [19]

Komponent	Proportsioon
Ammooniumnitraat	> 90%
Kütused, diisel	< 10%
Mitteohtlikud komponendid	< 1%

6) Senatel Powerfrag

Padrundatud emulsioonlõhkeaine maavarade maa-aluseks ja maapealseks kaevandamiseks. Võib kasutada mistahes kõvadusega kivimite puhul ja mistahes veetaseme korral lõhke- ja laenguaukudes.

Tabel 1.13. Lõhkeainete koostisosad [20]

Komponent	Proportsioon
Ammooniumnitraat	>60%
Natrium perkloraat	0 - 10%
Mitteohtlikud komponendid	Kuni 100%

7) Subtek Charge CS

Emulsioonlõhkeaine lõhketööde teostamiseks maa-alustel mäetöödel, sealhulgas ka põlevkivibasseini kaevandustes. Võib kasutada mistahes kõvadusega kivimite puhul ja mistahes veetaseme korral lõhke- ja laenguaukudes.

Tabel 1.14. Lõhkeainete koostisosad [21]

Komponent	Proportsioon
Ammooniumnitraat	>60%
Mitteohtlikud komponendid	Kuni 100%

1.5. Ammooniumnitraadil põhinevate segude omadused

Tööstuslike lõhkeainete peamine iseärasus seisneb selles, et need on füüsikaliselt ja keemiliselt mittehomogeensed süsteemid, mille komponendid (nitroglütseriin, heksogeen, ammooniumnitraat, põlevmaterjalid, keemilistes reaktsioonides mitteosalevad materjalid, mis teevad ainult läbi faasiüleminekuid: soolad, leegisummutid, vesi jt.) omavad erinevat keemilist aktiivsust.

Erinevalt individuaalsetest lõhkeainetest, millele on iseloomulik plahvatussaadusteks üleminek põhiliselt ühes staadiumis, toimuvad keemilised reaktsioonid tööstuslike lõhkeainete plahvatusel mitmes staadiumis. Nende jaoks tüüpiline skeem on lähtekomponentide esialgne lagunemine või gaasistumine detonatsioonilaines ja laguproduktide järgnev vastastiktoime üksteisega või ainetega, mis ei tee esimeses staadiumis läbi keemilisi või faasimuutusi (AI).

Tabel 1.15. Segulõhkeainete tundlikkus mehaaniliste toimete suhtes

Löögitundlikkus	Hõõrdetundlikkus, kg/cm ²	Lõhkeaine
4–8 %	3000, rohkem	Dünamoonid
12–16 %	2500-3000	Ammoniidid
16–32 %	2000	Metallipulbreid sisaldavad
40–60 %	1200–1500	Heksogeeni sisaldavad
70–100 %	900-1500	Nitroest Reid sisaldavad

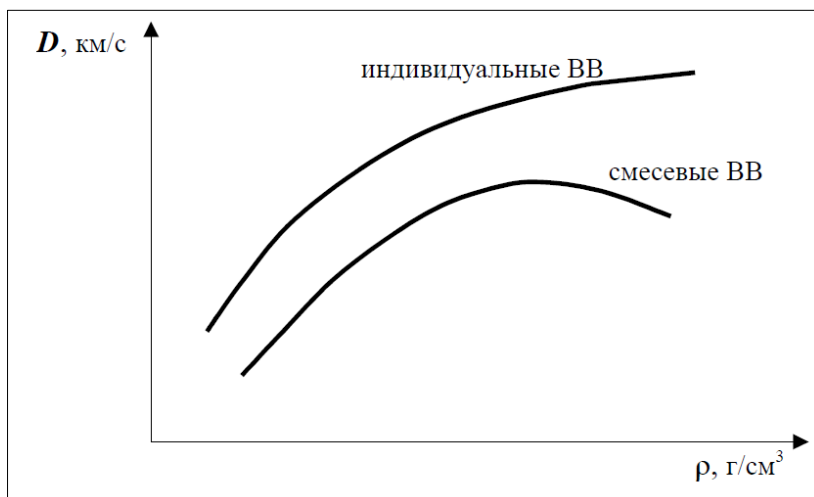
Võrreldes individuaalsete lõhkeainetega tingib mitme reaktsioonistaadiumi olemasolu kriitiliste levimistingimuste ja detonatsiooniparameetrite sõltuvuse komponentide osakeste koostisest ja suurusest suurenemise.

Detonatsiooni kriitiline ja piirläbimõõt on segulõhkeainetel suurem kui individuaalsetel lõhkeainetel ning see sõltub disperssusest ja keemilisest koostisest, kesta olemasolust.

Tabel 1.16. Tööstuslike lõhkeainete kriitiline läbimõõt

Trotüül	8-10
Ammoniit 6ŽV	10-12
Grammoniit 79/21	40-60
Igdaniit	100-120

Individuaalsete lõhkeainete puhul tiheduse suurenedes detonatsioonikiirus kasvab, kuni saavutab maksimumväärtuse. Segulõhkeained omavad kriitilist tihedust, mille juures on detonatsioonikiirus maksimaalne. Tiheduse edasisel suurenemisel leiavad aset tõrked.



Joonis 1.2. Detonatsioonikiiruse sõltuvus lõhkeaine tihedusest

Ammooniumnitraadi ja sellel põhinevate segude lõhkeomadused on toodud tabelis 1.17.

Tabel 1.17. Lõhkeomadused

Koostis, %	Plahvatussoojus (Qv), kJ/kg	Töövõime (Φ), cm ³	Kriitiline läbimõõt, d _{kr}	Detonatsioonikiirus (D), km/s	Plahvatus suhteline sagedus, %
Ammooniumnitraat	1423,5	180	300	2,7	4
6 % masuudiga	4069,6	355	120	3,4	26
21 % trotüüluga	4304	380	12	4,5	28
18,6 % Al-ga	5790,3	400	120	3,5	12

Eri liiki lõhketööde tõhusus ja ohutus sõltub olulisel määral kasutatavate lõhkeainete omadustest. Kasutustingimuste mitmekesisus ja tööstuslikele lõhkeainetele esitatavate tehniliste nõuete lai diapason tingivad nende keemilise koostise, füüsikaliste ja lõhkeomaduste erinevuse. [22]

Ammooniumnitraadil põhinevate lõhkesegude põhiomadused (keskmistatud):

- Tundlikkus:** peaaegu mittetundlikud löögi, kuuliga tulistamise, tule, sädeme, hõõrdumise suhtes. Töökindlus standardsete kapseldetonaatorite ja sütikutega lõhkamisel sõltub ammooniumnitraadi protsendilisest sisaldusest. Mida rohkem

on lõhkeaine koostises ammooniumnitraati, seda meelsamini plahvatab laeng standardse kapseldetonaatori toimel. Nii plahvatab ammoniit A-20 töökindlalt kapseldetonaatorite nr.8 toimel, ammoniit A-80 aga nõuab vahedetonaatorit pressitud trotüülibriketi kujul.

2. **Lõhkemuundumise energia** - 4184–7531 kJ/kg
3. **Detonatsioonikiirus:** 4000–6500 m/s
4. **Brisantsus:** 13–27 mm
5. **Töövõime:** 300–450 cm³
6. **Keemiline püsivus:** lahustuvad vees. Üle 3% niiskuse korral tavaliselt kaotavad lõhkeomadused. Samuti kaotavad lõhkeomadused paakunud ja kõvenenud lõhkeained.
7. **Töövõimelise oleku kestus ja tingimused:** Kestus sõltub olulisel määral säilitustingimustest, niiskusest, pakendi hermeetilisusest. Kuivatamisel ja pulbriliseks peenestamisel lõhkeomadused tavaliselt taastuvad. Keskmiselt arvatakse, et need lõhkeained on töövõimelised aasta jooksul.
8. **Normaalne agregaatolek:** Enamasti valget, halli, kollast värvi pulbriline aine. Kasutatakse pulbrilisel (mittepressitud) kujul.
9. **Tihedus:** 0.9 -1.2 g/cm³ [23]

1.6. Ammooniumnitraatlõhkeainete liigid

Pulbrilised ammooniumnitraatlõhkeained

Toodetakse puistainena ja padrundatud kujul.

Tehnoloogia: kuivatamine trummelkuivatites, paakunud ammooniumnitraadi esialgne jämepurustamine purustites ning seejärel segamine trotüüli ja teiste komponentidega kuulveskites. Siin toimub keskmistamine ja täiendav muutumine. Kui koostises on heksogeen, viiakse see sisse teises staadiumis ning segamist teostatakse aurudeta.

Granuleeritud lõhkeained

Pulbriliste lõhkeainete puudused – küllaltki suur tundlikkus, halvad füüsilise stabiilsuse näitajad (kihustumine, hügroskoopsus) – ei võimalda neid kasutada mehhaniseeritud laadimisel. Suures osas on nendest puudustest vabad granuleeritud lõhkeained (tabel 1.18.). Granuleeritud lõhkeainete oluline puudus – detonatsiooni suur kriitiline läbimõõt – ei oma 300 mm läbimõõduga lõhkeaukude korral enam tähtsust.

Tabel 1.18. Granuleeritud lõhkeained granuleeritud ammooniumnitraadi baasil

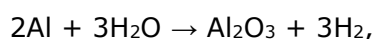
Granuliidid	Gramoniidid	Gramonaal
Igdaniit - 6% solaarõli AC-4 - 4% solaarõli, 4% Al AC-8 - 2% solaarõli, 8% Al	79/21 – 21% trotüüli helveste või graanulite kujul 30/70 – 70% trotüüli	A-8 - trotüüli ja Al sulam (8%) A-45 - trotüüli ja Al sulam (15%)

Veekindlad lõhkeained

Puistelõhkainete osakeste vahelike tühimike täitmine vedelikuga aitab kaasa lõhkeaine tiheduse suurendamisele, tühimikuteta laadimisele, annab lõhkeainele voolavuse. Vedela täiteainena ja plastifitseeriva materjalina kasutatakse veepõhiseid geele.

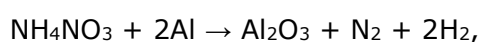
Veekindlates tööstuslikes lõhkeainetes võib sensibilisaatoriks olla alumiinium ($\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{Al} + \text{H}_2\text{O}$ on sensitiivsem kui kuiv segu).

Oma omaduste ja tiheduse poolest ei jää veekindlad lõhkeained alla kõrgeprotsendilistele dünaamiitidele. Kõige lihtsamad segud koosnevad ammooniumnitraadist, alumiiniumist ja geelist. Alumiiniumi suhtes on vesi oksüdeerijaks:



eraldub soojus $Q = 8710 \text{ kJ/kg}$,

ammooniumnitraadi reaktsiooniks on aga:



eraldub soojus $Q = 9750 \text{ kJ/kg}$.

Ilma sensibilisaatorita (trotüülita) on aga sensitiivsus väike, mistõttu lisatakse enamiku veekindlate lõhkeainete koostisse trotüüli. Detonatsioonikiirus on 4,5-5 km/s. Trotüüli ja alumiiniumit (35%) sisaldavad lõhkeained on kõige võimsamad tööstuslikud lõhkeained. Energia kontsentratsioon on 2,5 korda suurem kui granuleeritud ja pulbrilistel lõhkeainetel. Vesi omab täiteainena rida eeliseid. Selles lahustunud ammooniumnitraadi tõttu täitub lõhkeaine osakeste vaheline ruum küllastunud lahusega tihedusega $1,3 \text{ g/cm}^3$, tänu millele on 5-15% veesisalduse juures keskmine tihedus võrdne $1,5 \text{ g/cm}^3$. Vesi vähendab tundlikkust, mistõttu võib lõhkeainet laadida mehhaniseeritult.

Tabel 1.19. Lõhkeainete omadused kuivalt ja vesitäitega

Lõhkeaine omadused	Granutool	Alumatool	Grammoniit 50/50
Plahvatussoojus (Q), kJ/kg, kuiv /veega	3457/4050	5279/5510	3684/3770
Gaaside ruumala (V), l/kg, kuiv /veega	750/1045	675/815	-
Kriitiline läbimõõt, d_{kr} , kuiv /veega	60/30	-	40/50
Detonatsioonikiirus (D), km/s, kuiv /veega	4,0/6,5	-	4,15/4,7

Peamisteks eelisteks granuleeritud ja pulbriliste lõhkeainetega võrreldes on suur tihedus, veekindlus, võime täita laadimismahutid täielikult ilma sundtihendamiseta ja väike tundlikkus. [22]

2. AMMOONIUMNITRAADIL PÕHINEVATE LÕHKEAINETE MAAILMATURU ÜLEVAADE TOOTMISE JA TARBIMISE VALDKONNAS

2.1. Tööstuslike lõhkeainete tootmine

Suurimateks tööstuslike lõhkeainete tootjateks ja tarbijateks on Hiina ja Ameerika Ühendriigid. Hiinas on viimase aastakümne jooksul kohaliku lõhkeainetootmise maht tunduvalt suurenenud ja moodustas 4,2 miljonit tonni aastas, mis tähendab tootmismahu peaaegu kahekordset suurenemist. Ka Ameerika Ühendriigid ja Kanada suurendasid tööstuslike lõhkeainete tootmisvõimsust 4,1 miljoni tonnini aastas. Kokku toodavad need riigid üle poole kõigist maailmas valmistatavatest lõhkeainetest. Tööstuslike lõhkeainete 1,51 miljoni tonnise tootmismahuga on Venemaa Lõuna-Ameerika ja Aafrika riikide tasemel. [24, lk.60]

Tööstuslike lõhkeainete tootmise dünaamika maailmas on esitatud tabelis 2.1.

Tabel 2.1. Tööstuslike lõhkeainete tootmise dünaamika maailmas, miljonites tonnides [24]

Riigid ja regioonid	Tööstuslike lõhkeainete tootmise dünaamika aastate kaupa		
	2001 (GIA)	2010 (USGS)	2016 (USGS)
Aasia ja Kesk-Ida (Hiina)	1,3 (21%)	2,1 (20%)	4,2 (26,9%)
Põhja-Ameerika (Ameerika Ühendriigid ja Kanada)	2,5 (39%)	3,4 (31%)	4,1 (26,2%)
Kesk- ja Lõuna-Ameerika	0,64 (10%)	1,05 (10%)	2,3 (14,7%)
Venemaa	0,69 (10,7%)	1,17 (10,9%)	1,51 (9,7%)
Aafrika	0,6 (9%)	0,65 (6,2%)	1,2 (7,65%)
Euroopa Liit (28 riiki)	0,5 (8%)	0,65 (6,2%)	0,67 (4,3%)
Okeaania	0,25 (4%)	0,32 (3%)	0,46 (2,9%)
Kagu-Aasia	-	0,25 (2,4%)	0,38 (2,45%)
Edela-Aasia	-	0,26 (2,5%)	0,34 (2,1%)
Kesk-Ida	-	0,15 (1,4%)	0,21 (1,3%)
Mehhiko	-	0,06 (0,6%)	0,1 (0,6%)
Jaapan	-	0,04 (0,4%)	0,05 (0,3%)
Kokku	6,41	10,64	15,61

Ammooniumnitraadi tootmise alal on maailmas liidriks Usbekistan. 2018. aasta seisuga toodeti Usbekistanis 1,53 miljonit tonni ammooniumnitraadi, mis moodustas

23,12% kogu maailmas toodetud ammooniumnitraadist. 87,25% sellest mahust toodeti viies juhtivas riigis (teisteks on Poola, Ameerika Ühendriigid, Ukraina ja Kanada). 2018. aasta ülemaailmset ammooniumnitraadi kogutoodangut hinnati 6,61 miljonile tonnile. [25]

		2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012
1	Uzbekistan	1,528,264	1,375,480	1,558,058	1,646,657	1,762,129	1,572,687	1,722,418
2	Poland	1,292,653	1,327,622	1,299,529	1,364,436	1,341,101	1,272,265	1,389,384
3	United States of Ameri...	1,195,480	1,361,893	1,165,265	1,330,233	1,719,207	1,710,652	1,997,674
4	Ukraine	1,046,700	1,066,000	1,401,700	1,042,200	1,543,200	2,233,600	2,518,000
5	Canada	704,000	663,000	713,000	328,000	-	-	-
6	Lithuania	552,084	674,668	607,819	637,378	635,327	605,343	667,452
7	Turkey	258,042	85,707	310,934	492,126	491,205	515,987	536,199
8	Croatia	31,642	27,244	33,403	30,404	12,791	0	-
9	Estonia	788	740	332	354	-	1,105	800

Joonis 2.1. Ammooniumnitraadi tootmine, tonnides [25]

2.2. Tööstuslike lõhkeainete kasutamine

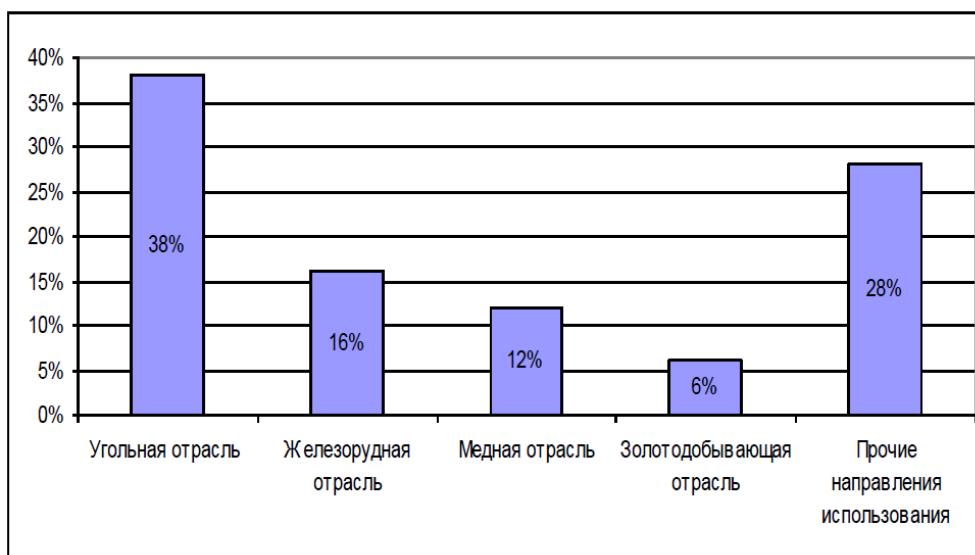
Põhiosa arenenud mäetööstusega riikides kasutatavatest tööstuslikest lõhkeainetest kasutatakse ära kivisöe ja metallimaakide kaevandamisel. Lõhkamisega purustamine on praktiliselt alternatiivideta meetod kõvade kivimite kaevandamiseks ettevalmistamisel. Maavarade kaevandamise dünaamika poolest on maailmas esikoha hõivanud Hiina, kus 2016. aastal kaevandati üksnes sütt 3680 miljonit tonni (46,6% ülemaailmsest kaevandamismahust). Teisel kohal on märgatava mahajäämusega Ameerika Ühendriigid 892,6 miljoni tonnise kaevandamismahuga (11,3%), kolmandal kohal on India – 605,1 miljonit tonni (7,66%). Samuti on Hiina maailmas esikohal rauamaakide kaevandamise alal. Andmed peamiste maavarade kaevandamise kohta on toodud tabelis 2.2.

Tabel 2.2. Maavarade kaevandamismaht, miljonit tonni [24]

Riik	Kivisüsi		Rauamaak		Summa
	2010. a	2016. a	2010. a	2016. a	2016. a
Hiina RV	2550	3680	900	1500	5180
Austraalia	323	478	400	660	1138
USA	980	892	50	65	957
India	452	605	260	260	865
Venemaa	322	386	96	108	492
Indoneesia	231	421	15	35	456
Brasiilia	10	8	370	370	378
LAV	244	257	55	55	302
Saksamaa	180	190	-	-	190

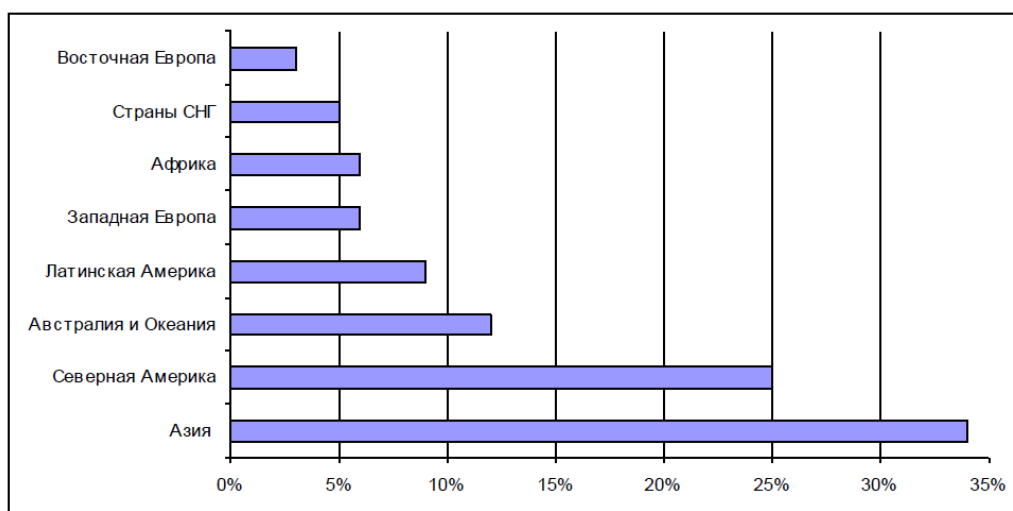
2.3. Poorse ammooniumnitraadi tootmine ja tarbimine

Poorse ammooniumnitraadi tootmise kasv maailmas on tingitud selle tarbimise tendentsidest, mille struktuuris domineerivad kivisöe- ja rauamaagitööstus. Tervikuna kasutatakse mäetööstuses üle 70% kogu maailmas tarbitavast toodangust.



Joonis 2.2. Poorse ammooniumnitraadi tarbimise struktuur [26]

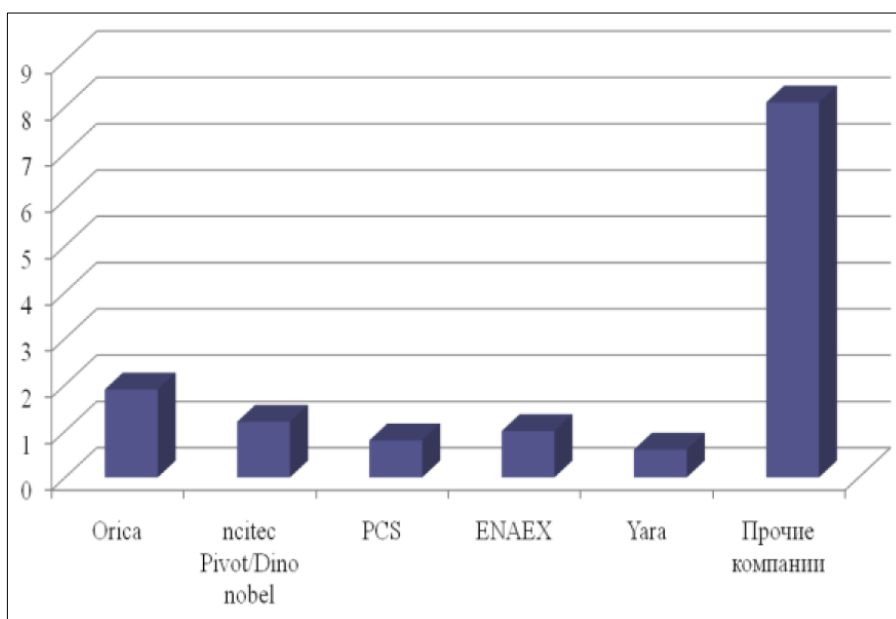
Poorse ammooniumnitraadi summaarne tootmisvõimsus maailmas moodustab 12,8 miljonit tonni. Seejuures on põhiline potentsiaal koondunud Aiasse (4,4 miljonit tonni – 34%) ja Põhja-Ameerikasse (3,2 miljonit tonni – 25%) (joonis 2.3.).



Joonis 2.3. Poorse ammooniumnitraadi tootmisvõimsuste geograafiline jaotumine

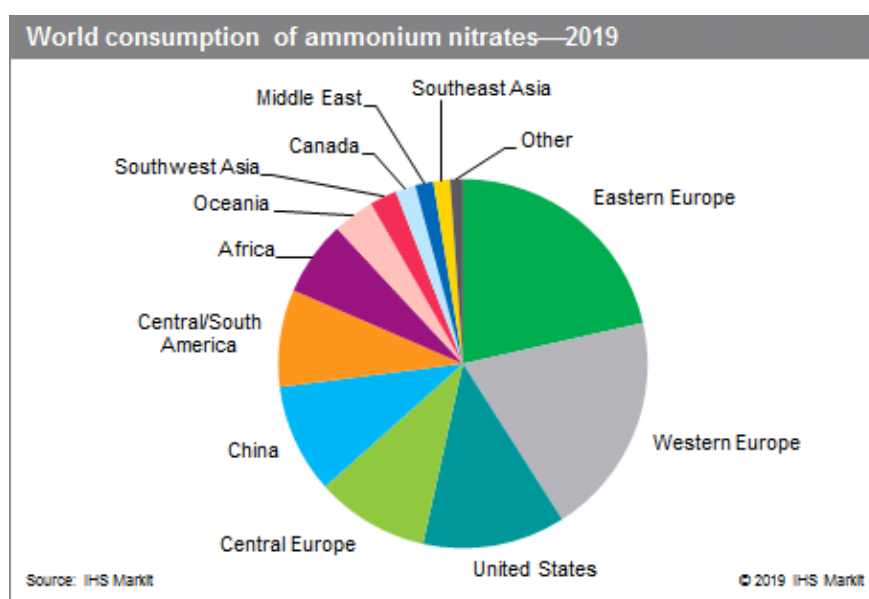
Ammooniumnitraadi maailmaturg on tugevalt fragmenteerunud, sellel on palju osalejaid. Suurimaks poorse ammooniumnitraadi valmistajaks on firma Orica, kes omab võimsusi 1,64 miljoni tonni tootmiseks (13% ülemaailmsest potentsiaalist).

Orica tootmisvõimsused paiknevad Austraalias, Kanadas, Mehhikos ja Aasia riikides (Filipiinidel ja Tais). Suurimad firmad: EuroChem, Orica, CF Industries, Enaex ja The Chemours Company (joonis 2.4.).

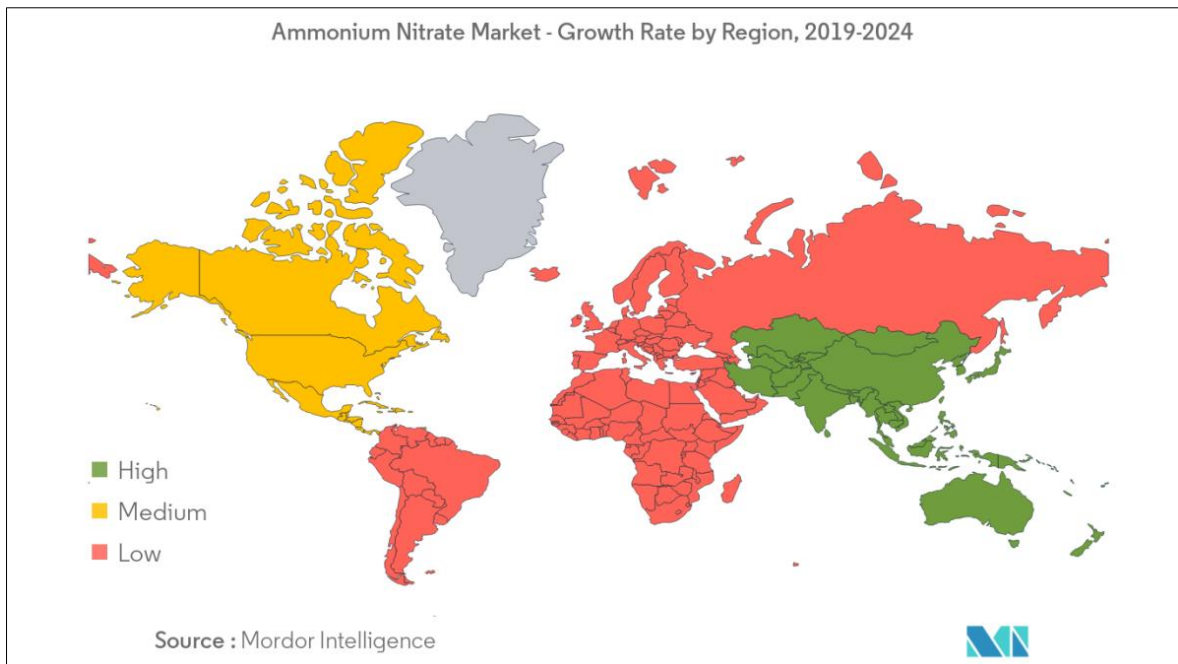


Joonis 2.4. Maailma suurimate tööstusliku ammooniumnitraadi tootjate tootmisvõimsused [27]

Juhtivateks ammooniumnitraadi tarbijateks on Ida-Euroopa, Lääne-Euroopa ja Ameerika Ühendriigid. 2019. aastal tarbiti nendes kolmes regioonis kokku üle 50% kogu maailma tarbimismahust. Oodatakse, et perioodil 2019-2024 kasvab tarbimine keskmiselt 1,0% aastas. Tarbimise kasv toimub Ida-Euroopa riikide, Hiina ning Kesk- ja Lõuna-Ameerika arvelt.



Joonis 2.5. Ammooniumnitraadi tarbimine maailmas 2019. aastal [28]



Joonis 2.6. Ammooniumnitraadi turu kasvutempod regioonide kaupa (2019–2024) [27]

Põhja-Ameerika regioon on suurim ammooniumnitraadi kasvava tarbimisturuga piirkond. Selline tohutu nõudlus ammooniumnitraadi järele on seotud kasvava nõudlusega masuudi järele ja kaitseotstarbeliste lõhkeainete nõudluse kasvuga. Jooniselt 2.6. nähtub, et kiireima kasvuga ammooniumnitraadi tarbimisturud on Kesk-Aasia ja Austraalia turud. Antud juhul on see tingitud Hiina ja India majanduse kasvust, suurest nõudlusest ammooniumnitraadi järele Aasia riikide tööstuses, põllumajanduses ja riigikaitstes. Ammooniumnitraadi nõudluse kasvu peatumist Euroopa, Aafrika, Lõuna-Ameerika ja Venemaa territooriumil saab seletada nii EL riikide „rohelise“ poliitikaga, kui ka Aafrika ja Lõuna-Ameerika riikide majanduse ja tööstuse madala arengutasemega ning keerulise olukorraga Venemaa majanduses.

3. TEHNOLOOGILINE OSA

3.1. Ammooniumnitraadi lahustamise protsessi kirjeldus

Joonisel 3.1. on esitatud ammooniumnitraadi lahustamise tehnoloogilise protsessi skeem. Protsess hõlmab: komponentide doseerimist, lahuse valmistamist ja valmistoodangu väljapumpamist. Lahustamissõlm on ette nähtud nõutava kontsentratsiooniga granuleeritud ammooniumnitraadi lahuse saamiseks. Protsessi aluseks on võetud mittesuletud energotehnoloogiline tsükkel, mis põhineb komponentide etteantud koguste järjestikusel sisselaadimisel.

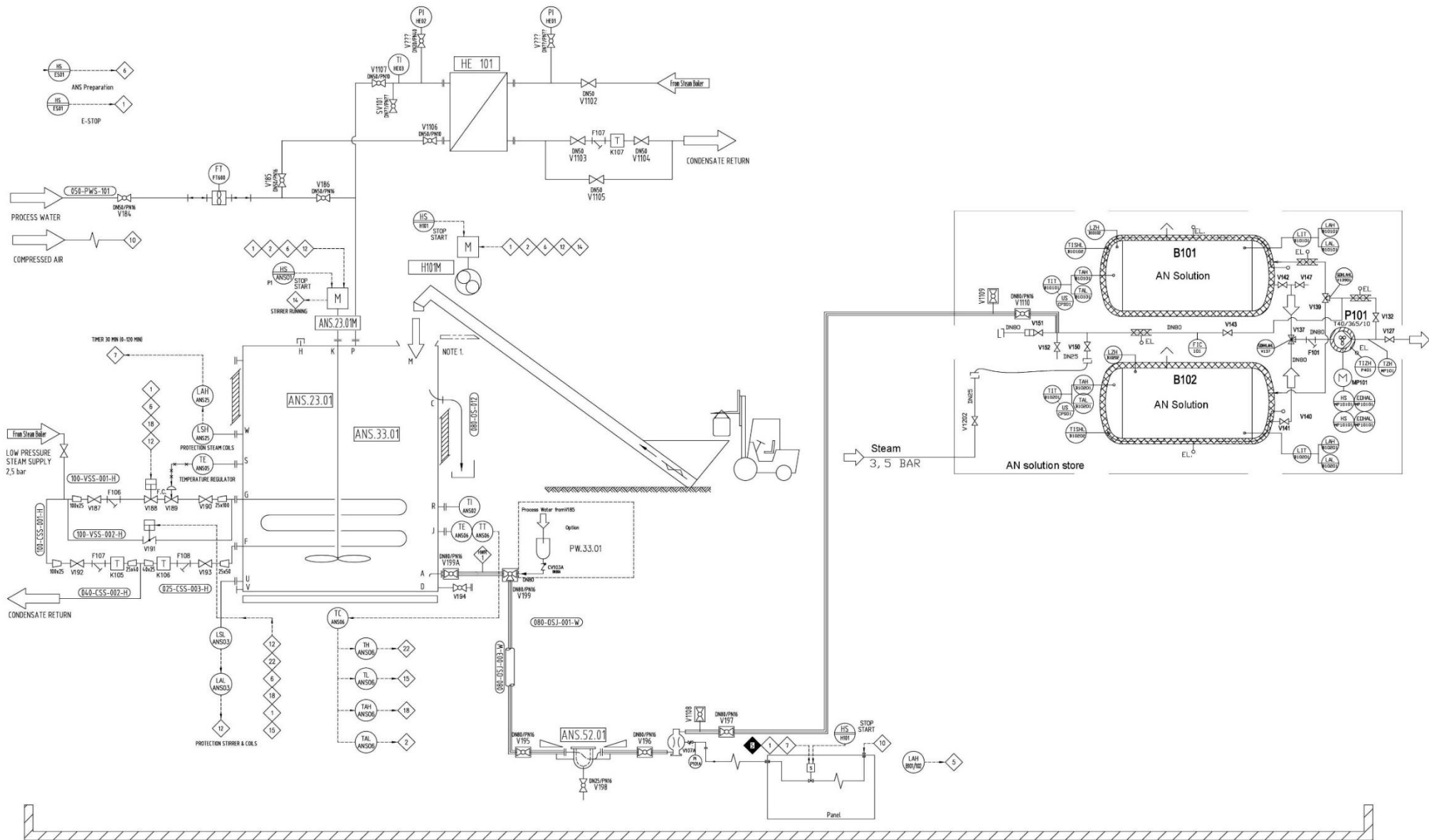
Samuti on ette nähtud vajalike protsessiparameetrite distantsreguleerimine, distantskäivitus ja -peatamine, tehnoloogiliste parameetrite etteantud väärtustest kõrvalekallete signalisatsioon ja blokeeringud, mis lülitavad välja ühtede või teiste komponentide etteande. Automaatselt reguleeritakse segistisse sissetuleva vee ülemist ja alumist taset, sulamaterjali temperatuuri. Avariolukordade tekkimisel lõpetavad vastavad sõlmed töö.

Enne töö alustamist lülitatakse sisse üld- ja kohtventilatsioon maksimaalsel tootlikkusel.

Lahuse valmistamist teostatakse kindlaksmääratud tehnoloogia kohaselt. Protsess algab paagi veega täitmisest. Seejuures lähtutakse kehtestatud retseptist. Aparaaditööline annab juhtimiskilbil ette vajaliku veehulga ja lülitab sisse pumba. Vesi antakse mahutisse veepumba surveliinist läbi solenoidklapi. Aparaaditööline mõõdab välja vajaliku koguse vette ja lülitab pumba välja. Seejärel avatakse paagi soojendamiseks auruklapp. Aparaat soojendatakse veeauruga rõhul $P=4$ baari. Küllastunud auru temperatuur on 115-120°C. Vee temperatuur segistis peab olema ligikaudu 50°C, lahuse temperatuuri kontrollitakse temperatuurianduritega.

Eelnevalt ettevalmistatud granuleeritud ammooniumnitraat antakse kindlaksmääratud kiirusega väikeste partiidena kolusse. Otsevoolu-tigukonveierit mööda satub tooraine turbiinseguriga varustatud segamismahutisse (segistisse).

Mahuti kujutab endast aparati, milles seguri abil segatakse intensiivselt kokku komponente – ammooniumnitraati ja vett. Aparati sisenev kuiv tooraine seguneb hetkeliselt selles oleva soojendatud veega ning seega jaguneb ühtlaselt aparadi ruumalas. Intensiivse turbiinseguriga segamise tulemusel kujunevad aparadi igas punktis absoluutselt ühesugused protsessi iseloomustavad tingimused.



Joonis 3.1. Ammooniumsalpeetri lahustamise tehnoloogiline skeem

Niipea, kui ammooniumnitraat hakkab vees lahustuma, langeb vee temperatuur kohe umbes 20 kraadini Celsiuse skaala järgi. Ammooniumnitraadi lahustumine on endotermiline protsess (kulgeb soojuse neeldumisega). Seetõttu toimub protsessi käigus pidev soojendamine auruga aparadi ümber paikneva siugtoru-soojusvaheti abil. Protsessi käigus toimub lahuse temperatuuri pidev kontroll ja reguleerimine.

Pärast seda, kui lahuse temperatuur saavutab 90°C, toimub 10 minuti jooksul segamine ja laboratooriumisse antakse analüüsimiseks proov. Analüüsiandmete vastavuse korral etteantud nõuetele loetakse protsess lõpetatuks. Valmisprodukti vajalik kontsentratsioon on $80\pm 0,5\%$.

Valmislahus pumbatakse segistist valmistoodangu mahutitesse. Kasutatud aur kondenseeritakse ja kondensaat pumbatakse tagasi aurugeneraatorisse. Ammooniumnitraadi partii lahustamistsükli kestus on umbes 90 ± 5 minutit.

3.2. Põhiaparaat

Põhiaparaadiks skeemis on lahustamismahuti (joonis 3.2.). Mahuti sisse on paigaldatud segamiseade – turbiinsegur, mis võimaldab säilitada valmistatava produkti homogeensust. Lahuse soojendamiseks kasutatakse siugtoru, mis kontakteerub vahetult produktiga.

Komplektatsioon:

1) Paak

Kujutab endast silindrilist aparadi lameda põhja ja eraldi kaanega, mis võimaldab lisada produkti või kontrollida selle olekut segamise protsessis. Paagi siseläbimõõt on 2298 mm ja kõrgus 1886 mm. Mahuti on ette nähtud erineva kontsentratsiooniga lahuste valmistamiseks, tagades tahkete osakeste homogeense jaotuse vedelkeskkonnas ja temperatuuri väärtuste homogeensuse kogu segatava massi ruumalas. Materjal – roostevaba teras AISI 304.

2) Kaas

Materjal – roostevaba teras AISI 304.

3) Siugtoru

On paigaldatud paagi korpuse sisse. Sellise soojusvaheti töötamisel liigub soojuskandja spiraali keeratud toru – siugtoru – sees, soojendades aparadis olevat lahust.

4) Turbiinsegur

Segur on spetsiaalselt valitud mahuti jaoks selle gabariite ja konstruktsioonilisi iseärasusi arvestades. Kõik lahusega kokkupuutuvad seguri osad on valmistatud korrosioonikindlast materjalist – roostevabast terasest AISI 304.

Kiirekäiguliste turbiinsegurite tehnilised eelised:

- Efektiivne segamine või lahustamine: tänu spetsiaalselt väljatöötatud töörattele tekitatakse mahutis vedeliku ringliikumine, mis tõstab tahked osakesed mahuti põhjast üles.
- Korrosioonikindlus, keemiline püsivus ja vastupidavus abrasiivsele kulumisele: seguri võll ja labad on valmistatud korrosioonikindlast materjalist – roostevabast terasest AISI 304.
- Mootori pikk tööiga ja vibratsiooni vähenemine paigalduskohas: seguri labad tekitavad pideva homogeense radiaalvoolu ilma perioodiliste võnkumisteta, mis vähendab koormust laagritele ja mootori alusraamile.
- Ohutus: seguri konstruktsioon välistab kõrvaliste esemete pealekerimise seguri labadele nende mahutisse sattumise korral. Seega on seguri kinnikiilumine ja mootori rivist väljaminek välistatud.

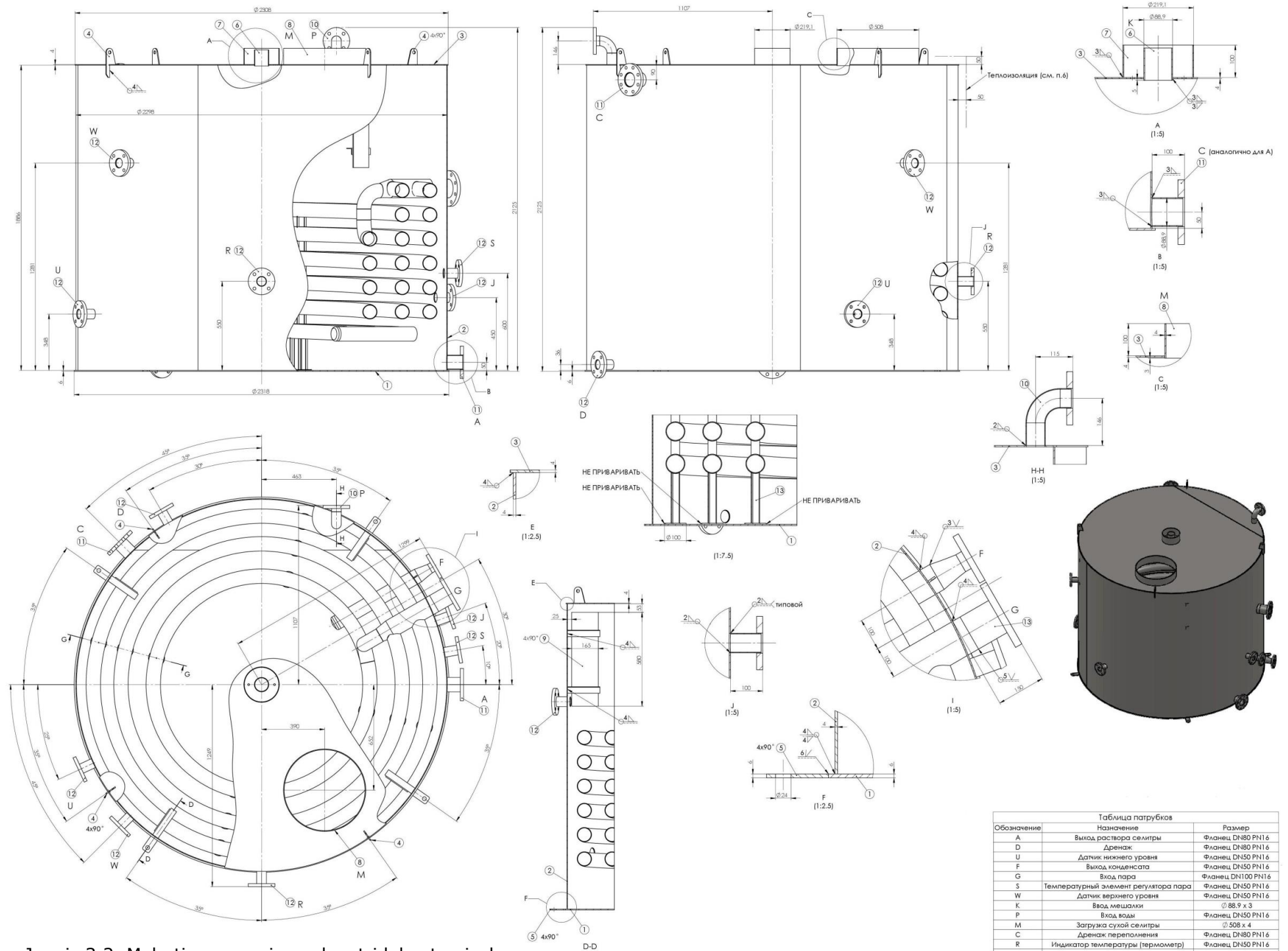
5) Ajam

Seguri liikumapanemiseks on reaktorile paigaldatud reduktoriga elektrimootor. Mootori ja reduktori tehnilised parameetrid on valitud selliselt, et oleks tagatud optimaalsed segamistingimused. Seejuures ei või agregaaadi töörežiim ületada elektrimootori maksimumparameetreid, kriitilised tippkoormused on välistatud.

6) Lisaseadmed

Keemiareaktorile on paigaldatud kontroll-mõõteaparatuur, soojendussüsteem, pumbad vedelike välja-/sissepumpamiseks, sulgeventiilid, filtrid jne. Lisaseadmed võimaldavad juhtida keemilisi reaktsioone automaatrežiimis. Lisaks sellele annab mõõteriistade suur täpsus võimaluse luua ja hoida optimaalseid protsessirežiime.

4. peatükis teostatakse ammooniumnitraadi lahustamise protsessi materiaalse ja soojusbilansi arvutus ning antud aparadi seguri arvutus.



Joonis 3.2. Mahuti ammoniumsälpeetri lahustamiseks

4. ARVUTUSLIK OSA

4.1. Ammooniumnitraadi lahustamise protsessi materiaalne bilanss

Lähteandmed:

Granuleeritud ammooniumnitraat (100%), kg 6000

Vesi lahuse jaoks, kg 1500

NH₄NO₃ lahuse kontsentratsioon (tehnoloogia kohaselt), % 80,3

Vastavalt ammooniumnitraadi lahuse valmistamiseks vajalike komponentide laadimise tabelile [Lisa 1] laaditakse paaki 6000 kg ammooniumnitraati ja 1500 kg vett.

Sisse		Välja	
Komponent	kg	Komponent	kg
Granuleeritud ammooniumnitraat (100%)	6000	Ammooniumnitraadi lahus (80,3%)	7500
Vesi	1500		
Kokku	7500	Kokku	7500

4.2. Ammooniumnitraadi lahustamise protsessi soojusbilanss

Lähteandmed:

Granuleeritud ammooniumnitraat (100%), kg.....6000

Vesi lahuse jaoks, kg.....1500

NH₄NO₃ lahuse kontsentratsioon, %.....80,3

Ammooniumnitraadi temperatuur, °C15

Vee temperatuur, °C50

Soojuse sissetulek:

1. Veega sissetulev soojus ($t=50^{\circ}\text{C}$)

$$Q_{\text{vesi}} = m \cdot C_V \cdot t,$$

$$Q_{\text{vesi}} = 1500\text{kg} \cdot 4,181 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot 50^{\circ}\text{C} = 313\,575 \text{ kJ} = 313,6 \text{ MJ},$$

kus 4,181- vee soojusmahtuvus 50 °C juures, kJ/(kg·K) [29, lk.5]

2. Tahke ammooniumnitraadiga sissetulev soojus

$$Q_{\text{NH}_4\text{NO}_3} = m \cdot C_{\text{NH}_4\text{NO}_3} \cdot t,$$

$$Q_{\text{NH}_4\text{NO}_3} = 6000\text{kg} \cdot 1,7402 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 15^\circ\text{C} = 156618 \text{ kJ} = 156,6 \text{ MJ},$$

kus 1,7402- ammooniumnitraadi soojusmahtuvus, kJ/(kg·K) [30, lk.144]

3. Soojuse sissetulek kokku vee ja ammooniumnitraadiga

$$Q_1 = Q_{\text{vesi}} + Q_{\text{NH}_4\text{NO}_3} = 313,6 + 156,6 = 470,2 \text{ MJ}$$

Soojuse kulu:

1. Ammooniumnitraadi lahusega $t=90^\circ\text{C}$ juures

$$Q_{\text{lahus}} = m \cdot C_{\text{NH}_4\text{NO}_3 \text{ lahus}} \cdot t,$$

$$Q_{\text{lahus}} = 7500\text{kg} \cdot 2,302 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 90^\circ\text{C} = 1553850 \text{ kJ} = 1553,9 \text{ MJ},$$

kus 2,302 - NH_4NO_3 lahuse soojusmahtuvus, kJ/(kg·°C) [31, lk.47]

2. Soojuskaod ümbritsevasse keskkonda (võtame 0,1% ammooniumnitraadi lahusega äraminevast soojusest).

$$Q_{\text{keskkond}} = 1553850 \cdot 0,001 = 1553,85 \text{ kJ} = 1,6 \text{ MJ}$$

3. Lahustumissoojus

Ammooniumnitraadi lahustumine on endotermiline protsess, mis kulgeb soojuse neeldumisega. Lahustumisentalpia arvutatakse valemiga:

$$\Delta H = \frac{Q \cdot M(\text{B})}{m(\text{B})},$$

kus Q – neeldunud või eraldunud soojuse hulk (kJ),

m(B) – lahustunud aine mass (kg),

M(B) – lahustunud aine molaarmass (kg/kmol).

Arvutame neeldunud soojuse hulga

$$Q = \frac{\Delta H \cdot m(\text{NH}_4\text{NO}_3)}{M(\text{NH}_4\text{NO}_3)} = \frac{25,77 \cdot 10^3 \text{ kJ/kmol} \cdot 6000\text{kg}}{80\text{kg/kmol}} = 1\,932\,750 \text{ kJ} = 1932,8 \text{ MJ},$$

kus 25,77- ammooniumnitraadi lahustumisentalpia, kJ/mol [32, lk.51]

Temperatuurilanguse leiame valemiga:

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta t,$$

kus

C – lahuse erisoojusmahtuvus, kJ/(kg·K),

m – lahuse mass, kg

Δt – temperatuuri muutus, K

Seega

$$\Delta t = \frac{Q}{C \cdot m} = \frac{1932750 \text{ kJ}}{2,302 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 7500 \text{ kg}} = 111,95 \text{ K} \approx 112 \text{ K}$$

Järelikult moodustab NH₄NO₃ lahuse temperatuuri langus 112 K.

Vee temperatuurilt 50°C temperatuurini 90°C soojendamiseks kuluv soojus.

$$Q_{\text{vesi}} = m \cdot C \cdot \Delta t = 1500 \text{ kg} \cdot 4,181 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (90 - 50) = 250860 \text{ kJ} = 250,9 \text{ MJ}$$

Vee ja NH₄NO₃ lahuse soojendamiseks kasutatakse auru (P=4 baari).

Auru kulu vee soojendamiseks:

$$G_1 = \frac{Q}{I} = \frac{250860 \text{ kJ}}{2737,63 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 91,63 \text{ kg} \approx 92 \text{ kg},$$

kus 2737,63 – auru erientalpia, kJ/kg [33]

Auru kulu lahuse temperatuuri alanemise kompenseerimiseks

$$G_2 = \frac{Q}{I} = \frac{1932750 \text{ kJ}}{2737,63 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 706 \text{ kg}$$

Üldine soojuse kulu:

$$Q_{\text{üld}} = Q_{\text{lahus}} + Q_{\text{lahustumissoojus}} + Q_{\text{kaod}} = 1553,9 + 1932,8 + 1,6 = 3488,3 \text{ MJ}$$

Segamisel lahuse vajaliku temperatuuri 90°C 30 minuti jooksul säilitamiseks vajalik soojushulk.

$$Q = 3488,3 - (250,9 + 1932,8) = 1304,6 \text{ MJ}$$

Auru kulu temperatuuri hoidmiseks:

$$G_3 = \frac{Q}{I} = \frac{1304600 \text{ kJ}}{2737,63 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 476,5 \text{ kg}$$

Üldine aurukulu G:

$$G = G_1 + G_2 + G_3 = 92 + 706 + 476,5 = 1274,5 \text{ kg} \approx 1275 \text{ kg}$$

Soojuse sissetulek soojendusauruga

$$Q_{aur} = 1275 \cdot 2737,63 = 3490,5 \text{ MJ}$$

Soojuse üldine sissetulek:

$$Q_{\text{üld}} = Q_{\text{vesi}} + Q_{\text{NH}_4\text{NO}_3} + Q_{\text{aur}} = 313,6 + 156,6 + 3490,5 = 3960,7 \text{ MJ}$$

Soojus kondensaadiga:

$$Q = 3960,7 - 3488,3 = 472,4 \text{ MJ}$$

Kondensaadi entalpia:

$$\frac{472400 \text{ kJ}}{1275 \text{ kg}} = 370,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

M. P. Vukalovitši käsiraamatust selgub, et kondensaadi temperatuur on 88°C. [34, lk.49]

Soojuse sissetulek		Soojuse kulu	
Sissetulekuartikkel	MJ	Sissetulekuartikkel	MJ
1. Veega t=50°C juures	313,6	1. Ammooniumnitraadi lahusega t=90°C juures	1553,9
2. Ammooniumnitraadiga	156,6	2. Lahustumissoojus	1932,8
3. Soojendusauruga	3490,5	3. Soojuskaod ümbritsevasse keskkonda	1,6
		4. Soojus kondensaadiga	472,4
Kokku	3960,7	Kokku	3960,7

4.3. Seguri arvutus

Arvutuse teostame õpikus „Keemia ja naftatöötlemistehaste masinate ja aparatuuride tehnoloogilised arvutused. Näited ja ülesanded“, toimetanud V. M. Uljanov, A. A. Sidjagin, V. A. Dikov (Nižni Novgorod, 2015. a) toodud meetoodika järgi.

Segamisseadme lähteparameetrid:

Aparaadi läbimõõt D , mm	2298
Aparaadi kõrgus H , mm	1886
Segatav keskkond:	NH_4NO_3 lahus
Segatava keskkonna tihedus ρ , g/cm^3	1,352 [35, lk.124]
Segatava keskkonna dünaamiline viskoossus μ , $\text{mPa}\cdot\text{s}$	1,810 [36, lk.152]

Aparaadi ruumala:

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} H,$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 2,298^2}{4} \cdot 1,886 = 7,82 \text{ m}^3$$

Vastavalt Lisa 2 [37, lk.493] esitatud andmetele on nimiruumalaga $V=8,0 \text{ m}^3$ reaktori korpuse läbimõõt on $D=2000 \text{ mm}$, seguri võlli läbimõõt $d_v = 80$ ja 95 mm , vedelikutaseme kõrgus $H_{\text{ved}} = 2,08 \text{ m}$ (täitumisteguri $\varphi = 0,75$ juures). Aparaat on kasutatav siugtoruga.

Lisas 3 [37, lk.494] leiame turbiinseguri jaoks seguri läbimõõdu, võttes suhteks $D/d_s=3$. Saame $d_s=2000/3=667 \text{ mm}$ ja ümardame standardväärtuseni $d_s=710 \text{ mm}$.

Soovitatud ringkiiruste diapsoonist võtame seguri kiiruseks $\omega=4 \text{ m/s}$. Valitud ringkiiruse järgi leiame seguri pöörlemissageduse:

$$n = \frac{\omega}{\pi d_s} = \frac{4 \text{ m/s}}{3,14 \cdot 0,71 \text{ m}} = 1,79 \text{ s}^{-1}$$

Lisast 4 [37, lk.631] võtame seguri standardse pöörlemissageduse $n=2,08 \text{ s}^{-1}$.

Soovituslikkust seguri paigalduskõrguse suhtest $h/d_s= 0,4 \div 1$ võtame $h=0,5 \cdot d_s=0,5 \cdot 0,71=0,355 \text{ m}$.

Turbiinseguri takistustegur $\zeta_M = 8,4$ [Lisa 3, 37, lk.494].

Reynoldsi kriteerium segamisel:

$$Re = \frac{\rho \cdot n \cdot d_M^2}{\mu},$$

kus ρ – vedeliku tihedus, kg/m^3 ;

n – seguri pöörlemisagedus, s^{-1} ;

d_s – seguri läbimõõt, m;

μ – segatava keskkonna viskoossus, $(N \cdot s)/m^2 = Pa \cdot s = 0,00181$ [36]

$$Re = \frac{1352 \cdot 2,08 \cdot 0,71^2}{0,00181} = 783\,210 = 7,83 \cdot 10^5 > 10^4,$$

Turbulentsuse tingimus on täidetud.

Kontrollime deflektorvaheseinte paigaldamise vajadust, milleks määrame parameetrite Γ ja E väärtused valemist:

$$E = \frac{\Gamma}{\zeta_M z Re^{0,25}},$$

kus E – hüdraulilise takistuse parameeter,

Γ – geomeetrilise sarnasuse simpleks $\Gamma = 8H_{ved}/D + 1$ - vaba vedelikupinnaga aparaadi jaoks;

ζ_M – seguri takistustegur;

z – segurite arv ühel võllil, võtame $z=1$,

Re – Reynoldsi tsentrifugaalkriteerium.

Anuma täitumisteguri $\varphi=0,75$ korral on vedelikutaseme kõrgus $H_{ved}=2,08$ m [37, Lisa 2, lk.493].

$$\Gamma = \frac{8H_{ved}}{D} + 1,$$

$$\Gamma = \frac{8 \cdot 2,08}{2} + 1 = 9,32$$

Parameetri E väärtus:

$$E = \frac{9,32}{8,4 \cdot 1 \cdot 783\,210^{0,25}} = 0,037$$

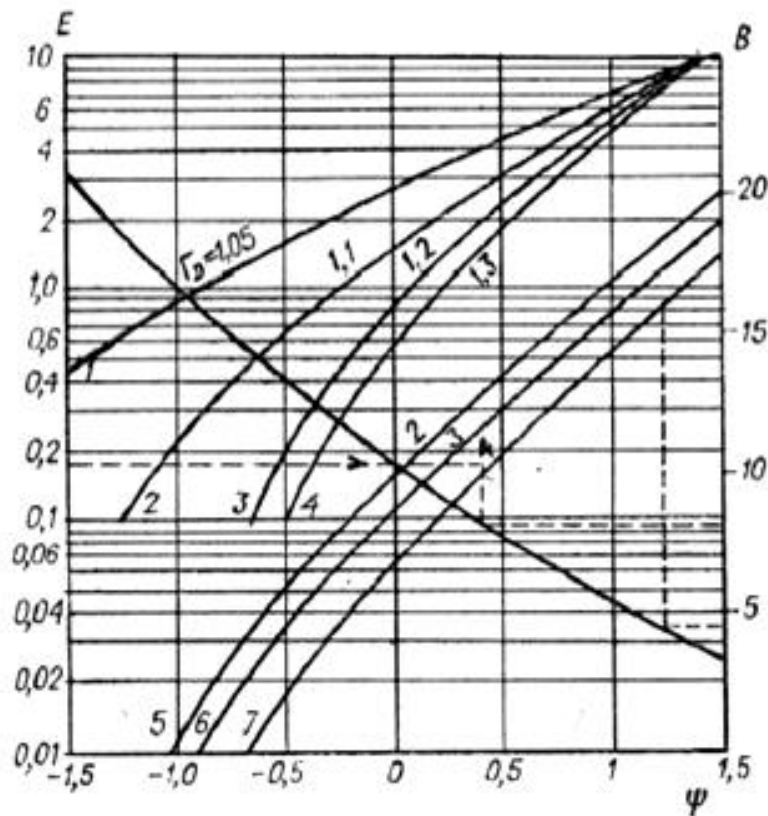


Рис. 10.5. Номограмма к расчёту глубины воронки:
 1, 2, 3, 4 – мешалки якорные и рамные;
 5, 6, 7 – мешалки трёхлопастные, двухлопастные и турбинные

Joonis 4.1. Nomogramm keerise sügavuse arvutuse juurde [37, lk.510]

Jooniselt 4.1. leiame keerise sügavuse parameetri $B=15$ ja valemi järgi keerise sügavuse anumast:

$$h_k = \frac{Bn^2 d_s^2}{2g},$$

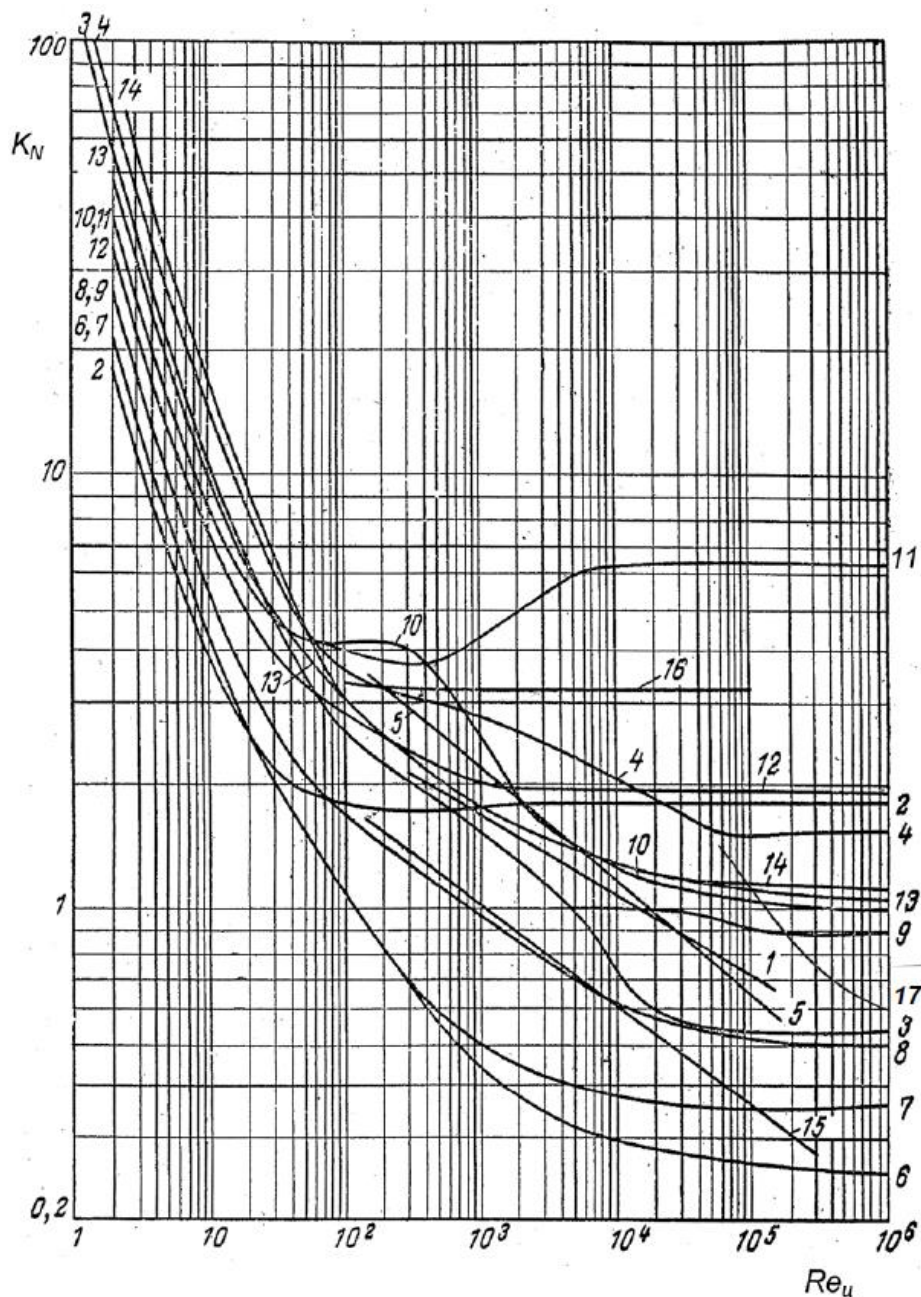
$$h_k = \frac{15 \cdot 2,08^2 \cdot 0,71^2}{2 \cdot 9,81} = 1,67$$

Vastavalt tingimusele on keerise piirsügavus võrdne

$$h_{\text{piir}} = H_{\text{ved}} - h = 2,08 - 0,355 = 1,725 \text{ m.}$$

Kuna $h_k < h_{\text{piir}}$, pole deflektorvaheseinte paigaldamine vajalik.

Segamisvõimsuse arvutamiseks leiame jooniselt 4.2. võimsuskriteeriumi suuruse Reynoldsi kriteeriumi väärtusel $Re = 7,83 \cdot 10^5$.



Joonis 4.2. Võimsuskriteeriumi K_N sõltuvus Reynoldsi kriteeriumist Re [37, lk.509]:

1 – kahelabaline; 2 – kahelabaline deflektoritega; 3 – lehtsegur; 4 – lehtsegur siugtoruga; 5 – kolmeastmeline labasegur (kuuelabaline); 6 – kruvisegur $S/ds = 1$ (kus S – kruvi samm; ds – seguri läbimõõt); 7 – kruvisegur $S/ds = 1$ ja deflektoritega; 8 – kruvisegur $S/ds = 2$; 9 – kruvisegur $S/ds = 2$ ja deflektoritega; **10 – lahtine turbiinsegur sirgete labadega**; 11 – lahtine turbiinsegur sirgete labade ja deflektoritega; 12 – lahtine turbiinsegur kaldlabade ja deflektoritega; 13 – kinnine turbiinsegur painutatud labadega; 14 – kinnine turbiinsegur juhtaparaadiga; 15 – ankursegur; 16 – ketassegur deflektoritega; 17 – Pfaudleri tööratas deflektoritega.

Seguri poolt reaktsioonikeskkonda viidav ja selles soojusena hajutatav võimsus määratakse valemiga:

$$N_S = K_N \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d_s^5,$$

kus K_N – võimsuskriteerium, mis sõltub segurist ja deflektorvaheseinte olemasolust;

ρ – segatava keskkonna tihedus, kg/m³;

$\rho=1352$ kg/m³

n – seguri pöörlemissagedus, pööret/s;

$n=2,08$ s⁻¹

d_s – seguri läbimõõt, m;

$d_s=0,71$ m.

Vastavalt joonisele 4.2. [37, lk.509] vastab vaheseinteta aparaadis olevale turbiinsegurile Reynoldsi kriteeriumi väärtusel $Re=7,8 \cdot 10^5$ võimsuskriteeriumi väärtus $K_N=1,1$.

Sellel juhul

$$N_S = 1,1 \cdot 1352 \cdot 2,08^3 \cdot 0,71^5 = 2414 \text{ W}$$

Tihendis hõõrdumisest tingitud võimsuskao arvutamiseks hindame võlli läbimõõtu valemiga:

$$d_v = C \cdot d_s,$$

kus $C=0,117$ turbiinsegurite jaoks [37, lk.512]

$$d_v = 0,117 \cdot 0,71 = 0,083 \text{ m}$$

Vastavalt Lisas 2 [37, lk.493] toodud soovitustega võtame $d_v = 95$ mm.

Otsatihendites hõõrdumise ületamiseks kulutatava võimsuse arvutame valemiga:

$$N_{tih} = 6020 d_v^{1,3} = 6020 \cdot 0,095^{1,3} = 282 \text{ W}.$$

Seguri ajami võimsus

Seguri ajami efektiivvõimsus eri liiki energiakulusid arvestades määratakse kui

$$N_e = \frac{(\prod_{i=1}^n k_i N + N_{tih})}{\eta},$$

Kus $\prod_{i=1}^n k_i = k_1 k_2 k_3 \dots k_n$ – erinevate faktorite mõju segamisvõimsusele arvestavate tegurite korrutis, sealhulgas:

k_1 – ülekoormustegur käivitamisel (kiirete segurite jaoks $k_1 = 1,0$, aeglaste jaoks $k_1=1,3$);

$k_2=(H_{ved}/D)^{0,5}$ – tegur, mis arvestab vedelikutaseme kõrguse H_{ved} ja aparadi läbimõõdu D suhet;

$$k_2 = (2,08/2)^{0,5} = 1,01;$$

$k_3 = 1,1-1,2$ – tegur, mis arvestab korpuse seinte karedust deflektorvaheseinteta aparaatides;

k_{4-7} – tegurid, mis arvestavad erinevate seadmete paiknemist aparadi sees (siugtoru – $k_4=2,0$, väljasurvetoru – $k_5 = 1,1-1,2$, termomeetri kest – $k_6 = 1,1$, nivoomõõtja – $k_7 = 1,1-1,2$ jms.).

N – vahetult vedeliku segamisele kuluv võimsus, mis arvutatakse valemiga, W ;

N_{tih} – hõõrdumise ületamiseks seguri võlli tihendis kuluv võimsus, W ;

η – ajami kasutegur ($\eta = 0,85 - 0,9$).

$$N_e = \frac{(1,0 \cdot 1,01 \cdot 1,0 \cdot 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 2414 + 282)}{0,9} = 6273 \text{ W}$$

Arvestades võimalikke ülekoormusi, toome elektrimootori võimsuse arvutamisel sisse varuteguri β :

$$N_{mootor} = \beta N_e = 1,1 \cdot 6273 = 6900 \text{ W} = 6,9 \text{ kW},$$

kus β – võimsusvaru tegur, sõltuvalt N_e suurusest võetakse võrdseks 1,1 (kui $N_e > 50$ kW) kuni 2,0 (kui $N_e < 1$ kW).

Paigaldame standardiseeritud mootorreduktori МПО1М-10 [38] väljundvõlli pöörlemissagedusega 125 pööret minutis (2,08 pööret sekundis) ja elektrimootori võimsusega 7,5 kW.

5. TÖÖDOKUMENTATSIOON APARAADITÖÖLISTE JAOKS

Autorile püstitati ülesanne kirjutada lahuse valmistamise juhend. Käesoleval ajal on see ettevõttes uus tehnoloogiline protsess, mistõttu vajalik dokumentatsioon puudub.

Põhidokumentatsioon hõlmab:

- aparaaditöölise tööjuhendit,
- aparaaditöölise tööohutusjuhendit,
- toorme käitlemisjuhendit,
- töökoha riskianalüüsi.

Dokumentatsiooni koostamisel juhindus autor järgmistest dokumentidest: Töötervishoiu ja tööohutuse seadus [39], Föderaalised normid ja eeskirjad tööstusohutuse valdkonnas „Üldised plahvatusohutuse eeskirjad tule- ja plahvatusohtlike keemia-, naftakeemia- ja naftatöötlemistehaste jaoks“ [40], Tehnilise toodangu tehase aparaaditöölise tüüpametijuhend [41], riskianalüüs (riskide hindamine ja ohjamine). [42]

5.1. Aparaditöölise tööjuhend

1. NH₄NO₃ lahuse valmistamine

- 1.1. Saada vahetuse meistritl ülesanne. Ülesandes peab olema märgitud valmistatava lahuse vajalik kontsentratsioon ja kogus.
- 1.2. Ühe portsjoni (batch) maksimumkogus sõltub koti kaalust: 1,25 t – 5 kotti; 1,0 t – 6 kotti.
- 1.3. Lülitada sisse üld- ja kohtventilatsioon maksimaalsel tootlikkusel.
- 1.4. Veenduda, et ventiilid V185, V186, V1106 ja V1107 on suletud. Avada V184, seejärel avada V185. Alustada paagi täitmist veega, milleks avada ventiil V1107 ja ventiil V1106. Kui vesi hakkab paaki sisse voolama, hakata avama auruventiili V1102, kontrollides vee temperatuuri (mitte ületada 90–95°C), ja täita paak R101A veega (võetakse tabelist). Vee temperatuuri hoida veeventiili V1106 ja auruventiili V1102 abil. Vee hulka kontrollida veemõõtja FT600 järgi. Pärast paagi veega täitumist sulgeda kõigepealt auruventiil V1102, seejärel veeventiil V1106. Veenduda, et vee alumine nivoo paagis on aktiveerunud.
- 1.5. Kirjutada vee kogus žurnaali.
- 1.6. Avada suruõhk.
- 1.7. Valmistada ette aur lahuse soojendamiseks. Avada V192 ja V193 kondensaadiliinil, seejärel avada aeglaselt V187 auruliinil.

- 1.8. Käivitada protsess. Selleks vajutada kontrolleri paneelil nuppu «Allow process».
- 1.9. Lülitada sisse segur R101A. Selleks vajutada kilbil nuppu «Start». Veenduda, et segur pöörleb. Mootori indikaator operaatori paneelil peab olema must.
- 1.10. Lülitada sisse solenoidklapid V188 ja V181, vajutades kilbil vastavaid nuppe «Open».
- 1.11. Soojendada vesi algtemperatuurini (vt. tabelit), kontrollides seda termomeetri TI-R101A järgi ja paneelil.
- 1.12. Toimetada Big-Bag kahvellaaduriga tigukonveieri punkri B101A juurde ja langetada see lahtilõikamiseks ja punkri täitmiseks nugadele.
- 1.13. Lülitada paneelilt või kohtjuhtpuldilt sisse tigukonveier H101A ja laadida granuleeritud ammooniumnitraat paaki. Ammooniumnitraadi laadimise ajal kontrollida lahuse temperatuuri, see ei tohi langeda alla antud kottide arvule vastava temperatuuri (tabel).
- 1.14. Pärast kõigi kottide sisselaadimist peab aktiveeruma ülemine nivoo ja sisse lülituma protsessi lõpuni jäänud aega loendav taimer.
- 1.15. Kirjutada kottide arv žurnaali.
- 1.16. Edasi reguleeritakse lahuse temperatuuri automaatselt regulaatori V189 abil, vastavalt etteantud temperatuurile (80 kraadi)
- 1.17. 80°C saavutamisel tuleb lahust segada vähemalt 10 minutit.
- 1.18. Protsessi lõppedes võtta proov kontsentratsiooni kontrollimiseks. Valmistada ette nõu ja võtta vajalik kogus lahust V110A-st. Korrigeerimise vajaduse korral lisada vett või AN.

2. Ammooniumnitraadi lahuse pumpamine hoiumahutitesse B101 ja B102

- 2.1. Kontrollida, et ventiilid V151, V152, V150, V143 ammooniumnitraadi laos on suletud ja ventiil V139 on keeratud vajalikku suunda (B101 või B102).
 - 2.2. Avada V195 ja V196 filtril F1109, ventiil V197 pumba survepoolel, ventiil V1110 (ANS laos) ja ventiil V199A, keerata ventiil V199 pumba P101A poole.
 - 2.3. Avada suruõhk V107A pumba P101A käivitamiseks.
 - 2.4. Pärast paagi R101A täielikku tühjendamist sulgeda V107A pumba P101A peatamiseks, sulgeda V195, V196 ja V199A.
- Pärast viimast pumpamist lasta pumbal vähemalt 5 minutit töötada, et torustik maksimaalselt tühjendada.

3. Pumba ja torustiku läbipesemine

- 3.1. Valada paaki 100–150 l vett.
- 3.2. Valmistada ette mahuti lahusejääkide kogumiseks.

- 3.3. Ühendada voolik heiteventiiliga V1108 pumba survepoole ja ventiili V107A vahel.
- 3.4. Tühjendada torustik lahuse jääkidest. Selleks ühendada auruvoolik ammoniumnitraadi lahuse vastuvõtutorustikuga, avada ventiil pumba V107A survepoolel ja heiteventiil V1108, avada aur ja puhuda torustikku läbi, kuni voolikust hakkab tulema auru.
- 3.5. Sulgeda aur ja V107A. Avada paagi V199A väljalaskeventiil ning pesta filter ja pump veega läbi. Selleks vähendada õhu rõhku reductori abil 4 baarini ja käivitada pump.
- 3.6. Pärast läbipesemist peatada pump ja sulgeda kõik ventiilid.

5.2. Aparaaditöölise tööohutusjuhend

1. Üldsätted

1.1. Lõhkeainete tootmise aparaaditöölise ametikohale võib tööle võtta vähemalt 18-aastase isiku, kes on läbinud tervisekontrolli ja sellesse tootmisse tööle lubatud, on läbinud väljaõppe ja ametipraktika ning tunneb lõhkeainete tootmise tehnoloogiat.

1.1.1. Aparaaditöölise kohustuste hulka kuulub:

- teostada käsitsitoiminguid operaatori või vahetuse meistri ülesandel;
- täita tööjuhendite nõudeid;
- kanda vahetuse meistrile või operaatorile viivitamatult ette avastatud seadmeriketest;
- täita saadud ülesandeid vastavalt tööjuhenditele, järgides tööohutuse eeskirju, ja kanda kohustuslikus korras meistrile või operaatorile ette ülesannete täitmisest;
- teha ainult ülesandeks tehtud tööd;
- töötada tehases väljastatud eririietuses.

1.1.2. Tööde teostamisel on KEELATUD:

- töötada rikkis või maandamata seadmetega;
- muuta seadmete käivitamise ja peatamise korda;
- rikkuda tehnoloogilise protsessi läbiviimise järjestust;
- kasutada kõlbmatuid kaitsevahendeid;
- kasutada mittekorrasolevaid tööriistu;
- avada ja remontida elektriseadmeid;
- puudutada ja sikutada elektrikaableid;
- pidurdada seadmete pöörlevaid osasid käte või esemetega;
- teostada töötavate seadmete remonditöid seadmeid peatamata;

- töötada kemikaalilahustega ilma kaitsevahenditeta (kummikindad, prillid, respiraator);
- ületada suruõhu rõhu maksimumtasemeid ammooniumnitraadi sulatise väljalaadimisel;
- teostada täidetud seadmete, torustike, sulgarmatuuri remonti;
- lahkuda töökohalt vahetuse meistri või operaatori loata;
- süüa töökohal.

1.1.3. Aparaaditöölise töö ohuteguriteks on:

- elektrilöök (seadmete remonditöödel);
- naha ja hingamisteede keemilised põletused;
- naha ja silmade termilised põletused;
- seadmete liikuvate osade poolt tekitatud vigastused;
- veoste ja taara poolt tekitatud vigastused;
- kõrgustest kukkumine.

2. Enne töö (vahetuse) algust

- 2.1. Enne vahetuse algust on KOHUSTUSLIK panna selga eririietus, jalga kaitsejalanõud, pähe kiiver, ette kaitseprillid.
- 2.2. Enne vahetuse algust kontrollida seadmete ja töökoha seisukorda.
- 2.3. Kõiki kemikaalidega seotud töid teostada ainult kemikaalikindlates kaitsekinnastes (nitriil- või kummikindad) ja respiraatoreid kasutades (klass FFP2 ja FFP3).

3. Töö ajal

Keemiatööstuse aparaaditöölise teostab järgmisi töid:

- 3.1. Ammooniumnitraadi sulatise saamise protsessi läbiviimine, lahuse pumpamine hoiumahutitesse, pumba ja torustiku läbipesemine.
- Järgides nende ohutuse tagamiseks järgmisi tööohutuse nõudeid:
- 3.2. Toorme sisselaadimise graafiku järgimine.
 - 3.3. Ammooniumnitraadi lahuse saagisenormide järgimine.
 - 3.4. Kasutada ohutu töö jaoks vajalikke töökorras seadiseid, tööriistu, eririietust, erijalanõusid ja teisi isikukaitsevahendeid.
 - 3.5. Kasutada tööriistu, seadiseid, materjale, isikukaitsevahendeid ainult nende tööde jaoks, milleks need on ette nähtud.
 - 3.6. Teostada ainult seda tööd, mille tegemiseks on läbitud väljaõpe ja tööohutusalane juhendamine ning millele on lubatud vahetu juhi poolt.
 - 3.7. Järgida ruumis ja territooriumil liikumise eeskirju, kasutada kehtestatud liikumisteid.

- 3.8. Hoida töökoht puhtana, õigeaegselt eemaldada põrandalt mahapuistatud (mahavalgunud) tooted ja muud esemed.
- 3.9. Täita oma otseseid kohustusi tähelepanelikult, keskendumist kaotamata ja teisi häirimata.
- 3.10. Jälgida töökohta piisavat valgustatust, valgustite töökorras olekut ja puhtust. Pidada meeles, et valgustite paigaldamist ja puhastamist, läbipõlenud lampide vahetamist ja elektrivõrkude remonti peab teostama elektrikpersonal.
- 3.11. Töötada ainult töökorras seadmetega, mis on varustatud kõigi vajalike ja nõuetekohaselt toimivate kaitseseadmetega, kontrollmõõteriistade ja reguleerimiseadistega, signalisatsioonide ja blokeeringutega.
- 3.12. Võimaliku ohu välistamiseks ei tohi lasta lahusel kuumeneda üle lubatud maksimumtemperatuuri. Selleks on ette nähtud blokeeringud, mis sulgevad automaatselt segisti soojendusauru etteande.
- 3.13. Ei tohi võimaldada lahuse lekkimist. Lahuse sattumine nahale põhjustab termilisi ja keemilisi põletusi. Töötada võib, kui kontroll-, automaatika, signalisatsiooni- ja blokeeringuseadised on töökorras. Ventilatsioon peab pidevalt korralikult töötama.
- 3.14. Soojusvahetuse protsessis pole lubatud kasutada soojuskandjaid, mis keemilisel vastastiktoimel tehnoloogilise keskkonnaga moodustavad plahvatusohtlikke aineid.
- 3.15. Tuleb rakendada meetmeid, mis välistavad täielikult protsessi reglementeeritud temperatuuri ületamise ja ammooniumnitraadi termilise stabiilsuse vähenemise.
- 3.16. Pärast peatamist ja tühjendamist ning enne käivitust aurutatakse sulatise torustikud läbi. Aurutusvoolikud tuleb spetsiaalsete klambrite abil kindlalt tutsidele kinnitada. Ei või kasutada kulunud või mitmest tükist koostatud voolikuid ega kinnitada voolikuid traadiga klambrite asemel.
- 3.17. Kristalliseerunud materjali sisaldavaid aparate ja torustikke läbiaurutav tööline peab kandma eririietust, kaitseprille/visiiri, spetsiaalseid kindaid. Prille/visiiri ja kindaid tuleb kasutada ka proovivõtul.

4. Ohu või avariolukorra korral

- 4.1 Avariolukorra tekkimise või seadmete katkimineku korral tuleb töö viivitamatult lõpetada ja teavitada sellest vahetuse meistrit.
- 4.2 Avarii korral tegutseda vastavalt „Avariide likvideerimise juhendile“.

5. Pärast töö (vahetuse) lõppu

- 5.1. Lõpetada kõik jooksvad tööd.
- 5.2. Koristada töökoht.
- 5.3. Anda meistrile täielik informatsioon teostatava töö ja seadmete seisukorra kohta.

- 5.4. Kõrvaldada meistri poolt osutatud puudused.
- 5.5. Kanda vahetuse meistrile ette kõigist vahetuse kestel tehtud tähelepanekutest ja tekkinud riketest, puuduste kõrvaldamisest.

6. Vastutus

Aparaaditööline vastutab:

- töö eest mittekorrasolevate seadmetega;
- tööjuhendite mittejärgimise ja mittetäitmise eest;
- tööohutusjuhendite rikkumise eest;
- seadmete eksploatatsiooni eeskirjade rikkumise eest;
- reagentide, materjalide ja valmistoodangu kaotamise eest;
- töökoha sanitaarseisundi eest;
- tekitatud keskkonnakahju eest;
- käesoleva juhendi ja saadud juhiste rikkumise eest distsiplinaar-, haldus- või kriminaalkorras sõltuvalt rikkumise tagajärgedest.

5.3. Tooraine ohutu käitlemine

Dokumentatsiooni koostamisel võttis autor arvesse tarnijate Yara AB Industrial ja Carl Roth GmbH granuleeritud ammooniumnitraadi ohutuskaidid [43], [44].

Segu identifitseerimine: **Ammooniumnitraat** (granuleeritud NH_4NO_3)

Ohutude identifitseerimine:

CASi number	6484-52-2
EÜ number	229-347-8
Ohuklass	5.1
Ohu tunnusnumber	50

Ohulaused

- H272 Võib soodustada põlemist; oksüdeerija.
- H319 Põhjustab tugevat silmade ärritust.

Hoiatuslaused

Hoiatuslaused - ennetamine

- P210 Hoida eemal soojusallikast, kuumadest pindadest, sädemetest, leekidest ja muudest süüteallikatest. Mitte suitsetada.
- P220 Hoida eemal süttivast materjalist P280 Kanda kaitsekindaid/kaitseprille.

Esmaabimeetmed:

Üldmärkused: Saastunud rõivad seljast võtta.

Kokkupuude silmadega: Pesta rohke voolava veega. Kontrollida kontaktläätsede olemasolu ja need eemaldada. Kui ärritus püsib, tuleb kutsuda arstiabi.

Sissehingamine: Sissehingamise korral viia värske õhu kätte. Tulekahju korral võib toote laguproduktide sissehingamise sümptoomid ilmnedagi hiljem. Halva enesetunde korral pöörduda arsti poole. Kannatanut tuleb pidada arstiku järelvalve all 48 tundi.

Naha kokkupuude: Pesta seebi ja veega. Hankida arstiabi kui ärritus areneb.

Allaneelamine: Loputada suud veega. Kui materjali alla neelati ja kannatanu on teadvusel, anda talle väikestes kogustes vett juua. Mitte esile kutsuda oksendamist välja arvatud medtöötaja nõudel. Halva enesetunde korral pöörduda arsti poole.

Esmaabitöötajate kaitse: Ei tohi ette võtta tegevusi, millega on seotud isikurisk või ilma sobiva väljaõppeta.

Isiklikud kaitsemeetmed (isikukaitsevahendid):

Hügieenimeetmed: käepärast peavad olema pesemiskoht ning vesi silmade ja naha puhastamiseks.

Silmade/näo kaitsmine: Kanda kinnitatud standardile vastavaid kaitseprille, kui riskianalüüs näitab, et see on vajalik kokkupuute vältimiseks vedelikupritsmete, udude, gaaside ja tolmuudega.

Naha kaitsmine/Käte kaitsmine: kanda standardinõuetele vastavaid keemikaalikindlaid, mitteläbilaskvaid kaitsekindaid kogu kemikaalide käitlemise aja jooksul, kui riskianalüüs näitab selle vajadust.

Keha kaitse: isikukaitsevahendid tuleks valida vastavalt tööülesannetele ning nendega kaasnevatele riskidele.

Tulekustutusmeetmed:

Sobivad kustutusvahendid: Kustutamiseks kasutada üleujutavas koguses vett.

Sobimatud kustutusvahendid: MITTE kasutada kuiva kemikaali või vahtu või lämmatada tuli kuiva liiva.

Käitlemine ja ladustamine

- Ohutu käitlemise tagamiseks vajalikud ettevaatusabinõud:

Kaitsemeetmed: Kanda asjakohaseid isikukaitsevahendeid. Mitte allaneelata. Vältida kontakti silmade, naha ja rõivastega. Hoida originaalpakendis või tunnustatud muust sobivast materjalist pakendis ning hoida pakend kasutusevahelisel ajal tihedalt

suletuna. Hoida eemal riietusest, kokkusobimatutest ja süttivatest materjalidest. Hoida eemal kuumusest. Tühjades konteinerites on tootejääke, mis võivad olla ohtlikud. Mahutit korduvalt mitte kasutada.

Nõuanne üldise tööstushügieeni kohta: Piirkonnas, kus seda materjali käideldakse, hoitakse ja töödeldakse, on söömine, joomine ja suitsetamine keelatud. Töötajad peavad pesema nägu ja käsi enne söömist, joomist ja suitsetamist. Eemaldada saastunud riietus ja kaitsevarustus enne söömisalasse sisenemist.

- *Ohutu ladustamise tingimused, sealhulgas sobimatud ladustamistingimused:*

Soovitused: Hoida vastavuses kohalike eeskirjadega. Hoida originaalpakendis, kaitstuna päikesekiirguse eest, kuivas, jahedas ja hästiventileeritud kohas, eemal mittekokkusobivatest materjalidest, toiduainetest ja joogist. Hoida redutseerivatest ainetest ja põlevast materjalist eraldi. Hoida pakend kindlalt suletuna ja pitseerituna, kuni ollakse valmis kasutama. Avatud pakendid tuleb hoolikalt uuesti sulgeda ja lekke vältimiseks hoida püstiasendis. Mitte panna märgistamata konteinerite sisse. Keskkonnasaaste vältimiseks kasutada sobivat pakendit. Hoida eemale: orgaanilised ained, õli ja rasv.

Ökoloogiline teave:

Ei klassifitseerita ohtlikuks vesikeskkonnale. Aine on kergesti biolagunev. Segu asjakohased ained on kergesti biolagunevad. Vältida saaste levikut äravoolutorudes, pinna- ja põhjavees.

5.4. Töökoha riskianalüüs

5.4.1. Ohutegurite iseloomustus:

Füüsikalised tegurid – mikrokliima, valgustatus, müra, töö kõrgustes, libedad pinnad, elektriseadmed, kuumad pinnad.

Füsioloogilised tegurid – füüsiline töö, käelabade asend, jalgade asend, raskuste tõstmine.

Keemilised tegurid – sööbivad ained, ärritavad ained, mürgised ained, tolmu.

Psühholoogilised tegurid – vahetustega töö, vastutus, stressid.

Bioloogilised tegurid – putukad, maod.

Tabel 5.1. Riskitaseme määramine

Tõenäosus	Väärrib tähelepanu, tähtis (väheohtlik)	Väga tähtis, tõsine juhtum (ohtlik)	Äärmiselt tõsine juhtum (väga ohtlik)	Katastroofiline juhtum
Peaaegu kindlasti	II Talutav risk	I Vastuvõetamatu risk	I Vastuvõetamatu risk	I Vastuvõetamatu risk
Tõenäoline	III Vastuvõetav risk	II Talutav risk	I Vastuvõetamatu risk	I Vastuvõetamatu risk
Ebatõenäoline	IV Väike risk	III Vastuvõetav risk	II Talutav risk	I Vastuvõetamatu risk
Väga ebatõenäoline	IV Väike risk	IV Väike risk	III Vastuvõetav risk	II Talutav risk
Äärmiselt ebatõenäoline	IV Väike risk	IV Väike risk	IV Väike risk	III Vastuvõetav risk

I – vastuvõetamatu risk. Viivitamatult – ühe päeva või maksimaalselt ühe kuu jooksul – tuleb rakendada meetmed riski vähendamiseks.

II – talutav risk. Kiireloomuline riski vähendamine pole vajalik. Võtta tarvitusele meetmed riski vähendamiseks ühe aasta jooksul.

III – vastuvõetav risk. Riski edasine vähendamine pole otstarbekas. Kontrollida aasta jooksul, kas rakendada meetmeid või mitte.

IV – väike risk. Riski edasine vähendamine pole otstarbekas ega põhjendatud.

5.4.2. Aparaaditöölise töökoha riskianalüüs

Töökeskkonna kirjeldus:

Põhitöökoht – tootmistsehh, tootmistsehhiga külgnev territoorium.

Töö iseloom – kõigi keemiliste komponentide sisselaadimise alaste ettevalmistus-, põhi- ja lõppoperatsioonide teostamine ammooniumnitraadi sulatise valmistamisel.

Töögraafik – 5 tööpäeva nädalas.

Peamised kasutatavad seadmed – sissetõmmatava teraga nuga, kaal, voolikud, virnastaja.

Tabel 5.2. Aparaditöölise töökoha riskianalüüs

Ohutegurid	Võimaliku riski iseloom	Riski-hinnang	Riski vähendamisele suunatud meetmed	Isikukaitsevahendid
		I-V		
Füüsikalised tegurid				
Valgustatud	Ebapiisav valgustus võib põhjustada nägemise halvenemise	IV	Täiendav kohtvalgustus, rivist välja läinud lampide õigeaegne asendamine	
Mikrokliima – tootmissaal Temperatuur + 18-24°C, niiskus 40-60%, õhu liikumiskiirus 0,1-0,2 m/s	Värava toorme ruumi toimetamiseks ülestõstmisel on külmal aastaajal võimalik tõmbetuul	IV	Õhkküte (soojakardin), värava avamisel ühelt poolt hoida teiselt poolt värav suletuna	Soe kaitseriietus
Töö kõrgustes	Trepilt/redelilt kukkumise oht seadmete töö kontrollimisel	III	Piirded treppidel/redelitel, täiendav juhendamine	Kaitsepiirded
Kuumad pinnad	Võimalik käelabade põletus seadmete kuumade pindade puudutamisel	III	Sildid „Ettevaatust! Kuum pind“ kuuma pinnaga seadmetel. Täiendav juhendamine.	Kaitsekindad, põletusvastane aerosool
Elektriseadmed	Elektrilöök	IV	Iga-aastane juhendamine, kaitsevad seadmed, seadmete maandus	
Teravad esemed	Võimalik sisselõikamine löiketööriistaga (nuga) töötamisel	IV	Sissetõmmatava teraga nugade kasutamine	Lõikekindlad kindad
Libe pind	Kukkumine talvisel ajal õues liikudes	IV	Libisemistõkete kandmine ettevõtte territooriumil talvisel ajal	Libisemistõkked jalanõudele
	Võimalik kukkumine tootmistehhis õuest niiskuse sissesattumise tõttu	IV	Põrandakatte asendamine mittelibedaga. Märgid: „Ettevaatust! Libe pind“	S3 kaitseklassi tööjalanõud
Füsioloogilised tegurid (ergonoomika)				
Raskuste tõstmine	Kottide teisaldamine komponentide sisselaadimisel	IV	Telferi kasutamine	Telferi kasutamine

Tabeli 5.2. järg

Ohutegurid	Võimaliku riski iseloom	Riski-hinnang	Riski vähendamisele suunatud meetmed	Isikukaitsevahendid
		I-V		
Keemilised tegurid				
Ärritavad ained (NH ₄ NO ₃) H272, H319	Aurude sissehingamise oht komponentide lahusesse laadimisel ja lahuseproovi võtmisel	III	Automaatse doseerimissüsteemi kasutamine. Töötava tõmbeventilatsiooni olemasolu.	Kaitseriietuse ja -jalanõude, kemikaalikindlate kaitsekinnaste, hingamisteede kaitsevahendite, kaitseprillide kasutamine
Tolm (NH ₄ NO ₃)	Tolmu sissehingamise oht komponentide sisselaadimisel	IV	Kemikaalide käitlemise alane juhendamine. Hoiatusmärgid. Seadmete sõlmede hermeetilisus.	Respiraatorid, kaitsekinnaste, kaitseprillid
Bioloogilised tegurid				
Putukad	Võimalik entsefaliiti edasikandva puugi hammustus ettevõtte territooriumil. Lendavad verd imevad putukad suveperioodil.	IV	Õigeaegne vabatahtlik vaksineerimine vastunäidustuste puudumise korral.	Putukapüüdja-lambid, repellent, kinnine kaitseriietus
Maod	Maohammustuse risk ettevõtte territooriumil.	IV	Ettevaatus. Täiendav juhendamine.	Kõrged kaitsejalanõud.
Psühholoogilised tegurid				
Suur vastutus. Töölased suhted.	Närvivapustus, vererõhu tõus.	IV	Tähelepanelikkus, tasakaalukad suhted töökaaslastega	Õigeaegne tervisekontroll, psühholoogi soovitused

Riskitase – **IV**, koormus – mõõdukas.

5.4.3. Aparaaditöölisele soovitatavad isikukaitsevahendid

Tabel 5.3. Kehaosad ja nende jaoks ette nähtud isikukaitsevahendid.

Kehaosad	Kaitsevahendi nimetus	
Keha	Puuvillane poolkombinesoon/püksid	X
	Puuvillane jope	X
	Puuvillane kombinesoon	
	Soe jope	X
	Soe poolkombinesoon	X
	Soe kombinesoon	
	Soe aluspesu	X
	Kummipõll	
	Vihmakeep	X
	Helkurvest	X
	Jalad	Kõrge säärega poolsaapad S3
Lühikese säärega soojad saapad		X
Kõrge säärega soojad saapad S3		
Kummisaapad S3/S5		X
Sööklajalanõud S1/S3		
Pea	Kaitsekiiver	X
	Soe müts kiivri alla	X
	Kaitsega soe müts kiivri alla	
Käed	Puuvillased mikropunktidega kindad	X
	Novatril tüüpi nitrilkindad	X
	Showa tüüpi pikad kemikaalikindlad kindad	
	Showa tüüpi kemikaalikindlad soojad kindad	
	Fikseeritava randmega nahkkindad	
	Soojustamata seemisnahast kindad	X
	Soojad nahkkindad	X
	Õhukesed nitrilkindad	
	Lateksist majapidamiskindad	
	Lõikekindlad kindad	X
Dielektrilised kindad kuni 1000 V		
Silmad/ nägu	Kaitseprillid	X
	Tumedate klaasidega kaitseprillid	
	Kaitsevisiir	X
Hingamis- elundid	Respiraator FFP1/2	X
	FFP3 klassi respiraator	X
	Poolmask 3M vahetatavate filtritega	
Kuulmis- elundid	Kõrvatropid	
	Kõrvaklapid	
Üldine	Libisemistõkked jalanõudele	X
	Kaitsekreem kätele	X

KOKKUVÕTE

Hankiva tööstuse iseloomulikuks iseärasuseks maailmas on ammooniumnitraadil põhinevate tööstuslike lõhkeainete tarbimise pidev kasv. Ammooniumnitraatlõhkeained on maailmas kõige kättesaadavamad ja levinumad. Nõudlus granuleeritud ammooniumnitraadi järele on seletatav selle universaalsete omadustega (kasutatakse erinevates tegevusvaldkondades). Kõrgendatud nõudlus antud toodangu järele tingib lõhkeaineid tootvate ettevõtete häireteta töö vajaduse.

Seoses sellega, et ettevõtte on püstitanud endale ülesande mitte sõltuda ammooniumnitraadi sulatise tarnetest, vaid omada võimalust iseseisvalt lahustada granuleeritud ammooniumnitraati, formuleeriti diplomitöö eesmärk ja täideti ülesanded selle saavutamiseks.

Lõputöös vaadeldi ja analüüsiti ammooniumnitraadil põhinevate segude peamisi füüsikalisi-keemilisi ja lõhkeomadusi. Jõuti järeldusele, et ammooniumnitraat on lõhkeainete turul väga nõutud ning on paljude lõhkeainete asendamatuks koostisosaks.

Kirjeldati ammooniumnitraadi lahustamise tehnoloogilist protsessi ning põhiaparaati ja selle komplektatsiooni.

Teostati materjali- ja soojusbilansi tehnoloogilised arvutused. Tehti turbiinseguri arvutus ja saadud andmete alusel valiti sobiv mootorredukti tütüp.

Töötati välja vajalik dokumentatsioon lahust valmistava aparaaditöölise jaoks, käsitleti ja analüüsiti tööprotsessi riske. Soovitati meetmed riskide kõrvaldamiseks ja isikukaitsevahendid.

Seega on kõik püstitatud ülesanded täies mahus lahendatud, eesmärk on saavutatud – on välja töötatud ammooniumnitraadi lahustamise tehnoloogiline protsess lõhkeainete tootmises.

SUMMARY

Currently, for blasting operations many countries prefer to use industrial explosives with ammonium nitrate as the main component in both solid and liquid states.

This widespread use of ammonium nitrate is due to its good oxidizing properties, which plays a significant role in the production of industrial explosives. Considering that ammonium nitrate is also a fertilizer, it is safe to say that the use of these industrial explosives causes minimal harm to the environment, compared to traditional (dynamite, TNT, etc.) explosives.

Industries that use ammonium nitrate as a raw material for the production of explosives are the second largest segment of its consumption after agriculture.

Today in Estonia, using explosives based on ammonium nitrate, minerals such as oil shale (kukersite) and limestone are mined. Mining is carried out by open-pit (quarry) and underground (mines) methods. Estonia has its own explosives factory, which almost completely covers the needs for explosives for the mining industry. For the production of ammonium nitrate explosives, liquid ammonium nitrate is mainly used. The liquid ammonium nitrate is supplied for production in special isothermal tanks (with a capacity of 25 tons), with temperature maintenance systems (125-140 °C) and the possibility of heating the solution to avoid crystallization. In Estonia, the melted solution of ammonium nitrate of a given concentration is not produced; the nearest production facilities are located in Lithuania, Finland and Russia. The delivery cost of the melted ammonium nitrate is quite high.

At the same time, it is possible to supply granular ammonium nitrate in soft containers (big-bags). Delivery can be carried out both by road and rail or sea transport. This significantly reduces the cost of delivery. In addition, solid ammonium nitrate can be stored in large amounts for a long time. The storage of the melted ammonium nitrate requires energy. It is necessary to maintain the temperature of 125 ° C in storage tanks.

In this regard, it is preferred to produce a melted ammonium nitrate from a granular product right in a factory.

The purpose of the thesis is to develop a technological process for obtaining a melt of ammonium nitrate, which later will be used for the explosives manufacturing.

Based on this, a number of tasks are required:

- study the properties of ammonium nitrate and explosives based on it,
- develop a technological process for the ammonium nitrate dissolving,
- make the necessary technological calculations,

- develop working instructions for the apparatus workers,
- analyze risks and develop safety requirements.

Structurally, the thesis consists of an introduction, a theoretical part, an overview of the world market in the ammonium nitrate based explosives production and consumption field, technological, calculations parts, created working documentation for an operator and a conclusion.

In the diploma work, the main physical, chemical and explosive properties of ammonium nitrate based mixtures are considered and analyzed. It is concluded that ammonium nitrate is in great demand on the explosives market and an irreplaceable component of many explosives.

The technological process of dissolution of ammonium nitrate, as well as the main apparatus and its equipment, are described.

Technological calculations of material and heat balances have been carried out. The turbine agitator was calculated and based on the data obtained, a suitable type of geared motor was selected.

The necessary working documentation for the solution preparation operator was created, the working process risks were considered and analyzed. Made recommendations about the personal protective equipment and risks avoidance.

Thus, all the tasks have been solved in full, the goal has been achieved - a technological process for dissolving ammonium nitrate in the production of explosives has been developed.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Raido Taalman. Juhendmaterjal erinevate lõhkeainete tuvastamiseks. Lõputöö. Tallinn: Sisekaitseakadeemia Päästekolledž, 2008.
2. T. Tomberg, K. Veersalu. Lõhketööd I. Mäenduslikud ja enamlevinud lõhketööd. Loengukonspekt. Tallinn, 2017 [Online] https://portal-int.taltech.ee/sites/default/files/2020-06/LOHKETOOD_LOENGUKONSPEKT.pdf (26.03.2021).
3. Б.Н.Кутузов Взрывные работы. Учебник для техникумов. Издательство Недра, 1988.
4. М.И.Рогатко. Исследование влияния состава окислителя на свойства промышленных взрывчатых веществ. [Online] <http://masters.donntu.org/2012/feht/rogatko/diss/index.htm> (14.04.2021).
5. М.Е. Позин. Технология минеральных солей (удобрений, пестицидов, промышленных солей, окислов и кислот), часть 2, 4-е издание исправленное. Издательство Химия, Ленинградское отделение, 1974.
6. В.В.Матвейчук, В.П.Чурсалов. Взрывные работы. Академический проект 2002, Смесеые взрывчатые вещества [Online] <http://masters.donntu.org/2007/feht/bida/library/file10.htm> (14.04.2021).
7. И.Д. Фотинич. Производство азотных удобрений. Государственное научно-техническое издательство химической литературы. Москва, 1956.
8. Н.М.Жаворонков, Е. А. Мельников. Справочник азотчика, издание 2-е переработанное. Москва, 1987.
9. О.Б.Литовка. Исследование физико-химических и взрывчатых свойств аммиачной селитры и смесей на её основе. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. Москва, 2010 [Online] <https://www.dissercat.com/content/issledovanie-fiziko-khimicheskikh-i-vzryvchatykh-svoistv-ammiachnoi-selitry-i-smesei-na-ee-o> (14.04.2021).
10. Ammonium nitrate explosion hazards. Article in Podzemni Radovi. January, 2015 [Online] [\(PDF\) Ammonium nitrate explosion hazards \(researchgate.net\)](#) (14.04.2021).
11. Межгосударственный стандарт. Вещества взрывчатые промышленные. Аммонит №БЖВ и Аммонал водоустойчивые. ИПК Издательство стандартов, Москва, 2004 [Online] <https://gostexpert.ru/gost/gost-21984-76> (14.04.2021).
12. В.К.Шехурдин, В.И.Несмотряев. Горное дело. Издательство Недра, 1987. [Online] https://www.sinref.ru/000_uchebniki/01701gornoe_delo/006_gornoe%20delo_shehurdin_1987/032.htm (14.04.2021).

13. Межгосударственный стандарт. Вещества взрывчатые промышленные. Граммониты. ИПК Издательство стандартов, Москва, 2004 [Online] <https://gostexpert.ru/data/files/21988-76/dfcdf1790577527c4ef798793da9def.pdf> (14.04.2021).
14. Межгосударственный стандарт. Вещества взрывчатые промышленные. Аммонал скальный №1. ИПК Издательство стандартов, Москва, 2004 [Online] <https://gostexpert.ru/data/files/2198576/d3e17bcff5f620f15d42d00b20d91061.pdf> (14.04.2021).
15. Межгосударственный стандарт. Вещества взрывчатые промышленные. Гранулиты. ИПК Издательство стандартов, Москва, 2004 [Online] <https://gostexpert.ru/gost/gost-21987-76/download> (14.04.2021).
16. С.Д.Викторов, А.А.Вахотин, Н.Г.Демченко, Н.Н.Казаков. Водосодержащее взрывчатое вещество. Патентный поиск. [Online] [Водосодержащее взрывчатое вещество \(findpatent.ru\)](http://findpatent.ru) (14.04.2021).
17. Andres Talvari. Ohtlikud ained. Teine täiendatud trükk. Sisekaitseakadeemia, Tallinn, 2006 [Online] <http://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/16027/9789985671436.pdf> (14.04.2021).
18. Orica. Safety data sheet. Australia, issued 04/10/2017 [Online] <https://msds.orica.com/pdf/shess-en-mtr-UGHS-000000009246.pdf> (14.04.2021).
19. Orica. Safety data sheet. Australia, revision date 21/Aug/2020 [Online] <https://msds.orica.com/pdf/shess-en-mtr-ughs-000022013201.pdf> (14.04.2021).
20. Orica. Material Safety data sheet. Australia, issued 19/09/2007 [Online] http://www.oricaminingservices.com/cn/en/product/products_and_services/packaged_explosives/page_packaged_explosives/senatel_powerfrag/455 (14.04.2021).
21. Orica. Material Safety data sheet. Australia, issued 19/09/2007 [Online] http://www.oricaminingservices.com/cn/en/product/products_and_services/bulk_systems/page_bulk_systems/subtek_charge/57 (14.04.2021).
22. Е.А.Петров. Технология смесевых энергонасыщенных материалов. Бийск, 2014 [Online] <http://irbis.bti.secna.ru/doc4/2014-90.pdf> (14.04.2021).
23. Ю.Г.Варемеев. Аммиачноселитренные взрывчатые вещества [Online] vccb-1-0-1129 (14.04.2021).
24. В.А.Соснин, С.Э.Межерицкий, Ю.Г.Печенев. Состояние и перспективы развития промышленных взрывчатых веществ в России и зарубежом. АО

- ГосНИИ Кристалл, Дзержинск, журнал "Горная Промышленность" №5 (135) 2017 [Online] <https://mining-media.ru/ru/article/prommat/13009-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-promyshlennykh-vzryvchatykh-veshchestv-v-rossii-i-zarubezhom> (14.04.2021).
25. Ammonium nitrate (AN)-production. World data atlas. [Online] <https://knoema.com/atlas/topics/Agriculture/Fertilizers-Production-Quantity-in-Nutrients/Ammonium-nitrate-production> (14.04.2021).
26. В.В.Медведев. Анализ маркетинговых исследований рынка пористой аммиачной селитры и оценка перспектив по наращиванию объёмов производства. Ползуновский вестник №1, 2013 [Online] http://elib.altstu.ru/journals/Files/pv2013_01/pdf/196medvedev.pdf (14.04.2021).
27. Mordor Intelligence, Ammonium Nitrate Market - Growth Rate by Region, 2019-2024 [Online] <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/ammonium-nitrate-market> (14.04.2021).
28. Ammonium nitrate. HIS Markit. Chemical Economics Handbook, October, 2019 [Online] <https://ihsmarkit.com/products/ammonium-nitrate-chemical-economics-handbook.html> (14.04.2021).
29. В.Н.Бобылев. Физические свойства наиболее известных веществ. Москва, 2003.
30. В.И.Кикоин. Таблицы физических величин. Справочник, 1976.
31. В.М.Олевский. Технология аммиачной селитры. Издательство Химия, Москва, 1978.
32. К.П.Мищенко, А.А.Равдель. Краткий справочник физико-химических величин. Издательство Химия, 1974. [Online] <http://rushim.ru/books/spravochniki/mishenko.pdf> (14.04.2021).
33. Технические таблицы. Свойства насыщенного водяного пара от 0 до 100 бар. Давление насыщенного. Температура кипения (конденсации). Плотность. Объемная масса. Удельная энтальпия воды и пара. Удельная теплота парообразования. Теплоемкость и вязкость пара. [Online] <https://tehtab.ru/guide/guidemedias/guidesteam/guidesteamproperties/> (15.04.2021).
34. М.П.Вукалович. Термодинамические свойства воды и водяного пара. Таблицы и диаграммы. 5-е издание, Москва, 1955.
35. М.А.Миниович, С.Г.Голудова, Е.Я.Мельников. Справочник азотчика. Том 2. Издательство Химия, Москва, 1969.

36. Н.М.Жаворонков, Е.Я.Мельников. Справочник азотчика. Издание 2-е, переработанное. Издательство Химия, Москва, 1987.
37. В.М.Ульянов, А.А.Сидягин, В.А.Диков. Технологические расчёты машин и аппаратов химических и нефтеперерабатывающих производств. Примеры и задачи. Нижний Новгород, 2015.
38. Уралредуктор. Каталог мотор-редукторов [Online] <https://www.uralreduktor.ru/katalog/standart/89> (15.04.2021).
39. Riigi Teataja. Töötervishoiu ja tööohutuse seadus [Online] <https://www.riigiteataja.ee/akt/12883561> (25.04.2021).
40. Википедия. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств [Online] [Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств — Википедия \(wikipedia.org\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Общие_правила_взрывобезопасности_для_взрывопожароопасных_химических,_нефтехимических_и_нефтеперерабатывающих_производств) (25.04.2021).
41. Должностная инструкция аппаратчика производства технической продукции [Online] [Должностная инструкция аппаратчика производства технической продукции 2021 года | HR-portal](#). (25.04.2021).
42. Tööelu. Ohutegurid töökeskkonnas. [Online] <https://www.tooelu.ee/et/Tooandjale/Tookeskkond/Tookeskkonna-korraldus/riskianalyys-riskide-hindamine-ja-ohjamine/ohutegurid-tookeskkonnas> (25.04.2021).
43. Safety data sheet UltrAN80. Yara AB Industrial [Online] <https://www.oger.is/static/files/Sprengiefni/Oryggens/2017/ultran-80.pdf> (25.04.2021).
44. Ammooniumnitraat. Ohutuskaart. Carl Roth GmbH + Co KG [Online] [Ohutuskaart: Ammooniumnitraat \(carlroth.com\)](#) (25.04.2021).
45. Karl Paks. Lõhkeained, pürotehnilised ja süütesegud. Lõhkamistöõde ohutushoiueeskirjad. Tallinn, 2000.

Lisa 1 Arvutustabel komponentide laadimiseks ammooniumnitraadi lahuse valmistamiseks

Antud tabel on võetud ettevõtte dokumentatsioonist.

Кол-во мешков, 1250 кг	NH ₄ NO ₃ , кг	Вода кг,	Конц -я, %	Точка кр-ции °С	Точка кипения, °С	Масса раствора, кг	Нагрев, °С
1	1250	1500	45,5	-12	107,2	2750	
2	2500		62,5	15	112,8	4000	40
3	3750		71,4	37	116,7	5250	60
4	5000		76,9	48	120,3	6500	75
5	6250		80,6	60	123,7	7750	90

Кол-во мешков, 1000 кг	NH ₄ NO ₃ , кг	Вода кг,	Конц -я, %	Точка кр-ции °С	Точка кипения, °С	Масса раствора, кг	Нагрев, °С
1	1000	1500	40	-16,1	107,2	2500	
2	2000		57,1	3,8	112,8	3500	40
3	3000		66,7	22,4	116,7	4500	55
4	4000		72,7	36,7	120,3	5500	65
5	5000		76,9	47,9	123,7	6500	75
6	6000		80,3	57,2	127	7500	90

Lisa 2 Elliptiliste põhja ja kattega reaktorite- katelde põhilised tehnilised andmed [37, c.493]

Номи- наль- ный объем, $V_H, \text{ м}^3$	Диа- метр аппара- та, $D, \text{ мм}$	Площадь поверхно- сти тепло- обмена ру- башки, $F_p, \text{ м}^2$	Площадь поверх- ности теплообмена змеевиков, $F_3, \text{ м}^2$		Диаметр вала ме- шалки, $d_B, \text{ мм}$	Высота уровня жидкости, $H_{ж}, \text{ м}$	
			1-й ряд	2-й ряд		$\varphi=0,75$	$\varphi=0,5$
0,1	500	0,7	–	–	40	0,42	0,29
0,16	600	0,9				0,47	0,33
0,25	700	1,3				0,5	0,38
0,4	800	1,9				0,66	0,46
0,63	1000	2,5				0,68	0,48
1,0	1200	3,4	2,8	–	40;50;65	0,76	0,54
1,25		4,4	–	50;65;80	0,93	0,65	
1,6		5,8			1,16	0,81	
2,0	6,5	3,5			1,09	0,77	
2,5	1400	7,8	–	–	–	1,33	0,93
3,2	1600	8,5	5,2	9,5	65;80	1,33	0,93
4,0		11,3	–	–		1,63	1,11
5,0	1800	12,0	4,9	9,1	65;80;95	1,63	1,13
6,3		14,8	11,5	20,7		2,01	1,39
8,0	2000	17,0	–	–		2,08	1,44
10,0	2200	20,0	12,4	22,9	80;95	2,16	1,50
12,5	2400	21,0	–	–	80;95; 110	2,27	1,58
16	2400	25,5	13,4	24,6		2,86	1,97
20	2600	33,5	–	–		3,04	2,10
25	2800	38,0	12,8	24,9	95;110; 130	3,28	2,26
32	3000	39,0	12,8	24,9		3,64	2,51
40	3200	54,0	–	–		4,00	2,76
50	3000	69,7	12,8	24,9		5,57	3,79
63	3200	82,8	–	–		6,14	4,18

Lisa 3 Mõne tüüpi segamisseadmete põhiomadused ja töötingimused [37, c.494]

Тип мешалки	Диаметр, d_m , мм	Соотношения размеров и параметры	Условия работы
Лопастная	80; 100; 125; 160; 180; 200; 220; 250; 280; 320; 360; 400; 450; 500; 560; 630; 710; 800; 900;	$D/d_m = 1,4 - 1,7$ $h_m/d_m = 0,1$ $h/d_m = 0,4 - 1,0$ $b/d_m = 0,1$ $\zeta_m = 0,86$	Перемешивание взаиморастворимых жидкостей, взвешивание твёрдых и волокнистых частиц в жидкости, взмучивание лёгких осадков, медленное растворение кристаллических и волокнистых веществ; $w = 1,5 - 5$ м/с при $\mu \leq 0,5$ Па·с, $w = 1,5 - 3,2$ м/с при $\mu = 0,5 - 3$ Па·с
Турбинная	1000; 1120; 1250; 1400; 1600; 1800; 2000; 2240; 2500	$D/d_m = 3 - 4$ $h_m/d_m = 0,2$ $h/d_m = 0,4 - 1,0$ $l/d_m = 0,25$ $b/d_m = 0,1$ $\zeta_m = 8,4$	Взвешивание и растворение кристаллических (с содержанием до 80%) и волокнистых (до 5%) частиц; эмульгирование жидкостей, диспергирование газов в жидкости; перемешивание неньютоновских жидкостей; $w = 2,5 - 10$ м/с при $\mu \leq 10$ Па·с, $w = 2,5 - 7$ м/с при $\mu = 10 - 40$ Па·с
Трёхлопастная (пропеллерная)		$D/d_m = 3 - 4$ $h/d_m = 0,4 - 1,0$ $b/d_m = 0,1$ $\zeta_m = 0,56$	Взвешивание твёрдых (с содержанием до 50%) и волокнистых частиц; взмучивание шламов; интенсификация теплообмена; $w = 3,8 - 16$ м/с при $\mu \leq 0,1$ Па·с, $w = 3,8 - 10$ м/с при $\mu = 0,1 - 4$ Па·с

Lisa 4 Ajami väljundvõlli nimivõimsus ja pöörlemiskiirus segajatega seadmete jaoks kiirusevahemikus 80-1500 min⁻¹ [37, c.631]

$N_{\text{НОМ}},$ кВт	Частота вращения, мин ⁻¹											
	80	100	125	160	200	250	320	400	500	750	1000	1500
0,25	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
0,75	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1,50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3,00	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5,50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
7,50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
11,0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
15,0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
18,5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
22,0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
30,0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
37,0	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
45,0	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
55,0	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
75,0	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
90,0	+	+	+	+	+	+	+	+				
110,0	+	+	+	+	+	+	+					
132,0	+	+	+	+	+	+						

Примечания: 1. Знак «плюс» (+) означает применяемость.

2. Поле применяемости обеспечивается как стандартными, так и оригинальными приводами, разрабатываемыми при необходимости.