

Sisekaitseakadeemia

Päästekolledž

Meeme Riismaa

OHUALA AMMOONIUMNITRAATVÄETISE HOIUSTAMISEL

Lõputöö

Juhendaja: Tarmo Kull MA

Kaasjuhendaja: Kady Danilas MA

Tallinn 2014

ANNOTATSIOON

Kolledž: Päästekolledž	Kuu ja aasta: mai 2014
Töö pealkiri: " Ohuala ammooniumnitraatväetise hoiustamisel"	
Töö autor: Meeme Riismaa	Olen nõus oma lõputöö kättesaadavaks tegemisega elektroonilises keskkonnas. Allkiri:
<p>Käesolev lõputöö on kirjutatud teemal „Ohuala ammooniumnitraatväetise hoiustamisel“.</p> <p>Lõputöö koosneb 54 leheküljest, mis sisaldab 13 lehekülge lisasid ja 3 tabelit. Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ja võõrkeelne kokkuvõte on inglise keeles. Lõputöö koostamisel on viidatud 42 allikale, millest eestikeelseid 26, võõrkeelseid 16.</p> <p>Töö eesmärgiks on leida meetodika ammooniumnitraatväetise plahvatuse ohuala määramiseks arvestades võimalikku plahvatuseni viivat riskistsenaariumi. Uurimustöö tulemusel selguvad antud valdkonna probleemid ja ettepanekud, millele edaspidi Päästeamet peaks tähelepanu pöörama.</p> <p>Esimene peatükk räägib ammooniumnitraatväetisest ja tema ohtlikkusest, võimalikest õnnetuste stsenaariumitest, mille toimumisega võib kaasneda plahvatus ning kirjeldatakse valikuliselt õnnetusena toimunud ammooniumnitraatväetise plahvatusi. Teine peatükk räägib plahvatuse kahjulikest mõjudes. Kolmas peatükk räägib uurimisosast, ohuala ulatuse arvutamisest ja esile kerkinud probleemidest. Neljandas peatükis on kokku võetud käesoleva lõputöö uurimusosa ja analüüsist tulenev ja antakse soovitusel probleemide lahendamiseks.</p>	
Võtmesõnad: ammooniumnitraat, plahvatus, detonatsioon , ohuala, ohutus	
Võõrkeelsed võtmesõnad: Ammonium Nitrate, explosion, detonation, danger zone, safety	
Säilitamise koht:	
Kaitsmisele lubatud	
Kolledži direktor: Ain Karafin	Allkiri:
Vastab lõputöö nõuetele	
Juhendaja: Tarmo Kull	Allkiri:

SISUKORD

ANNOTATSIOON.....	1
SISUKORD	2
MÕISTETE JA LÜHENDITE LOETELU	4
SISSEJUHATUS	5
1 AMMOONIUMNITRAATVÄETIS JA TEMA OHTLIKKUS	7
1.1 Ammooniumnitraatväetis.....	7
1.2 Ammooniumnitraatväetise termiline stabiilsus ja plahvatusohtlikkuse mõjutajad, detonatsioonikitse	9
1.3 Ammooniumnitraatväetiste jagunemine	12
1.4 Ammooniumnitraadiga toimunud plahvatused.....	13
1.5 Õnnetust põhjustavad faktorid, võimalikud õnnetusstsenaariumid	14
2 PLAHVATUSE OLEMUS JA MÕJU	17
2.1 Plahvatusohtlikud väljundid.....	17
2.2 Plahvatusohtlikkuse mõju inimorganismile.....	18
2.3 Plahvatusohtlikkuse mõju ehitistele ja rajatistele.	19
3 UURIMISTULEMUSED	21
3.1 Uurimise meetoodika ja valim.....	21
3.2 Ohuala ulatuse määramise ammooniumnitraatväetise hoiustamisel	22
3.3 Ammooniumnitraatväetise käitlemise nõuete ja ohuala ulatuse määramise meetoodikaga esile kerkinud probleemid	25
3.4 Intervjuude ja riskianalüüside ning ohutusaruannete dokumendianalüüsi kokkuvõte	28
4 JÄRELDUSED JA SOOVITUSED AMMOONIUMNITRAATVÄETISE PLAHVATUSE OHUALA MÄÄRATLEMISEKS NING PROBLEEMIDE LAHENDAMISEKS	31
KOKKUVÕTE.....	35
SUMMARY	36
VIIDATUD ALLIKATE LOETELU.....	37
TABELITE NING JOONISTE LOETELU	41
LISA 1 Intervjuu plaan.....	42
LISA 2 Intervjuudes osalenud isikute nimekiri.....	43
LISA 3 Ained ja materjalid, millega ammoonium-nitraatväetise kokkupuude on keelatud	44
LISA 4 Plahvatusohtlikkuse mõjude kirjeldused sõltuvalt plahvatusohtlikkuse dünaamilisest rõhust	45

LISA 5 Ohutuskoeffitsiendi ja ohuala ulatuse määramise joonised	47
LISA 6 Ohuala näidisarvutused.....	51
LISA 7 Fototabel	53

MÕISTETE JA LÜHENDITE LOETELU

ANFO- lõhkeaine, kütusega immutatud ammooniumnitraat (Tomberg,1998:24).

HOLP- hädaolukorra lahendamise plaan.

Hädaolukord - sündmus või sündmuste ahel, mis ohustab paljude inimeste elu või tervist või põhjustab suure varalise kahju või suure keskkonnakahju või tõsiseid ja ulatuslikke häireid elutähtsa teenuse toimepidevuses ning mille lahendamiseks on vajalik mitme asutuse või nende kaasatud isikute kiire kooskõlastatud tegevus (Hädaolukorraseadus, 24.07.2009)

INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques)- Tööstuskeskkonna riskide intstituut Prantsusmaal.

KemS- Kemikaaliseadus (Lühendid...).

VäetS- Väetiseseadus (Lühendid...).

Kriisireguleerimine - meetmete süsteem, mis hõlmab hädaolukorra ennetamist, hädaolukorraks valmistumist, hädaolukorra lahendamist ning hädaolukorrast põhjustatud tagajärgede leevendamist.

LUP (land-use planning)- maa-ala kasutuse planeering.

Ruumiline planeerimine -demokraatlik, erinevate elualade arengukavasid koordineeriv ja integreeriv, funktsionaalne, pikaajaline ruumilise arengu kavandamine, mis tasakaalustatult arvestab majandusliku, sotsiaalse ja kultuurilise keskkonna ning looduskeskkonna arengu pikaajalisi suundumusi ja vajadusi (Planeerimisseadus, 13.11.2002).

Saastunud/saastatud väetis- ammooniumnitraatväetis, mis sisaldab ohtlikku või ebasobivat lisaainet või materjali.

TNT- lõhkeaine, trinitrotolueen, trotüül

TNT-ekvivalent (trotüülekvivalent)- arv, mis näitab aine plahvatusvõimsuse suhet TNT plahvatusvõimsusega.

TuOS- Tuleohutuseseadus (Lühendid...).

SISSEJUHATUS

Väetiste hoiustamine on üks Eesti suurõnnetuse ohuga ja ohtlike ettevõtete tegevusvaldkondadest. Väetistest hoiustatakse meil enim tahket ammooniumnitraatväetist. Ammooniumnitraat võib teatud tingimustel olla pahvatusohtlik. Kuna plahvatuse mõjuga kaasneb suur oht inimestele ja –tervisele, ehitistele ja rajatistele ning keskkonnale terviklikuna, siis antud lõputöös keskendutakse plahvatuse ärahoidmisele ja plahvatuse mõjule ning ulatusele.

Suurõnnetuse ohuga ja ohtlike ettevõtete puhul on vajalik riskianalüüsi läbiviimine, mille käigus tuuakse ära ka õnnetuse korral tekkiva ohuala ulatus. Ohuala on oluline sisend riske arvestaval ruumilisel planeerimisel ja hädaolukorraks valmisoleku planeerimisel. Eesti seadusandluses puuduvad ammooniumnitraatväetiste plahvatuse ohualade arvutamiseks otsesed valemid. Samuti ei ole Eestis ammooniumnitraatväetise käitlemisega kaasneva võivate plahvatuste ohualade arvutamiseks välja töötatud suuniseid, millistest stsenaariumitest lähtuda, milliseid lõhkeaine plahvatuse valemid on võimalik kasutada ja millist TNT- ekvivalendi koefitsienti kasutada. Selle tulemusel ei ole ettevõtete ohualad võrreldavad ning esineb riski üle- või alahindamist. Plahvatuse ohualad on suure ulatusega, mistõttu valed riskihinnangud omavad olulist mõju. Valed riskihinnangud võivad viia hädaolukorra tekkeni, tekitada kahju looduskeskkonnale ja inimeste varale ja tervisele ning kahjustada majandust olulisel määral. Liiga suured ohuala ulatused takistavad maa kasutuselevõttu majandustegevuseks.

Lõputöö eesmärgiks on leida meetodika ammooniumnitraatväetise plahvatuse ohuala määramiseks arvestades võimalikku plahvatuse viivat riskistsenaariumi. Selleks, et täita lõputöö eesmärki püstitati järgmised uurimisülesanded:

- Selgitada välja ammooniumnitraatväetise ohtlikkus ja hoiustamisel esile kerkinud probleemid;
- Selgitada välja plahvatusega kaasnevad nähtused ja kasutatav ohuala arvutamise meetodika;
- Selgitada välja võimalikud lahendused ammooniumnitraatväetise ohutuks hoiustamiseks;

- Analüüsida läbi kogutud informatsioon ja anda soovitused ohualade määramiseks ammooniumnitraatväetise hoiustamisel.

Uurimustöö tulemusel selguvad antud valdkonna probleemid ja ettepanekud, millele edaspidi tähelepanu pöörata. Käesolevas töös on kasutatud õigusaktide 20.01.2014 seisuga redaktsioone.

Antud lõputöös tuginetakse erinevatele dokumentidele, eesti- ja võõrkeelsele erialasele kirjandusele ja teadusartiklitele ning eriala ekspertide hinnangutele.

Uurimismeetoditena kasutab autor oma lõputöös dokumendianalüüsi, poolstruktureeritud intervjuusid ja vaatluseid. Dokumendianalüüsiga selgitatakse välja teoreetilised lähtekohad ohuala ulatuse hindamiseks lähtuvalt riskistsenaariumitest. Intervjuudega selgitatakse välja ekspertide arvamused ja probleemid ammooniumnitraatväetise hoiustamisel, mis võivad mõjutada riskistsenaariumite realiseerumist. Vaatluse objektina käsitletakse käesolevas lõputöös ammooniumnitraatväetise hoidmise kohti.

Esimene peatükk räägib ammooniumnitraatväetisest ja tema ohtlikkusest, ohtlikkuse mõjutajatest, võimalikest õnnetustsenaariumitest, millega võib kaasneda plahvatus ning kirjeldab valikuliselt õnnetusena toimunud ammooniumnitraatväetise plahvatusi.

Teine peatükk räägib plahvatuse olemuse teooriast, -kahjulikest mõjudest inimesele ja keskkonnale.

Kolmas peatükk räägib uurimisosast, ohuala ulatuse arvutamisest ja esile kerkinud probleemidest.

Neljandas peatükis on kokku võetud töö analüüsist tulenevad järeldused ja antud soovitused probleemide lahendamiseks. Antakse soovitused ohuala arvutamise meetoodika rakendamiseks ning soovitused plahvatuse kahjude vähendamiseks.

Käesoleva töö autor tänab lõputöö juhendajaid Tarmo Kull'i ja Kady Danilas't, kelle metoodilisel juhendamisel lõputöö valmis. Lõputöö autor tänab kõiki lõputöö intervjuudes osalenuid ning eriliselt soovib autor ära märkida tippeksperptide T. Tomberg'i, M. Põldme ja S. Arus'e panust.

1 AMMOONIUMNITRAATVÄETIS JA TEMA OHTLIKKUS

1.1 Ammooniumnitraatväetis

Ammooniumnitraat on oluline koostisaine mitmesuguste toodete puhul, millest mõned on mõeldud kasutamiseks väetisena ja mõned lõhkeainena. Võttes arvesse suure lämmastikuisaldusega ammooniumnitraat-lihtväetiste eripära ja sellest tulenevaid nõudeid seoses avaliku julgeoleku ning töötajate tervise ja kaitsega, on kehtestatud täiendavad ohutusmeetmed. Ammooniumnitraatväetist on teatavatel juhtudel võimalik kasutada ka otstarbel, milleks see ei ole mõeldud. Ohutuse tagamiseks peavad suure lämmastikuisaldusega EÜ käideldavad ammooniumnitraat-lihtväetised vastama teatavatele omadustele. Tootjad peaksid tagama, et kõik suure lämmastikuisaldusega ammooniumnitraat-lihtväetised läbiksid enne turule viimist detonatsioonikindluse katsed. (Euroopa parlamendi ja nõukogu määrus nr 2003, 13.10. 2003).

Ammooniumnitraatväetis on väetis, mis on mõeldud kasutamiseks põllumajanduses tagamaks taimedele soodsamaid kasvutingimusi.

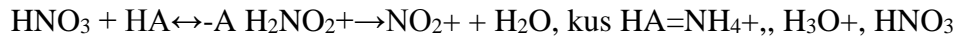
Ammooniumnitraadi kristallide tihedus on 1700 kg/m^3 . Muutuv niiskus ja temperatuur tekitavad pikemal hoidmisel ammooniumnitraadi paakumist, temperatuuridel umbes $+16 \text{ }^\circ\text{C}$ - $+32 \text{ }^\circ\text{C}$ toimub ammooniumnitraadiga ümberkristallumine, millega kaasneb paakumine ning tekib tihe ja tugev mass. (Talvari 2006:65)

Temperatuuri tõusul $80 \text{ }^\circ\text{C}$ kuni $93 \text{ }^\circ\text{C}$ algab protsess, mille käigus laguneb ammooniumnitraat eksotermiliselt järgmise reaktsiooni kohaselt (Talvari 2006:65):



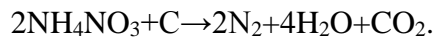
Ammooniumnitraat sulab $169 \text{ }^\circ\text{C}$ juures ja alustab lagunemist kohe sulamisjärgselt. Esimese sammuna dissotseerudes ammoniaagiks ja lämmastikhappeks. Uuringud on näidanud, et ammooniumnitraadi lagunemine toimib ioonmehhanismi alusel temperatuurivahemikus $200\text{--}300 \text{ }^\circ\text{C}$ ja NO_2 teke on reaktsiooni kiirust limiteeriv staadium. Happelised erindid nagu ammooniumioon, hüdrooniumioon või lämmastikhape suurendavad ammooniumnitraadi lagunemist suurel määral. Samal ajal ammoniaak ja vesi aeglustavad lagunemist. Temperatuuri puhul üle $290 \text{ }^\circ\text{C}$ domineerib lagunemist vabade radikaalide mehhanism ja

lämmastikhappe homolüüs on reaktsiooni kiirust limiteeriv etapp.(Oxley Smith, Rogers, Yu 2002):

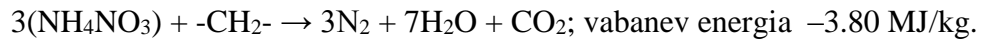


Kõrge temperatuuriga laialivalgumisvõimeline vedel ammooniumnitraatväetise mass võib kokku puutudes põleva materjaliga selle süüdata. Sageli piisab väikesest ammooniumnitraadi (oksideerija) kogusest mõne põlevmaterjali isesüttimiseks (väävel, puusüsi, tärpentiin). Temperatuuri edasisel tõusul suureneb plahvatuse risk. Eksotermilistel redoksreaktsioonidel vabaneb suur hulk soojust, mis absorbeerudes lähedal olevas põlevmaterjalis võib põhjustada selle materjali süttimise. (Talvari 2006:63)

Kui ammooniumnitraat on segunenud mõne orgaanilise põlevainega, näiteks söe tolmuaga, siis võib kulgeda plahvatuslik reaktsioon järgneva valemi järgi (Miyakea, Takaharaa, Ogawaa, Ogatab, Wadac, Araid, 2001):

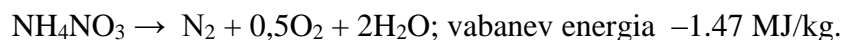


Kui ammooniumnitraat on segatud ligikaudu 5% massiosas kütusega, on tema detonatsioonivõimsus kõige suurem ja nii tekib lõhkeaine ANFO (Drygala 2013):



Ammooniumnitraadi segu alumiiniumpulbriga moodustab samuti lõhkeaine ja alumiinium tõstab oluliselt tundlikkust ja plahvatusvõimsust (Tomberg, 2014; Tomberg 1998:14).

Kui soojenenud ammooniumnitraatväetise mass saab kõrvalisest allikast detonatsiooniks piisava energiaga impulsi või soojeneb ise piisavalt, siis on võimalik kogu massi plahvatus ning plahvatuslik reaktsioon kulgeb alljärgneva valemi järgi (Drygala 2013; Tomberg, 2014):



Eelnevast järeldub, et oht tekib juba siis, kui väetises sisalduva ammooniumnitraadi soojenemisel hakkavad eralduma mürgised lämmastikgaasid ja mürgine ammoniaak. Eralduvad mürgised gaasid on ohtlikud väetist käitlevatele isikutele, päästetöötajatele ja ka võimalikul ohualal viibivatele kõrvalistele isikutele. Võimalik on tulekahju tekkimine. Kui lagunemise reaktsiooni ei suudeta pidurdada ning kui ammooniumnitraatväetis on saastunud

orgaanilise kütusega või metallipulbriga, siis tulemuseks võib olla plahvatus. Päästetööde läbiviimine on sellises olukorras ohtlik ja keerukas. Kui ühes kuhilas või virnas on sadu tonne ammooniumnitraatväetist, siis ohtlik mõju võib ulatuda suure raadiusega alale. Ammooniumnitraadi plahvatuse võimsus sõltub väga palju sellest, kui suures ulatuses ja vahekorras on ammooniumnitraat segunenud ebasoodsa aine või materjaliga.

1.2 Ammooniumnitraatväetise termiline stabiilsus ja plahvatusohtlikkuse mõjutajad, detonatsioonikatse

Viimase sajandi jooksul on olnud palju suuri õnnetusi ning terrorirünnakuid seotud ammooniumnitraadiga. Terroristide ammooniumnitraadi kasutuse algatas Provisional Irish Republican Army (tuntud kui IRA). Selle aja jooksul toimus 14 000 pommitamisjuhtu, millest enamus hõlmas ammooniumnitraadi põhised lõhkeaineid või naatriumkloraat/nitrobenseeni segu. Rünnakute tipphetkel 1970ndatel keelustas Briti valitsus kloraaadi ja puhta ammooniumnitraadi müügi Põhja-Iirimaa (sarnased piirangud kehtestati ka Iirimaa). Sellegi poolest kasutati Londonis suuri väetisepomme. Hinnanguliselt 450 kg kasutati St. Mary le Axe (aprill 1992) ja umbes 1350 kg Bishops Gate (aprill 1993) puhul. USA-s toimus 19. aprillil 1995 Oklahoma City Murrah föderaalhoone ründamine autopommiga. Antud sündmus põhjustas USA-s ammooniumnitraadi plahvatusohtliku loomuse üle suurt muret. Kuna ammooniumnitraadiga lõhkeseadeldised on kergesti valmistatavad ja Oklahoma City autopommi rünnak oli väga tõsiste tagajärgedega, loodi mitmeid uurimisrühmi, mille eesmärgiks sai kaubandusest kättesaadava ammooniumnitraadi tundlikkuse vähendamine. (Oxley, Smith, Rogers, Yu. 2002)

Ammooniumnitraadi plahvatusohtlikkuse vähendamiseks soovitatakse kahte põhilist lähenemist: ammooniumnitraadi lahjendamine keemiliselt inertse materjaliga või väikeste koguste materjali lisamisega, mis suurendab keemilise reaktsiooni ala. Sellise vähendatud tundlikkusega ammooniumnitraadiga tehtud testid tunduvad väikeste koguste puhul paljulubavad, kuid suuremate koguste puhul on antud kombinatsioonid siiski plahvatusohtlikud, kuigi vähendatud võimsusega. (Oxley, Smith, Rogers, Yu. 2002)

Puhast ammooniumnitraati peetakse väga stabiilseks ja suhteliselt ohutuks. Transpordiks ja käsitlemiseks on põllumajanduslik ammooniumnitraat (-väetis) klassifitseerinud kui oksüdeeriv aine. Kombineerituna kütusega kasutatakse ammooniumnitraati paljudes

lõhkeainetes ja see on suhteliselt ohutu võrreldes teiste sarnaste kasutusotstarbega tööstuslike lõhkeainetega. (Oxley, Smith, Rogers, Yu. 2002)

Lõhkeaineid hinnatakse tulenevalt nende kasutuseesmärgist ja -tingimustest mitme näitaja alusel: tundlikkus, brisantsus ja töövõime. Tundlikkuse näitajad on löögi- hõõrde ja temperatuuritundlikkus. Brisantsus on lõhkeaine võime purustada lööklaine mõjul ümbritsevat ja sõltub see detonatsioonikiirusest. Töövõime kui omaduse puhul hinnatakse lõhkeaine võimet purustada ümbritsevat keskkonda plahvatusel tekkiva lööklaine ja plahvatusgaaside surve mõjul ning enamjaolt omab see tähtsust kaevandustes lõhketöödel. Ammooniumnitraatväetist saab käsitleda lõhkeainena. (Tomberg, 1998:14)

Jimmie C Oxley, James L Smith, Evan Rogers, Ming Yu uuringus kasutati terminist analüüsi, et otsida võimalikke ohutust tõstvaid lisandeid ja uurida enamikke erinevaid kasutuses olevaid ammooniumnitraadi segusid. Katsesse valiti naatrium-, kaalium-, ammoonium- ja kaltsiumi soolad, lisaks sulfaadid, fosfaadid, karbonaadid jt, sest need peaks tõstma ammooniumnitraadi terminist stabiilsust ja neid saab kasutada põllumajanduses. Uuriti, kas laboratoorseid teste saab kasutada orientiirina plahvatusohtlikkuse hindamisel. Hüpotees oli katses, et suurenenud terminist stabiilsus vähendab plahvatusohtlikkust. Selle eelduse alus oli kaheosaline: esiteks materjal, mis aeglustab ammooniumnitraadi lagunemist võib suurendada väetiseseгу reaktsiooniala nii, et plahvatus ei saa levida, teiseks olemasolevat koostist, mida peetakse mitteplahvatavaks, sisaldab aineid, mis terminist stabiliseerivad ammooniumnitraati. Uurimisega jõuti järeldusele, et lisandid suurendavad stabiilsust, kuid ei ole päriselt täpselt selge, kas need väldivad ka detonatsiooni. Plahvatusohtlikkus väheneb oluliselt, kui välditakse kütuse ja oksüdeerijast väetise kokkupuudet. Kütuselise lisandina võib seejuures käsitleda mootorikütuseid, suhkrut jms, mis muudavad segu lõhkeaineks. Eksperimendid, mis järgnesid Oppau plahvatusle, kinnitasid otseselt, et 50/50 segu ammooniumnitraadist ja ammooniumsulfaadist on mitteplahvatav. IRA takistamiseks on Põhja-Iirimaal müüdav ammooniumnitraadi segu, milles on 21% dolomiiti. See segu on tõestatult tõstnud terminist stabiilsust, kuid IRA on leidnud meetodi panna sellist segu plahvatama, kuigi väikse võimsusega. (Oxley, Smith, Rogers, Yu. 2002)

Teoreetiliselt viib lisandite manustamine selleni, et detonatsiooni ei toimu. Lõhkematuks peetakse väetisi, mis sisaldavad suuremal hulgal dolomiiti või ammooniumsulfaati, kuid selliste väetistega on juhtunud siiski õnnetusi ja põhjuseks peetakse seda, et need sisaldasid

kontsentreeritud ammooniumnitraadi osakesi. Lõhkekatsetel on tuvastatud, et ohutuks peetud segud on siiski ohutumad kui puhas ammooniumnitraat. (Oxley, Smith, Rogers, Yu. 2002)

Miyakea, Takaharaa, Ogawaa, Ogatab, Wadac, Araid (2001) artiklis avaldatud informatsiooni põhjal saab teha järelduse, et olenevalt kütuselise lisandi sisalduse hulgast sõltub suuresti plahvatava ammooniumnitraadi detonatsioonikiirus, mis jääb ligikaudu 1000-3500 m/s vahele. Detonatsioonikiirusest sõltub plahvatusvõimsus.

Eestisse imporditav ja transiidina Eesti tolliruumi läbiv tahke ammooniumnitraat nii aინena kui ka segu koostises (see tähendab ka väetisi), mis sisaldab rohkem kui 28 massiprotsenti ammooniumnitraadipõhist lämmastikku, peab olema läbinud detonatsioonikindluse katse „Euroopa Parlamendi ja nõukogu määruse (EÜ) nr 2003/2003 väetiste kohta“ kohaselt. (Väetiseseadus (VäetS), 11.06.2003; Kemikaaliseadus (KemS), 06.05.1998). Määruses kirjeldatu järgi läbib detonatsioonikatse proov esmalt termotsükli, mille käigus soojendatakse ammooniumnitraatväetis 51 °C kaks korda. Sisuliselt tähendab see seda, et proov soojendatakse kaks korda veekindlas anumast ja vesivannis 51 °C ja jahutatakse. Uuritav proov suletakse seejärel vähemalt 1000mm pikkusega õmblusteta terastorusse. Terastoru nominaalne välisläbimõõt on 114mm ja nominaalne seinapaksus 5mm. Seejärel asetatakse pliisilindrid, mille läbimõõt on 50 mm, kõrgus 100 mm ja tihedus 99,5% 150 mm intervallidega nii, et nad kannaksid terastoru rõhtasendis. Proovile antakse võimenduslõhkelaengu abil detonatsiooniimpulssi. Detonatsiooni levimist hinnatakse katse abil rõhtsat toru kandvate pliisilindrite muljutuse määra järgi. Katset tehakse kaks korda. Katse loetakse lõplikuks ja läbituks, kui kummaski katses ühe või mitme kandva silindri muljutuse määr on alla 5 %. Katse läbiviimise ajal peab olema katse keskkonna temperatuur vahemikus 15- 25 °C. (Euroopa parlamendi ja nõukogu määrus nr 2003, 13.10. 2003)

Eelnevas lõigus kirjeldatust selgub, et detonatsiooni katset viiakse läbi puhta (saastumata) ammooniumnitraatväetistega, mille lämmastiku sisaldus on vähemalt 28%. Kui kompleksväetis, mille lämmastiku sisalduseks on 27%, kuid sisaldab näiteks 34,5 % lämmastiku sisaldusega ammooniumnitraadi graanuleid, siis detonatsioonikatse läbimine ei ole kohustuslik. Teadusallikas väidab, et kontsentreeritud ammooniumnitraadi osakesi sisaldavate väetistega on toimunud siiski õnnetusi (Oxley, Smith, Rogers, Yu. 2002). Sellest järeldub, et lämmastiku sisalduse protsendi näidust ei tohiks otse lähtuda, et olla kindel väetise detonatsioonikindluses. Teiseks ei näita detonatsioonikindluse test, et näiteks

kütusega saastunud ammooniumnitraatväetis oleks detonatsioonikindlale. Kolmandaks võib järeldada, et tulekahju tingimustes võib ammooniumnitraatväetis kaotada detonatsioonikindluse, kuna tulekahju korral tõusevad temperatuurid tunduvalt kõrgemale, kui katse läbiviimise ajal. Samas võib sulav ammooniumnitraatväetise mass saastuda põlemisel tekkivate süsinikku sisaldavate põlemisjääkidega, mis suurendavad detonatsiooni ohtu. Tõenäoliselt on üks olulisemaid plahvatusohu mõjutajaid, lähtudes võimalikust riskitsenaariumist, ammooniumnitraatväetise saastumise vältimine ainetest, mis tõstavad ammooniumnitraatväetise plahvatusohtlikust. Käesoleva töö autor koostas loetelu ainetest ja materjalidest, millega ammooniumnitraatväetis ei tohiks saastuda. Loetelu on esitatud lisa 3.

1.3 Ammooniumnitraatväetiste jagunemine

Ammooniumnitraatväetise peamiseks koostisosaks on ammooniumnitraat. Ammooniumnitraatväetised jagunevad kasutamise otstarbe, koostise ja valmistamise viisi järgi. Ammooniumnitraati võivad sisaldada lihtväetis, kompleksväetis ja kombineeritud väetis. Ammooniumnitraatlihtväetis sisaldab primaartoiteelemendina ainult lämmastikku. Kompleksväetis on keemilise menetluse või segamise abil või mõlemat protsessi koos kasutades saadud väetis, mille puhul on deklareeritud, et see sisaldab vähemalt kahte primaartoiteelementi. Näiteks lämmastik, fosfor, kaalium (NPK väetis) on kompleksväetis. Igat elementi sisaldab väetis teatud protsendi, aga iga graanul ei sisalda igat elementi. Tegemist on väetiste seguga, mis on saadud mitme tahke väetise kokku segamisel keemiliste reaktsioonideta. Kombineeritud väetises on keemilise reaktsiooni, lahustamise või tahke vormi puhul granuleerimise abil saadud väetis, mille puhul on deklareeritud, et see sisaldab vähemalt kahte primaartoiteelementi ja iga kombineeritud väetise graanul kõiki toiteelemente vastavalt deklaratsioonile. Lisaks tahketele väetistele võib ammooniumnitraati sisaldada ka vedelväetis, tavaliselt väetissuspensioon mis on kahefaasiline väetis, mille vedelas faasis on suspendeeritud tahked osakesed. Lisaks primaarelementidele võivad väetised sisaldada sekundaartoiteelemente (kaltsium, magneesium, naatrium ja väävel) ja mikroelemente (boor, koobalt, vask, raud, mangaan, molübdeen ja tsink). Mikroelementid on võrreldes primaar- ja sekundaartoiteelementidega vajalikud taimede kasvuks väikeste kogustes. (Euroopa parlamendi ja nõukogu määrus nr 2003, 13.10. 2003)

Üheks olulisemaks näitajaks käesoleva lõputöös on ammooniumnitraadi sisaldus väetises. Puhta ammooniumnitraadi lämmastiksisaldus on 35 % (Handbook for ...1992: 13).

Kuna põllumajanduses on oluline toiteelemendi sisaldus, siis antakse ammooniumnitraatväetise koostise kirjelduses tavaliselt lämmastiku kui toiteelemendi sisaldus protsentides. Lämmastiku protsendi sisalduse järgi kehtivad ka täiendavad ohutusnõuded, näiteks detonatsioonitest kõrge lämmastikusisaldusega ammooniumnitraatväetisele. Kõrge lämmastikusisaldusega ammooniumnitraatväetis on ammooniumnitraat või ammooniumnitraati sisaldav väetis, mille kuivaine kogumassist üle 28 % moodustab lämmastik ja mis võib sisaldada anorgaanilisi lisandeid või inertseid aineid, mis ei suurenda väetise tule- ega plahvatusohtlikkust (VäetS; KemS).

Tabel 1. Ammooniumnitraadi ja lämmastiku sisalduse seos (Sprängämnesinspektionens ...)

Ammooniumnitraadisisaldus	Lämmastiku sisaldus
60 %	21,0 %
70 %	24,5 %
80 %	28,0 %
90 %	31,5 %
100 %	35,0 %

1.4 Ammooniumnitraadiga toimunud plahvatused

Lõputöö raames tutvus käesoleva töö autor materjalidega, kus oli välja toodud ja kirjeldatud maailmas toimunud õnnetused ammooniumnitraadiga. Käesolevas alapeatükis toob autor välja käesoleval sajandil toimunud enim kajastamist leidnud õnnetused ammooniumnitraatväetisega.

Prantsusmaal toimus septembris.2001 Toulouse linnas AZF tehases ammooniumnitraatväetise tehases plahvatus, milles hukkus 30 inimest ja 2500 inimest sai vigastada. Plahvatuse põhjustas tõenäoliselt saastunud tootmisjäägid. Linna planeerimine võimaldas selle, et elanikkond kolis kogu aeg tehasele lähemale. Õnnetuse likvideerimisel ei olnud 1570 päästja ja 950 politseiniku tegevuse koordineerimiseks mingit plaani- puudus sisemine ja välimine HOLP. Reageerijatel puudus adekvaatseks käitumiseks treening. Hilisem analüüs näitas, et juhtumit oleks aidanud lahendada metsapõlengute kogemus ning raadioside kommunikatsioonivõrk, mis on disainitud osadeks, et oleks võimalik tegutseda suurõnnetuse lahendamisel. Uurimisest järeldati, et domino efekt võib tekkida asjaoludest,

kui ohuala läheduses hoiustatakse teisi ohtlikke kemikaale või suureneb inimkonsentratsioon ohualas. Peale õnnetust järeldasid prantslased, et riskistsenaariumid peavad kõikjal arvestama ka kõige halvima riskistsenaariumiga. Arvestama peaks ka stsenaariumite muutlikkusega. Uurijate lõplik järeldus oli, et tulevikus peab turvalisuse tõstmiseks kontrollima kogu protsessi tervikuna. (Dechy, Bourdeaux, Ayrault, Kordek, Le Coze, 2004)

Oktoobris 2003 toimus tulekahju Prantsusmaal Saint-Romain-en-Jarez-maja garaazhis, kus hoiti 3-5 tonni ammooniumnitraatväetist koos samasse ruumi ladustatud plastikkastidega. Põlengu algusest detonatsioonini kulus 60 minutit. Õnnetuses ei hukkunud kedagi, kuid kolm tuletõrjujat sai raskelt vigi. Mitte keegi tuletõrjujatest ei olnud teadlik, et hoones hoitakse ammooniumnitraati. (Marlair, Kordek, 2005)

Mais 2004 toimus Rumeenias, Bukarestist 50 km kaugusel õnnetus veoautoga, millel oli koormaks 25 tonni ammooniumnitraatväetist kottides. Veoauto süttis põlema ja 55 minutit peale õnnetust toimus plahvatus, mille tõttu hukkus 18 inimest, sealhulgas päästjad ja politseinikud. (Marlair, Kordek, 2005)

Aprillis 2013 toimus USA-s Texase osariigis West Fertilizer Company-is plahvatus. Puidust ehitatud väetiselaos puhkes tulekahju, mis põhjustas plahvatuse. Hukkus 15 inimest, neist enamik tuletõrjujad. Rohkem kui 260 inimest sai vigastada. Purunes üle 200 hoone. Efektiivselt plahvatas 30 tonni ammooniumnitraatväetist. (Burke, 2013; Peterson, 2013)

Toimunud õnnetustest järeldub, et tagajärjed on enamasti plahvatusel rasked. Enam esinev stsenaarium õnnetuseks on tulekahju teke ja/või saastumine. Plahvatuse toimumiseks soodsates tingimustes piisab mõnest tonnist ammooniumnitraatväetisest.

1.5 Õnnetust põhjustavad faktorid, võimalikud õnnetusstsenaariumid

Alonsoa, Ferradása, Pérez, jt. (2006) võtavad oma artiklis kokku, et suuremad ohud keemiatööstuses on tulekahju, plahvatused ja mürgiste ainete lekked. Ammooniumnitraatväetise hoiustamisest võivad tekkida kolm nõu peamist ohtu- tulekahju teke tulenevalt ammooniumnitraadi oksüdeerivast toimest, keemiline lagunemine, kus tekivad mürgised gaasid ja ammooniumnitraadi massi plahvatus. Suurima mõjuulatusega võib olla plahvatus, kus plahvatuse epitsentrist liigub väljapoole laienev lööklaine. Ammooniumnitraatväetise enda ohtlikkust mõjutavad graanulite/osakeste suurus, tihedus, poorsus, ammooniumnitraadi puhtus ja lämmastiku sisalduse protsent. Madalama

lämmastikusisaldusega ammooiumnitraatvæetist loetakse vähemohtlikuks. (Wood, Duffield. 2002.; Oxley, Smith, Rogers, Yu. 2002; Alonso, Ferradása, Péreza, jt. 2006)

Ammooniumnitraat ise ei põle, kuid toetab põlemist oma oksüdeeriva toime tõttu. Lisa õhuhapniku juurdepääs pole oluline. Oluline on kütuse ja ammooniumnitraadi kokkupuude. Põlemisel eralduvad toksilised gaasid- lämmastikoksiidid ja ammoniaak. Kõige mürgisemaks loetakse NO₂. Sulanud ammooniumnitraat võib väljuda hoidmisalalt ja seguneda või pääseda põlevaine juurde. (Wood, Duffield. 2002)

Ammooniumnitraadiga võib toimuda termilise lagunemise protsess. Lähtetingimuseks on piisava energia saamine. Lagunemise protsessis tekkivad toksilised [NO_x] gaasid ja ammoniaak. Hea ventilatsiooni ja välise energiavoo lakkamisel keemiline reaktsioon tõenäoliselt katkeb madalamatel temperatuuridel, kuna eksotermiliste reaktsiooniga kaasneb endotermiline dissotsatsioon ja kui eralduvad gaasid saavad vabalt eemalduda, siis süsteem on adiabaatiline. Lagunemise tasakaalu võivad mõjutada keemilised lisandid. Kui keemilist lagunemist initsieeriv temperatuur on püsivalt piisavalt kõrge või kui väetis sisaldab materjale, mis oksüdeeruvad, võib toimuda plahvatus. (Wood, Duffield. 2002)

Ülessoojenenud ammooniumnitraat vajab detonatsiooniks ligikaudu 7x nõrgemat impulssi kui normaalolekus ammooniumnitraat (Van den Hengel, Kersten jt. 2008)

Ammooniumnitraat võib plahvatada läbi kolme mehhanismi- piisava energiaga kuumutamine, ahelreaktsioonina kulgev lagunemine ja detonatsiooni impulsi. Kuumutamine on risk, kui see toimub ebapiisva ventilatsiooni tingimustes. Kuumus tõstab rõhku ja sulatab ammooniumnitraadi. Kiire ja jõuline lagunemine võib rõhu all olekus viia detonatsioonini ja sulanud olekus ammooniumnitraat on palju tundlikum kui tahke ammooniumnitraat. Samuti võib plahvatuseni viia ahelreaktsioonina kulgev eksotermiline lagunemine. Ammooniumnitraadi tundlikkust plahvatuseks tõstavad ammooniumnitraadi saastumine orgaanilise materjali või kütustega ning ammooniumnitraadi osakeste suurus ja tihedus. Ammooniumnitraat ei ole eriti tundlik- löök, säde hõõrdumine ei põhjusta detonatsiooni, kuid ammooniumnitraadi kuhja tabav lööklaine on ülimalt suure energiaga ja võib esile kutsuda kuhja detoneerumise. Kuigi ammooniumnitraat ei ole väga detonatsioonitundlik ja lõhkeainena on kriitiline diameeter suur, peaks kuhjade vahe olema > 7m. (Wood, Duffield. 2002)

Nähtus „deflagratsiooniprotsessi muutumine detonatsiooniks“ saab tuleneda kas suurest tulekahjust või väga suurest lagunevast ammooniumnitraadi massist soodsatel tingimustel (saastumine, rõhk). Kontrollitud hoiustamisel on selline võimalus ülimalt väike, kuid mitte võimatu. Hea tava on seetõttu piirata väetisekuhjade ja virnade suurus, samuti ei tohi väetisehoidlates hoida põlevmaterjali. Väetisehoidlates tuleb pidada üldist korda ja tagada puhtus. Vältida niiskuse imendumist. Vältima peaks väetise saastumist kuni lõpptarbijani orgaanilistes ainetest ja kütustest. Keelatud on tuletööd ja suitsetamine väetisehoidlates. Elektriseadmeid tuleb hoidlale valida äärmise hoolikusega. Hea praktika järgi käitlevad väetisi ohutuskoolituse läbinud isikud. (Wood, Duffield. 2002)

Transpordi korraldamisel tõuseb risk õnnetusele. Võimalikud on tehnika rikked, liiklusavariid, kus kokku saavad üksikuna suhteliselt ohutud ained, kuid kokkupuutel moodustavad plahvatusohtlikke segusid. Laos kontrollitud hoiustamisel hinnatakse suurõnnetuse esinemise tõenäosust 1×10^{-5} aastas. (Ettevõtte... 2008:43)

Eelpool mainitud allikatele tuginedes saab järeldada, et õnnetuse ja hädaolukorra vältimiseks on tähtis ennetav tegevus. Väga oluline on, et tehases tuleks käibesse saastumata ja puhas väetis, mille omadusi säilitatakse kuni sihtotstarbelise kasutamiseni. Õnnetuse tekkimist soodustavad suuresti ebaõiged hoiustamistingimused. Võimalik väline tulekahju ei tohiks soojendada väetist. Samuti on oluline, et hoidlas ei oleks põlevmaterjali ja hoidla ise oleks ehitatud võimalusel mittepõlevatest materjalidest. Tulekahju on väga suur risk ja see tuleb maandada. Suurte koguste hoiustamisel on oluline jälgida, et hoiustatav ammooniumnitraatväetis ei hakkaks iseeneslikult lagunema. Hoidlas tuleb tagada väga hea ventilatsioon ja võimalus ohutult väetist jahutada. Oluline roll õnnetuse vältimisel on inimeste teadlikus. Käitlejate ohualane teadlikus väldib õnnetuse teket. Päästjatele on väga oluline teave, et õnnetuspiirkonnas on ammooniumnitraatväetist. Ohualas viibivad inimesed peavad olema teadlikud sellest, milline oht võib tekkida ja kuidas ennast kaitsta ohu eest.

Olenemata igasugustest direktiividest ja teadmistest elab osa inimesi „0 riski“ teadmises või uskumises, et seda ei juhtu kunagi! Uus loogika on ennetamine. Maakasutusplaneeringusse (Land Use Plan ehk LUP) peab olema kaasatud avalikkus, kellele selgitatakse ohu realiseerumise võimalusi ja käitumist õnnetuse korral. (Dechy, Bourdeaux, Ayrault, Kordek, Le Coze, 2004)

2 PLAHVATUSE OLEMUS JA MÕJU

2.1 Plahvatuse ohtlikud väljundid

Selleks, et mõista plahvatuse kui protsessi olemust ja sellega kaasnevaid mõjusid peab jagama protsessi ning mõjud osadeks. Reaalajas on plahvatuse toimumine ülikiire ja jagunemine vastavalt tekkemehhanismile. Käesolevas töösas kirjeldatakse keemilist plahvatust, mille käigus gaasid ja soojusenergia eralduvad ülikiiretes keemilistes reaktsioonides.

Põlevaine süttimisel eristatakse põlemist, rõhuplahvatust, deflagratsiooni ja detonatsiooni (Soojuskiirguse ... 2008: 71). Tombergi järgi on (1998: 9). „Põlemine“ suhteliselt aeglane protsess, põlemiskiirus ei ületa 400 m/s. Kuid rõhuplahvatuseks käsitletakse siiski ka olukorda, kui põlemine ületab kiiruse 200 m/s (Soojuskiirguse ... 2008: 71).

Pahvumine ehk deflagratsioon on protsess, kus põlemistsoon liigub soojusjuhtivuse teel edasi kiirusega 400-1000 m/s. Vabaneva energia hulk on sama suur kui detonatsioonil. Kuna kiirus ei ole eriti suur, on vabanev võimsus suhteliselt väike, kümneid kordi väiksem kui detonatsioonil. Detonatsioon on rõhu järsust suurenemisest põhjustatud erakordselt kiire (kuni 9000 m/s) eksotermiliste protsesside levik aines, millega kaasneb lööklaine. Üldistavalt nimetatakse plahvatuseks aine või tema oleku ülikiiret muutust, millega kaasneb suure energiahulga vabanemine, temperatuuri järsk tõus ning lööklaine. Lüdrodünaamilise teooria kohaselt tekitab ja kannab detonatsiooni aines leviv lööklaine. Lähimishetkel põhjustab lööklaine aine rõhu, temperatuuri ja tiheduse järsu suurenemise. Lööklaine frondil kuumeneb intensiivselt õhuke lõhkeaine kiht ja seal kulgeb ülikiire keemiline reaktsioon, mille vabanev energia tagab lööklaine amplituudi ning kiiruse püsivuse. Detonatsiooni siirdekaugus (virtsalt-virtsale) on suurim õhus, vees on ta väiksem ning tahketes ainetes veelgi väiksem. Nii näiteks võivad inertsed lisandid aines või varjestus põhjustada detonatsiooni kustumise. (Tomberg, 1998:8-13; 2014)

Ülerõhu muutumise järgi ajas eristatakse kahte liiki plahvatuslaineid: rõhulaine ja lööklaine. Plahvatuslaine on ülerõhulaine ja lööklaine üldnimetus. Ülerõhu suurus sõltub põlemiskiirusest. Lööklaine on keskkonnas kiiresti kulgev keskkonna seisundit muutev järsk survetõus- järsu frondiga üksiklaine, millel on löögiomadused. Ülerõhulaine ehk surveaine on keskkonnas kiiresti (ka helikiirusel) leviv rõhu muutumine. Survelainetel ei ole

löögiomadusi. Lööklaine energia ei sõltu ainult plahvatanud aine massist, vaid ka aine põlemiskiirusest (detonatsioonikiirusest), mida mõjutavad aine vanus ja niiskus. Rõhu suurenemise graafiku kuju sõltub otseselt plahvatuse tüübist, kaugusest ja plahvatust põhjustavast ainest. Detonatsiooni korral kasvab ülerõhk plahvatuslaine esirinnas praktiliselt silmapilkselt ja plahvatuskohalt hakkab levima lööklaine. Peale ülerõhu suurenemist tekib tipprõhk ning algab plahvatuslaines ülerõhu alanemine. Ülerõhk läheb nulli ja muutub mingiks ajaks negatiivseks. Keskkond reageerib liikuvale rõhumuutusega frondile erinevalt. Objektile mõjuva plahvatuslaine parameetrid sõltuvad otseselt sellest, kui kaugel asub hinnatav objekt plahvatuse keskpunktist. (Soojuskiirguse ... 2008: 71, 105; Reinsalu, 2009)

Lööklaine omadused (Tomberg, 1998:11):

- tema kiirus on suurem heli kiirusest antud keskkonnas;
- tema frondil suurenevad hüppeliselt keskkonna rõhk, temperatuur ja tihedus;
- plahvatusgaaside keskkond liigub lööklaine frondi järel;
- lööklaine kiirus sõltub tema vönkeamplituudist;
- lööklaine võib tekkida ja levida nii gaasilises, vedelas kui tahkes keskkonnas.

Reinsalu (2009) kirjeldab, et plahvatuslainete, nagu mis tahes lainete levik sõltub keskkonnast. Lained peegelduvad, sumbuvad ja moonduvad sõltuvalt sellest, kui tihe on keskkond, kui palju on selles lisandeid, kuidas ja millega on keskkond piiratud, milles laine kulgeb. Lõhketööde ekspertidel on kogemusi, kuidas pilvisuse ja inversioonikihi tõttu on lõhkamisest tekkinud surveaine tekitanud kahju ootamatult kaugel. Plahvatuse tajutavus võib ulatuda arvatust kaugemale.

2.2 Plahvatuse mõju inimorganismile

Plahvatuse korral tekib inimorganismile potentsiaalne oht, mis avalduvad otseste ja kaudsete mõjuteguritena. Plahvatuse otseseks mõjuteguriks on plahvatuslaine poolt tekitatud ülerõhk ja üldjuhul mitte väga kaugemale leviv plahvatuse soojuskiirgus. Kaudseid mõjutegureid võib jaotada omakorda kaheks alarühmaks: primaarsed- ja sekundaarsed kaudsed mõjutegurid. Primaarseteks kaudseteks mõjuteguriteks on plahvatuskohalt või mujalt plahvatuslaine poolt purustatud mehhanismide või ehituskonstruksioonide õhku paisatud killud ja tükid, mis on väga erineva kiiruse, kuju ja kaaluga. Samuti võivad tekkida täiendavad ohtlikud killud ja tükid, kui plahvatuslaine purustab oma teele jäänud takistusi. Killud tungivad inimese

kudedesse ja tekitavad ohtlikke haavu. Teatud kaugusel plahvatuskohast purustab löök või plahvatuslaine akna klaase. Tekkivad klaasikillud on reeglina teravate servadega ja võivad tekitada vastu inimest lennates või kukkudes löikehaavu. Tõmbid tükid reeglina ei tungi läbi naha, kuid võivad anda eluohtlikke lööke. Löökide tagajärjel võivad tekkida kudede muljumised, nihestused, luumurrud ja sisemised verejooksud. Sekundaarsed kaudsed mõjutegurid on inimese pikali või vastu seina või muud sarnast tarindit paiskamine plahvatuslaine poolt. Selle tagajärjel võivad tekkida põrutused, skeletimurrud, haavad ja verejooksud ning siseorganite vigastused. Samuti on kaudne mõjutegur ehituskonstruksioonide purunemise tagajärjel varingute alla jäämine. Tavaliselt ei ohusta plahvatuslaine poolt tekitatav ülerõhk hoones asuvaid inimesi niivõrd otseselt, kui plahvatuslaine poolt purustatud hoone või rajatise purunemine või kokku kukkumine. Hoone täieliku varisemisel saab hetkel hoones viibinud inimestest surma 20-50% ja raskelt vigastada 50-80%. Mõjutegurite otsesteks ja kaudseteks jagamine on üldiselt tingitud sellest, et otsest mõju on üldjuhul lihtsam prognoosida ja hinnata. Kaudsete mõjutegurite esinemine on üldjuhul juhuslik. Plahvatuslaine jõudmisel inimeseni tekib plahvatuslaine ja kopsudes oleva õhurõhu vahe. Õhurõhu vahe võib kaasa tuua eluohtlikke vigastusi kopsudes-verejooksud, -valumid ja kopsude purunemine. Peegeldunud plahvatuslaine korral võib olla mõjuv rõhk suuremgi kui on tegelik tipprõhk plahvatusel. Samuti võib olla plahvatuslaine ajaline mõju suurem peegeldunud laine korral. Teine mõjuv tegur kopsudele on inimese kehaasend tulenevalt plahvatuslaine levimisesuunast. Kõrva trummikile on tundlik ja reageerib juba väikestele muutustele. Kuna plahvatuslained ja inimesed on erinevad, siis ühtsed kriteeriumid trummikile purunemise osas puuduvad. (Soojuskiirguse ... 2008: 67-117)

2.3 Plahvatuse mõju ehitistele ja rajatistele.

Rajatis, millele langeb plahvatuslaine deformeerub või puruneb. Deformeerumise viis ja ulatus sõltuvad plahvatuslaine parameetritest, kasutatud ehitusmaterjalidest, ehitusmaterjalide kvaliteedist, ehitusviisist ja kasutatud ehituskonstruksioonide omadustest. Üldjuhul on tõenäosus, et ehitis satub oma eksploatatsiooni ajal plahvatuse mõju alla väga väike. Seepärast tavaliselt ei arvestata ehituskulude vähendamiseks võimaliku plahvatuse mõjudega projekteerimisel ega ehitamisel. Plahvatuslaine mõju ehitisele oleneb plahvatuslaine liigist: rõhulaine või lööklaine ning lisaks sellest, kas plahvatuslaine on otsene või peegeldunud. Plahvatuslaine mõju sõltub ka plahvatuslaine liikumisteele jääva ehitise

pinna suurusest, pinna ja ehitise aerodünaamilisest takistusest, ehitise kõrgusest, - massist ja jäikusest. Plahvatuslaine liikumisel üle ja ümber ehitise võib eristada nelja faasi:

- Plahvatuslaine põrkub ehitise plahvatuspoole küljega.
- Plahvatuslaine peegeldub teatavas osas esiküljelt tagasi moodustades peegeldunud laine ja lõõrilaine.
- Plahvatuslaine liigub üle ja ümber takistuse tekitades hoone pinnal keeriseid
- Häiritud plahvatuselaine eesrinne langeb ehitise taga tagasi maapinnale ja ehitise ületanud plahvatuslaine jätkab edasiliikumist.

Väline jõud, milleks on plahvatuslaine, tekitab ehiste deformatsiooni ja kutsub esile hoone sisemised vastujõud. Kuna on tegemist staatilise mõjuga on sise- ja välisjõud tasakaalus, kuid kui välisjõud muutub ajas kiiresti, hakkavad olulist osa mängima ehitise mass ja jäikus. Välisjõudu hakkab lisaks sisejõududele tasakaalustama liikuma hakanud rajatise massi inerts. Sellisel juhul räägitakse juba, et tegemist on dünaamilise välismõjuga. Ehitise projekteerimisel arvestatakse alati võimalike väliste jõududega, mis võivad mõjuda ehitisele mõjuda tavalistes ekspluatatsioonitingimustes. Põhilisteks välisteks jõududeks on tuule- ja sademekoormused. Ehitise projekteeritakse maksimaalsete koormuste suhtes tugevusvaruga ja kasutatakse standardseid projekteerimismorme ja eeskirju. Plahvatuse mõju hindamiseks peab arvestama konkreetse ehitise puhul ehitise staatilist tugevust, omavõnkesagedust ja energiamahuvust. Lisaks plahvatuslainele võivad ehitist ja rajatist kahjustada plahvatuse tagajärjel tekkivad lendkehad. Lendkehade ohtlikkus sõltub otseselt nende massist ja kiirusest ning objektist mida nad kahjustada võivad. Tööstushoones toimunud plahvatuse korral võib laialilendavate lendkehade kiirused ulatuda üle 300 m/s ja suurimad massid ulatuvad 1000 kg. Kõige raskemad tagajärjed võivad tekkida siis, kui lendkehad tabavad rajatise või mahuteid, mille tagajärjel vigastatud mahutist või rajatisest vabanenud kemikaalid võivad otse ümbritsevasse keskkonda laiali voolata või pihustuda. Põhilisteks mahutite või rajatiste ehitusmaterjaliks on raud või raudbetoon. Riskide hindamisel tuleb arvestada seda, kas võimalikud lendkehad suudavad läbistada või vigastada antud kaugusel ohtlikke objekte. Väikeste kokkupõrkekiiruste juures ei avalda praktiliselt mingit kahju kaugemale paiskunud lendkehad. Kiiruse suurenedes jätab objekti tabanud lendkeha sellele jälje: kraatri, lohu. Kiiruse kasvades lendkehad hakkavad läbistama tabatud objekte. Tavaliste hoonete puhul läbistatakse kaugemas mõjupiirkonnas katuseid muutes nende veepidavust. (Soojuskiirguse ... 2008: 104-145)

3 UURIMISTULEMUSED

3.1 Uurimuse metoodika ja valim

Käesolevas lõputöös on kombineeritud erinevaid andmekogumise ja andmeanalüüsi meetodeid. Lõputöö autori hinnangul on käesolev metoodika vajalik lõputöö eesmärgi saavutamiseks, kuna teoreetilises osas kajastatu ning uurimustöö osana välja selgitatud meetod ohuala ulatuse hindamiseks vajavad Eestis rakendamiseks võrdlevat analüüsi. Võimalike riskistsenaariumite välja selgitamiseks on vaja kindlaks teha tulenevalt teooriast kaudsed situatsiooni kohad, kus ammooniumnitraatväetise ebaõige käitlemine võib põhjustada hoiustamisel tekkiva riski tõusu suurenenud plahvatusohu näol.

Uurimus jagati kolme etappi, kus esimeses etapis selgitati teadusartiklite ja kirjanduse põhjal võimalik metoodika ohuala määramiseks ammooniumnitraatväetise plahvatuse korral, võimalikud riskistsenaariumid ja selle põhjused. Teine ja kolmas etapp viidi läbi paralleelselt. Teises etapis analüüsiti seadusandlike aktide vastavusseost teooria osale ja välja uuritud metoodikale (ohuala määramiseks). Kolmandas etapis viidi läbi kokku seitse poolstruktureeritud ekspertintervjuud. Fookusgrupi moodustasid ammooniumnitraatväetiste käitlemise ohutust kontrollivad isikud, lõhketööde ekspert, keemia ekspert ning ammooniumnitraatväetist käitlevad isikud. Lõhketööde eksperdi arvamused ja hinnangud on kajastatud vastavate teemaosade juures. Hoiustajatena valiti intervjuudesse põllumajandusettevõtjad, kuna töö autoril oli eelnevalt informatsiooni, et suuremad põllumajandusettevõtjad käitlevad küllaltki suurtes kogustes ammooniumnitraatväetisi. Vaatluse fotod on esitatud lõputöö lisa 6. Lisaks tutvus autor dokumendianalüüsi raames Põhja päästkeskuse haldusalal ammooniumnitraati käitlevate ettevõtete ohutusalase dokumentatsiooniga Päästeameti Põhja Päästkeskuse Kriisireguleerimise büroos.

Intervjuude läbiviimisel esines probleeme. Esiteks, viidates oma teadmiste puudulikkusele öeldi autori palvele osaleda uurimuses sageli ära. Teiseks, põllumajandusettevõtjad ei soovinud oma isikute tuvastamist ja olid nõus küsimustele vastama anonüümselt, selle tõttu on käesolevas töös põllumajandusettevõtjale nimeks märgitud „Põllumees“ ja nende eraldamiseks on suurtähed- näiteks Põllumees A.

3.2 Ohuala ulatuse määramise ammooniumnitraatväetise hoiustamisel

Käesolevas peatükis annab autor ülevaate peamiselt dokumendianalüüsi põhjal leitud plahvatuse ohuala määramise meetodika kohta ammooniumnitraatväetise hoiustamisel. Käesoleva töö autor tutvus erinevate ohuala määratlemiste meetodikatega ja toob käesolevas peatükis välja kõige lihtsama ja autori arvates parima ja sobivama meetodika.

Võimaliku ohuala ulatuse ja mõju hindamisel tekib küsimus, kui suure osaga hoiustatavast ammooniumnitraadi massist arvestada ja milline peaks olema väetise ammooniumnitraadi sisaldus (lämmastiku sisaldus) ning millise TNT ekvivalendiga arvestada. Kõige halvema stsenaariumi järgi tuleks arvestada kogu hoiustatava massiga ning detoneerumisvõimeline on kindlasti materjal, mis sisaldab 2/3 ulatuses ammooniumnitraati ja 1/3 ulatuses inertseid aineid (Tomberg, 2014). Seni toimunud õnnetuste analüüsid on näidanud, et õnnetuse korral ei plahvata kogu hoiustatud või veokil olnud ammooniumnitraadi mass. Õnnetuse uurimine näitas, et plahvatuses Toulouse tehases osales 5- 31% kogu hoiustatud ammooniumnitraadist. 2002. aastal võeti ametlikult Prantsusmaal ohuala arvutamisel võimalikus riskistsenaariumis 10 % kogu hoiustavast ammooniumnitraadi massist. Samas järeldasid õnnetust uurinud prantslased, et riskistsenaariumid peavad kõikjal arvestama ka kõige halvima riskistsenaariumiga ja nende muutlikkusega. (Dechy, Bourdeaux, Ayrault, Kordek, Le Coze, 2004)

Samas on võimalik ohuala ulatust arvutada viisil, et arvestuslikult käsitletakse ainult suurimas virnas oleva ammooniumnitraatväetise massi. Sellisel juhul peaks olema virnade vahe 10m (Drygala, 2013). Katsed on näidanud, et kui doonorlaenguna kasutati ANFO virna ja detonatsiooni vastuvõtjana tehnilist ammooniumnitraati (poorne ammooniumnitraat), siis detonatsioonisiirde katkemine jäi 9 – 16m vahele (Nygaard 2008). Kuna väetistes kasutatavad graanulid on vähem tundlikud, siis peaks 10m virnade vältima detonatsiooni levimist.

Austraalias kasutatakse ammooniumnitraatväetise hoiustamisel ohuala välja arvestamiseks meetodikat, kus arvestatakse suurima virnakogusega ning selle meetodika kasutamise tingimuseks on ohutu vahekaugus ammooniumnitraatväetise virnade vahel. Ohutu kauguse väljaarvutamiseks kasutatakse Austraalias ja NATO riikide sõjalistel objektidel lõhkeaine hoidmisel järgnevat valemit: (Drygala, 2013; NATO, 2010)

$$D = k \times Q^{1/3}$$

D- distant (m)

k- unikaalne koefitsient, sõltuv ülerõhu suurusest

Q= aine mass (kg) x TNT-ekvivalent

Valem on sobiv, kuigi ammooniumnitraat (-väetis) ei ole 1.1 allklassi lõhkematerjal, vaid teda võib käsitleda kui allklassi 1.5 tüüpi lõhkematerjali, siis võime plahvatada kogu massiga on ühine, see tähendab, et kõige halvema stsenaariumi järgi käitub ammooniumnitraatväetis analoogselt 1.1 allklassi lõhkematerjaliga ehk plahvatab kogumassiga (Tomberg, 2014).

Ammooniumnitraatväetise plahvatusvõimsus ei ole võrdne TNT-ga. ega poorse ammooniumnitraadi baasil valmistatud ANFO-ga, sest katsetused ja uuringud on näidanud, et õnnetuste korral on plahvatava ammooniumnitraatväetise võimsus võrreldes TNT-ga 20-25% (Drygala 2013; Handbook of...2004: 34). Sellest jäeldub, et maksimaalne ammooniumnitraatväetise TNT-ekvivalent õnnetuse korral on 0,25.

Austraalias määratakse ohutud kaugused ehitistele ja rajatistele olenevalt plahvatuse poolt tekitatud ülerõhust ning kasutatakse alljärgnevaid ohutuskoeffitsiendi väärtuseid ruumilisel planeerimisel: (Drygala 2013; Safe storage ...2013).

Tabel 2. Maksimaalse lubatava plahvatusrõhu, ohutuskoeffitsiendi ja ehitisetüübi seos

Maksimaalne plahvatus-rõhk rajatisele ohutuskoeffitsiendi väärtus	lubatav ehitistele ja rajatistele ning K	Ehitise ja rajatise tüüp
≤ 5,5 kPa	K = 22.2	Tundlikud ehitised: haiglad, koolid, lasteaiad, vanadekodud jne;
≤ 7 kPa	K = 17.8	Majutus: elurajoonid, hotellid, motellid;
≤ 14 kPa	K = 10.4	Väikepoed, kontorid;
≤ 21 kPa	K = 7.8	Tööstushooned, tehased.

Toetudes kolmele allikale koostas käesoleva töö autor kokkuvõtliku tabeli, mis kirjeldab plahvatuse mõju ehitistele ja rajatistele tulenevalt dünaamilisest rõhust. Tabel on esitatud käesoleva lõputöö lisana 4. Tabelis on lisaks toodud ka ohutuskoeffitsiendi K väärtus sõltuvalt rõhust. Ohutuskoeffitsiendi K leidmiseks koostas autor tabeli, mis on esitatud lisana 5.

Võttes arvesse lisas 4 esitatud maksimaalselt võimalikku plahvatusrõhu mõju ja Austraalias kasutatavat meetodikat selgub, et ootamatu plahvatuse puhul on kõige halvemal juhul aktsepteeritud risk väikesema hulga hukkunute ja vigastatutega ning ehitiste ja rajatiste purunemisega ulatuses, kus neid on mõistlik taastada. Kuna seni toimunud õnnetuste analüüs näitab, et tõenäoliselt ei plahvata kogu hoiustatav ammooniumnitraadi mass (efektiivselt plahvatanud ammooniumnitraadi mass on jäänud 10-30% vahele), siis tõenäoliselt tegeliku kahju ulatus plahvatusel jääb arvestuslikust väiksemaks. Käesoleva töö autori hinnangul on selline „kompromisslahendus“ mõistlik.

Olulist mõju plahvatusele omab ka see, millal ja mis kvaliteediga on ehitised tehtud. Oluline muutus on Eesti ehitistel aset leidnud uute plastikust aknaraamide ja paketiklaaside kasutuselevõttuga, mis on tinginud selle, et kaasaegsed aknad on plahvatustele palju vastupidavamad, kui vanad puidust raamiga „kitt-liist“ tehnoloogiaga klaasitud aknad. Aknaklaaside vastupidavust tõstavad kiletamine ja lamineerimine, (Tomberg, 2014)

Avamaastikul inimesele viimaseks ohutuks piiriks loetakse rõhku 10 kPa ja ohutu distants sellisel juhul arvutatakse valemiga $D = 15 \times Q^{1/3}$ (Lõhketöö projektile esitatavad nõuded. Majandus- ja kommunikatsiooniminister määrus, vastu võetud 01.06.2005). (edaspidi Lõhketöödeprojekti nõuded)

Kui kaugemale levib plahvatuslaine mõju tegelikult on raske ennustada, kuna määramatust on palju. Mingil hetkel muutub lõhkematerjali plahvatuslaine akustiliseks laineks. Tomberg viitab oma materjalides, et erinevatel andmetel on teoreetiline kaugus võimalik määrata valemiga $D = 100 \times Q^{1/3}$, kus Q on lõhkeva aine mass (kg) TNT ekvivalendis. Teoreetiliselt ei tohiks pärast seda enam akustiline müra kahju tekitada. (Tomberg, 2014; Tomberg, 1998; Reinsalu 2009). Plahvatuslaine levimisel võib tekkida ka arvutuslikust kaugusest märkimisväärseid erinevusi. Esimene erandlik olukord on siis, kui võimaliku plahvatuse üks suund on piiratud mingisuguse massiivse barjääriga, näiteks järsk mägi või kalju. Sellisel juhul tekitab peegelduv laine vastassuunas lööklaine võimendumist ja võimendumise suunal tuleb ohuala suurendada soovituslikult 1,5 korda. Sarnane olukord on võimalik ka siis, kui tegemist on oru või kanali tüüpi pinnavormidega, kus plahvatuslaine levib kaugemale pikki oru suunda, kui arvutuslikult prognoositud. Teine erandlik olukord võib tekkida siis, kui plahvatava materjali virnad või virnade osad asetsevad „V“ kujuliselt. Sellisel juhul võib virnade vahel tekkida kumulatiiviefekt, mis seisneb selles, et virnade vaheline

plahvatuslainete fokuseerimine kutsub esile plahvatuslaine toime järsu suurenemise. (Tomberg, 1998:19; Lõhketöödeprojekti nõuded; Reinsalu, 2009: Инженерные...:1976: 78)

Peale plahvatuslainete on teiseks kahjulikuks mõjuks võimaliku plahvatuse korral plahvatuslaine poolt laialilennutatavad hoidla konstruktsioonid. Mida kaugemal võimalikust plahvatuskohast, seda väiksem on lendkehade kahjuliku mõju tõenäosus. Lõhkematerjali allklassi 1.1 lao rusude maksimaalne võimalik lennukaugus arvutatakse valemiga

$D = 14,8xQ^{1/3}$, kus Q on lõhkeva aine mass (kg) TNT ekvivalendis (NATO, 2010). Enamik plahvatuse epitsentrist lendu paisatud tükid kukuvad kaugelt varem maha, kui arvestuslik maksimaalne lennukaugus. (Tomberg, 2014; Tomberg, 2007).

3.3 Ammooniumnitraatväetise käitlemise nõuete ja ohuala ulatuse määramise meetodikaga esile kerkinud probleemid

Käesolevas peatükis annab autor ülevaate õigusaktides tulenevate käitlemisnõuete, hoiustamise ohuala määramise meetodika ja selle rakendamisega seonduvatest probleemidest. Õigusaktidena käsitletakse seaduseid ning Vabariigi Valitsuse ja ministrite määruseid

Vabariigi Valitsuse 17. veebruari 2011. a määruse nr 28 „Nõuded ohtliku ja suurõnnetuseohuga ettevõtte kohustuslikule dokumentatsioonile ja selle koostamisele ning avalikkusele edastatavale teabele ja õnnetusest teavitamisele“ lisas „Riskianalüüsi käigus määratavate ohualade parameetrid“ dokumendianalüüsist, selgub, et ohuala määratakse vastavalt plahvatuse ülerõhu parameetritele kolmeks osaks: eriti ohtlik ala, väga ohtlik ala ja ohtlik ala. Ülerõhu parameetrid on esitatud ulatuses, kus eriti ohtlikus alas hukub või puruneb enamik inimesi ja ehitisi. Eriti ohtliku ala piir inimestele on 150 kPa ja ehitistele 35kPa. Väga ohtliku ala piires on õnnetuse ohtliku väljundi mõjul võimalik inimese hukkamise ning ehitiste kahjustused nende mahust vahemikus 1–49%. Väga ohtliku ala piir inimestele on 80 kPa ja ehitistele 17kPa. Ohtlikus alas võib õnnetus tekitada inimestele tervisekahjustusi ning hoonetele kergeid kahjustusi. Piirnorm inimestele ja ehitistele on vastavalt 24kPa ja 3kPa.

Antud parameetrite võrdlemisel selgub, et kergete kahjustuste võrdluses talub inimene 8x enam plahvatuse poolt tekitatud dünaamilist rõhku. Antud määruuses toodud rõhkude võrdlused ning võttes lisaks arvesse käesoleva töö alapeatükis 3.2 kirjeldatud ammooniumnitraatväetise plahvatuse ohuala määramise meetodikat ning peatükis 2

kirjeldatud plahvatuse mõju, siis tegelikult ei arvesta plahvatusrõhkude eraldi käsitlemine hoonete purunemisega. Kui hoones viibivad inimesed, siis on nende hukkumine hoone täielikul kokkuvarisemisel võib ulatuda 80%-ni. Inimelu on kõige tähtsam ja seetõttu tuleks arvestada ehitise kokkuvarisemise mõjuga inimesele. Käesoleva töö autor on seisukohal, et arvestades kaasaja inimeste töökorralduslikku ja eraelulist tegevust, siis viibivad inimesed enamjaolt siseruumides või nende vahetus läheduses. Ohualade eraldimääramine üldreeglina ei oleks otstarbekas. Näiteks arvestades Drygala 2013 artiklis antud kirjeldust plahvatuse mõjule dünaamilise ülerõhu väärtusega 21 kPa, siis hukkuks siseruumides tõenäoliselt 20% inimestest, aga avamaastikul saaks inimesed kergemaid tervisekahjustusi.

Võrreldes käesoleva töö alapeatükis 3.2 kirjeldatud ammooniumnitraatväetise plahvatuse ohuala määramise meetodikas kasutatavat valemit ja Majandus- ja kommunikatsiooniministri 01.06.2005 määruses „Lõhkematerjalitehasele ja lõhkematerjalitehase projektile esitatavad nõuded“ (edaspidi: Lõhkematerjalitehase projekti nõuded) antud ohuala arvutamise valemit, siis need on peaaegu identsed. Üksikutel juhtudel on ohuala arvestatud eelpool mainitud määruses antud juhiste järgi. Määruses antud valem kehtib juhul, kui hoitakse allklassi 1.1 lõhkematerjale, ning kaugused allpool märgitud objektidest arvutatakse:

- vanadekodust, lasteaiast, vanglast või muust sarnasest hoonest arvutatakse ohutuskoeffitsiendiga $k=40$;
- elamurajoonist arvutatakse ohutuskoeffitsiendiga $k=30$;
- üksikult asuvast elamust, tööstus- või ühiskondlikust hoonest või üle 1000 m³ mahuga vedelkütusehoidlast arvutatakse ohutuskoeffitsiendiga $k=22$;
- raudteest, maanteest, veeteest või hooajaliselt kasutatavast üksikust hoonest arvutatakse ohutuskoeffitsiendiga $k=15$.

Määrusega ei viidata erinevate ainete erinevale plahvatusvõimsusele (TNT-ekvivalent). Mainitud määruse meetodika otse rakendamisel tekiks ammooniumnitraatväetise plahvatusala mõju suur ülehindamine. Seni toimunud õnnetuste analüüsid on näidanud, et õnnetuse korral on efektiivselt plahvatanud maksimaalselt 1/3 ammooniumnitraadi massist. Allklassi 1.1 lõhkematerjal plahvatab kindlalt kogu massiga. Kõige halvema stsenaariumi kohaselt võiks sama moodi käituda ka ammooniumnitraatväetis. Kui peatükis 3.2 välja

toodud metoodikasse rakendataks „Lõhkematerjalitehase projekti nõuetes“ antud ohutuskoeffitsiendi väärtused, siis tähendaks see väga suure tõenäosusega reaalse ohuala ülehindamist. Ligikaudu kaks korda väiksemad ohutuskoeffitsiendi väärtused tagavad isegi ammooniumnitraatväetise kogumassi plahvatuse korral talutavad kahjustused.

Planeerimisseaduse (edaspidi PlanS) järgi peab kohalik omavalitsus arvestama suurõnnetuse ohuga ammooniumnitraati käitlevast ettevõttest lähtuvate riskidega üld- ja detailplaneeringute koostamisel ja kehtestamisel ning ehituslubade väljastamisel. (PlanS § 16 13.11.2002) Hetkeseisuga, kui Eestis ei ole kehtivates õigusaktides ega neis ka selle kohta ühtki viidet, kuidas ohuala võimaliku ammooniumnitraatväetise plahvatuse korral määrata, siis tekib käesoleva töö autori arvates kahtlus, et nõuet on praktikas keeruline täita. Ametnikel ei ole millelegi muule toetuda, kui ettevõtte enda koostatud dokumentidele, kus ettevõtte võib teadlikult või tahtmatult esitada valeandmeid.

Enamik otseseid nõuded ammooniumnitraatväetise käitlemisele on kirjeldatud Väetiseseaduses, Kemikaaliseaduses ja Kemikaaliseaduse alusel välja antud määrustes. „Nõuded kemikaali hoiukohale, peale-, maha- ja ümberlaadimiskohale ning teistele kemikaali käitlemiseks vajalikele ehitistele sadamas, autoterminalis, raudteejaamas ja lennujaamas ning erinõuded ammooniumnitraadi käitlemisele“ (edaspidi: Erinõuded ammooniumnitraadi käitlemisele) sätestab enamikest olulistest nõuetest ammooniumnitraatväetise kätlemisele vältimaks õnnetust. Töö kirjutamise ajahetkel kehtib nõue, et virnade omavaheline kaugus pakitud ammooniumnitraatväetisel on vähemalt 1m (Erinõuded ammooniumnitraadi käitlemisele, vastu võetud teede- ja sideministri määrusega 06.12.2000). Tuginedes teooriale ja arvestades alapunktis 3.2 välja toodud ohuala arvutamise metoodikat, siis minimaalse vahe nõue 1m on hoiustamise ohutust pärssiv. Virnade vahekauguse nõue peaks olema kirjeldatud selliselt, et välditud oleks detonatsioonisiirde võimalus.

Kui kehtestatakse õigusaktides nõuded, siis nõuete tagamiseks on vajalik kontroll. Läbi intervjuude selgus, et põllumajandussektoris ei ole kontroll tõhus. Tehnilise Järelevalve Ameti seisukoht on, et põllumajandusettevõtetes väetise hoiustamist peaksid kontrollima Päästeameti tuleohutuskontrolli büroo töötajad (Arus, 2014). Käesoleva töö autor toob välja, et väetise käitlemise kontrolliga tegeleb ka Põllumajandusamet, kelle ülesandeks on Põllumajandusameti põhimääruse § 14 järgi korraldada riiklikku järelevalvet väetiste

käitlemise üle (Põllumajandusameti põhimäärus, vastu võetud põllumajandusministri määrusega 23.09.2009). Aluseks Päästeametil kontrolli teostada ja muutusi esile kutsuda annab Tuleohutuseseadus (edaspidi TuOS) (Tuleohutuseseadus § 38, § 57. 05.05.2010). TuOS alusel välja antud siseministri 2. septembri 2010. a määruse nr 44“Põlevmaterjalide ja ohtlike ainete ladustamise tuleohutusnõuded“ järgi ohtlikud ained, mis määruse lisa 2 kohaselt üksteisest eraldatakse, peavad paiknema nii, et oleks välistatud ohtlike ainetega kokkupuutumine isegi õnnetuse korral. Lisa 2 järgi peavad olema eraldatud teineteisest oksüdeerivad ained ja põlevad ained. Juhised selle kohta, kuidas peab olema eraldatus teostatud on kirjeldatud teede- ja sideministri määrusega 06.12.2000 „Nõuded kemikaali hoiukohale, peale-, maha- ja ümberlaadimiskohale ning teistele kemikaali käitlemiseks vajalikele ehitistele sadamas, autoterminalis, raudteejaamas ja lennujaamas ning erinõuded ammooniumnitraadi käitlemisele“.

3.4 Intervjuude ja riskianalüüside ning ohutusaruannete dokumendianalüüsi kokkuvõte

Käesolevas peatükis teeb autor kokkuvõtte intervjuudes osalenud isikute olulisematest seisukohtadest ning riskianalüüsides ja ohutusaruannetes kajastunud informatsioonist. Poolstruktureeritud ekspertintervjuud viidi läbi perioodil 01.03.2014 - 16.04.2014. Intervjuuks ettevalmistatud küsimustik on toodud lõputöö lisa 1. Vajadusel kasutati lisaküsimusi. Intervjuudes osalenud isikute nimekiri, läbiviimise aeg ja koht on esitatud käesoleva lõputöö lisa 2.

Tehnilise Järelevalve Ameti andmeil hoiustatakse Eestis ammooniumnitraatväetist peamiselt lahtiselt puistena ja big-bag kottides. Taristuna kasutatakse spetsiaalselt selleks otstarbeks ehitatud kuppelladu ja tavalisi lahooneid. Lisaks hoiustatakse ammooniumnitraatväetist koormakatetega kaetuna kottides laoplatsil. Ohtlikud ja suurõnnetusohuga ettevõtted arvestavad ladustamisel seadusandlusest tulenevaid hoiustamisnõudeid. Lahtist tahket ammooniumnitraatväetist pakendatakse hoiustavates ettevõtetes ümber kottidesse (Arus, 2014; AS DBT ohutusaruanne, 2013; OÜ Baltimark riskianalüüs, 2013; OÜ BLRT Transiit riskianalüüs, 2006).

Riskianalüüsid ja ohutusaruanded, millega käesoleva töö autor tutvus olid kirjutatud erineva kvaliteediga. Ohutusaraste dokumentide koostamiseks oleks vaja tõenäoliselt paremaid suuniseid. Ammooniumnitraatväetist hoiustavates ohtlikes ja suurõnnetusohuga ettevõtetes

tõsisemaid probleeme tänapäeval ei esine (Arus, 2014). Tõsisemad probleemid käitlemisel jäävad minevikku, kus ammooniumnitraatväetisi käitlevate ettevõtete ohuteadlikkus oli piiratud (Kozõrev, 2014). Põldme (2014) tõi intervjuus välja, et ta on viibinud Muuga sadamas asuvas AS DBT väetisehoidlas ning sealse töökultuuriga ei saa tema arvates rahul olla, kuna hoidla kandekonstruktsioonid olid pikalt puhastamata ja kaetud väetise tolmuga. Lõputöö uurimisetapis küsitletud Tehnilise Järelevalve Ameti ja Päästeameti esindajate arvates on üldiselt ammooniumnitraatväetiste suurtähtsuse üle kontroll hea ja see on sundinud käitlejad enam panustama ohutusse. Tõsiselt arvestatav riskikoht on puistena raudteel transporditav lahtine kõrge lämmastikusisaldusega ammooniumnitraatväetis, kuna transpordil võib ette tulla avariolukordi, mille tulemusel ammooniumnitraatväetis saastub ebasobiva ainega ja tekib samaaegselt tulekahju (Arus, 2014). Teine oht transpordil on see, kui transpordiks ei kasutata puhtaid transpordivahendeid ja tekib saastatud väetis (Põldme, 2014). Käitlevad ettevõtted on kirjeldanud oma riskianalüüsides võimaliku plahvatuseni viiva stsenaariumina peamiselt naaberettevõtetest tulenevat tulekahju ohtu. Näiteks Muuga sadamas asuva AS DBT väetise terminaali vahetus läheduses asuvad vedelkütuste terminalid, kus riski maandamiseks on kasutusele võetud meetmed.

Põllumajandussektoris tegutsevad ettevõtted on ammooniumnitraatväetise hoiustajad. Lõputöö raames läbiviidud intervjuud, mille üks eesmärkidest on selgitada välja võimalikke riskistsenaariume, näitasid, et väetised sh ammooniumnitraatväetised transporditakse põllumajandusettevõtjatele juba jooksva aasta jaanuarist alates ja väetama hakatakse aprillist. Vahel hoiustatakse väetist ka üle aasta (Põllumees C). Põllumajanduses on väetiste hoiustavad mahud ja tüübid erinevad ning need olenevad haritava maa-ala suurusest ja kasvatatavast kultuurist. Isikute hulgast, kellega intervjuud läbi viidi olid põllumajanduses tegutsevaid kolm. Intervjueeritud põllumajanduses tegutsevad isikud käitlesid aastas ammooniumnitraadi põhiseid väetisi 100 – 500 tonni vahel. Kuigi algselt oli lõputöö uurimisosas plaanis läbi viia intervjuu ainult ühe põllumajandusettevõtjaga, siis intervjuu käigus kerkisid esile ohtlikud ilmingud, mis seisnesid ohutusala teadmiste puudumises ammooniumnitraadi hoiustamisel. Selle tõttu suurendas autor intervjueeritavate arvu, vähendamaks tõenäosust, et esile kerkinud ilmingud ei oleks kindlalt juhuslikud.

Enne intervjuude läbiviimist eeldas käesoleva töö autor, et Eesti põllumajandusettevõtjatel on läbi erialase ettevalmistuse teadmised ammooniumnitraatväetise ohutust käitlemisest. Intervjuud näitasid, et teadmised ohutusest on tõenäoliselt väga kasinad ja vajavad Eestis

täpsemat uuringut. Oma artiklis toovad Marlair ja Kordek välja, et üldiselt on põllumajandustöötajate teadmised riskidest piiratud, kuna nende koolitused on teise suunitlusega. Parem koolitus lõpptarbijatele on soovitatav (Marlair, Kordek, 2005).

Põllumajandusettevõtjatel oli erialane kutsekooli ettevalmistus või keskharidus. Küsimusele, nimeta mõned ohud ammooniumnitraatväetise käitlemisel vastas ainult põllumees B: „Võimalik on ammooniumnitraadist valmistada pomm ja seega on plahvatusoht olemas ...!“ . Põllumehed A, B ja C mainisid keskkonnaohtu ja põllumees C tõi välja eraldi terviseohu. Küsimusele mida teate ammooniumnitraatväetise käitlemise nõutest vastasid põllumehed A, B ja C, et nõuded on kusagil kindlasti olemas-kirjeldatud, aga nad ei tea neist midagi. Küsimusele kas olemasolev koolitus- ja kontrollsüsteem on piisav õnnetuste vältimiseks, vastasid Põllumehed A, B ja C, et koolitusi oleks vaja kindlasti ja väga hea oleks, kui keegi selgitaks seadusi. Põllumees B omas teadmist, et kunagi NSVL ajal oli kusagil Venemaal toimunud plahvatus väetiselaos, kus tulekahju tõttu oli tulemüür kokku kukkunud ja varisenud väetisele peale.

Põllumeestes B oli ainsana nõus näitama hooneid, kus oma väetisi hoiab. Esimene hoone oli vana kolhoosi töökoda-garaaž, teine hoone oli vana kuivati. Fotod hoiustamisest lisainfoga on esitatud lisas nr 6.

M. Põldme toonitas intervjuus, et oht ammooniumnitraatväetise seotud õnnetusele on alati olemas ja tuleneb see ammooniumnitraadi enda omadustest. Kindlasti peavad käitlejad omama ohutuslaseid teadmisi. Lubamatu on see, kui väetisel on võimalus saastuda või saastatakse väetist inimese poolt. Vältida tuleks erinevate väetiste segunemise võimalust. Riski maandamiseks tuleb väetise hoidlas pidada puhtust ja korda. Igasugune põlevmaterjal või ained, mis reageerivad väetisega või ained, mis soodustavad katalüütiliselt väetise lagunemist, tuleb hoidlast kindlalt eemal hoida. Hoidla peab olema ehitatud kvaliteetselt kasutades ammooniumnitraadile keemiliselt vastupidavaid materjale. Tähelepanelik peab olema ka väetisehoidlat ümbritseva looduskeskkonna ja tehiskeskkonna suhtes, näiteks pinnase ja sadeveed ei tohi hoidlat ohustada ning väetisehoidla läheduses asuvad rajatised ei tohiks hoidlat ohustada. Hoolikalt peab valima asukohta, kuhu väetisehoidlad ehitatakse. Kontroll väetiste käitlejate üle peab olema tõhus ja kontrollijad haritud. (Põldme, 2014)

4 JÄRELDUSED JA SOOVITUSED AMMOONIUMNITRAAT-VÄETISE PLAGHVATUSE OHUALA MÄÄRATLEMISEKS NING PROBLEEMIDE LAHENDAMISEKS

Käesolevas peatükis toob autor välja lõputööga leitud järeldused ja soovitused lõputöö eesmärgi täitmiseks ning lõputöö raames esile kerkinud probleemide lahendamiseks. Kõik ettepanekud ja soovitused ei ole otse praktikas rakendatavad, kuna rakendumiseks vajavad õigusnormide muutmist. Soovitused tervikuna aitaksid parendada kriisireguleerimise valdkonna tööd Päästeametis.

Lõputöö raames läbitöötatud teaduslikule materjalile, seadusandlusele, dokumentidele ja läbi viidud ekspertintervjuudele toetudes selgub, et ammooniumnitraatväetiste ohutust käitlemisel ja ohuala ulatust mõjutavad erinevad tegurid: lämmastikuisaldus, väetise koostis, tuleohutus väetise käitlemisel, väetise laadimise tehnoloogia, hoiustamistingimused, hoidlate asukoht, hoidlate taristu, hoidlat ümbritsev loodus-ja tehiskeskkond ning plahvatusega kaasnevate mõjutegurite ulatuse adekvaatne hindamine ja ruumiline planeerimine. Hoiustamisel, kui on täidetud kõik nõuded, siis plahvatusoht praktiliselt puudub. Kontrollitud hoiustamisel on õnnetuse toimumise tõenäosust 1×10^{-5} aastas ehk väga väike.

Risk õnnetusele suureneb transpordil. Hoiustamise ohutuse hindamisele peab lähenema süsteemselt ja eri valdkondade kaudu. Ammooniumnitraatväetise hoiustamisest võivad tekkida kolm peamist ohtu: tulekahju teke tulenevalt ammooniumnitraadi oksüdeerivast toimest, keemiline lagunemine, kus tekivad mürgised gaasid ning ammooniumnitraatväetise plahvatus.

Käesoleva töö autor on veendumusel, et õnnetused on välditavad, kui täidetakse kindlalt kõiki käitlemisnõudeid. Käitlemisnõuete täitmine sõltub eelkõige väetise käitlejate ohuteadlikkusest, tahtest käitlemisnõudeid täita ja kontrolli tõhususest käitlejate üle. Ammooniumnitraatväetis võib võimalikus riskistsenaariumis plahvatada läbi kolme mehhanismi: piisava energiaga kuumutamine, ahelreaktsioonina kulgev lagunemine ja detonatsiooni impulsist. Kõige tõenäolisem plahvatuseni viiv riskistsenaarium on piisava energiaga kuumutamine, mis võib tekkida tulekahju tagajärjel. Detonatsioonikindluse katse ei välista võimalust, et ammooniumnitraatväetis ei oleks plahvatusvõimega, kuna katse

läbiviimisel ei arvestata tulekahju tingimuste ega ammooniumnitraatväetise saastumise võimalustega. Lubamatu on väetise saastumine ainetega, mis põhjustavad kokkupuutel ammooniumnitraadiga keemilist reaktsiooni või muudavad ammooniumnitraatväetise omadusi selliselt, et ammooniumnitraatväetis muutub selgelt lõhkeainena käsitletavaks materjaliks. Seadmeid ja elektripaigaldisi peab hoidlatesse valima erilise hoolikusega.

Käesoleva töö autori hinnangul on hetkel ammooniumnitraatväetise plahvatuse oht kõige suurem ettevõtetes, kes ei ole ennast deklareerinud käitlejana ohtlikuks ega suurõnnetusohuga ettevõtteks. Võimalik, et selline olukord on põllumajandussektoris, kuna ohutu hoiustamise nõuete täitmist ei kontrollita. Intervjuude läbiviimisel saadud kogemusele tuginedes on autor veendumusel, et vajalik on põllumajandusettevõtjate hulgas üleriigiliselt läbi viia täpsustavad uuringud kaardistamiseks ammooniumnitraatväetise käitlemise ohutusalast teadlikkust ning käitlemise ja hoiustamise nõuete täitmist.

Võimaliku ammooniumnitraatväetise plahvatuse korral saab plahvatuse mõjuala hinnata, kui kasutatakse arvutamiseks valemit, mis arvestab plahvatuse dünaamilise rõhu vähenemisega ruumiliselt. Käesoleva töö kirjutamise ajahetkel kättesaadava informatsiooni alusel on soovitatav rakendada alljärgnevat ohuala arvutamise meetodit tahketele ammooniumnitraatväetistele, mis sisaldavad rohkem kui 24,5% lämmastikku (70% ammooniumnitraati). Arvutamisel võtta ammooniumnitraatväetise TNT-ekvivalendiks 0,25. Ohuala arvutamiseks võtta valem:

$$D = kxQ^{1/3}$$

D - distant (m)

k - ohutuskoeffitsient

Q = ammooniumnitraatväetise mass (kg) x 0,25

Ohutuskoeffitsiendi k määramiseks rakendada tabelit 3.

Tabel 3. Ohutuskoefitsiendi määramise tabel

Maksimaalne lubatav plahvatusrõhk ehitistele ja rajatisele ja vastav ohutuskoefitsiendi väärtus	Ehitise ja rajatise tüüp
$\leq 5,5$ kPa $K = 22.2$	Tundlikud ja rahvarohked hooned ja rajatised: haiglad, koolid, lasteaiad, vanadekodud, mitme korteriga korruselamud, hotellid, motellid jne;
≤ 7 kPa $K = 17.8$	Kuni kahekorruselised: ühepereelamud, väike-poed ($\leq 60\text{m}^2$), kontorid, üle 1000m ³ mahuga vedelkütusehoidlast;
≤ 14 kPa $K = 10.4$	Tööstushooned, tehased;
≤ 21 kPa $K = 7.8$	Laohooned, kus viibib vähe inimesi ning ei tegeleta ohtlike materjalide hoiustamisega.

Ohuala arvutamisel antud meetodika puhul rakendada kogu hoiustatav ammooniumnitraatväetise mass, välja arvatud juhul, kui ammooniumnitraatväetist hoiustatakse eraldi virnades või hoidlates, kus kuni 600 tonniste virnade omavaheline vähim kaugus on 10 m või hoidlate ja virnade puhul on eraldi tõestatud detonatsioonisiirde katkemine. Lisaks ei kasutata hoiustamisel puidust ega muust põlevast materjalist aluseid.

Ohuala nimetuse määratlemisel oleks autori arvates mõistlik arvestada plahvatuse toimega ehitisele, kus ehitise purunemine toob kaasa ebasoodsa mõju inimese tervisele ja elule. Soovituslik on määrata ohtliku-, vägaohtliku- ja eritiohtliku ala piirid alljärgnevalt:

- Eriti ohtlik ala – rõhk kõrgem kui 21 kPa
- Väga ohtlik ala – rõhk vahemikus 21 kPa kuni 14 kPa
- Ohtlik ala – rõhk vahemikus 13,9 kPa kuni 5,5 kPa

Väetisehoidla rusude maksimaalse võimaliku lennukauguse määramiseks on soovituslik kasutada valemit: $D = 14,8 \times Q^{1/3}$. (Q = ammooniumnitraatväetise mass (kg) x 0,25)

Toetudes läbitöötatud materjalidele ja eksperdi arvamusele järeldub, et ohualas ja ohuala piiri lähedal on võimalik kahju leevendada ehituslike lahendustega. Seetõttu on ehitise projekteerimise ja planeerimise faasis vajalik läbi analüüsida võimalikud insener-tehnilised lahendused muutmaks ohualas ja ohuala läheduses ehitist plahvatuskindlamaks. Käesoleva töö autori arvates oleks sobilikud järgnevad lahendused:

- Ehitise paiknemist kavandada selliselt, et plahvatuse lööklaine tabaks otse hoone väikseima pindalaga külge. Arvestada arhitektuurilise lahenduse võimalusega muuta lööklaine poolt otse tabatav külge voolujoonelisemaks ning võimalusel akendeta.
- Ehitise kandekonstruktsioonide, eriti võimaliku plahvatuspoolse küljel, projekteerimisel arvestada võimalike suuremate dünaamiliste koormustega, kui näevad ette standardid.
- Akna valikul lähtuda võimalikust dünaamilisest rõhust. Võimalikud lahendused aknaklaaside tugevdamiseks on lamineerimine, kiletamine ja akna avas väiksemaruuduliste akende kasutamine. Võimalik on kõikide eelpool mainitud meetmete kombineerimine. Aknaraamide materjali valikul lähtuda nende ilmastikukindlusest vältimaks klaasidele raamipingeid.
- Ruumilisel planeerimisel arvestada ammooniumnitraatväetise hoidla kaugusega asustusest ja infrastruktuurist. Võimalusel jätta asula ja hoidla vahele looduslikke tõkkeid, mis vähendaks lööklaine mõju, näiteks künkad, metsaribad.
- Ammooniumnitraatväetiste hoidlate ehitamisel arvestada võimalusega suunata plahvatusjõudu vertikaalselt üles. Selleks kasutada kaitsevallitust.

KOKKUVÕTE

Töö eesmärgiks oli leida metoodika ammoniumnitraatväetise plahvatuse ohuala määramiseks arvestades võimalikku plahvatuse viivat riskistsenaariumi. Uurimustöö tulemusena selgitati välja ammoniumnitraatväetise ohtlikkus, plahvatuse ebasoodsad mõjud, tõenäolisemad riskistsenaariumid ning metoodika, mille alusel on lihtne prognoosida võimaliku plahvatuse ohuala ulatust. Lisaks selgusid antud valdkonna probleemid, millele tulevikus tähelepanu pöörata. Eesmärgi saavutamiseks kasutati kombineeritud uurimismeetodit.

Uurimuse tulemusena selgus, et plahvatuse ohuala määramiseks on otstarbekas kasutada valemit, mis arvestab plahvatuse dünaamilise rõhu vähenemisega ruumiliselt. Ammooniumnitraatväetise plahvatuse toimumise tõenäosus on väike kontrollitud hoiustamisel.

Lõputöö autor esitas mõned põhiettepanekud ohuala ulatuse määratlemiseks ja esile kerkinud probleemide lahendamiseks:

- Esimese ettepanekuna tuleks rakendada ohuala arvutamise meetodit tahketele ammoniumnitraatväetistele, mis sisaldavad rohkem kui 24,5% lämmastikku (70% ammoniumnitraati) ja ohuala arvutamiseks võtta valem $D = k \times Q^{1/3}$, kus ammoniumnitraadi mass korrutatakse TNT-ekvivalendi väärtusega 0,25. Ohutuskoeffitsiendi k väärtus võetakse sõltuvalt dünaamilise rõhu väärtusest.
- Teiseks ettepanekuks on ohuala nimetuse määratlemisel arvestada plahvatuse toimega ehitisele, kus ehitise purunemine toob kaasa ebasoodsa mõju inimese tervisele ja elule.
- Kolmandaks ettepanekuks on ehituslike ja arhitektuuriliste lahendustega turvalisuse tõstmise ohualas ja selle läheduses.
- Neljandaks ettepanekuks on põllumajandusettevõtjate hulgas viia läbi täpsustavad uuringud kaardistamiseks ammoniumnitraatväetise käitlemise ohutusalast teadlikkust ning käitlemise ja hoiustamise nõuete täitmist.

Lõputöö eesmärk on täidetud. Autori poolt välja pakutud ettepanekud on soovituslikud ja aitaksid tervikuna tõsta antud valdkonna ohutust ning parendada ruumilise planeerimise kvaliteeti.

SUMMARY

This thesis addresses the dangers of Ammonium Nitrate storage. It consists of 54 pages, including 13 pages of notes, and three tables. While this thesis is written in Estonian, the summary is in English. This thesis is a compilation of 42 sources, of which 26 were Estonian and 16 from foreign languages

This work aims to find a methodology for the determination of Ammonium Nitrate explosive dangers and what leads to an explosion in the light of possible risk scenarios. The research results address known facts and provide recommendations that the Estonian Rescue Board should continue to pay close attention to.

The first chapter talks about ammonium nitrate and its inherent dangers, potential accident scenarios which could lead to explosion, and describes the accident Ammonium Nitrate explosions cause. The second chapter discusses the harmful effects of an explosion. The third chapter and part of this study reveals the extent of the danger zone calculation, and the problems often encountered. The fourth chapter summarizes and analyzes this thesis and provides problem solving recommendations.

VIIDATUD ALLIKATE LOETELU

- Arus, S. 2014. Intervjuu teemal „Ohuala ammooniumnitraatväetise hoiustamisel“.
- AS DBT ohutusaruanne, 2013. Kättesaadav Päästeameti Põhja päästkeskuse kriisireguleerimise büroost.
- Burke, R. 2013. Understanding Ammonium Nitrate. Firehouse, 12, 52-55
- Dechy, N., Bourdeaux, T., Ayrault, N., Kordek, M., Le Coze, J., 2004. First lessons of the Toulouse ammonium nitrate disaster, 21st September 2001, AZF plant, France. Journal of Hazardous Materials, 111, 131–138. Välja otsitud ScienceDirect andmebaasist 20.10.2013
- Drygala, P. 2013. Storing NH₄NO₃ (S). Chemistry in Australia, 8, 16-20. Välja otsitud EBSCOhost andmebaasist 11.12.2013
- Ettevõtte kvantitatiivse riskianalüüsi koostamise juhised- Hollandi ohutusraamatud. 2008. Tallinn. Sisekaitseakadeemia
- Euroopa parlamendi ja nõukogu määrus nr 2003, 13.10. 2003 – Põllumajandusameti kodulehelt www.pma.agri.ee välja otsitud 04.01.2014
- Handbook of Ammunition and Mine Clearance for the Swedish Total Defence-Precautionary Measures. 2004. Stockholm. The Swedish Armed Forces.
- Handbook for the safe storage of ammonium nitrate based fertilizers. 1992. EFMA. EUExNet (Euroopa lõhketööde võrgustik) kodulehelt www.euexcet.it/wp-content/uploads/2011/10/HANDBOOK-AN-STORAGE-1992.pdf välja otsitud 19.01.2014.
- Hädaolukorra seadus 15.06.2009, jõustunud vastavalt 24.07.2009 -01.01.2014- RT I 2009, 39, 262 ...RT I, 30.10.2012, 1
- Инженерные боеприпасы руководство по материальной части и применению, 1976. Москва. Министерство обороны СССР.
- Kemikaaliseadus 06.05.1998, jõustunud 07.06.1998- RT I 1998, 47, 697...RT I, 16.05.2013, 4

- Kožõrev, M., 2014. Intervjuu teemal „Ohuala ammooniumnitraatvætise hoiustamisel“.
- Lõhkematerjalitehasele ja lõhkematerjalitehase projektile esitatavad nõuded. Vastu võetud majandus- ja kommunikatsiooniministeri määrusega 01.06.2005, jõustunud 13.06.2005 - RTL 2005, 63, 909
- Lühendid ja nende vasted. Välja otsitud Riigi Teataja kodulehelt www.riigiteataja.ee/lyhendid.html 18.02.2014
- Marlair, G., Kordek, M. 2005. Safety and security issues relating to low capacity storage of AN-based fertilizers. Journal of Hazardous Materials A123, 13–28. ScienceDirect andmebaasist välja otsitud 20.10. 2013
- Miyakea, A., Takaharaa, K., Ogawaa, T., Ogatab,Y., Wadac, Y., .Araid, H. 2001. Influence of physical properties of ammonium nitrate on the detonation behaviour of ANFO. Journal of Loss Prevention in the Process Industries,14,(6).533–538. ScienceDirect andmebaasist välja otsitud 20.10. 2013
- NATO. 2010. Manual of NATO Safety Principles for The Storage of Military Ammunition and Explosives, AASTP-1. Välja otsitud Department of Defense Explosives Safety Board kodulehelt <https://www.ddesb.pentagon.mil/documents/> 15.01.2014
- Nõuded kemikaali hoiukohale, peale-, maha- ja ümberlaadimiskohale ning teistele kemikaali käitlemiseks vajalikele ehitistele sadamas, autoterminalis, raudteejaamas ja lennujaamas ning erinõuded ammooniumnitraadi käitlemisele. Vastu võetud teede- ja sideministri määrusega 06.12.2000, jõustunud 28.10.2005- RTL 2001, 7, 110 ... RTL 2005, 106, 1629
- Nõuded ohtliku ja suurõnnetuse ohuga ettevõtte kohustuslikule dokumentatsioonile ja selle koostamisele ning avalikkusele edastatavale teabele ja õnnetusest teavitamisele. Vastu võetud Vabariigi Valitsuse 17. veebruari 2011. a määruse nr 28, jõustunud 04.03.2011 - RT I, 01.03.2011, 4 ... RT I, 29.12.2011, 188
- OÜ Baltimark riskianalüüs, 2013..Kättesaadav Päästeameti Põhja päästkeskuse kriisireguleerimise büroost.
- OÜ BLRT Transiit riskianalüüs, 2006. Kättesaadav Päästeameti Põhja päästkeskuse kriisireguleerimise büroost.

- Nygaard, E. 2008. Storage of Technical (Porous) Ammonium Nitrate. Ebookbrowse.net
kodulehelt ebookbrowse.net/safety-of-ammonium-nitrate-pdf-d285551946
välja otsitud 13.01.2014.
- Oxley, J. Smith, J. Rogers, E. Ming Yu. 2002. Ammonium nitrate: thermal stability and
explosivity modifiers. *Thermochimica Acta*, 384 (1-2), 23-45. Välja otsitud
ScienceDirect andmebaasist 20.10. 2013
- Peterson, W. 2013. Fatal blast lays town to waste. *Crisis response*, 8, 36
- Planeerimisseadus 13.11.2002, jõustunud 01.01.2003 - RT I 2002, 99, 579 ... RT I,
14.02.2013, 3
- Põllumajandusameti põhimäärus. Vastu võetud põllumajandusministri määrusega
23.09.2009, jõustunud 01.01.2010- RT I, 28.03.2013, 27
- Põldme, M. 2014. Intervjuu teemal „Ohuala ammooniumnitraatväetise hoiustamisel“.
- Põllumees, A. 2014. Intervjuu teemal „Ohuala ammooniumnitraatväetise hoiustamisel“.
- Põllumees, B. 2014. Intervjuu teemal „Ohuala ammooniumnitraatväetise hoiustamisel“.
- Põllumees, C. 2014. Intervjuu teemal „Ohuala ammooniumnitraatväetise hoiustamisel“.
- Reinsalu, E. 2009. Lõhkelainete levi kihilises keskkonnas. *Keskkonnatehnika*, 7, 17-19
- Safe storage of solid ammonium nitrate – code of practice (3rd edition) 2013, kodulehelt
www.dmp.wa.gov.au/documents/Code_of_Practice/DGS_COP_StorageSolidAmmoniumNitrate.pdf välja otsitud 13.01.2014
- Soojuskiirguse ja plahvatuse mõju inimestele ja ehitistele- Hollandi ohutusraamatud.
2008. Tallinn. Sisekaitseakadeemia
- Sprängämnesinspektionens föreskrifter (SÄIFS 1995:6) om hantering av ammoniumnitrat.
Myndigheten för samhällsskydd och beredskap Rootsi MSB kodulehelt
www.msb.se/externdata/rs/df932328-d93e-48f5-aad6-ea64d4fcb59e.pdf välja
otsitud 13.01.2014
- Talvari, A. 2006. Ohtlikud ained. Tallinn. Sisekaitseakadeemia

- Tomberg, T. 2014. Intervjuu teemal „Ohuala ammooniumnitraatväetise hoiustamisel“.
- Tomberg, T. 1998. Lõhketööd,. Tallinn. Tallinna Tehnikaülikooli kirjastus
- Tomberg,T. 2007. Lõhkematerjalide hoidmise ja veo teoreetilised alused. Piiratud käibega loengumaterjal. Kättesaadav allika erakogust.
- Van den Hengel, E.I.V., Kersten, R.J.A., Jacobs, F.A.M.H., Oostdam R., Versloot, N.H.A., 2008. Ammonium nitrate behaviour in a fire. Loss Prevention Bulletin 202. Välja otsitud EBSCOhost andmebaasist 11.12.2013
- Väetiseseadus, 11.06.2003, jõustunud 01.09.2003- RT I 2003, 51, 352 ... RT I 2010, 22, 108
- Wood, M., Duffield, S. 2002. Ammonium nitrate safety summary report of the workshop held on 30 january- 1 february 2002, Ispra, Italy. The Institute for the Protection and Security of the Citizen kodulehelt http://ipsc.jrc.ec.europa.eu/fileadmin/repository/sta/mahb/docs/SpecialRegulatoryTopics/Ammonium_nitrate_safety.pdf välja otsitud 13.01.2014

TABELITE NING JOONISTE LOETELU

<i>Tabel 1. Ammooniumnitraadi ja lämmastiku sisalduse seos.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabel 2. Maksimaalse lubatava plahvatusrõhu, ohutuskoefitsiendi ja ehitisetüübi seos.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabel 3. Ohutuskoefitsiendi määramise tabel.....</i>	<i>33</i>

LISA 1 INTERVJUU PLAAN

Poolstruktureeritud ekspertintervjuu sissejuhatus:

Intervjuu tehakse ammooniumnitraatväetise käitlemist käsitleva lõputöö raames. Töö eesmärgiks on leida meetodika ammooniumnitraatväetise plahvatuse ohuala määramiseks arvestades võimalikku plahvatuseni viivat riskistsenaariumi. Intervjuule vastamine on vajadusel hea teadustöö tava järgi anonüümne. Intervjuu salvestatakse selle töötlemise eesmärgil.

Küsimused:

- Kirjeldage milline on Teie kokkupuude (tööülesanded) ammooniumnitraatväetistega?
- Milline on Teie koolitus/ettevalmistud tegelemiseks ammooniumnitraatväetistega?
- Mida Te teate ammooniumnitraatväetise käitlemise nõutest? Tooge näiteid?
- Kas hetkel kehtivad käitlemise nõuded on piisavad tagamaks ohutust?
- Nimetage suurimad ohud/riskid ammooniumnitraatväetiste käitlemisel?
- Selgitage kuidas oleks võimalik vältida võimalike ohtude (plahvatuse) realiseerumist (ja kuidas prognoosida plahvatuse mõju ohualas)?
- Kas olemasolev koolitus- ja kontrollsüsteem on piisav õnnetuste vältimiseks?
- Kas Teile teadaolevalt on olnud sellised olukordi (ka teoreetilisi), mis oleksid võinud kaasa tuua suureõnnetuse?
- Millise ammooniumnitraadi (lämmastiku) sisaldusega väetise puhul me üldse võiks rääkida plahvatusohust?
- Kui suured peaksid olema vahemaad virnade vahel?
- Kas laialdaselt levinud nn “kuupjuure” valemit võiks rakendada vastava koefitsiendiga ohuala arvutamisel või millist meetodikat kasutada?
- Kuna maailmas toimunud õnnetuste analüüs näitab, et efektiivselt ei plahvata kindlasti kogu mass, siis missuguse kogusega me peaks ohuala arvutamisel arvestama?
- Kas ohtlike- ja suurõnnetusohuga ettevõtete riskianalüüsid, ohutusaruanded jms dokumentatsioon kajastab reaalsust või on need ainult deklaratiivsed?
- Kas Te sooviksite ise midagi intervjuule lisada?

LISA 2 INTERVJUUES OSALENUD ISIKUTE NIMEKIRI

Intervjueeritu nimi	Töökoht/Amet	Intervjuu läbiviimise koht	Aeg
Meeme Pöldme	TTÜ	Tallinn	16.04.2014
Mihhal Kožõrev	Päästeamet	Tallinn	19.03.2014
Põllumees „A“	Põllumajandusettevõtja	Läänemaa	01.03.2014
Põllumees „B“	Põllumajandusettevõtja	Läänemaa	03.03.2014
Põllumees „C“	Põllumajandusettevõtja	Raplamaa	11.03.2014
Sirje Arus	Tehnilise Järelevalve Amet	Tallinn	10.03.2014
Tõnu Tomberg	Kaitsevägi	Tallinn	05.03.2014

LISA 3 AINED JA MATERJALID, MILLEGA AMMOONIUM-NITRAAVÄETISE KOKKUPUUDE ON KEELATUD

Käesolev loetelu on koostatud järgnevate allikate põhjal: „Nõuded kemikaali hoiukohale, peale-, maha- ja ümberlaadimiskohale ning teistele kemikaali käitlemiseks vajalikele ehitistele sadamas, autoterminalis, raudteejaamas ja lennujaamas ning erinõuded ammooniumnitraadi käitlemisele“, Teede- ja sideministri 06.12.2000 määrus; Marlair, Kordek, 2005.

- Kaltsud ja muu tekstiilmaterjalid sh looduslik kotiriie, vahtkumm, kamper
- Sööbivad kemikaalid (happed, alused jne), kloriidid, kloritid, kloraadid, perkloraadid ja hüpokloritid, permanganaadid ja kromaadid
- Pleegitavad pulbrid, väävel
- Koks, kivisüsi, põlevkivi, püriit
- Orgaanilised ja põlevad materjalid (hein, põhk õled, turvas, paber, peenestatud puit, saepuru kork jms)
- Kalaõli ja kalajahu, loomsed rasvad
- Kamper
- Määrdeõlid, mootorikütused, kütteõlid, naftaleen, taimesed õlid, värvid, lahustid ja muud põlevad vedelikud
- Teravili, linaseemned vms
- Õlitatud paber, riie, vahad vms
- Lõhkematerjal ja lõhkeained
- Metallid pulbrilisel kujul (näiteks kroom, vask, koobalt, nikkel, tsink, alumiinium, plii)
- Kokkusurutud, veeldatud või rõhu all gaasid
- Gaasid ja aurud, mis võivad plahvatada.
- Mis tahes muu materjal, mis suurendab tule- ja plahvatusohtlikkust.

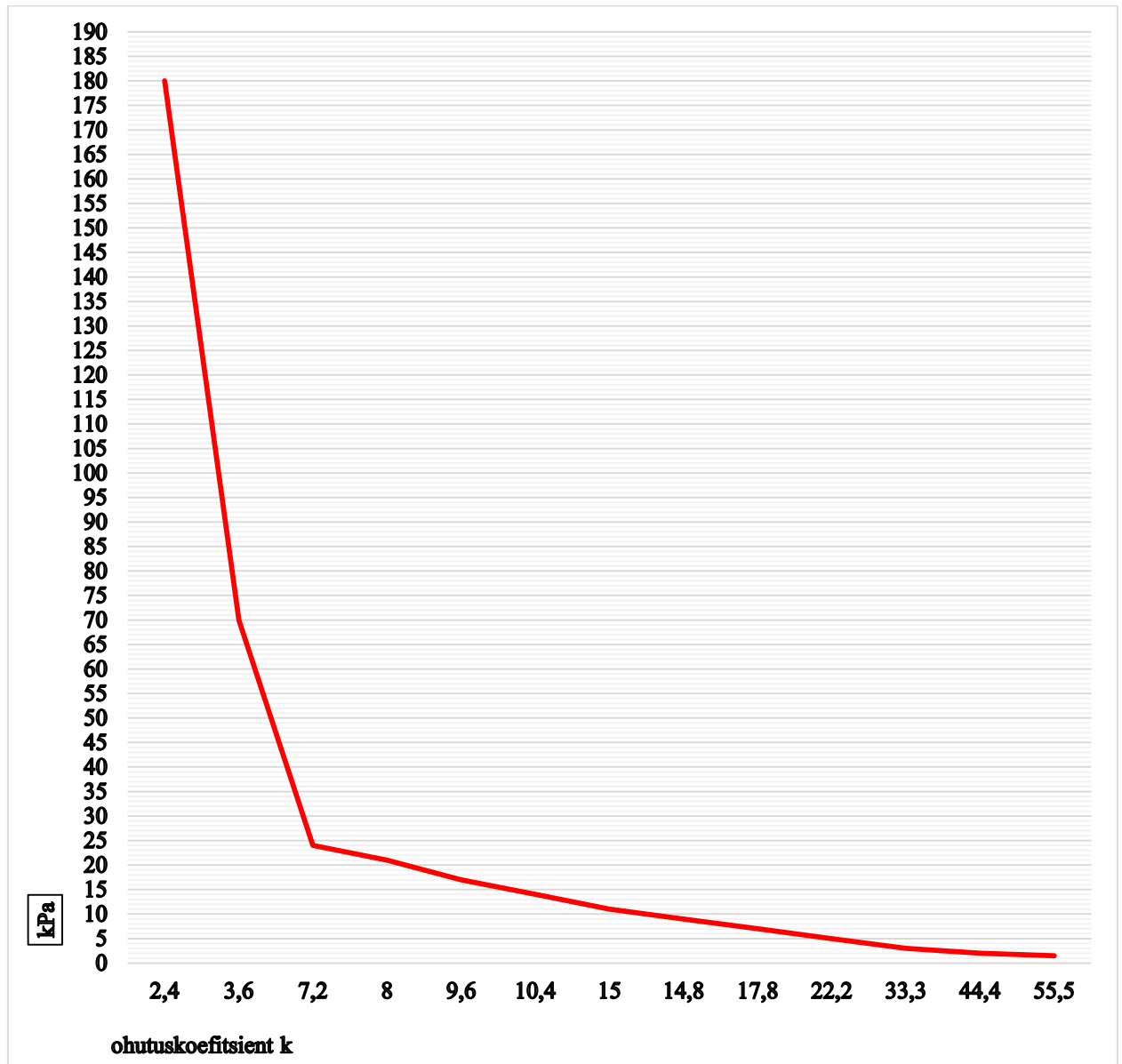
LISA 4 PLAHVATUSE KAHJULIKE MÕJUDE KIRJELDUSED SÕLTUVALT PLAHVATUSE DÜNAAMILISEST RÕHUST

Käesolev tabel on koostatud toetudes kolmele eri allikale ja tabelis on antud ohutuskoftsendi K väärtus sõltuvalt rõhust. (Drygala, 2013; NATO, 2010; Tomberg, 2007)

Rõhk kPa	Koefitsient K	Plahvatuse kahjulik mõju ehitisele	Plahvatuse kahjulik mõju inimesele
180	2,4	Tavaehitiste täielik hävimine, tugevate raudbetoonehitiste olulised purustused. Remont ei ole võimalik.	Ellujäämise võimalused puuduvad.
70	3,6	Tavaehitistel praktiliselt täielik purunemine. Tugevate raudbetoonehitiste (sillad, sadamakaid jms) vigastused. Lennukite olulised struktuursed kahjustused, mistõttu remont ei ole otstarbekohane. Kaubalaevadel pealisehitiste ja deki ulatuslikud kahjustused.	Tõsised ja surmavad vigastused nii lööklainest kui ehitiste kokkuvarisemisest ja laialipaiskuvatest esemetest, samuti paiskumistest vastu takistusi. Hukkumise tõenäosus ligilähedane 100%.
35	-	Ehitiste kokkuvarisemine; transport ja puud pikali paisatus;	Kõrva kuulmekilede purunemine; siseruumides hukkumise tõenäosus 50%; avatud maastikul hukkumise tõenäosus 15%
24	7,2	Tellishoonete keskmised vigastused, kergete kivi- ja puithoonete täielik purunemine. Tavaehitistel remondikulutused üle 50% täielikest asenduskuludest. Võimalik autode ümberpaiskumine. Elektriülekanne õhuliinide tõsised vigastused. Lennukite olulised struktuursed kahjustused. Kaubalaevadel pealisehitiste ja deki uste ja veekindlate vaheseinte deformatsioonid.	Tõenäolised püsivad kuulmiselundite kahjustused (trumminaha purunemine). Tõsised ja surmavad vigastused peamiselt ehitiste kokkuvarisemisest ja laialipaiskuvatest esemetest.
21	8,0 (7,8)	Ehitistel puitseinte (mitte palkseinad) purunemine, tavaehitiste tõsised kahjustused- tugevad kandekonstruktsioonide purustused; purunenud vedelike hoiustamiseks mõeldud mahutid Remondi maksumus kuni 30% täielikest asenduskuludest. Autode olulised vigastused. Lennukitel märgatavad kahjustused. Kaubalaevadel deki ja pealisehitiste keskmised kahjustused, suure tõenäosusega ülemise deki uste ja veekindlate vaheseinte kõverdumine;	Tõenäolised ajutised kuulmiselundite kahjustused. Tõsised ja surmavad vigastused peamiselt tekitatud ehitiste kokkuvarisemisest ja laialipaiskuvatest esemetest. Siseruumides hukkumise tõenäosus 20%.

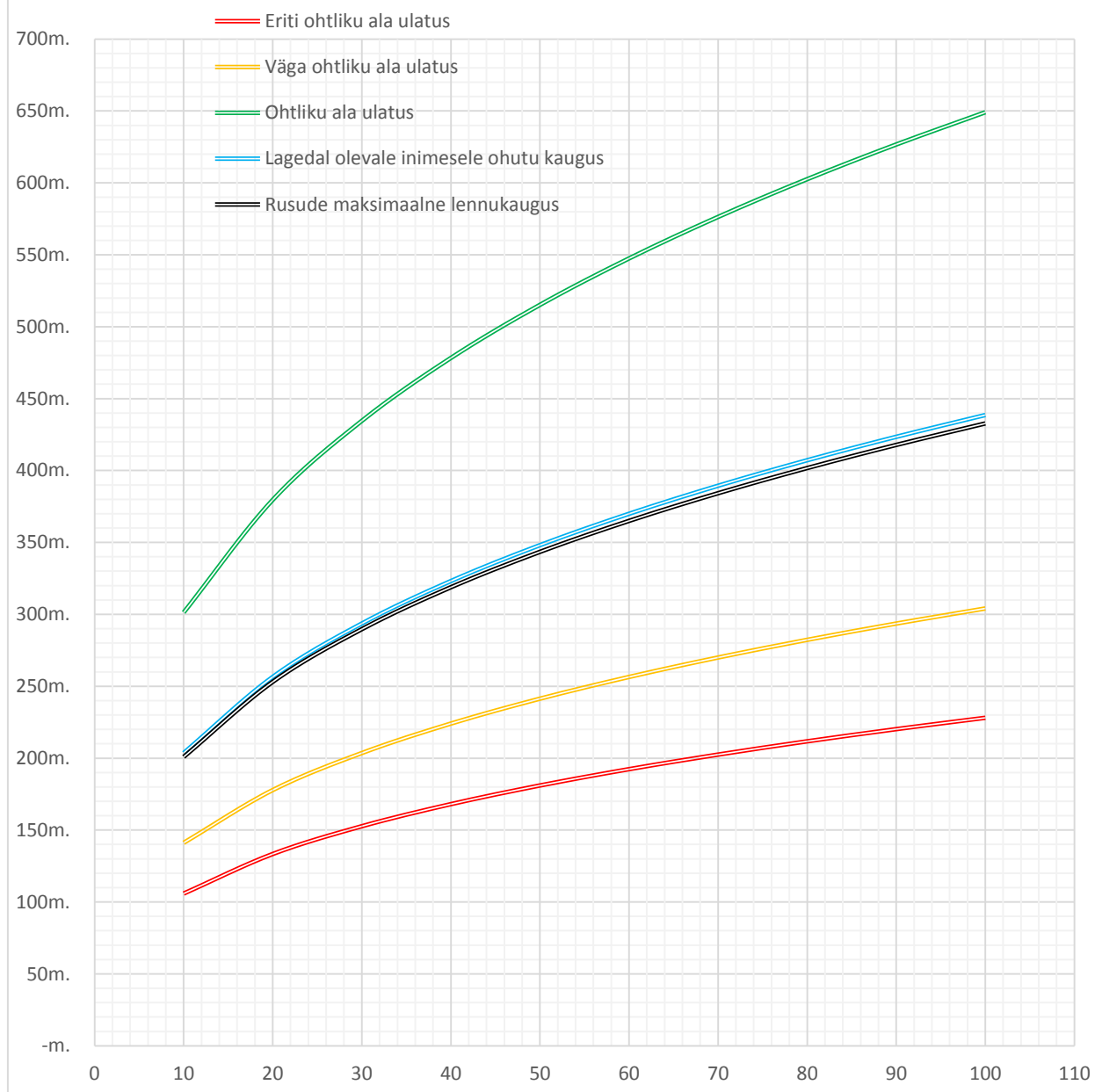
16	9,6	Tavaehitistel oluliste struktuurielementide kahjustused. Remondi maksumus kuni 20% täielikest asenduskuludest. Autodel kere ja katuse metallosade kerged kahjustused, lööklaine poole suunatud aknapinnad võivad puruneda. Lennukitel väljaulatuvate osade ja kere suurte pindade vähese ulatusega kahjustused. Kaubalaevade vähesed dekiehitiste ja tundliku elektroonikaaparatuuri (radari- ja raadioantennid jms) kahjustused.	Lühiajaline kuulmise kaotus, seejuures on kuulmiselundite püsivad kahjustused äärmiselt ebatõenäolised. Tõenäolised vigastused ja hukkumine laialipaiskuvatest ja kukkuvatest esemetest.
14	10,4	Laialdased ehitiste purustused, majad elamiskõlbmatud;	Siseruumides hukkumise tõenäosus 1%
9	14,8	Aknaraamide, uste ja kergete vaheseinte purunemine, kergete kuuride ja barakkide purunemine. Tavaehitiste puhul keskmise ulatusega kahjustused, remondimaksumus kuni 10% täielikest asenduskuludest.	Tõsised vigastused ebatõenäolised. Suure tõenäosusega tekkib vigastusi lendavate klaasikildude ja kukkuvate esemete poolt.
7	17,8	Purunevad aknad ja kannatada saavad isegi siseseinad, aga võimalik parandada;	Inimvigastuste tõenäosus 10%; hukkunud puuduvad
5	22,2	Aknaklaaside täielik purunemine, aknaraamide ja uste vähese ulatusega kahjustused, krohvi ja kergete vaheseinte rikkumine, korstnate vigastused. Kahjustuste remondimaksumus kuni 5% täielikest asenduskuludest.	Väike võimalus inimvigastusteks Kerged vigastused, mis on põhjustatud klaasikildudest ja kukkuvatest esemetest.
3	33,3	Kuni 90% aknaklaasidest purunenud;	Väga väike võimalus inimvigastusteks.
2	44,4	Aknaklaaside purunemine, peamiselt plahvatuse suunal	
1,5	55,5	Üksikute aknaklaaside purunemine, peamiselt plahvatuse suunal	

LISA 5 OHUTUSKOEFIITSIENDI JA OHUALA ULATUSE MÄÄRAMISE JOONISED



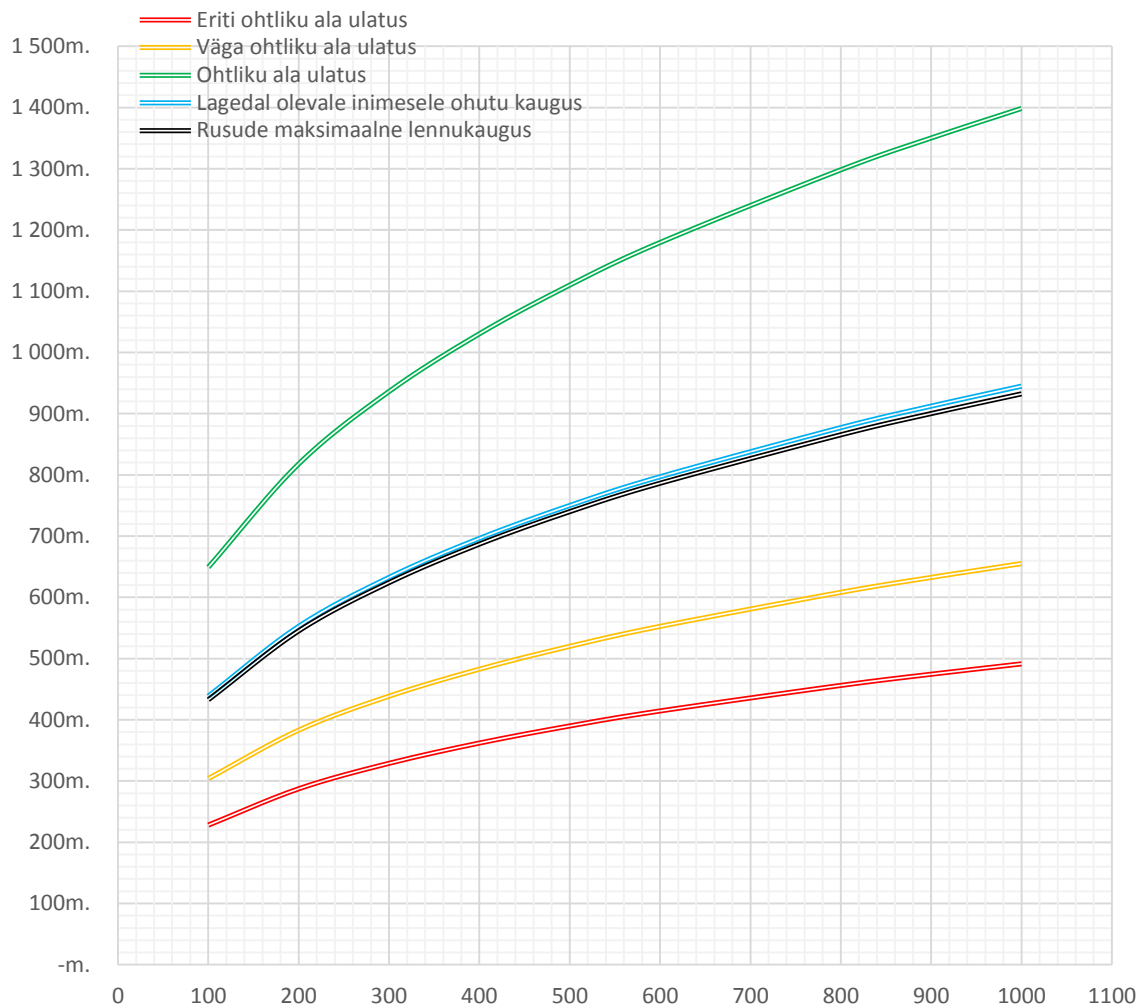
Ohutuskoefitsendi k sõltuvusjoonis dünaamilisest plahvatusrõhust. (autori joonis)

Ohuala ulatus 10-100 tonni



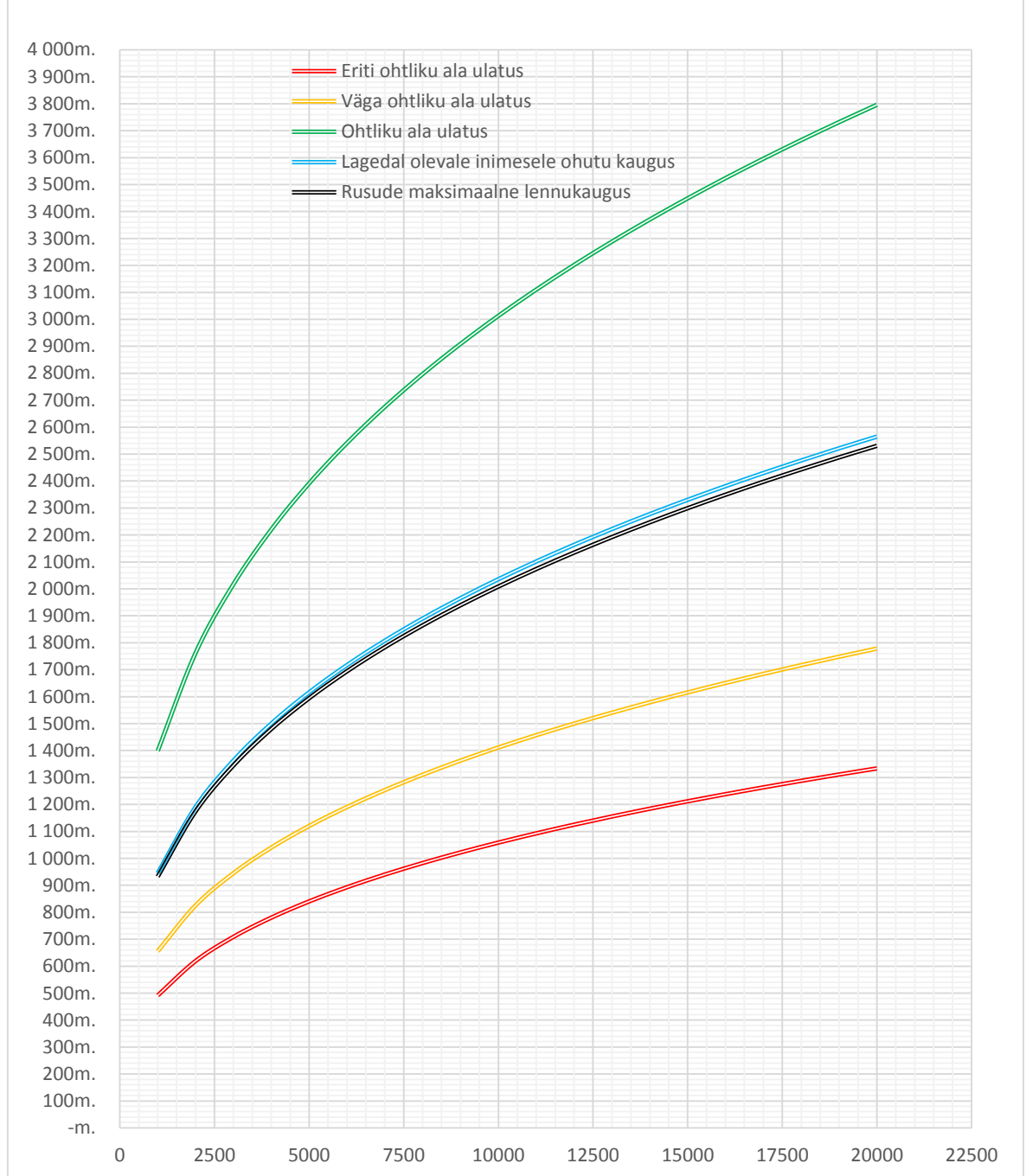
Plahvatusohtliku ammoniumnitraatvætise ohuala ulatuse määramise joonis 10-100 tonni. (autori joonis)

Ohuala ulatus 100-1000 tonni



Plahvatusohtliku ammooniumnitraatvætise ohuala ulatuse määramise joonis 100-1000 tonni. (autori joonis)

Ohuala ulatus 1000-20000 tonni



Plahvatusohtliku ammooniumnitraatvætise ohuala ulatuse määramise joonis 1000-20000 tonni.
(autori joonis)

LISA 6 OHUALA NÄIDISARVUTUSED

Näide 1.

Ettevõtte hoiab ühes punkerhoidlas ühes kuhjas puistena 15000 tonni 34,4% N sisaldusega ammooniumnitraatväetist. Kõige halvema stsenaariumi kohaselt võib plahvatada kogu hoiustatav kogus.

$$D = k \times Q^{1/3}$$

D- ohutu distants (m)

k- unikaalne koefitsient, sõltuv ülerõhu suuruselt

Q= ammooniumnitraadi mass (kg) x 0,25 (ammooniumnitraadi ekvivalent TNT suhtes)

Eriti ohtlik ala – rõhk kõrgem kui 21 kPa; k=7,8

Väga ohtlik ala – rõhk vahemikus 21 kPa kuni 14 kPa; k=10,4

Ohtlik ala – rõhk vahemikus alla 14 kPa kuni 5,5 kPa; k=22,2

$$Q = 15000000 \times 0,25 = 3750000$$

$$\text{Eriti ohtlik ala: } D = 7,8 \times 3750000^{1/3} = 1212 \text{ m}$$

$$\text{Väga ohtlik ala: } D = 10,4 \times 3750000^{1/3} = 1616 \text{ m}$$

$$\text{Ohtlik ala: } D = 22,2 \times 3750000^{1/3} = 3450 \text{ m}$$

Näide 2.

Ettevõtte hoiab virnades 2000 tonni 34,4% N sisaldusega ammooniumnitraatväetist. Suurimas virnas oleva ammooniumnitraatväetise mass on 600 tonni. Virnade vahekaugused on vähemalt 10m, et vältida detonatsiooni siiret. Ohuala arvutamiseks võetakse sellisel juhul suurima virna mass- 600 tonni.

$$D = k \times Q^{1/3}$$

D- ohutu distants (m)

k- unikaalne koefitsient, sõltuv ülerõhu suuruselt

Q= ammooniumnitraadi mass (kg) x 0,25 (ammooniumnitraadi ekvivalent TNT suhtes)

Eriti ohtlik ala – rõhk kõrgem kui 21 kPa; k=7,8

Väga ohtlik ala – rõhk vahemikus 21 kPa kuni 14 kPa; k=10,4

Ohtlik ala – rõhk vahemikus alla 14 kPa kuni 5,5 kPa; k=22,2

$$Q = 600000 \text{ (kg)} \times 0,25 = 150000$$

$$\text{Eriti ohtlik ala: } D = 7,8 \times 150000^{1/3} = 414 \text{ m}$$

$$\text{Väga ohtlik ala: } D = 10,4 \times 150000^{1/3} = 553 \text{ m}$$

$$\text{Ohtlik ala: } D = 22,2 \times 150000^{1/3} = 1180 \text{ m}$$

LISA 7 FOTOTABEL



Foto nr 1 (autori foto)



Foto nr 2 (autori foto)

(Selgitus: vanas töökoja garaažis hoitakse 70 tonni ammooniumnitraatväetist (34,4% N), 20 m³ küttepuid, traktorite rehve ja traktor MTZ 80.)



Foto nr 3

(Selgitus: vanas kuivatis hoitakse 100 tonni ammooniumnitraatväetist.)