

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Energeetikateaduskond

Mäeinstituut



Marelle Paas-O'Brock

**ÕHULÖÖKLAINE PROGNOOS VÕIMALIKU AVARII
PUHUL LÕHKEMATERJALIDE KÄITLEMISEL**

Bakalaureusetöö AKM40LT

ID: 2527

Juhendaja: Tõnu Tomberg, MSc

Tallinn 2015

SISUKORD

AUTORIDEKLARATSIOON	2
MÄEINSTITUUDI TUDENGITÖÖ ÜLESANNE	5
SUMMARY	6
SISSEJUHATUS	7
1. MÕISTETE SELETUS	8
2. METOODIKA	9
3. LÕHKEMATERJALIDE LIIGITUS	10
3.1 Lõhkematerjalide liigitus ohuklassi järgi	10
3.2 Lõhkematerjalide liigitus sobivusrühmade järgi	11
4. LÕHKEMATERJALIDE SUURTE (LOGISTILISTE KOGUSTE) KÄITLEMINE JA SELLEGA SEONDUVAD OHUD	13
4.1 Lõhkematerjalide ladustamine	14
4.2 Lõhkematerjalide transport	15
4.3 Lõhkeainete stabiilsus	17
5. RISKIFAKTORID	19
6. ÕHULÖÖKLAININE KAHJUSTAV MÕJU JA TOLEREERITAVAD PURUSTUSED-KAHJUSTUSED	22
6.1 Õhulööklaine kahjustav mõju inimesele	22
6.2 Õhulööklaine kahjustav mõju ehitistele	24
7. ÕHULÖÖKLAININE PROGNOOSIMISE VÕIMALUSED	28
7.1 Käsitletavat lõhkematerjalide ladustamisviisid	30
8. ÕHULÖÖKLAININE PROGNOOSI ARVUTUSED JA ARVUTUSTULEMUSED	32
8.1 Minimaalsed ohutud kaugused sõltuvalt ohustatud objektist	32
8.2 Ohutud kaugused sõltuvalt ohustatud objektist. Suure ohutusvaruga valem	33

8.3	Maksimaalse dünaamilise ülerõhu ja impulsi prognoos sõltuvalt laotüübist, lõhkematerjalist ja ohustatud objektist. Realistikuma ohuvaruga valem	34
	KOKKUVÕTE	45
	KASUTATUD ALLIKAD	48

SUMMARY

The handling of explosive material always entails the risk that the explosives might accidentally detonate. The air shock wave is one of the primary characteristics of an explosion, and determining the parameters of the shock wave is crucial to properly ensuring safe handling of explosive material.

This Bachelor's degree thesis analyses two possible equations for calculating the maximum value of the dynamic pressure and impulse of a shock wave depending on the potential explosion site, the exposed site and the explosive material being handled. The first of the equations has very high safety parameters and it does not reflect the real predictions and dangers, but it is easier to apply. The second equation includes many constraints and is much more difficult to apply, however, the results are more precise and reflect a more realistic situation. At the moment, the safety recommendations and guidelines are based on using the first equation. Risk analysis must be precise, in order to accurately reflect a real situation. Based on this reasoning and the results of calculations, the author of this paper presents the idea of using a more precise equation for the basis of the risk analysis.

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärgiks oli viia läbi potentsiaalse plahvatuse õhulööklaine prognoosi erinevate arvutusmeetodite võrdlev analüüs. Õhulööklaine on lõhkematerjalide käitlemise oluline riskifaktor, mille puhul mingis keskkonnas tekib liikuv pind (lainefront), kus keskkonna tihedus, rõhk ja osakeste kiirus muutuvad hüppeliselt, seejuures keskkond puruneb, surutakse kokku või hakkab võnkuma. Käesolevas töös käsitleti ohuklassi 1.1 lõhkematerjale.

Koostades lõhkematerjalide käitlemise riskianalüüsi, määratakse kindlate tingimuste jaoks ohutud lõhkeainekogused ja/või ohutud kaugused, seejuures tuleb arvesse võtta lõhkematerjalis sisalduva lõhke- või pürotehnilise aine netomassi, lõhkematerjali ohuklassi ning tolereeritavaid kahjustusi/vigastusi. Mida suurem on lõhke- või pürotehnilise aine netomass, seda suurem on risk.

Hetkel kasutatakse ohutuseeskirjades õhulööklaine prognoosimiseks valemit, mis on väga suure ohutusvaruga (valem 3). Valemit on lihtne rakendada ning selle suur ohutusvaru sobib ladude pikaajaliseks paigutamiseks (seda eelkõige rahuajal), kuid see ei arvesta tegelikku lõhkeainet, see on üledimensioneeritud ning ei kajasta reaalselt olukorda. Kõne all olevas valemis on sõltumatuid muutjaid vähe – taandatud kauguseks viidud kaugus ning lõhkeaine netomass.

Teise arvutusmeetodiga (valem 4) käivad kaasas väga ranged ohutusnõuded, kuid prognoos on realistlikum. See arvestab lõhkeainet (läbi TNT-ekvivalendi), on täpsem ning annab seega parema tulemuse. Samas on arvutamine palju keerulisem. Valem põhineb aero- ja termodünaamilikal ning selle puhul on sõltuvate muutujate ehk õhulööklaine dünaamilise ülerõhu ja impulsi määramisel vaja täpselt teada mitmeid sõltumatuid muutujaid. Et võrrelda lõhkeaineid läbi nende poolt plahvatuse käigus vabaneva energia, kasutatakse TNT-ekvivalenti. TNT-ekvivalent näitab, mitu kilogrammi TNT-d vabastaks plahvatamisel sama palju energiat kui 1 kg kõne all olevat lõhkeainet.

Tabelis 6 on toodud minimaalsed ohutud kaugused potentsiaalse avariikoha ning ohustatud objekti vahel. Minimaalsed ohutud kaugused on otseselt seotud ohustatud objektiga – kui palju viibib objekti läheduses inimesi, kui kerge oleks neil ohu korral evakueerumine jne.

Äärmiselt tundlike objektide, näiteks lasteaedade ja vanadekodude puhul on minimaalsed ohutud kaugused suurimad. Tablist 7 võib näha, millised on ohutud kaugused, rakendades suure ohutusvaruga valemit. Võrreldes kahte tabelit on näha, et valem 3 sisaldab suurt ohutusvaru. Selle valemi rakendamine sisuliselt kindlustab, et võimalikud kahjustused jäävad alla tolereeritava piiri – seda iga lõhkeaine puhul, sõltumata selle võimsusest.

Tabelites 8 kuni 17 on toodud valemi 4 kasutamisel saadud õhulööklaine taandatud dünaamilise ülerõhu ja impulsi tulemused. Võrreldes TNT ja ANFO tulemusi, on näha, et ANFO kui mõnevõrra vähem võimsama plahvatusega lõhkeaine võimalik suurim ülerõhk ja impulss on väiksema väärtusega kui TNT puhul. Kui võrrelda potentsiaalseid avariipaikasid, on näha, et kõige suuremat ülerõhku ja impulssi on oodata siis, kui leiab aset poolkerakujulise laengu plahvatus maapinnal, või kui lõhkematerjalid on avarii hetkel ladustatud angaaris ning angaari külj asub ohustatud objekti suunas.

Alljärgnevas tabelis (Tabel 18) on välja toodud õhulööklaine ülerõhu prognoos sõltuvalt kasutatud valemist. Tabelist on näha, et valem 3 (suure ohutusvaruga valem) korral on maksimaalsete ülerõhkude väärtused allikas toodud täisarvudena, kuid valemi 4 (realistlikum valem) korral on maksimaalsed väärtused leitud arvutamise teel ning tulemused on tunduvalt täpsemad. Tulemused ületavad kohati ohustatud objektidele seotud ülerõhu maksimaalse väärtuse piiranguid, kuid seda väga väikesel määral. Siinkohal polegi niivõrd tähtsad komakohad, vaid teadmine, mis suurusjärku prognoositav õhulööklaine maksimaalne ülerõhk tegelikult jääb. Sama taandatud kauguse juures on õhulööklaine ülerõhk valemi 4 kasutamisel kohati oluliselt madalam kui valemi 3 puhul, kohati aga veidi üle valemi 3 tulemuse. Võimalus teha realistlik prognoos ongi põhjus, miks on riskianalüüsides mõistlik kasutada just valemit 4.

Tabel 18. Õhulööklaine maksimaalse ülerõhu prognoos sõltuvalt kasutatud valemist

Taandatud kaugus sõltuvalt ohustatud objektist $[\frac{m}{\sqrt[3]{kg}}]$	Õhulööklaine maksimaalne ülerõhk, kasutades valemit 3 [kPa]	Õhulööklaine maksimaalne ülerõhk, kasutades valemit 4 [kPa]	
		TNT	ANFO
55,5	2	1,623	1,493
44,4...33,3	2...3	2,190...3,228	2,017...2,972
22,2	5	5,573	5,135
14,8	9	9,495	8,799
9,6	16	16,197	15,075

Ülerõhu impulsile ei ole esitatud kindlaid piirväärtusi, kuid tabelitest 9, 11, 13, 15 ja 17 võib näha, et ANFO kui väiksema võimsusega lõhkeaine puhul on prognoositav impulss

mõnevõrra väiksem kui TNT puhul. Valemi 4 rakendamisel võib näha, et arvutamise põhimõte on sama nii taandatud impulsi kui ka ülerõhu jaoks, kuid konstandid on erinevad.

Nagu mainitud, on mõlemal valemil nii positiivsed kui negatiivsed küljed. Riskianalüüside puhul on äärmiselt tähtis nende vastavus tegelikule olukorrale, ohtudele ning riskitasemele. Tuginedes eelpool toodud analüüsile võib öelda, et riskianalüüsides oleks otstarbekas kasutada õhulööklaine prognoosimiseks valemit, mida on küll keerulisem rakendada, kuid mis annab realistlikuma ja täpsema õhulööklaine dünaamilise ülerõhu ja impulsi prognoosi.