



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Mokomųjų raketinių giluminių bombų kovai su
povandeniniais taikiniais aptekėjimo dinamikos tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

Marius Vytenis Garšva
Projekto autorius

Prof. habil. dr. Algimantas Fedaravičius
Vadovas

Kaunas, 2018



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Mokomųjų raketinių giluminių bombų kovai su
povandeniniais taikiniais aptekėjimo dinamikos tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas
Aeronautikos inžinerija (621H40001)

Marius Vytenis Garšva
Projekto autorius

Prof. habil. dr. Algimantas Fedaravičius
Vadovas

Magistras Arvydas Survila
Recenzentas

Kaunas, 2018



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Studijų programa: Aeronautikos inžinerija (621H40001)

MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO PROJEKTO
UŽDUOTIS

Studentui Mariui Vyteniui Garšvai

1. Baigiamojo projekto tema

Mokomųjų raketinių giluminių bombų kovai su povandeniniais taikiniais aptekėjimo dinamikos tyrimas
Anti-submarine warfare training rockets fluid dynamics analysis

2. Projekto tikslas ir uždaviniai

Atlikti mokomosios raketinės giluminės bombos aptekėjimo tyrimą. Aprašyti mokomosios raketinės giluminės bombos konstrukciją ir veikimo principą. Atlikti raketinės giluminės bombos: skrydžio ore dinamikos tyrimą, smūgio į vandenį tyrimą, aptekėjimo tyrimą vandenyje.

3. Pradiniai Projekto duomenys

-

4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos

-

5. Projekto aprašomosios dalies struktūra

Žinomų raketinių giluminių bombų kompleksų analizė. Siūlomas mokomasis raketinių giluminių bombų kompleksas. Raketinės giluminės bombos aptekėjimo tyrimas. Išvados ir pasiūlymai.

6. Grafinės Projekto dalies sudėtis

Mokomosios raketinės giluminės bombos schema

7. Projekto konsultantai

-

Magistrantas:
(vardas, pavardė, parašas, data)

Projekto vadovas.....
(vardas, pavardė, parašas, data)

Krypties studijų programos vadovas.....
(vardas, pavardė, parašas, data)



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Marius Vytenis Garšva

Mokomųjų raketinių giluminių bombų kovai su povandeniniais taikiniais aptekėjimo dinamikos tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Mariaus Vytenio Garšvos, baigiamasis projektas tema „Mokomųjų raketinių giluminių bombų kovai su povandeniniais taikiniais aptekėjimo dinamikos tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Garšva Marius Vytenis. Mokomųjų raketinių giluminių bombų kovai su povandeniniais taikiniais aptekėjimo dinamikos tyrimas. Magistro baigiamojo projekto vadovas prof. habil. dr. Algimantas Fedaravičius; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Aeronautikos inžinerija (E14), Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: *aerodinamika, raketa, smūgio analizė, aptekėjimo tyrimas, raketų kompleksai.*

Kaunas, 2018. 53 p.

Santrauka

Baigiamajame magistriniame darbe aprašyta kuriamos mokomosios raketinės giluminės bombos konstrukcija, veikimo principas, aptekėjimo tyrimas ore bei vandenyje ir smūgio į vandenį analizė. Pirmajame darbo skyriuje atlikta įvairių raketinių giluminių bombų kompleksų analizė. Antrame darbo skyriuje aprašoma siūlomos mokomosios raketinės giluminės bombos komplekso konstrukcija ir jos veikimo principas. Toliau atliktas mokomosios raketos aerodinamikos tyrimas, panaudojant kompiuterines programas, apskaičiuotos aerodinaminės charakteristikos. Išanalizuotas raketos smūgio į vandenį momentas. Naudojant tuos pačius metodus atliktas raketos aptekėjimo tyrimas, raketai aptekant vandens srautu. Remiantis gautais rezultatais pateiktos darbo išvados.

Garšva Marius Vytenis. Anti-submarine warfare training rockets fluid dynamics analysis. Master's Final Degree Project supervisor prof. habil. dr. Algimantas Fedaravičius; The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Aeronautical Engineering (E14), Engineering Science.

Keywords: *aerodynamics, rocket, impact analysis, research, rocket complexes*

Kaunas, 2018. 53 pages.

Summary

This master's thesis is about anti-submarine training rocket's structure, operating principle, flow analysis in air and water, also rockets water impact analysis. Analysis of various anti-submarine rocket, bombs complexes were carried out in the first section of the work. The second section of the paper describes the design of the proposed anti-submarine rocket complex and its operating principle. Further a study of training rockets aerodynamics was done using special computer programs and various aerodynamic characteristics have been calculated. Also the moment the rocket impacts the water was analyzed. Rockets hydrodynamic analysis was done using the same methods used in aerodynamics in which the fluid was water. The findings are presented in the thesis conclusions.

TURINYS

ĮVADAS.....	11
1. ŽINOMŲ RAKETINIŲ GILUMINIŲ BOMBŲ KOMPLEKSŲ ANALIZĖ.....	13
1.1. RBU-6000.....	13
1.2. ASW-601	16
1.3. Roketsan ASW	18
2. SIŪLOMAS MOKOMASIS RAKETINIŲ GILUMINIŲ BOMBŲ KOMPLEKSAS	21
2.1. Mokomosios sistemos struktūra.....	21
2.2. Veikimo principas.....	21
2.3. Mokomosios raketos konstrukcija	22
3. RAKETINĖS GILUMINĖS BOMBOS APTEKĖJIMO TYRIMAI.....	26
3.1. Tyrimo metodika	26
3.2. Raketinės giluminės bombos aerodinamikos tyrimas	27
3.2.1. Raketos aerodinaminės simuliacijos kūrimas.....	27
3.2.2. Aerodinamikos tyrimo rezultatai.....	29
3.3. Mokomosios raketinės giluminės bombos smūgio į vandenį tyrimas.....	36
3.3.1. Galutinis greitis	36
3.3.2. Smūgio į vandenį analizė	39
3.3.3. Smūgio analizės rezultatai.....	39
3.4. Raketinės giluminės bombos aptekėjimo tyrimas vandenyje.....	43
3.4.1. Aptekėjimo vandenyje rezultatai.....	44
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI	49
LITERATŪROS SĄRAŠAS	50
PRIEDA.....	52
P-1. Mokomosios raketinės giluminės bombos schema	53

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Raketų paleidimo sistemos kompleksas <i>RBU-6000</i>	13
1.2 pav. Karinio raketinio komplekso <i>RBU-6000</i> raketinių giluminių bombų leistuvai.....	14
1.3 pav. Raketa <i>90R</i> bendras vaizdas	15
1.4 pav. Granatų paleidimo sistemos kompleksas <i>ASW-601</i>	16
1.5 pav. Granatos <i>M-90E</i> bendras vaizdas	17
1.6 pav. Raketų paleidimo sistemos kompleksas <i>Roketsan ASW</i> ant laivo denio.....	19
1.7 pav. <i>Roketsan ASW</i> paleidimo sistemos komplekso bendras vaizdas	20
2.1 pav. Rakatinės mokomosios įrangos kovai su povandeniniais taikiniais veikimo schema.....	22
2.2 pav. Mokomosios raketos eskizas	23
2.3 pav. Mokomosios giluminės bombos struktūra.....	24
2.4 pav. Galinės dalies skerspjūvis.....	25
3.1 pav. Vamzdis diskretizuotas į baigtinį kiekį valdomų tūrių.....	26
3.2 pav. Mokomosios raketinės giluminės bombos kontūrai <i>SW</i> programoje.....	27
3.3 pav. Mokomosios raketinės giluminės bombos 3D modelis.....	27
3.4 pav. Mokomosios raketinės giluminės bombos galinė dalis	27
3.5 pav. Erdvė, kurioje bus atliekami aptekėjimo skaičiavimai.....	28
3.6 pav. Sugeneruotas tinklelis.....	28
3.7 pav. 102 m/s oro srauto slėgio pasiskirstymas	29
3.8 pav. 102m/s oro srauto greičio pasiskirstymas.....	29
3.9 pav. 136 m/s oro srauto slėgio pasiskirstymas	30
3.10 pav. 136 m/s oro srauto greičio pasiskirstymas.....	30
3.11 pav. 170 m/s oro srauto slėgio pasiskirstymas	31
3.12 pav. 170 m/s oro srauto greičio pasiskirstymas.....	31
3.13 pav. 204 m/s oro srauto slėgio pasiskirstymas	32
3.14 pav. 204 m/s oro srauto greičio pasiskirstymas.....	32
3.15 pav. 238 m/s oro srauto slėgio pasiskirstymas	33
3.16 pav. 238 m/s oro srauto greičio pasiskirstymas.....	33
3.17 pav. 272 m/s oro srauto slėgio pasiskirstymas	34
3.18 pav. 272 m/s oro srauto greičio pasiskirstymas.....	34
3.19 pav. Raketos slėgio centro padėtis	35
3.20 pav. Raketos slėgio koeficiento pasiskirstymo grafikas.....	35
3.21 pav. Paspriešinimo jėgos ir pasispriešinimo koeficiento priklausomybės ore nuo srauto greičio.....	36

3.22 pav. Oro pasipriešinimo ir svorio jėgos įtaka raketai	37
3.23 pav. Smūgis į vandenį 90° kampu	39
3.24 pav. Smūgis į vandenį 45° kampu	40
3.25 pav. Smūgis į vandenį 60° kampu	41
3.26 pav. Didžiausių įtempių zonos raketoje smūgio metu.....	42
3.27 pav. Mokomosios raketinės giluminės bombos greičio priklausomybė nuo laiko smūgio į vandenį metu.....	42
3.28 pav. 5 m/s vandens srauto slėgio pasiskirstymas	44
3.29 pav. 5 m/s vandens srauto greičio pasiskirstymas	44
3.30 pav. 7,7 m/s vandens srauto slėgio pasiskirstymas	45
3.31 pav. 7,7 m/s vandens srauto greičio pasiskirstymas.....	45
3.32 pav. 10 m/s vandens srauto slėgio pasiskirstymas	46
3.33 pav. 10 m/s vandens srauto greičio pasiskirstymas.....	46
3.34 pav. 15 m/s vandens srauto slėgio pasiskirstymas	47
3.35 pav. 15 m/s vandens srauto greičio pasiskirstymas.....	47
3.36 pav. Pasipriešinimo jėgos ir pasipriešinimo koeficiento priklausomybės vandenyje nuo srauto greičio.....	48

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. <i>RBU-600</i> leistuvo specifikacijos.....	14
1.2 lentelė. Raketinės giluminės bombos <i>RGB-60</i>	15
1.3 lentelė. Raketos <i>90R</i> specifikacijos	15
1.4 lentelė. Vieno leistuvo specifikacijos	17
1.5 lentelė. Paleidimo sistemos specifikacijos	17
1.6 lentelė. Granatos <i>M-90E</i> specifikacijos.....	18
1.7 lentelė. <i>Roketsan ASW</i> raketų paleidimo sistemos komplekso specifikacijos.....	19
3.1 lentelė. Greičio ir pagreičio priklausomybė nuo laiko 60° smūgio metu	43

ĮVADAS

Per Antrąją pasaulinę karą vokiečių povandeniniai laivai *U-2* parodė, kad vienas arba maža grupuotė šių laivų gali padaryti didelę žalą netikėtai užpuolusi paviršinius laivus, kaip: prekybinius laivus, tiekimo konvojaus ar karinius laivus. Šiais laikais povandeniniai laivai taip pat kelia nemažą grėsmę, jie gali ne tik netikėtai naikinti strateginius taikinius, bet tyliai ir nematomi atlikti žvalgybos, diversijos arba sabotažo veiksmus [2, 9].

Taigi kovai su povandeniniais laivais atsirado nauja karybos rūšis priešpovandeninių laivų karyba (angl. *Anti-submarine warfare* arba *ASW*). Kovai su povandeniniais laivais yra galimybė naudoti keletą skirtingų kovinių sistemų, tokių kaip:

- torpedos, kurios gali būti paleidžiamos iš kito povandeninio, paviršinio laivo, sraigtasparnio;
- minas galima naudoti norint atgrasyti arba visiškai užblokuoti prieigą prie tam tikros teritorijos;
- giluminiai užtaisai, tai specialios bombos, kurios yra svaidomos į vandenį, jiems skęstant, po kiek laiko jos detonuoja ir smūginė banga padaro žalą povandeniniam laivui;
- artilerija, kai kurie povandeniniai laivai periodiškai turi iškilti į paviršių ir tuo metu juos galima sunaikinti artilerijos salvėmis;
- specialūs povandeniniai tinklai, kaip ir minos, gali būti naudojami atgrasyti povandeninių laivų patekimą į teritoriją. Laivui įplaukus į tinklą sugadinami laivo sraigčiai ir jis priverčiamas iškilti į paviršių;
- raketinės giluminės bombos, specialios raketos, kurios iššaunamos į orą ir veikia kaip raketa, po to neria į vandenį ir skęsta kaip giluminis užtaisas.

Kovai su povandeniniais laivais neužtenka ginklo turėjimo, labai svarbios yra ir povandeninio laivo aptikimo sistemos. Aptikti povandeninį laivą, plaukiantį po vandeniu, yra sudėtinga. Vizualiai pamatyti yra labai sudėtinga arba neįmanoma ypač jei vanduo nėra skaidrus. Radio bangos per vandenį sunkiai prasiskverbia, todėl radiolokacija yra nenaudojama. Taigi pagrindinis, įrankis naudojamas aptikti povandeninius laivus, yra sonaras. Sonaras gali būti naudojamas tiek povandeniniuose ar paviršiniuose laivuose, tiek sraigtasparniuose, kurie išmeta specialų plūdūrą su sonaru arba pavieniai plaukiojantys plūdurai [9].

Tačiau nesvarbu, kokį ginklą naudosi, yra svarbu ne tik apmokyti personalą, bet ir išlaikyti jo karinę parengtį. Tam yra kuriamos mokomosios sistemos, kurios galėtų imituoti tikras karines sistemas. Kad mokomoji sistema būtų naudinga, efektyvi ir ekologiška, turi atitikti kelis reikalavimus:

- Saugumas, mokomoji sistema neturi kelti grėsmės ją naudojančiam personalui ar įrangai.

- Pigumas, vienas iš pagrindinių uždavinių kuriant mokomąją sistemą yra sumažinti apmokymų kaštus, nes naudoti karines sistemas apmokymams būtų labai brangu.
- Ekologiškumas, sprogdinimai ir taikinių naikinimai apmokymuose gali padaryti daug žalos gamtai, ekosistemai ar kraštovaizdžiui, todėl mokomoji sistema turi daryti kuo mažesnę įtaką gamtos naikinimui.
- Tikslumas, tiksliai imituoti sistemos veikimo charakteristikas.

Šiame magistriniame darbe bus atliekamas mokomosios raketinės giluminės bombos aptekėjimo dinamikos tyrimas, kad kuriama mokomoji raketinė giluminė bomba galėtų imituoti tikros karinės raketos *Roketsan ASW* skrydžio charakteristikas. Aptekėjimo tyrimas sudarys tris pagrindines dalis; kai raketą apteka oro srautas, vandens srautas bei perėjimo fazę, kai raketa ners iš oro į vandenį. Taip pat darbe bus analizuojamos panašios į *Roketsan ASW* raketinių giluminių bombų paleidimo sistemos, kaip rusų *RBU-6000* sistema. Bus aprašoma kuriamos mokomosios raketos konstrukcija bei visos paleidimo sistemos veikimo principas.

DARBO TIKSLAS IR UŽDAVINIAI

Darbo tikslas:

Atlikti mokomosios raketinės giluminės bombos aptekėjimo tyrimą.

Darbo užduotys:

1. Pateikti įvairių raketinių giluminių bombų kompleksų, skirtų kovai su povandeniniais taikiniai, analizę ir suformuoti problemos sprendimo inžinerinę koncepciją;
2. Aprašyti mokomosios raketinės giluminės bombos konstrukciją ir veikimo principą;
3. Atlikti raketinės giluminės bombos:
 - skrydžio ore dinamikos tyrimą;
 - smūgio į vandenį tyrimą;
 - aptekėjimo tyrimą vandenyje.

1. ŽINOMŲ RAKETINIŲ GILUMINIŲ BOMBŲ KOMPLEKSŲ ANALIZĖ

Lietuvos kariniam jūrų laivynui modernizuojant ir planuojant įsigyti sistemą, skirtą kovai su povandeniniais laivais pasirinkta naudoti raketines gilumines bombas. Ši ginklų klasė turi įvairių raketinių giluminių bombų paleidimo sistemų, tai gali būti tokios sistemos kaip *RBU-6000*, *ASW-601*, *Roketsan ASW*.

1.1. RBU-6000

RBU-6000 raketinių giluminių bombų paleidimo sistema yra sovietų gamybos ir naudojama nuo 1961 m. iki dabar. Ši sistema *RGB-60* raketines gilumines bombas gali iššauti po vieną arba salvėmis, kad sunaikinti priešų povandeninius taikinius. *RBU-6000* paleidimo sistema yra valdoma nuotoliniu būdu iš valdymo stoties. Nuo priešo pavandeninio laivo aptikimo iki raketų iššovimo ir pataikymo į taikinį gali užtrukti 1-2 minutės. Laivo sonaras ir hidroakustikos stotis perduoda taikinio atstumą ir kursą paleidimo sistemos valdymo stočiai, ši apdorojusi informaciją nukreipia paleidimo sistemą į reikiamą vertikalią ir horizontalią poziciją, taip pat užprogramuoja giluminę bombą, kaip ir kada ji turi sprogti [14, 15].



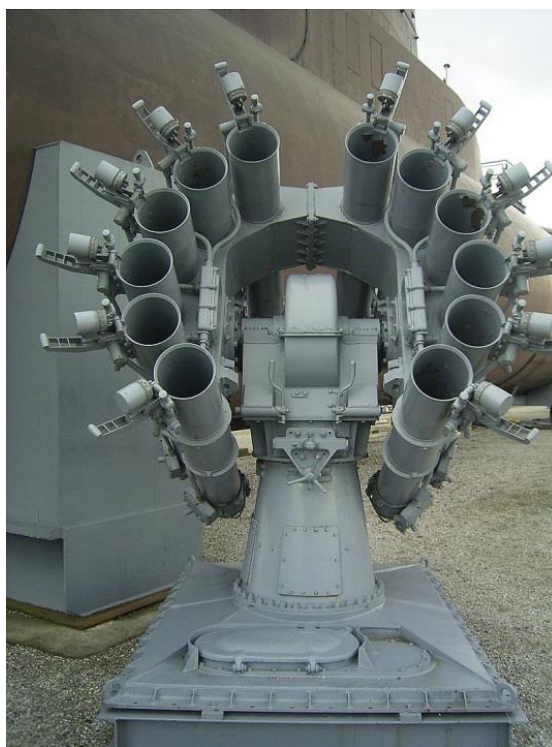
1.1 pav. Raketų paleidimo sistemos kompleksas *RBU-6000* [14]

RBU-6000 yra stacionari sistema, montuojama ant laivo denio (dažniausiai laivo priekyje). Po sistema, po deniu yra amunicijos skyrius, į kurį priklausomai nuo laivo gali tilpti 72 arba 96 giluminės

bombos. Raketų įkrovimas iš amunicijos skyriaus į paleidimo sistemą yra automatinis ir nereikalauja papildomo personalo. Kai paskutinis RBU vamzdis yra įkrautas, sistema automatiškai grįžta į valdymo režimą, o išnaudojus visas raketas, sistema automatiškai pereina į įkrovimo režimą.

RBU-6000 sistema gali judėti vertikalia plokštuma nuo -15° iki $+60^{\circ}$, horizontalia plokštuma 0° iki $+180^{\circ}$. Automatinio taikymosi režimu taikymosi greitis yra $30^{\circ}/s$ ir $4^{\circ}/s$ valdant rankiniu būdu. Sistemą galima naudoti, kai jūros banguotumas siekia iki 8 balų (bangos aukštis 9-14 m).

RPK-8 yra *RBU-6000* raketų paleidimo sistemos atnaujinimas. Pagrindinis skirtumas šios atnaujintos sistemos yra tos, kad galima paleisti modernesnes *90R* tipo raketas. *90R* raketos yra to paties kalibro kaip ir *RGB-60* raketinių giluminių bombų, todėl *RBU-6000* sistemos modernizavimas į *RPK-8* nėra sudėtingas [14, 15].



1.2 pav. Karinio raketinio komplekso *RBU-6000* raketinių giluminių bombų leistuvas [15]

1.1 lentelė. *RBU-600* leistuvo specifikacijos [15]

Svoris, kg (tuščio)	3100
Ilgis, m	2
Aukštis, m	2,25
Plotis, m	1,75
Kalibras, mm	213
Šaudymo salvėmis greitis, raketos/min	144

Paleidimo sistemą sudaro 12 vamzdžių, išdėstytų ratu. Sistema naudoja 213 mm kalibro raketines gilumines bombas.

RGB-60 yra nevaldoma raketinė giluminė bomba. Raketa naudoja kieto kuro motorą. Sprogdiklis gali būti užprogramuotas, kad sprogtų, pataikius į taikinį, arba gylyje nuo 15 iki 350 m [14].

1.2 lentelė. Raketinės giluminės bombos *RGB-60* specifikacijos [15]

Svoris, kg	110
Užtaiso svoris, kg	25
Skersmuo, m	0,212
Ilgis, m	1,83
Nuotolis, m	350-5800
Gylis, m	15 - 350
Nerimo greitis, m/s	11,5

90R raketa yra aktyviai valdoma po vandeniu ir gali susekti savo taikinį iki 1000 m gylio. Ši raketa turi formuotą užtaisą. Raketa sudaryta iš dviejų dalių: pačios raketos ir kovinės galvutės [15].

1.3 lentelė. Raketos *90R* specifikacijos [18]

Svoris, kg	112,5
Užtaiso svoris, kg	19,5
Skersmuo, m	0,212
Ilgis, m	1,83
Nuotolis, m	600-4300
Gylis, m	0-1000



1.3 pav. Raketos *90R* bendras vaizdas [18]

RBU-6000 sistemos privalumai:

1. Patikima ir išdirbta sistema.
2. Giluminių raketinių bombų nuotolis ir gylis yra patenkinamos naudojant Baltijos jūros vandenyse.
3. Automatinis užtaisyimas, todėl reikia mažiau personalo.

RBU-6000 sistemos trūkumai:

1. Dėl politinių aplinkybių sistemą gali būti sunku įsigyti, įrengti ir aptarnauti, nes sistema nėra NATO sąjungininkės arba partnerės gamybos.
2. Sudėtingas sistemos įrengimas esamuose laivuose ir neįmanomas mažuose laivuose.

1.2. ASW-601

ASW-601 yra SAAB Dynamics granatų paleidimo sistema skirta kovai su povandeniniais taikiniais. Paleidimo sistemą sudaro devynių vamzdžių leistuvas, formuotų užtaisų granatos su kontaktiniu sprogdikliu ir elektroninio valdymo ir šaudymo sistemos. Granatsvaidis yra užkraunamas rankiniu būdu įdedant granatas pro vamzdžio žiotis. Granatos yra iššauamos detonuojant užtaisus, esančius granatsvaidžio vamzdžio apačioje [16].

Granatsvaidžio valdymo stotyje, gavus informaciją apie povandeninio taikinio buvimo vietą ir jo kursą iš paties laivo, sraigtasparnio arba kitų laivų jutiklių, apdorojama informacija ir pasirenkama, kokio dydžio salve ir kokiame plote bus paleistos granatos. Iki 36 granatų galima paleisti viena salve. Iššovus granatą, ji ners į vandenį priekiu pirmyn. Skęsdama granata numeta „nosies“ dangtelį ir atidengia prisikabinimo mechanizmą. Granatai pataikius į taikinį ji pasvyra į taikinį ir susprogsta. Granatos, nepataikusios į taikinį, po kurio laiko susprogsta pačios [16].



1.4 pav. Granatų paleidimo sistemos kompleksas ASW-601 [16]

ASW-601 sistemą galima montuoti beveik ant visų tipų laivų denių. Sistemą sudaro 2 leistuvai, įtvirtinti vienas šalia kito. Ši sistema yra įkraunama personalo rankiniu būdu. Pilnai įkrauti trunka keletą minučių. Sistema gali judėti vertikalia plokštuma nuo 30° iki 85° , horizontalia plokštuma $\pm 110^\circ$, taiklumas $\pm 1^\circ$, taikymosi greitis yra 1 rad/s ($57^\circ/\text{s}$) [13].

Vieną leistuvą sudaro devyni vamzdžiai, aštuoni sumontuoti ratu ir vienas viduryje. Paleidimo sistemą sudaro du tokie leistuvai, sumontuoti vienas šalia kito. *ASW-60I* specifikacijos nurodytos 4 ir 5 lentelėse.

1.4 lentelė. Vieno leistuvo specifikacijos [13]

Svoris, kg (tuščio)	103
Ilgis, m	0,92
Aukštis, m	0,65
Plotis, m	0,46
Kalibras, mm	100

1.5 lentelė. Paleidimo sistemos specifikacijos [13]

Svoris, kg (tuščio)	670
Ilgis, m	1,757
Aukštis, m	1,218
Plotis, m	1,218

M-90E yra granata, kuri iššaunama kaip artilerijos arba minosvaidžio salvė, todėl neturi raketinio motoro, tai yra granata, o ne raketa. Šios granatos nėra valdomos. Granatos specifikacijos nurodytos 6 lentelėje [16].



1.5 pav. Granatos *M-90E* bendras vaizdas [16]

1.6 lentelė. Granatos *M-90E* specifikacijos [13]

Svoris, kg	5,5
Skersmuo, m	0,100
Ilgis, m	0,478
Nuotolis, m	150-450
Gylis, m	0-500

ASW-601 sistemos privalumai:

1. Paprasta ir lengvai įdiegiama sistema.
2. Įdiegti galima beveik ant bet kokios klasės laivo.
3. Sistemą galima naudoti ne tik povandeniniams taikiniams naikinti, bet ir paskleisti dūmų užsklandą arba specialius užtaisus, kurie trikdo radarų veiklą.

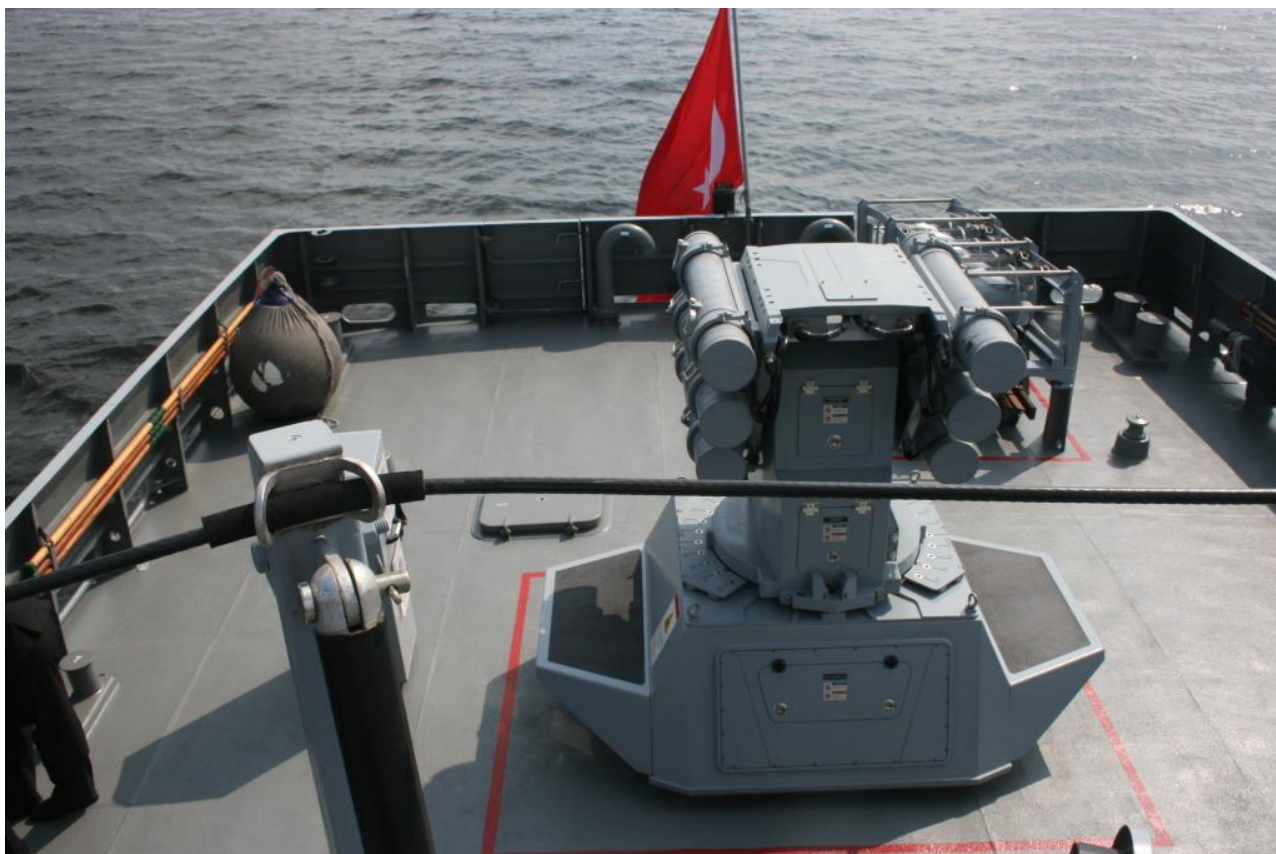
ASW-601 sistemos trūkumai:

1. Granatų skrydžio nuotolis santykinai mažas.
2. Sistemos kūrimo ir gamybos ateitis neaiški.

1.3. Roketsan ASW

Roketsan ASW yra turkų gamybos naujos kartos raketinės giluminės bombos, skirtos kovai su povandeniniais taikiniais. Ši paleidimo sistema raketą gali paleisti pavieniui arba salvėmis. Sprogimo gylis yra valdomas nuotoliniu būdu keičiant laiko nustatymus sprogdiklyje. *ASW* raketa turi nejautrią (IM angl. *insensitive munitions*) didelio sprogdumo (HE angl. *high explosive*) karinę galvutę su nejautriu (IM) kieto kuro raketiniu motoru. *ASW* paleidimo sistema turi stabilizavimo, automatinio ir rankinio paleidimo galimybes. Ši sistema gali automatiškai atlikti taikinių puolimą, kai sonaras aptinka taikinį. Raketos į paleidimo sistemą yra įkraunamos rankiniu būdu pakeičiant tuščią konteinerį į naują konteinerį su raketa [11, 17].

Laivo sonarui aptikus taikinį, informacija yra perduodama į paleidimo sistemos valdymo bloką, kur kompiuteris apdorojęs informaciją automatiškai gali nustatyti, kokia trajektorija reikės paleisti raketą ir kada bus detonuojamos bombos po vandeniu [12].

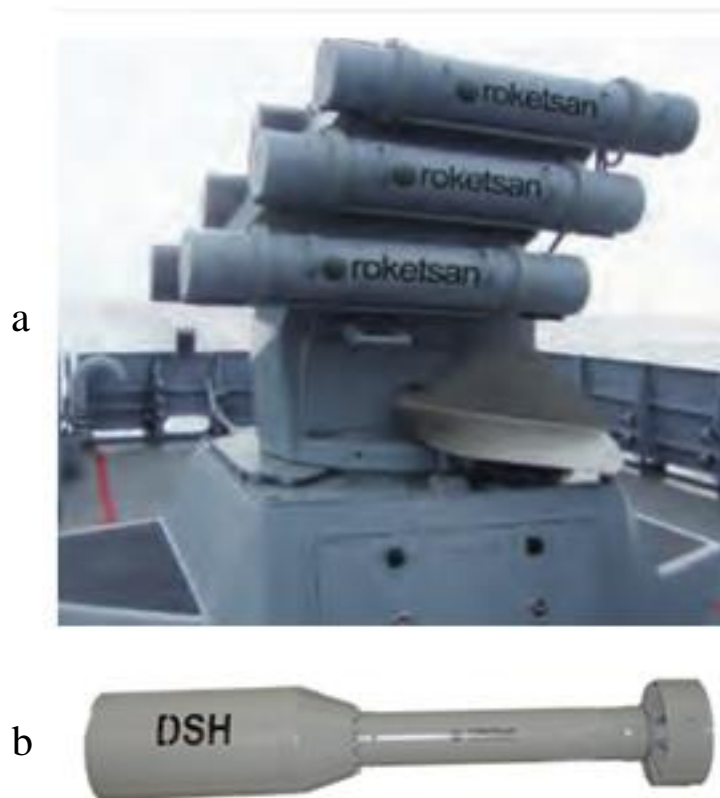


1.6 pav. Raketų paleidimo sistemos kompleksas *Roketsan ASW* ant laivo denio [17]

Roketsan ASW paleidimo sistemą sudaro 6 vamzdžiai, sumontuoti po 3 iš abiejų pusių. Šią sistemą galima montuoti beveik ant bet kokio laivo denio. Paleidimo sistemos komplekso ir raketos specifikacijos nurodytos 7 lentelėje.

1.7 lentelė. *Roketsan ASW* raketų paleidimo sistemos komplekso specifikacijos [11]

Paleidimo sistemos svoris, kg	1200
Paleidimo intervalas	0,8
Nuotolis, m	500-2000
Gylis, m	15-300
Diametras, m	0,196
Raketos svoris, kg	35,5
Raketos svoris su vamzdžiu, kg	43
Raketos ilgis, m	1,300
Sprogmens svoris, kg	12



**1.7 pav. Roketsan ASW paleidimo sistemos komplekso bendras vaizdas [17]:
a-raketų paleidėjas, b- raketinė giluminė bomba**

Roketsan ASW sistemos privalumai:

1. Nauja ir moderni sistema.
2. Patogi įdiegti ant esamų laivų.
3. Parametrai tinkantys naudoti Baltijos jūros vandenyse.
4. Automatinis taikinių aptikimas ir jų naikinimas.

Vertinant esamą Lietuvos karinių jūrų pajėgų turimų laivų technines charakteristikas, tokias kaip laivo tonažą, dydį, konstrukciją, perspektyviausia paleidimo sistema yra *Roketsan ASW*.

2. SIŪLOMAS MOKOMASIS RAKETINIŲ GILUMINIŲ BOMBŲ KOMPLEKSAS

2.1. Mokomosios sistemos struktūra

Mokomoji sistema bus kuriama, kad būtų kuo panašesnė į karinę, todėl bus panaudojama nemažai karinės sistemų elementų, kaip:

- Karinis sistemos sonaras povandeniniams taikiniams aptikti.
- Paleidimo ir valdymo sistema.
- Raketų leistuvai su stabilizuojančia sistema

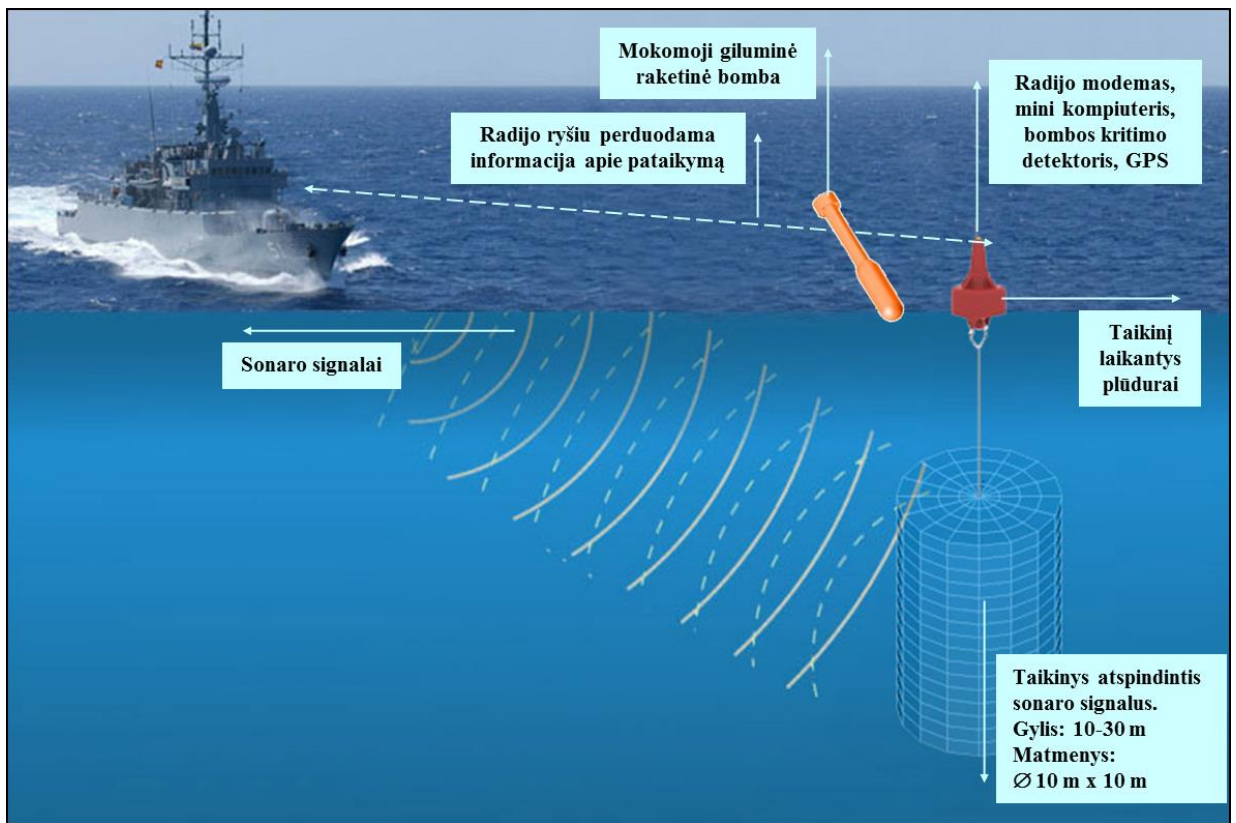
Taip pat mokomojoje sistemoje bus pakeisti ir panaudoti keli nauji komponentai tokie kaip:

- Raketinė giluminė bomba. Sistemos karinė raketa bus pakeista į mokomąją raketą.
- Taikynys tai gali būti po vandeniu esanti speciali erdvinė metalinė konstrukcija, kurią sonarai gali aptikti.
- Plūduras su sumontuotomis jutiklių sistemomis, kurios fiksuos, ar raketinė bomba pataikė į norimą vietą.

2.2. Veikimo principas

Mokomoji sistema veiks panašiai kaip ir karinė. Kariniais sonarais bus aptinkamas taikynys, tai gali būti po vandeniu esanti esanti speciali erdvinė metalinė konstrukcija, arba jau nustatyta vieta kur raketinė bomba turi pataikyti. Po to personalas naudodamas valdymo ir paleidimo sistemos kompiuterį automatinio arba rankinio režimu (priklausomai nuo pratybų parametrų ir tikslų) nustatys paleidimo paremetrus, kaip paleidimo kampą.

Nustačius raketos paleidimo parametrus bus iššauta mokomoji raketa, kuri sudeginusi raketinio motoro kurą laisvai kris į taikymosi zoną. Tada plūdure esantys jutikliai užfiksuos ar raketa pataikė į reikiamą zoną vandens paviršiuje ir ar skęstanti mokomoji raketinė giluminė bomba nuskendo pro reikiamą zoną po vandeniu. Kadangi raketa neturi kovinio užtaiso, sprogo nebūs. Iššovus visas raketos, leistuvai rankiniu būdu būtų užtaisomas, tušti konteineriai pakeičiami į pilnus su mokomosiomis raketomis.



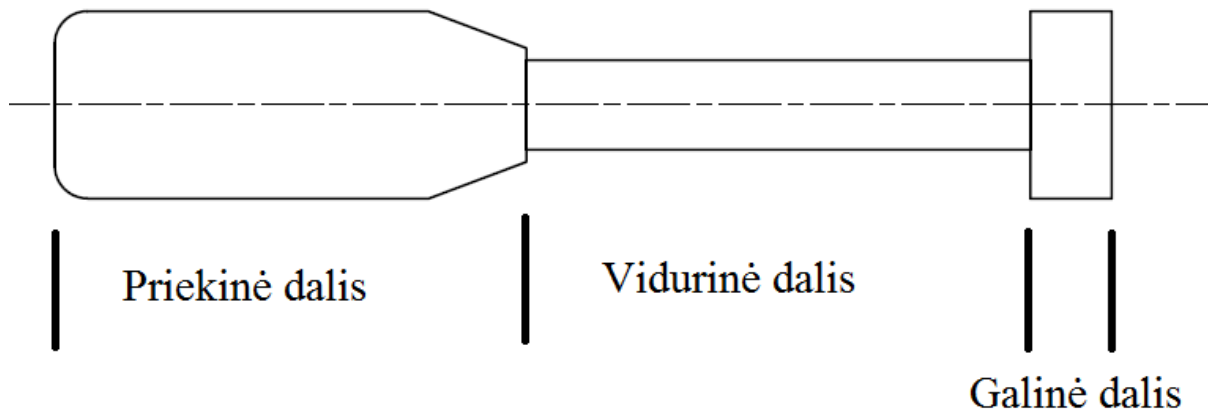
2.1 pav. Rakatinės mokomosios įrangos kovai su povandeniniais taikiniais veikimo schema
[schema sukurta KTU Transporto inžinerijos katedroje]

2.3. Mokomosios raketos konstrukcija

Remiantis tikrosios raketos parametrais, mokomoji raketa bus 1,3 m ilgio, o skersmuo 196 mm storiausioje vietoje [11]. Mokomoji raketa bus gaminama iš stiklo pluošto, tačiau priklausomai nuo tolimesnių tyrimo rezultatų ir norimų parametru, ar raketa turi sugebėti atlaikyti smūgį į vandenį ar ne, medžiagos, naudojamos raketos gamyboje, arba jų išsidėstymas bei storis gali kisti. Tiriamos mokomosios raketos eskizas parodytas 2.2 paveikslėlyje.

Šią raketą galima suskirstyti į tris atskiras dalis:

- priekinė dalis;
- vidurinė dalis;
- galinė dalis.



2.3 pav. Mokomosios giluminės bombos struktūra

Priekinė dalis

Šioje karinės raketos dalyje būtų įrengtas sprogstamasis užtaisas, jo detonavimo, valdymo, navigacijos ir paleidimo sistemos, bet kadangi ši raketa bus mokomoji, sprogstamojo užtaiso nėra. Norint išlaikyti mokomosios raketos svorį, panašų į karinės, vietoj sprogmens gali būti įrengti papildoma masė, balastai, kurie prilygtų sprogstamajam užtaisui. Šie svoriai gali būti išdėstyti taip, kad būtų nustatyta norima raketos trajektorija skrydžio metu.

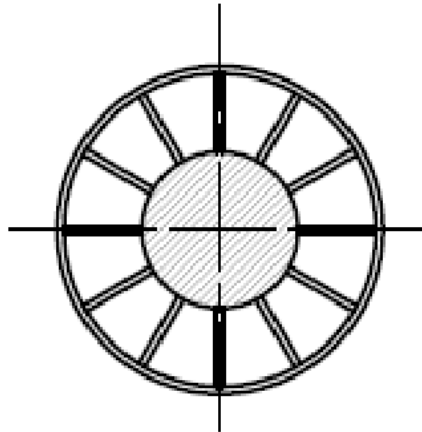
Vidurinė dalis

Vidurinė dalis sujungia raketinės bombos priekinę ir galinę dalį, taip pat šioje dalyje bus įrengtas kietojo kuro raketinis motoras.

Galinė dalis

Raketinės bombos galinę dalį sudaro raketinio motoro tūta bei raketos valdymo ir stabilizavimo plokštumos. Valdymo ir stabilizavimo sparnuotė sudaryta iš 12 sparnelių, jie išdėstyti ratu, taip pat šie sparneliai yra apgaubti plokštumos, kurios diametras 196 mm. Kadangi ši mokomoji raketa neturės

elektroninės valdymo sistemos, sparneliai bus sumontuoti neutraliose pozicijose, kad skrydžio ir nėrimo vandenyje metu stabilizuotu mokomąją raketinę giluminę bombą.



2.4 pav. Galinės dalies skerspjūvis

3. RAKETINĖS GILUMINĖS BOMBOS APTEKĖJIMO TYRIMAI

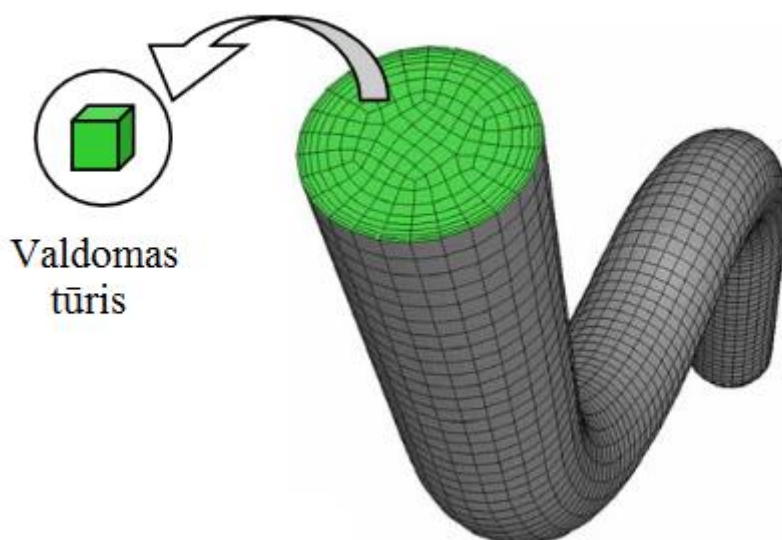
3.1. Tyrimo metodika

Kompiuterinė skysčių dinamika (angl. *Computational fluid dynamics* arba CFD) yra skysčių srauto, šilumos ir masės perdavimo, cheminių reakcijų ir panašių reiškinų prognozavimo mokslas, sprendžiant su jais susijusiais matematiniais modeliais ir lygtimis, pasinaudojant kompiuterinėmis programomis [4].

Skysčių aptekėjimas aplink modeliuojamą raketą sumodeliuota naudojant kompiuterinę programą ANSYS *Fluent*.

ANSYS *Fluent* programa naudoja baigtinių tūrių metodą sprendžiant pateiktus uždavinius [4]:

- Skysčio regionai yra diskretizuojami į baigtinį valdomų tūrių kiekį.



3.1 pav. Vamzdis diskretizuotas į baigtinį kiekį valdomų tūrių [4]

- Skaičiavimams naudojami masės, momento, energijos ir kt. tvermės dėsniai.

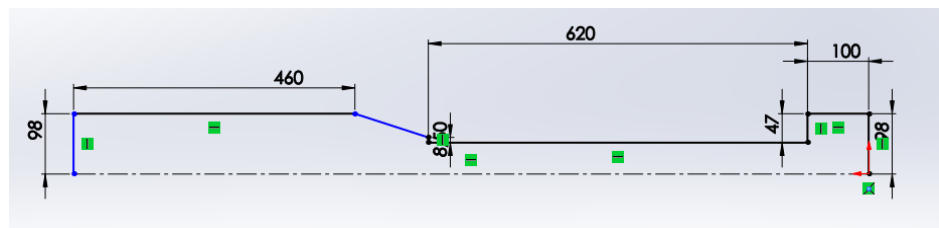
$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \phi dV + \oint_A \rho \phi \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A} = \oint_A \Gamma_\phi \nabla \phi \cdot d\mathbf{A} + \int_V S_\phi dV \quad (2.1)$$

- Dalinės diferencialinės lygtys yra diskretizuojamos į algebrinių lygčių sistemą.
- Tada visos algebrinės lygtys yra išsprendžiamos, kad sudarytų sprendinių lauką.

3.2. Raketinės giluminės bombos aerodinamikos tyrimas

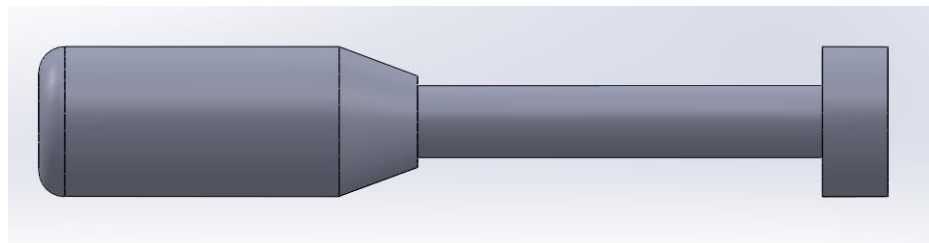
3.2.1. Raketos aerodinamikos simuliacijos kūrimas

3D modelis sumodeliuotas naudojant *SolidWorks* kompiuterinę programą. Turint raketinės giluminės bombos matmenis (žiūrėti 2.2 pav. arba priedas 1) ir naudojant SW funkciją *Sketch* yra nubrėžiami raketos kontūrai, nubraižoma tik pusė raketos, nes to pakanka vėliau naudojant funkciją *Revolve* [7].



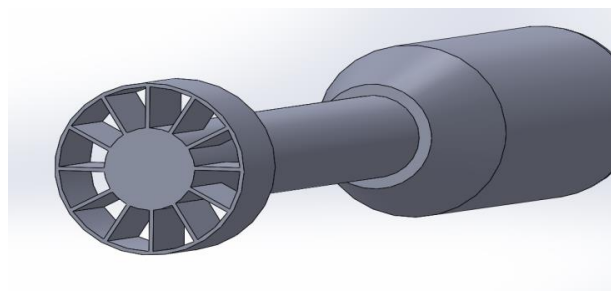
3.2 pav. Raketinės giluminės bombos kontūrai SW programoje

Toliau sukuriamas raketos 3D modelis naudojant funkciją *Revolve*.



3.3 pav. Raketinės giluminės bombos 3D modelis

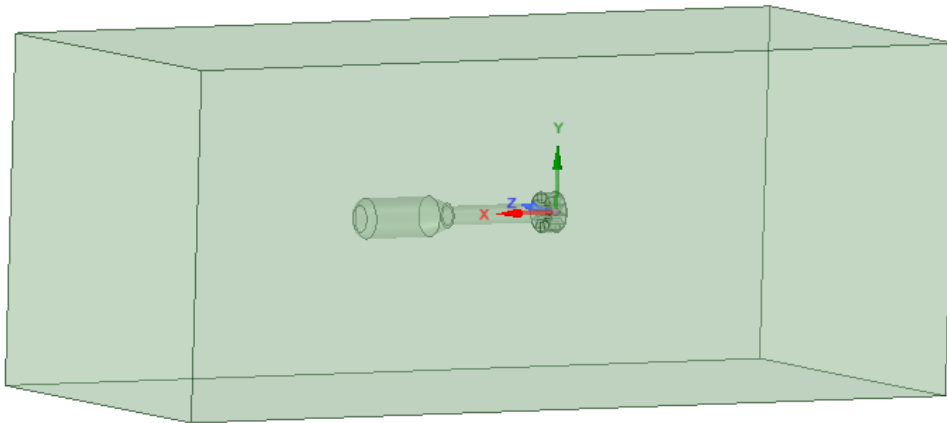
Galiausiai sumodeliuojame raketos galinę dalį.



3.4 pav. Raketinės giluminės bombos galinė dalis

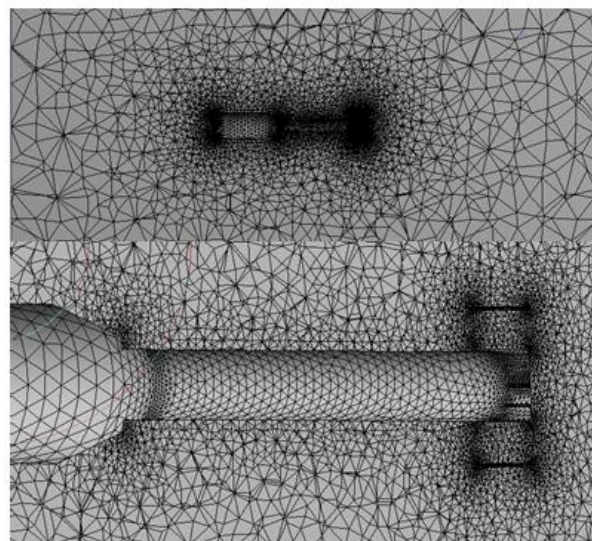
Sudarytas raketos modelio CAD failas įkeliamas į ANSYS *Fluent*. Šioje programoje atliktas raketos aptekėjimo tyrimas. Aptekėjimo skaičiavima naudojant CFD programą atliktas skirtingiems greičiams, tarp 100 – 270 m/s ore.

Raketos modelis patalpintas į dėžutę (6000x2000x2000), kurioje programa ANSYS *Fluent* atliko aptekėjimo skaičiavimus.



3.5 pav. Erdvė, kurioje bus atliekami aptekėjimo skaičiavimai

Šiai dėžutei sukurtas tinklelis. Kuo smulkesnis tinklelis, tuo bus tikslesni skaičiavimai, bet taip pat ilgiau užtruks, nes kompiuteriui reikia apskaičiuoti daugiau elementų. Siekiant optimalumo sudarytas tinklelis yra hibridinis. Tinklelis prie raketos modelio tankesnis, o kuo toliau nuo modelio, tuo retesnis.

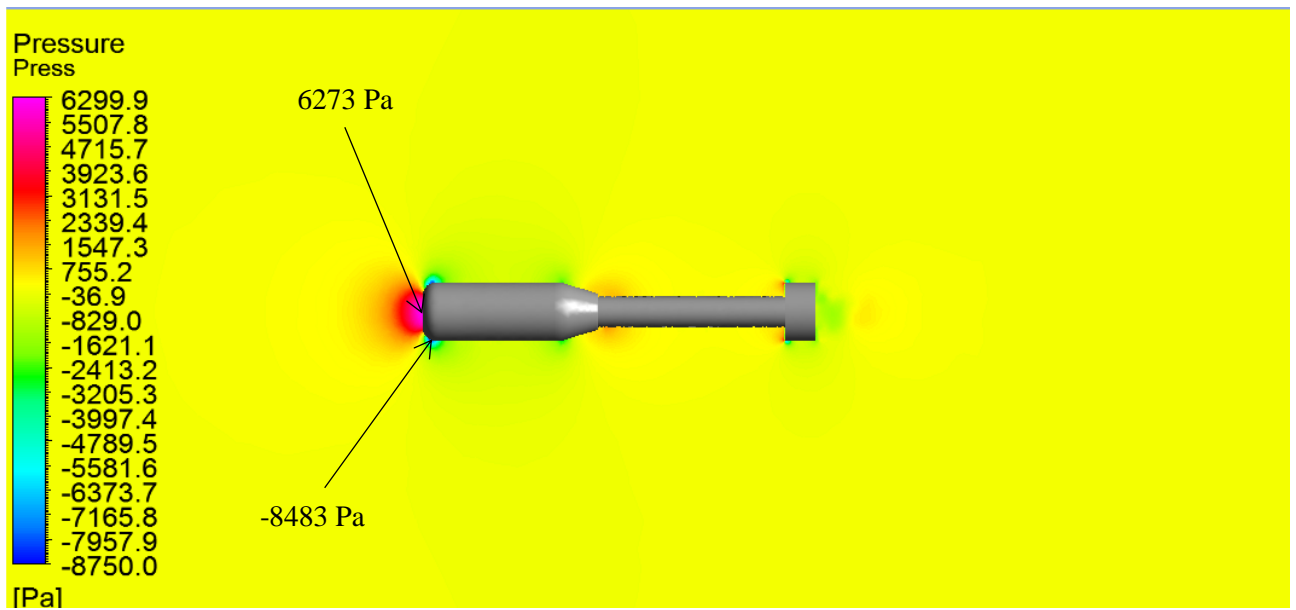


3.5.pav. Sugeneruotas tinklelis

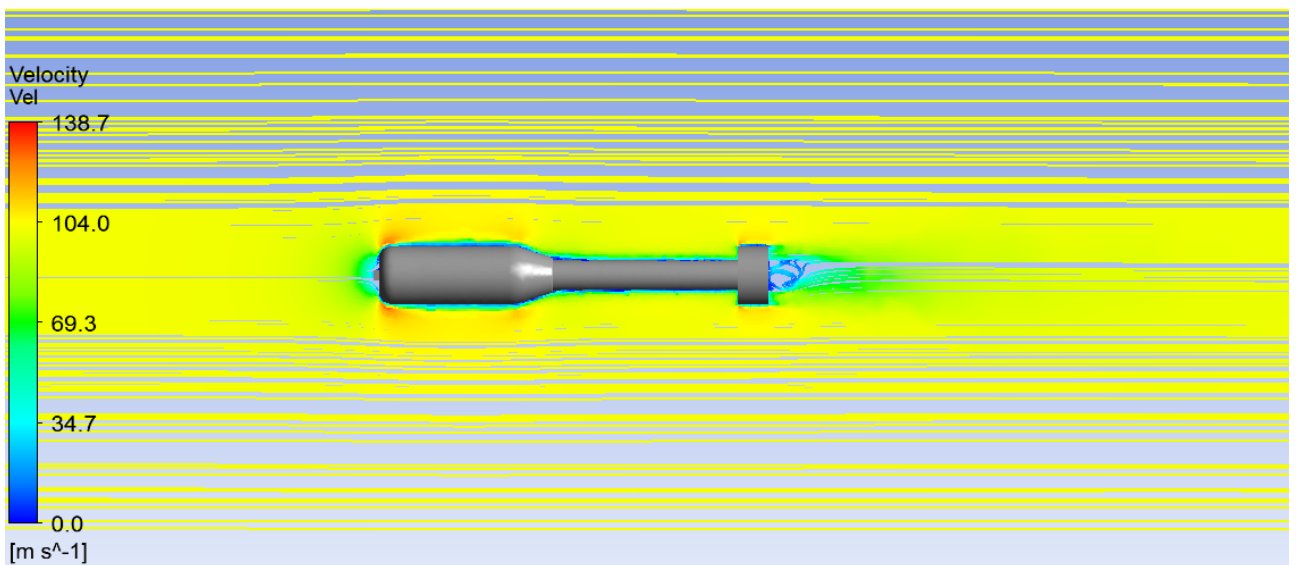
3.2.2. Aerodinamikos tyrimo rezultatai

Kaip buvo minėta anksčiau, mokomosios raketinės giluminės bombos aptekėjimo ore tyrimas atliktas esant aštuoniems skirtingiems oro srauto greičiams: 102 m/s, 136 m/s, 170 m/s, 204 m/s, 238 m/s, 272 m/s (arba 0,3 – 0,8 Macho).

Atlikus aptekėjimo simuliaciją, kai oro srauto greitis 102 m/s gauta, kad pasipriešinimo jėga yra 62 N, o pasipriešinimo koeficientas 0,323. Taip pat paveikslėliuose 3.7 ir 3.8 pavaizduota kaip pasiskirstė oro srauto slėgis ir greitis.

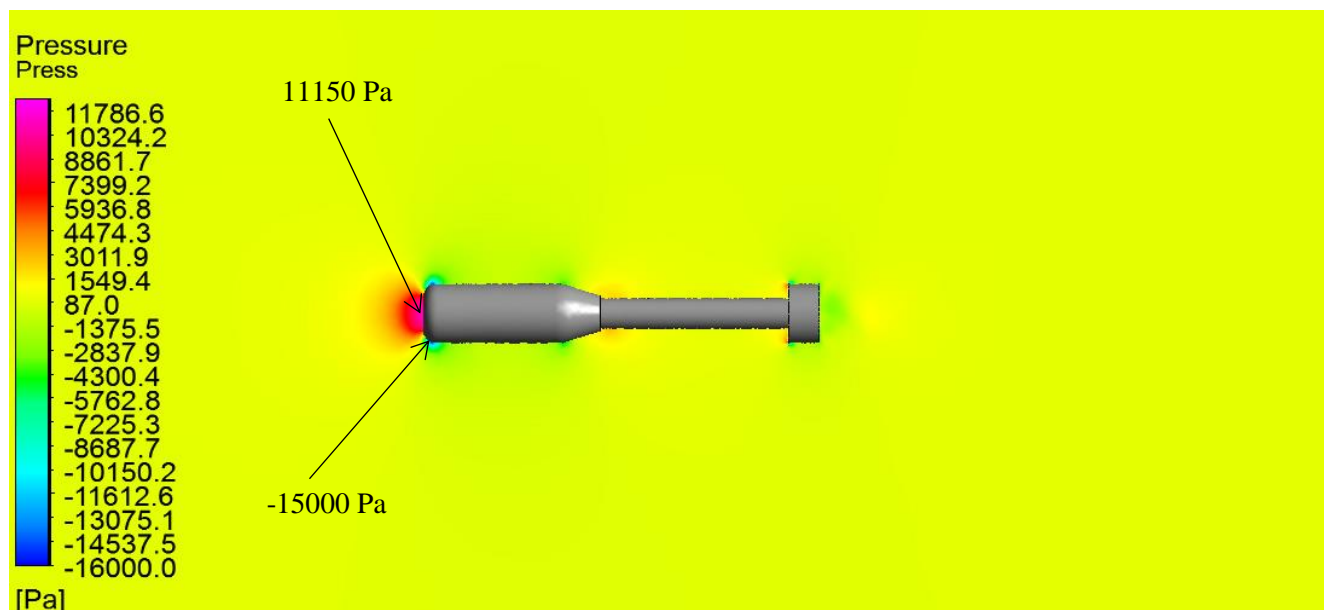


3.7 pav. 102 m/s oro srauto slėgio pasiskirstymas

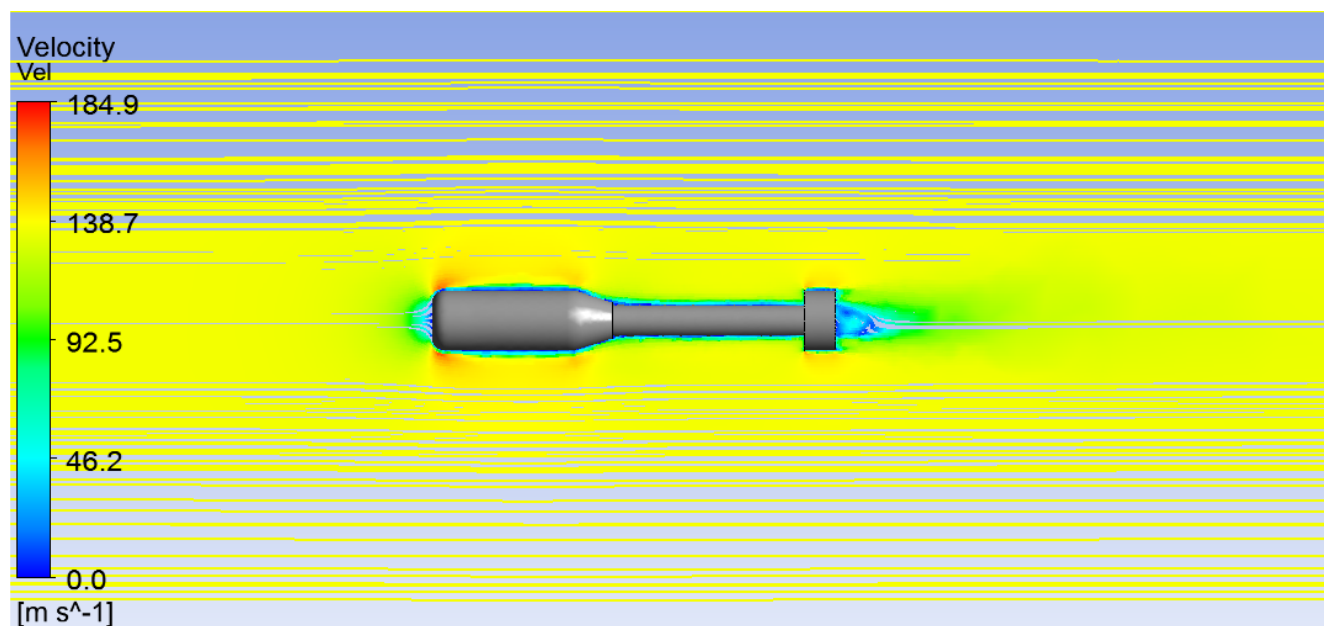


3.8 pav. 102m/s oro srauto greičio pasiskirstymas

Oro srauto greitį padidinus iki 136 m/s pasipriešinimo jėga taip pat padidėja iki 109 N, o pasipriešinimo koeficientas išliko panašus 0,319.

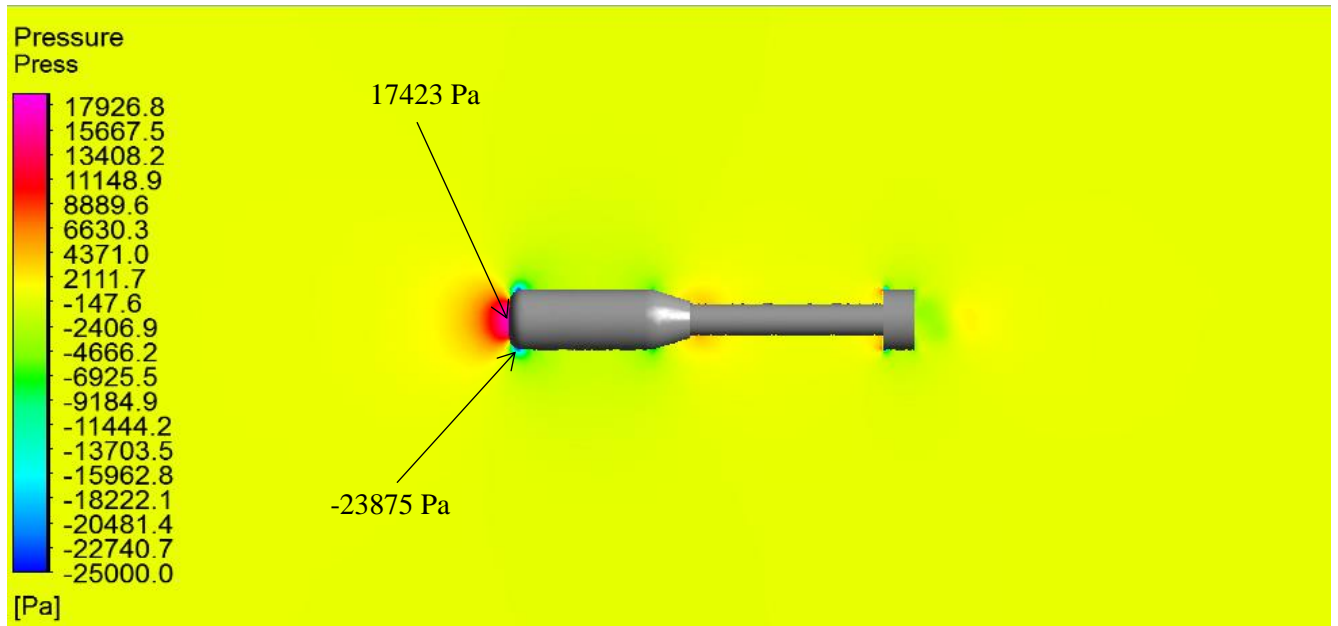


3.9 pav. 136 m/s oro srauto slėgio pasiskirstymas

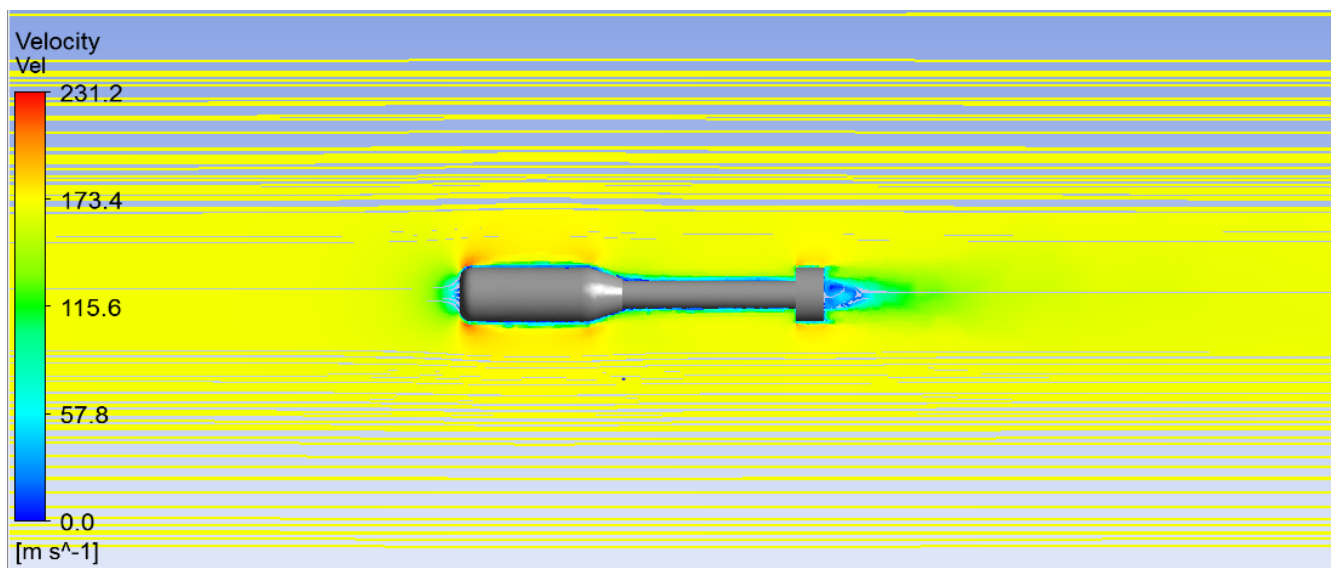


3.10 pav. 136 m/s oro srauto greičio pasiskirstymas

Oro srauto greičiui esant 170 m/s pasipriešinimo jėga yra 169 N, o pasipriešinimo koeficientas 0,317.

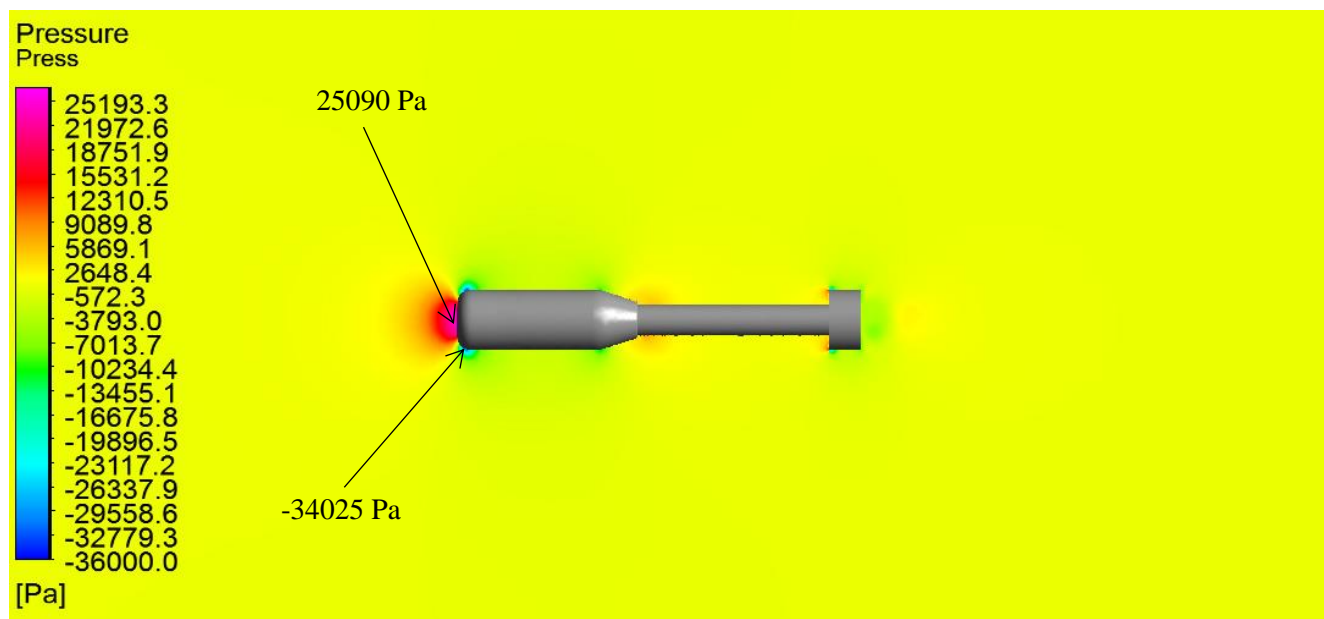


3.11 pav. 170 m/s oro srauto slėgio pasiskirstymas

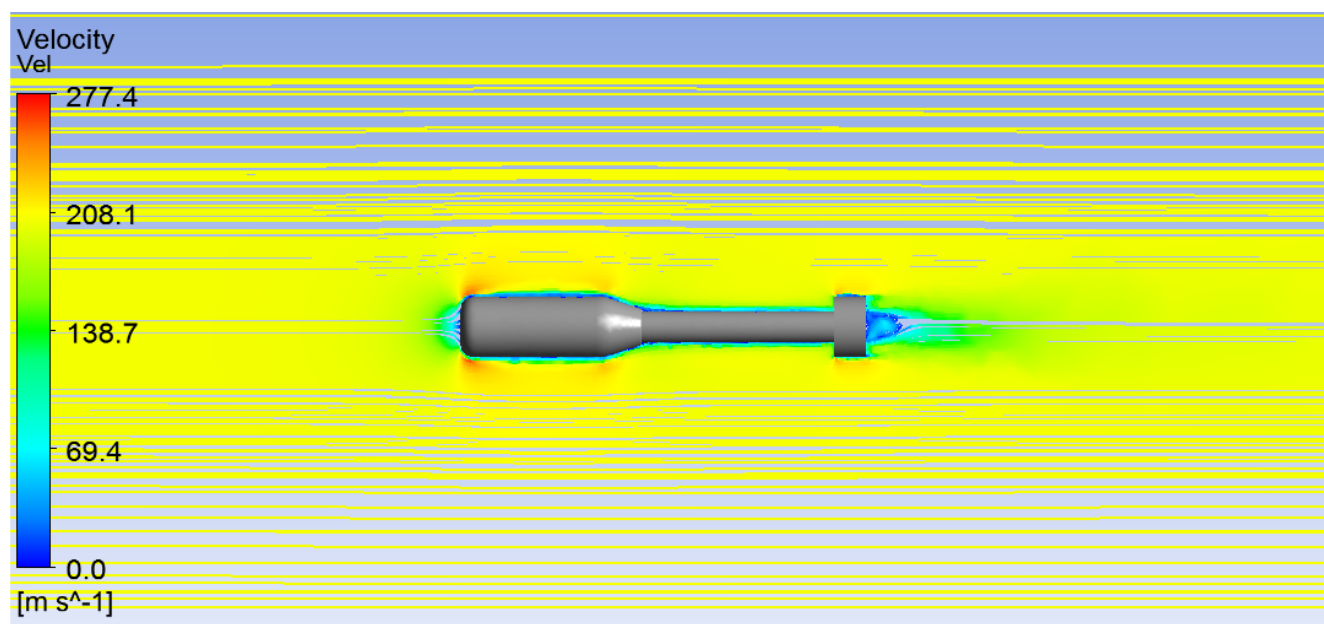


3.12 pav. 170 m/s oro srauto greičio pasiskirstymas

Kai oro srauto greitis 204 m/s pasipriešinimo jėga yra 245 N, o pasipriešinimo koeficientas 0,319.

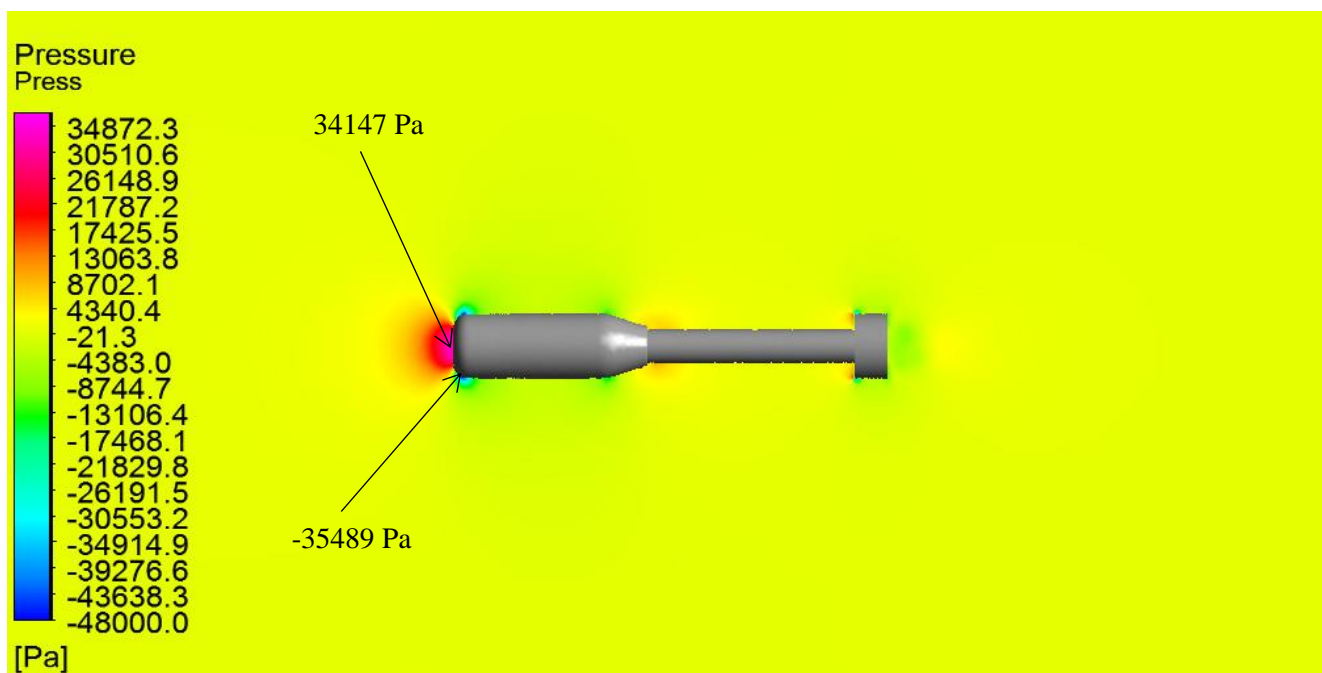


3.13 pav. 204 m/s oro srauto slėgio pasiskirstymas

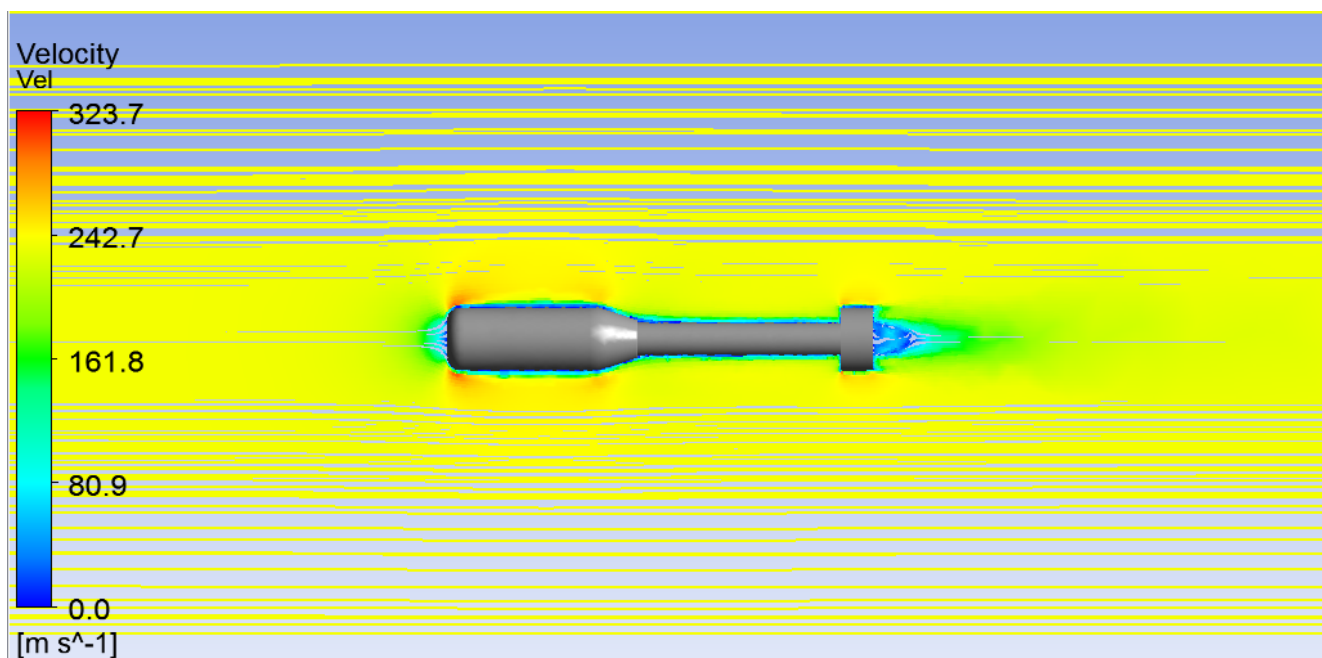


3.14 pav. 204 m/s oro srauto greičio pasiskirstymas

Oro srauto greitį padidinus iki 238 m/s pasipriešinimo jėga yra 332 N, o pasipriešinimo koeficientas 0,317.

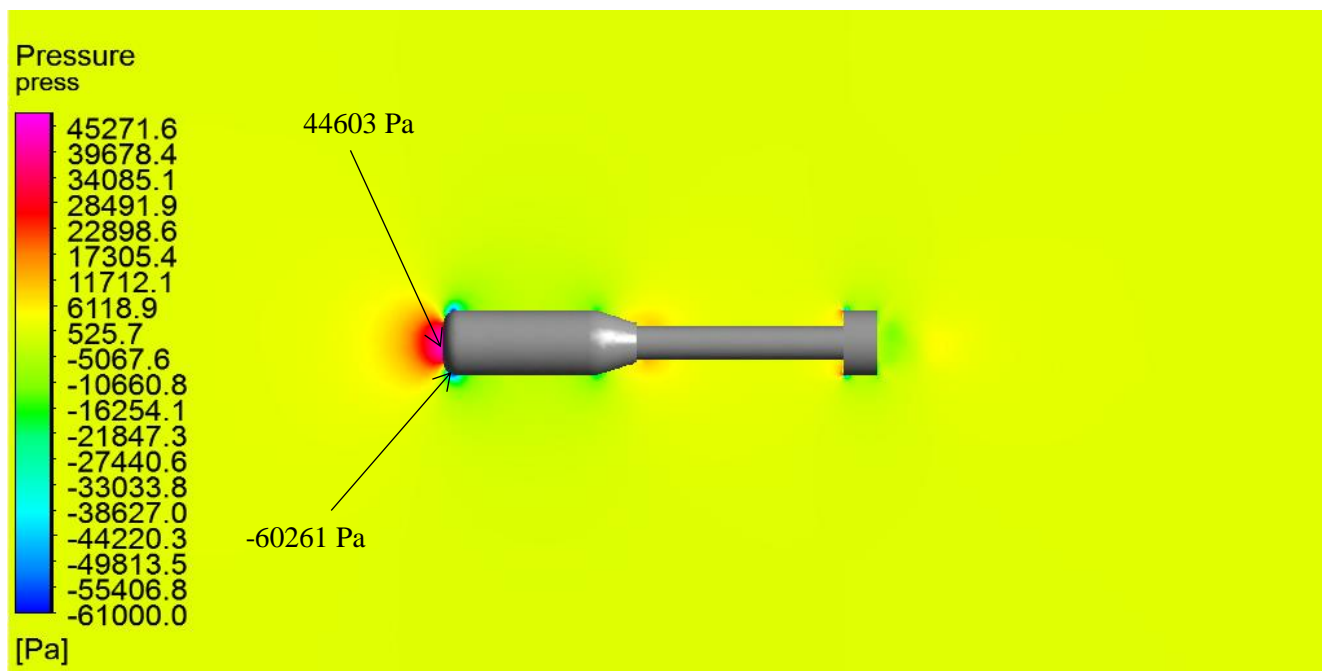


3.15 pav. 238 m/s oro srauto slėgio pasiskirstymas

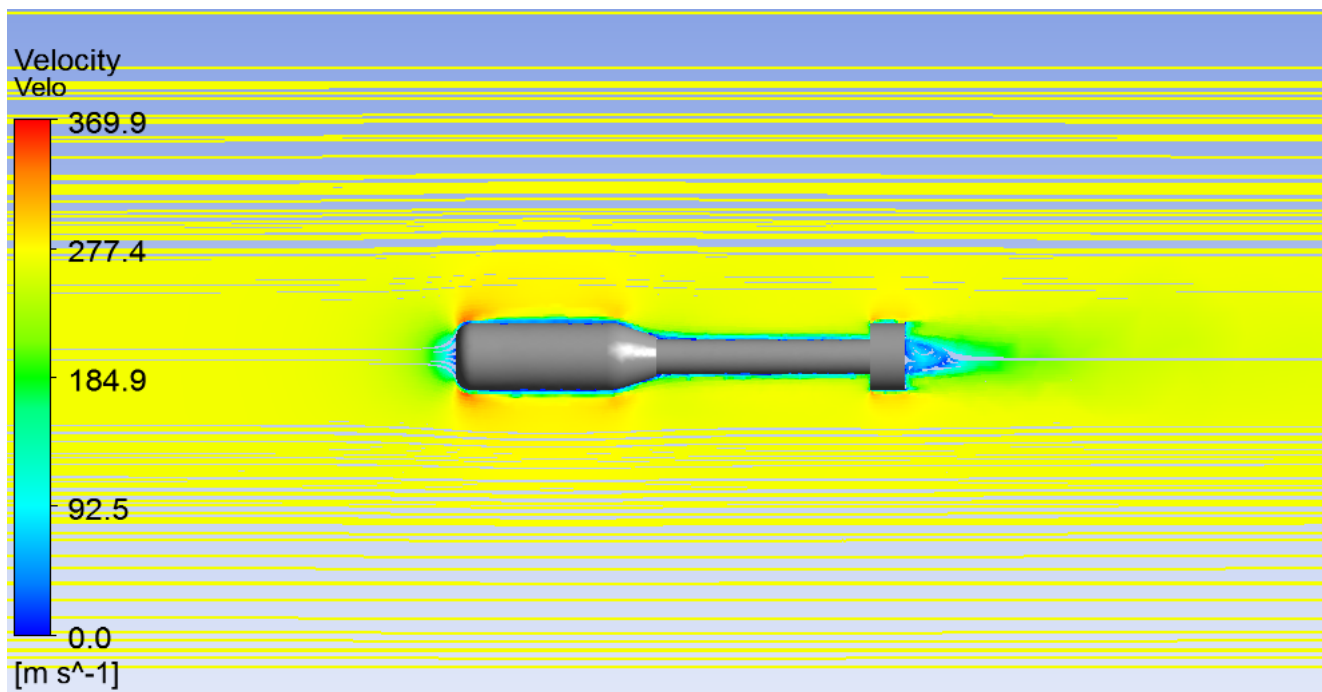


3.16 pav. 238 m/s oro srauto greičio pasiskirstymas

Galiausiai, kai oro srauto greitis 272 m/s, pasipriešinimo jėga yra 462 N, o pasipriešinimo koeficientas 0,316.

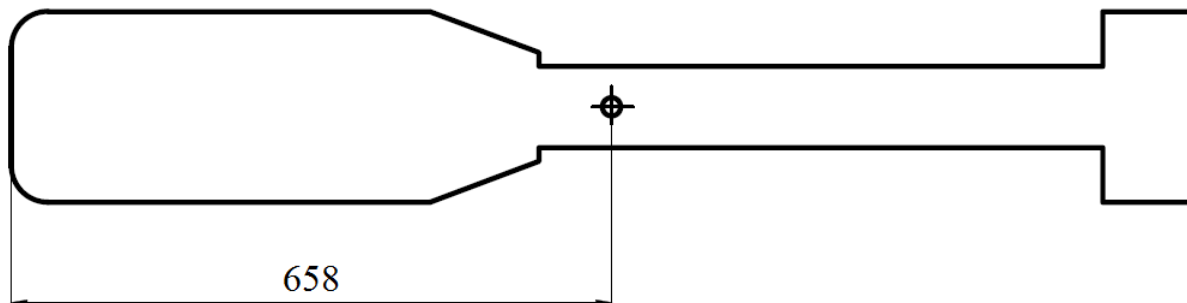


3.17 pav. 272 m/s oro srauto slėgio pasiskirstymas



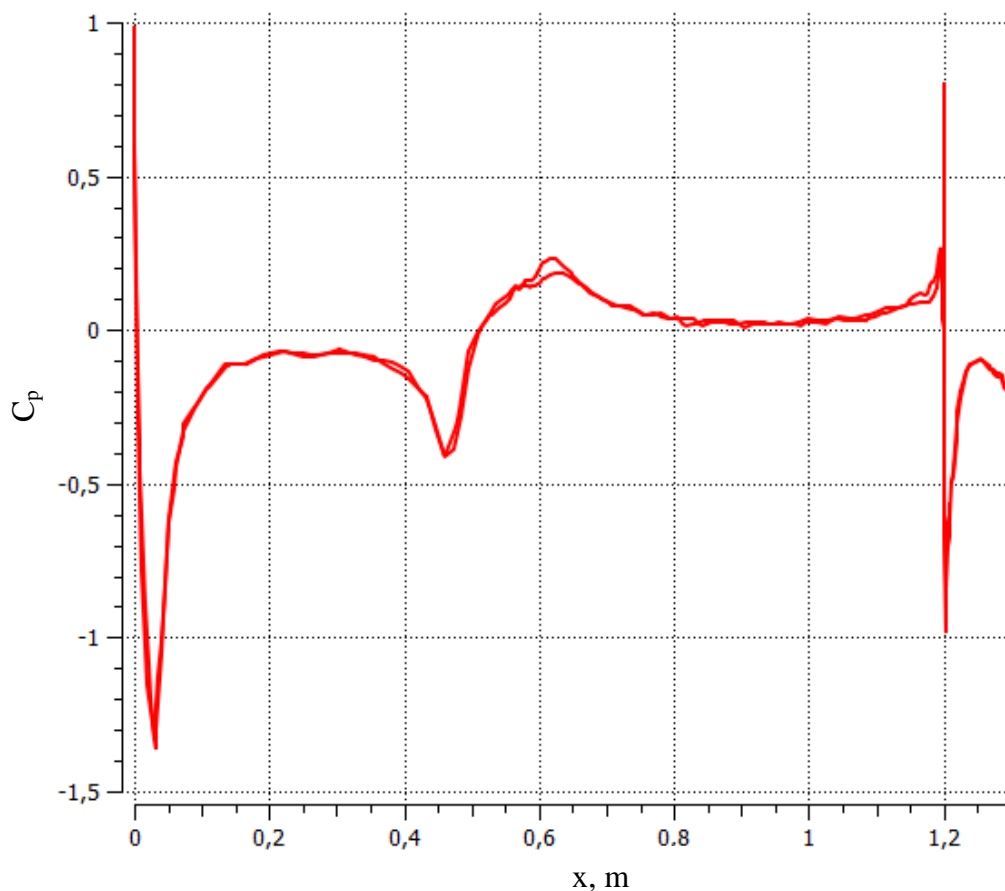
3.18 pav. 272 m/s oro srauto greičio pasiskirstymas

Atliekant raketos aerodinaminius skaičiavimus kompiuterine programa *ANSYS Fluent*, surastas šios mokomosios raketos slėgio centro padėtis. Slėgio centras yra 0,658 m nuo raketos priekinės briaunos, arba 0,506 % raketos ilgio [3].



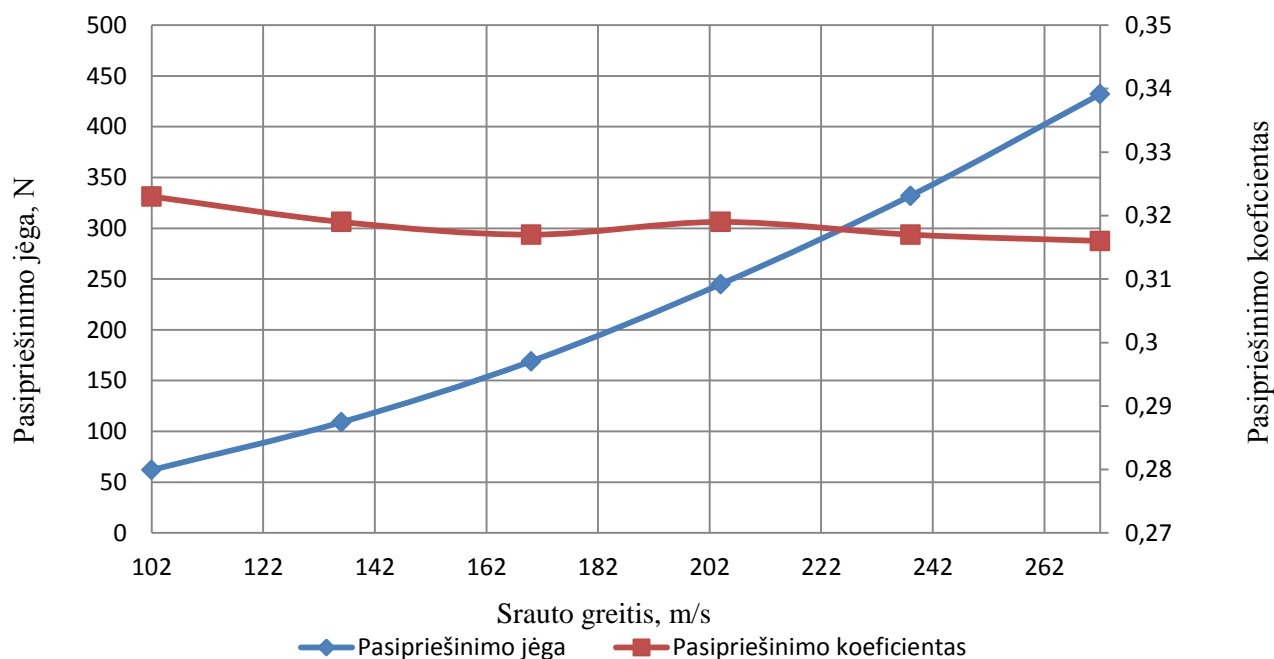
3.19 pav. Raketos slėgio centro padėtis

Taip pat aerodinaminės analizės metu gauta ir raketos slėgio pasiskirstymo koeficiento grafikas (žiūrėti pav. 3.20). Kadangi raketa yra simetriška, slėgio koeficientas orui aptekant raketos viršumi arba apačia yra vienodas [1].



3.20 pav. Raketos slėgio koeficiento pasiskirstymo grafikas

Analizė parodė, kad greičių diapozone 102..272 m/s pasipriešinimo jėga pasikeitė nuo 62 N iki 462 N, o pasipriešinimo koeficientas išliko daugmaž vienodas ~0,32 ore [10].



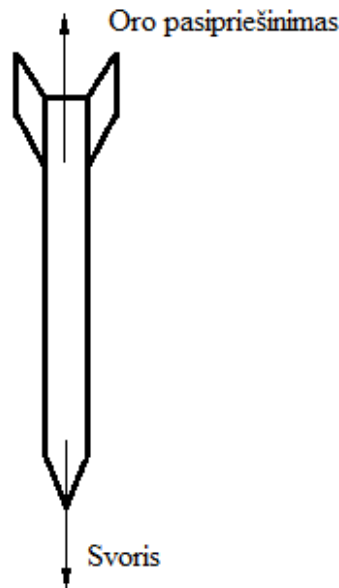
3.21 pav. Pasipriešinimo jėgos ir pasipriešinimo koeficiento priklausomybės ore nuo srauto greičio

3.3. Mokomosios raketinės giluminės bombos smūgio į vandenį tyrimas

Šis tyrimas atliktas naudojant *ANSYS Explicit Dynamics* baigtinių elementų kompiuterinę programą. Buvo naudojamas tas pats raketos CAD modelis kaip ir raketos aerodinamikos tyrime. Šio tyrimo metu nustatyta, kaip raketa elgiasi jai keičiant terpę iš oro į vandenį, kaip kinta raketos greitis ir kokias apkrovas ji patiria šioje skrydžio fazėje [5].

3.3.1. Galutinis greitis

Norint sužinoti, koku greičiu raketa smūgiuos į vandenį, reikia apskaičiuoti raketos galutinį greitį. Nors šiame darbe išorinė balistika nėra nagrinėjama, bet nesudėtingai galima apskaičiuoti, koku greičiu ji turėtų smūgiuoti į vandenį, taip pat, koku greičiu ji turėtų skęsti, tai bus panaudota ir tolimesniame raketos aptekėjimo tyrime, kai raketą apteka vanduo.



3.22 pav. Oro pasipriešinimo ir svorio jėgos įtaka raketai

Raketai sudeginus kurą ir leidžiantis žemyn ją veikia tik dvi jėgos: svorio ir oro pasipriešinimo, kadangi raketa jau sudegino visą savo kurą, traukos ji nebegeneruoja. Šios dvi jėgos (svorio ir oro pasipriešinimo) veikia viena kitą priešingomis kryptimis, todėl raketai krentant žemyn ji pasieks tokį momentą, kai šios jėgos susilygins ir raketos greitis taps pastovus. Šis pastovus greitis yra vadinamas galutiniu greičiu (angl. *terminal velocity*) [8].

Taigi, kai raketai pasiekus galutinį greitį, svorio ir oro pasipriešinimo jėgų skirtumas lygus 0.

$$D - W = 0 \quad (3.1)$$

$$D = W \quad (3.2)$$

Čia:

D – oro pasipriešinimo jėga, N

W – svorio jėga, N

Oro pasipriešinimo jėgą galima apskaičiuoti pagal šią formulę.

$$D = \frac{C_d * q * V^2 * A}{2} \quad (3.3)$$

Čia:

C_d – oro pasipriešinimo koeficientas

q – oro, skysčio tankis, kg/m^3

V – srauto greitis, m/s

A – skerspjūvio plotas, m^2

Taigi iš to išplaukia, kad:

$$W = \frac{C_d * q * V^2 * A}{2} \quad (3.4)$$

$$V = \sqrt{\frac{2 * W}{C_d * q * A}} \quad (3.5)$$

Turint šią formulę galima apskaičiuoti, koku greičiu raketa smūgiuos į vandenį (krentant vertikaliai), taip pat galima apskaičiuoti, koku greičiu raketa skęs vandenyje po smūgio.

Taigi iš aerodinminio tyrimo žinome, kad raketos pasipriešinimo koeficientas yra $C_d=0,32$, skerspjūvio plotas $A=0,03 \text{ m}^2$. Raketa šioje stadijoje sveria $\sim 30 \text{ kg}$ [11]. Kadangi raketa skris neaukštai, oro tankis mažai kis, todėl naudosisime oro tankį jūros lygyje $q=1,229 \text{ kg/m}^3$.

Galutinis greitis ore:

$$V_{ore} = \sqrt{\frac{2 * W}{C_d * q * A}} = \sqrt{\frac{2 * 300}{0,32 * 1,225 * 0,03}} = 223 \text{ m/s} \quad (3.6)$$

Galutinį greitį galima apskaičiuoti ir vandenyje, taip sužinosime, koku greičiu bomba skęs vandenyje. Tik šis greitis gali būti ne visiškai tikslus dėl kelių priežasčių, bomboje gali būti tuščių ertmių, kuriuose yra oro ir dėl to atsiras papildoma bomba į viršų kelianti jėga. Jūros vandens tankis $q=1024 \text{ kg/m}^3$.

Galutinis greitis vandenyje:

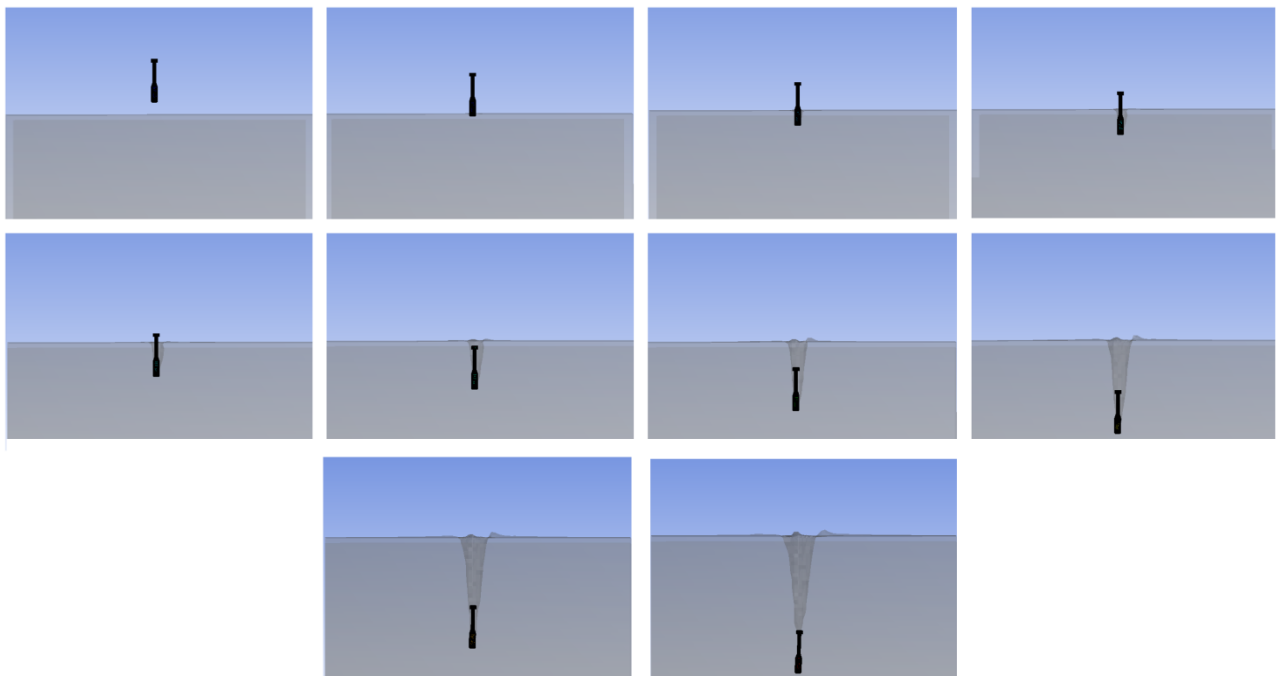
$$V_{van.} = \sqrt{\frac{2 * W}{C_d * q * A}} = \sqrt{\frac{2 * 300}{0,32 * 1024 * 0,03}} = 7,7 \text{ m/s} \quad (3.7)$$

3.3.2. Smūgio į vandenį analizė

Kaip buvo minėta anksčiau, ši analizė atlikta naudojant ANSYS *Explicit Dynamics* kompiuterinę programą. Remiantis mokomosios raketos *RT-400* išorinę balistiką ir skrydžio trajektoriją, tiriamoji mokomoji raketinė giluminė bomba į vandenį smūgiuoti turėtų nuo 45° iki 60° kampu [6]. Todėl tyrimas atliktas kai raketa smūgiuoja į vandenį esant tokiems kampams, taip pat tyrimas atliktas, kai raketa į vandenį smūgiuoja stačiai (90° kampu). Dėl raketos paleidimo kampo ir jos skrydžio trajektorijos raketa šiuo kampu niekada neturėtų smogti į vandenį, bet kadangi jūra beveik visą laiką banguoja, daroma prielaida, kad raketa stačiai smūgiuos nebent į bangą.

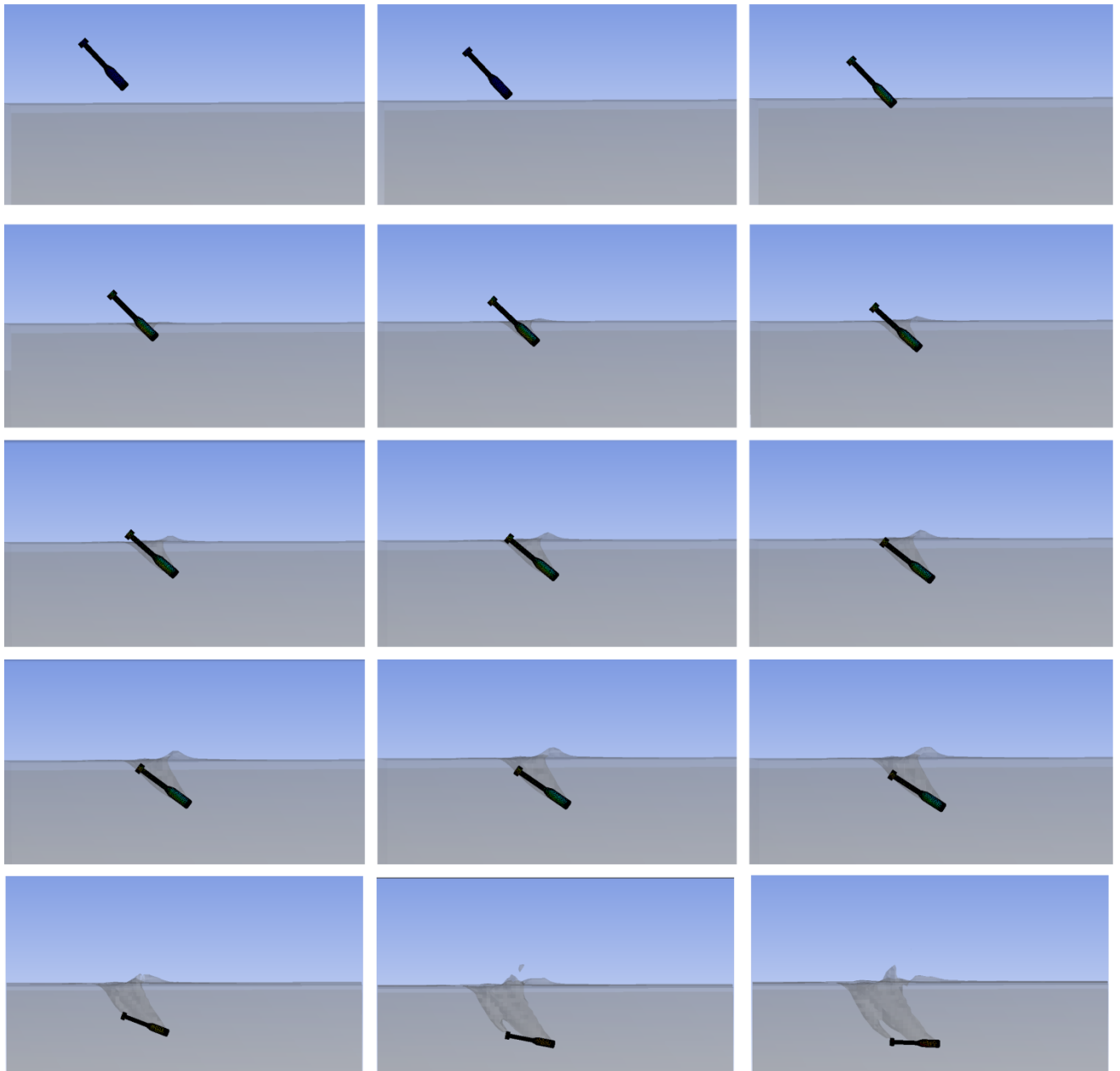
3.3.3. Smūgio analizės rezultatai

Smūgio į vandenį 90° kampu metu staigiai sulėtėja nuo galutinio greičio iki jos skendimo greičio ir toliau skęsta stačiai žemyn. Šiuo atveju raketos greitis per 0,1 sekundės sumažėja nuo 223 m/s iki 13 m/s, dėl to raketa patiria didelius perkrovimus.



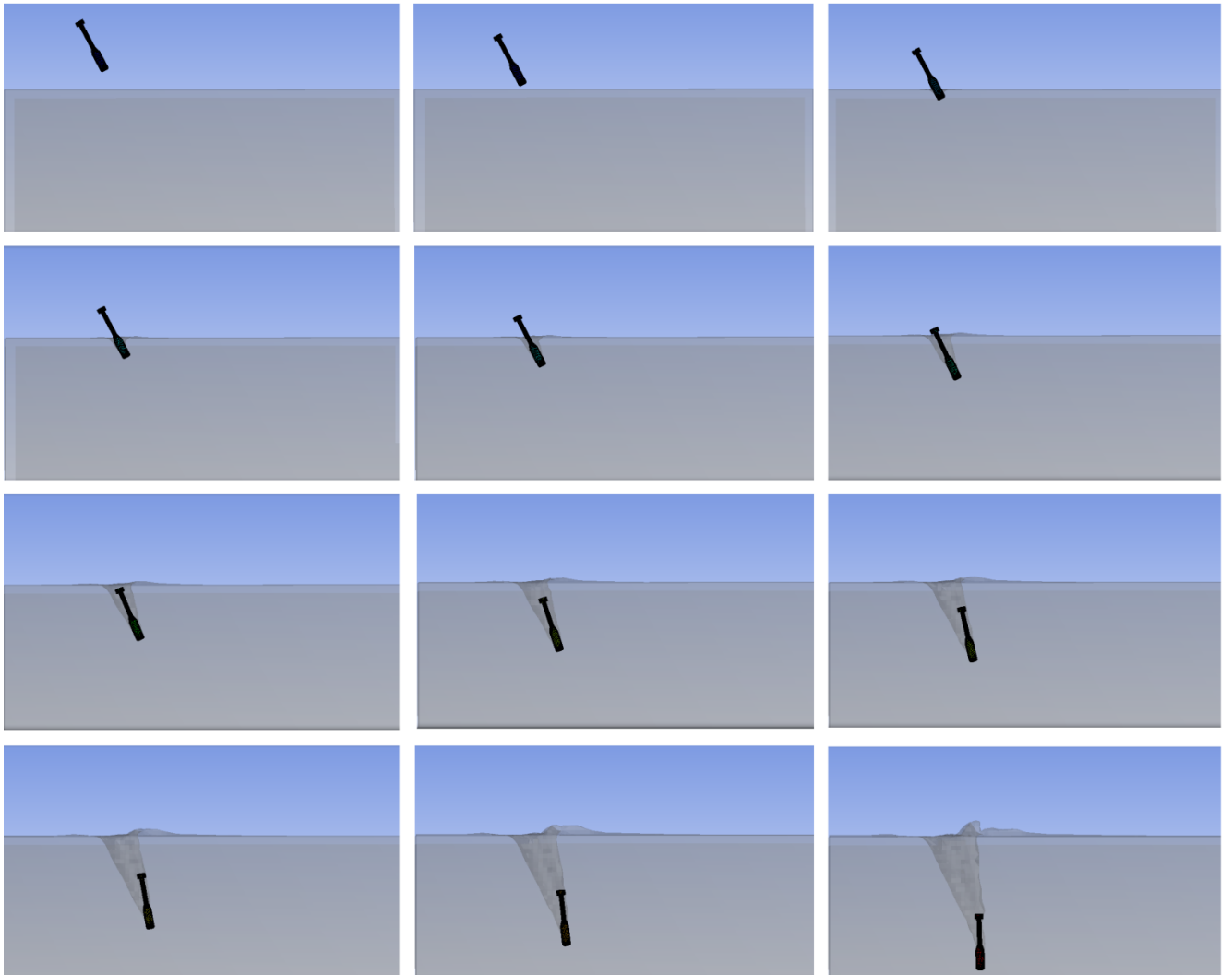
3.23 pav. Smūgis į vandenį 90° kampu

Atlikus 45° kampo smūgio simuliaciją matyti, kad šis smūgiavimo kampas gali būti per daug lėkštas, nes raketa po smūgio labai pasvyra, lyg mėgintų atšokti nuo paviršiaus. Bet po smūgio raketa praranda beveik visą savo pradinį greitį todėl ji nebeatšoks nuo paviršiaus ir turėtų pradėti skęsti.



3.24 pav. Smūgis į vandenį 45° kampu

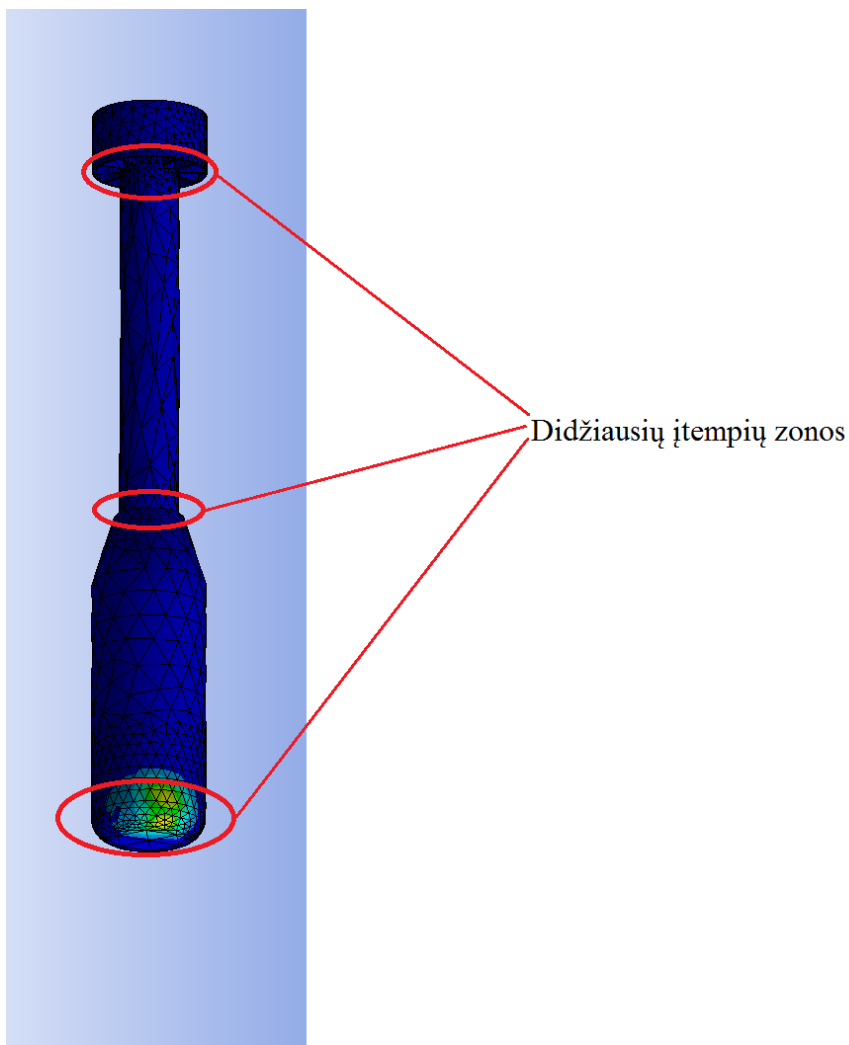
Raketai smūgiuojant į vandenį 60° kampu matyti, kad ji nebėra linkusi atšokti nuo paviršiaus, kaip buvo esant 45° kampui, o pasvyra stačiai žemyn ir sulėtėjusi nuo pradinio greičio pradeda skęsti. Todėl šis raketos smūgiavimo kampas į vandenį yra optimaliausias, raketa tiksliau pataikys į reikiamą zoną, bus stabilesnė perėjimo fazė ir sugaiš mažiau laiko pasiekdama reikiamą „detonavimo“ gylį.



3.25 pav. Smūgis į vandenį 60° kampu

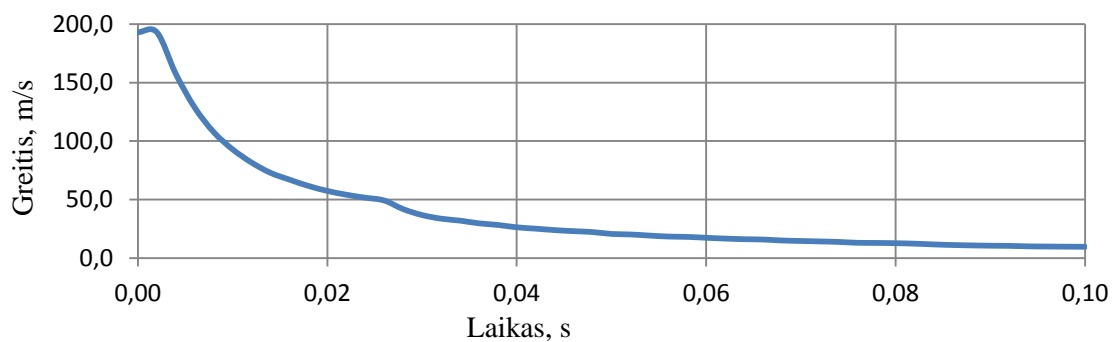
Smūgio analizės metu pastebėta, kad didžiausi įtempiai atsiranda trijose raketos vietose: raketos priekyje, kurioje smūgis prasideda, raketos susiaurėjimo vietoje, ties priekine ir vidurine raketos dalimi, ir ties raketos sparnuote. Šiose vietose įtempiai išauga iki 400 MPa, tačiau šie įtempiai gali kisti, keičiant raketos konstrukciją, atsižvelgiant į sienelės storį ir iš kokių medžiagų bus pagaminta raketa.

Taip pat po smūgio, įtempiai raketoje pradeda cikliškai banguoja iš priekio į galą.



3.26 pav. Didžiausių įtempių zonos raketoje smūgio metu

Raketai smūgiavus į vandenį, jos greitis staigiai krenta. Per 0,1 sekundės raketos greitis nukrenta nuo 193 m/s iki 9,6 m/s (žiūrėti paveikslėlį 3.27). Dėl tokio staigaus greičio kitimo raketa patiria iki 1800 G momentines perkrovas.



3.27 pav. Mokomosios raketinės giluminės bombos greičio priklausomybė nuo laiko smūgio į vandenį metu.

3.1 lentelė. Greičio ir pagreičio priklausomybė nuo laiko 60° smūgio metu.

	Laikas, s	Greitis <i>m/s</i>	Pagreitis, <i>m/s²</i>					
					26	0,0500	20,6	-3485,5
1	0,0000	193,0	0,0		27	0,0520	20,1	-1244,6
2	0,0020	193,0	9,8		28	0,0540	19,2	-85,2
3	0,0040	157,5	-11557,0		29	0,0560	18,4	-384,9
4	0,0060	128,6	-16263,0		30	0,0580	18,1	-509,7
5	0,0080	107,7	-4333,4		31	0,0600	17,3	-450,5
6	0,0100	92,9	-2243,4		32	0,0620	16,6	-940,8
7	0,0120	81,6	-3549,3		33	0,0640	16,1	-207,2
8	0,0140	72,8	-2492,2		34	0,0660	15,8	-15,5
9	0,0160	67,0	-411,5		35	0,0680	15,0	-672,8
10	0,0180	61,6	-2039,3		36	0,0700	14,6	-17,4
11	0,0200	57,4	-6016,0		37	0,0720	14,2	-34,6
12	0,0220	54,1	-1741,5		38	0,0740	13,7	-1057,0
13	0,0240	51,6	-2760,7		39	0,0760	13,0	-11,2
14	0,0260	49,2	-1910,1		40	0,0780	12,9	-11,2
15	0,0280	41,8	-2235,4		41	0,0800	12,7	-2496,0
16	0,0300	36,7	-1618,6		42	0,0820	12,3	-1665,5
17	0,0320	33,7	-142,7		43	0,0840	11,6	-255,1
18	0,0340	32,0	-350,8		44	0,0860	11,1	-10,8
19	0,0360	29,7	-6913,2		45	0,0880	10,8	-22,0
20	0,0380	28,3	-129,1		46	0,0900	10,5	-115,7
21	0,0400	26,2	-1426,2		47	0,0920	10,4	-10,3
22	0,0420	25,1	-126,2		48	0,0940	10,0	-216,3
23	0,0440	23,9	-580,9		49	0,0960	9,8	-31,4
24	0,0460	23,0	-1987,1		50	0,0980	9,7	-10,4
25	0,0480	22,2	-28,7		51	0,1000	9,6	-421,3

3.4. Raketinės giluminės bombos aptekėjimo tyrimas vandenyje

Šis aptekėjimo tyrimas yra labai panašus į anksčiau atliktą aptekėjimo ore tyrimą. Aerodinamikoje nėra didelio skirtumo, ar objektą aptekės oras ar vanduo, nes abu yra laikomi skysčiais. Todėl didžiausias skirtumas tarp šių tyrimų bus didelis skysčių tankio skirtumas, nes oro tankis $\rho=1,225 \text{ kg/m}^3$, o vandens $\rho=1024 \text{ kg/m}^3$ (skiriasi beveik 800 kartų).

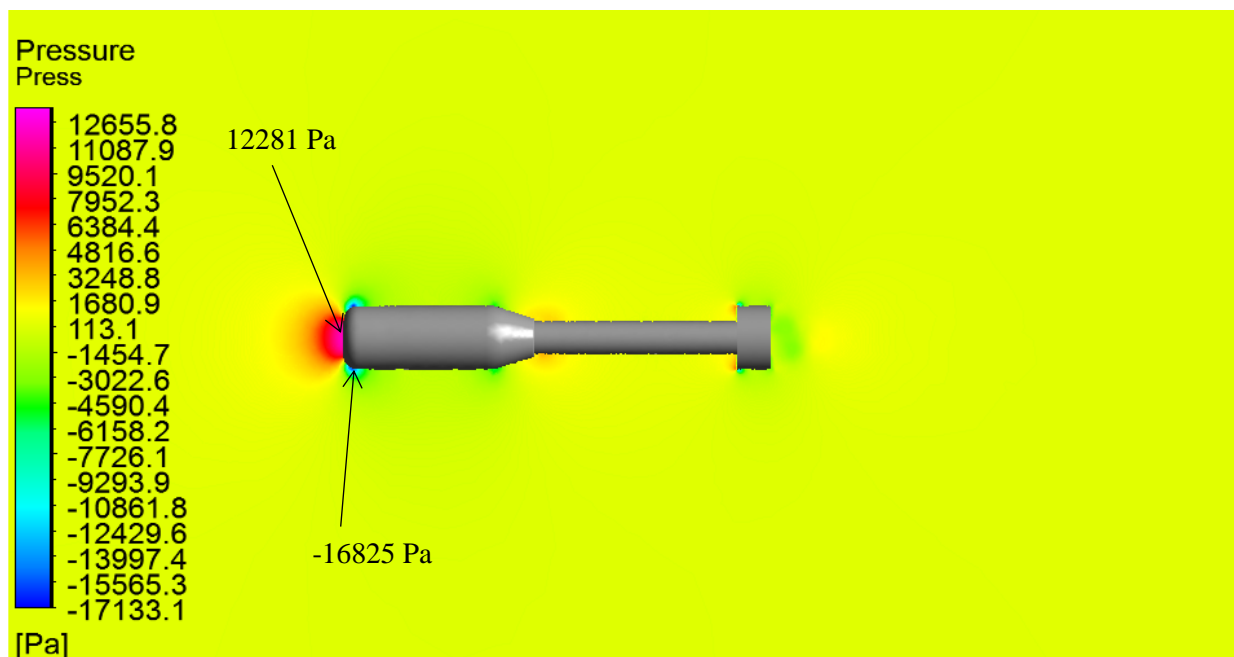
Skaičiavimam naudota ta pati ANSYS *Fluent* kompiuterinė programa su tais pačiais nustatymais kaip ir oro aptekėjimo tyrime, tik pakeistas skystis iš oro į vandenį, taip pat tyrimas atliktas esant skirtingiems srauto greičiams.

Kadangi raketa skęs veikiamą tik žemės traukos jėgos, jos nėrimo greitis po smūgio bus pastovus, pagal anksčiau atliktus skaičiavimus turėtų būti 7,7 m/s (žiūrėti formulę 3,7)

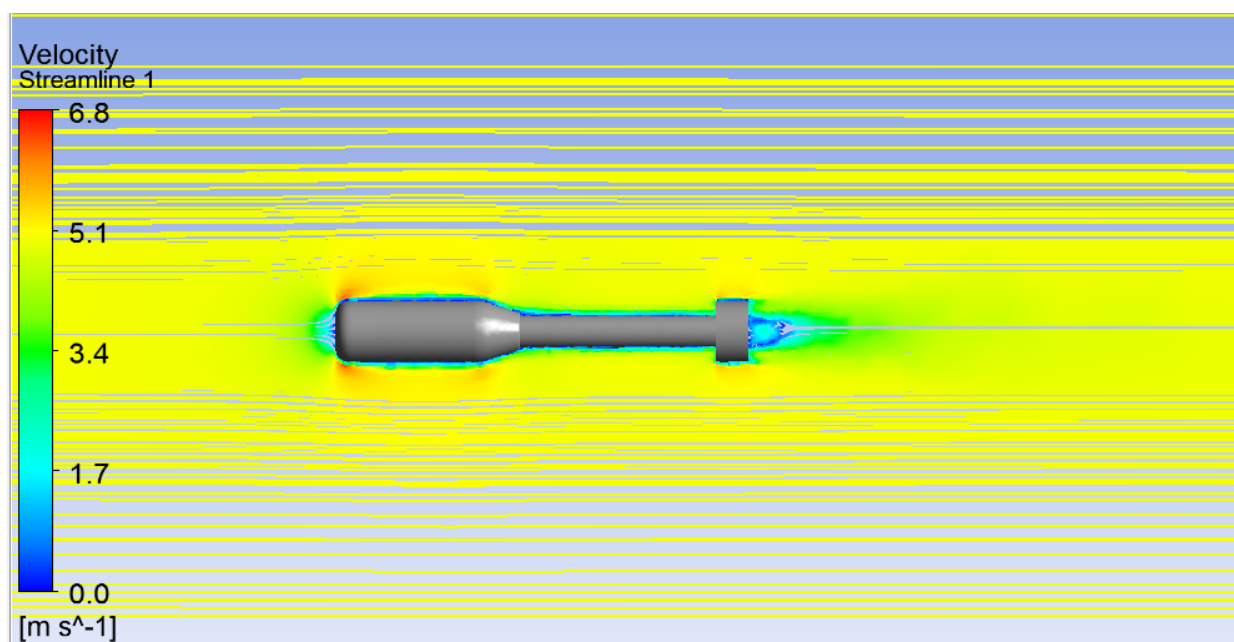
Nors raketos po smūgio greitis staigiai sumažėja iki jos galutinio greičio vandenyje, tačiau kuriamos mokomosios raketos svoris gali skirtis nuo karinės, dėl to mokomosios raketinės giluminės bombos aptekėjimą vandenyje atliksime esant skirtingiems greičiams: 5 m/s, 7,7 m/s, 10 m/s, 15 m/s.

3.4.1 Apteikimo vandenyje rezultatai

Raketai aptekant vandens srautu slėgio centras ir slėgio pasiskirstymo koeficientai išlieka panašūs kaip ir aerodinamiame tyrime, tačiau smarkiai padidėja pasipriešinimo jėgos ir slėgio pasiskirstymas. Kai vandens srauto greitis 5 m/s, pasipriešinimo jėga yra 119 N, o pasipriešinimo koeficientas 0,315.

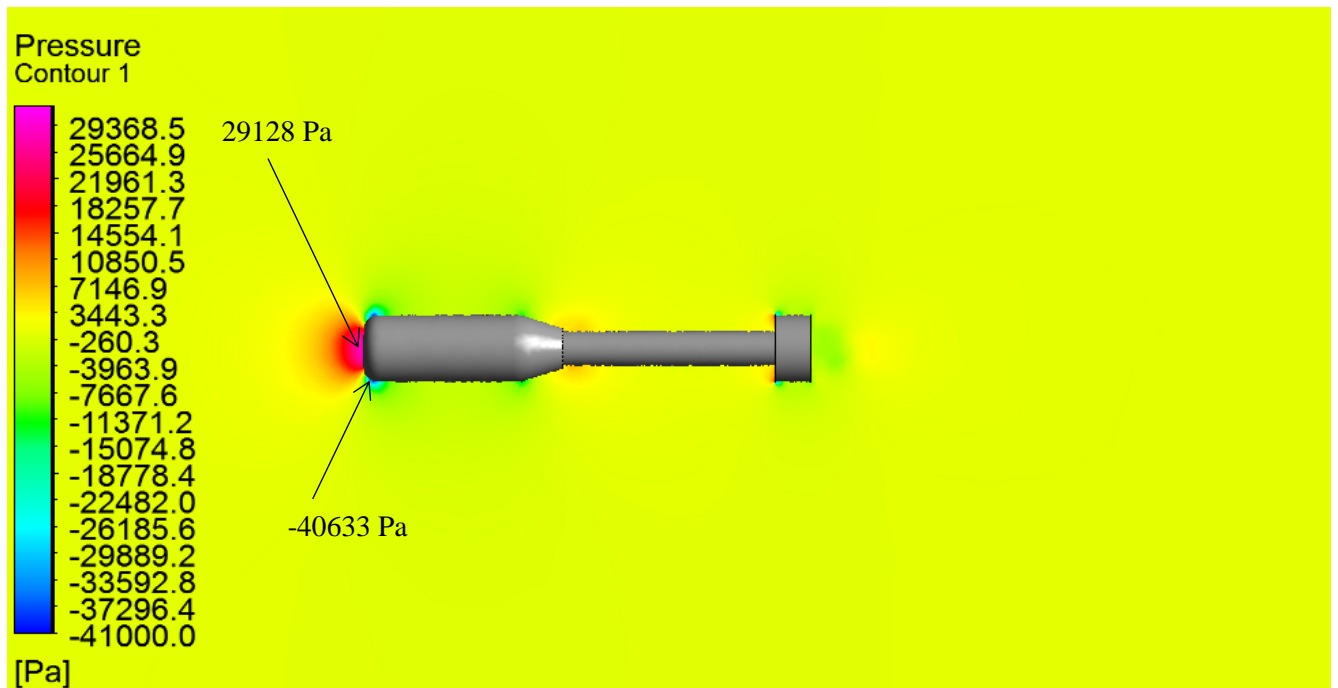


3.28 pav. 5 m/s vandens srauto slėgio pasiskirstymas

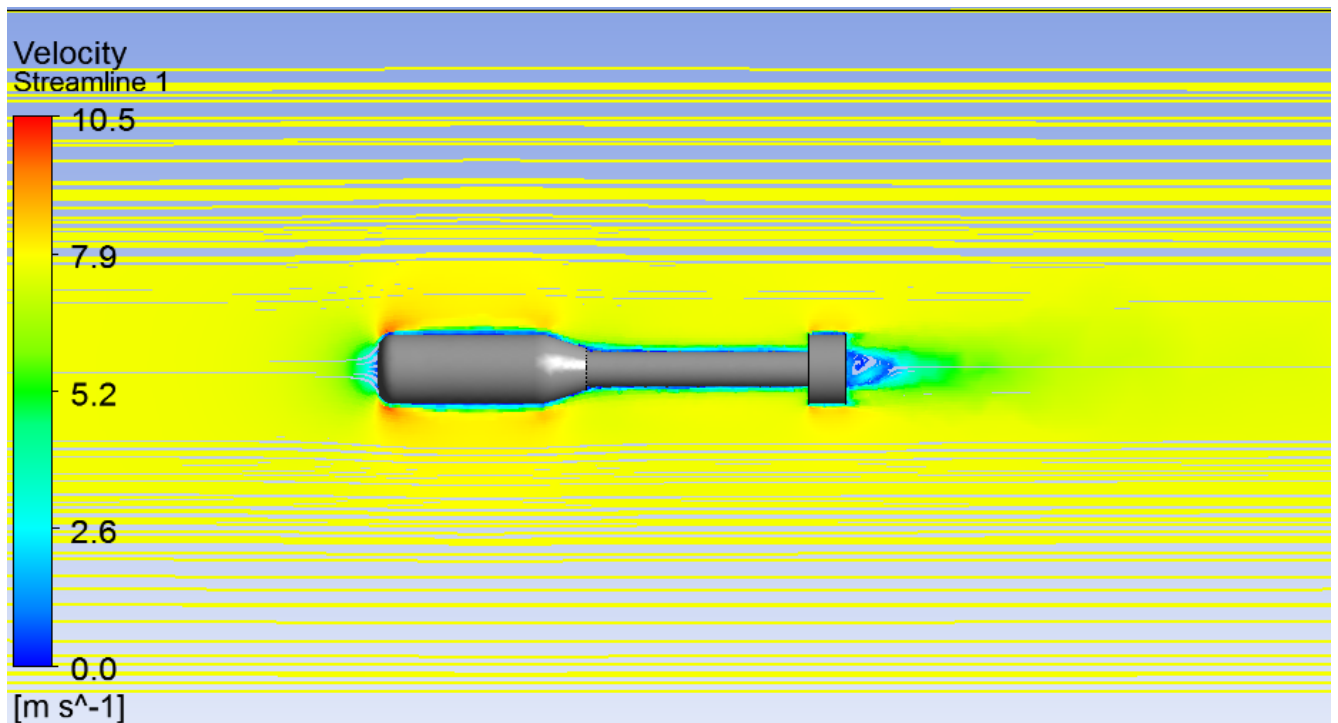


3.29 pav. 5 m/s vandens srauto greičio pasiskirstymas

Kai vandens srauto greitis 7,7 m/s, pasipriešinimo jėga yra 283 N, o pasipriešinimo koeficientas 0,317.

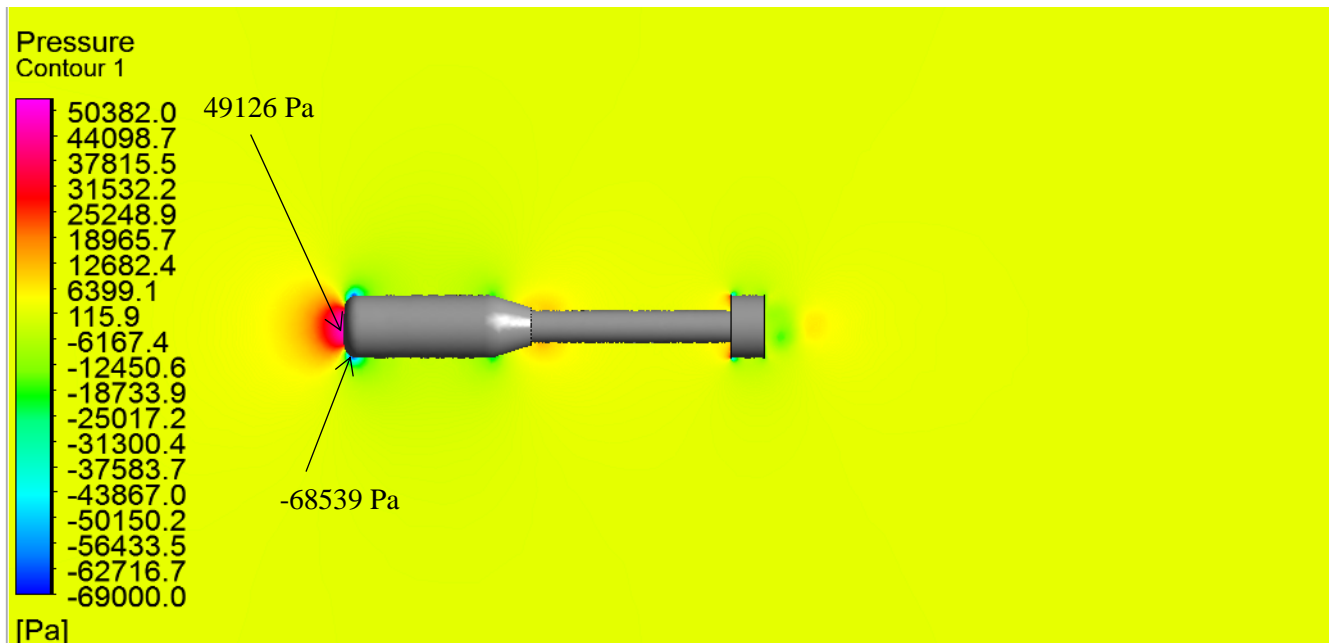


3.30 pav. 7,7 m/s vandens srauto slėgio pasiskirstymas

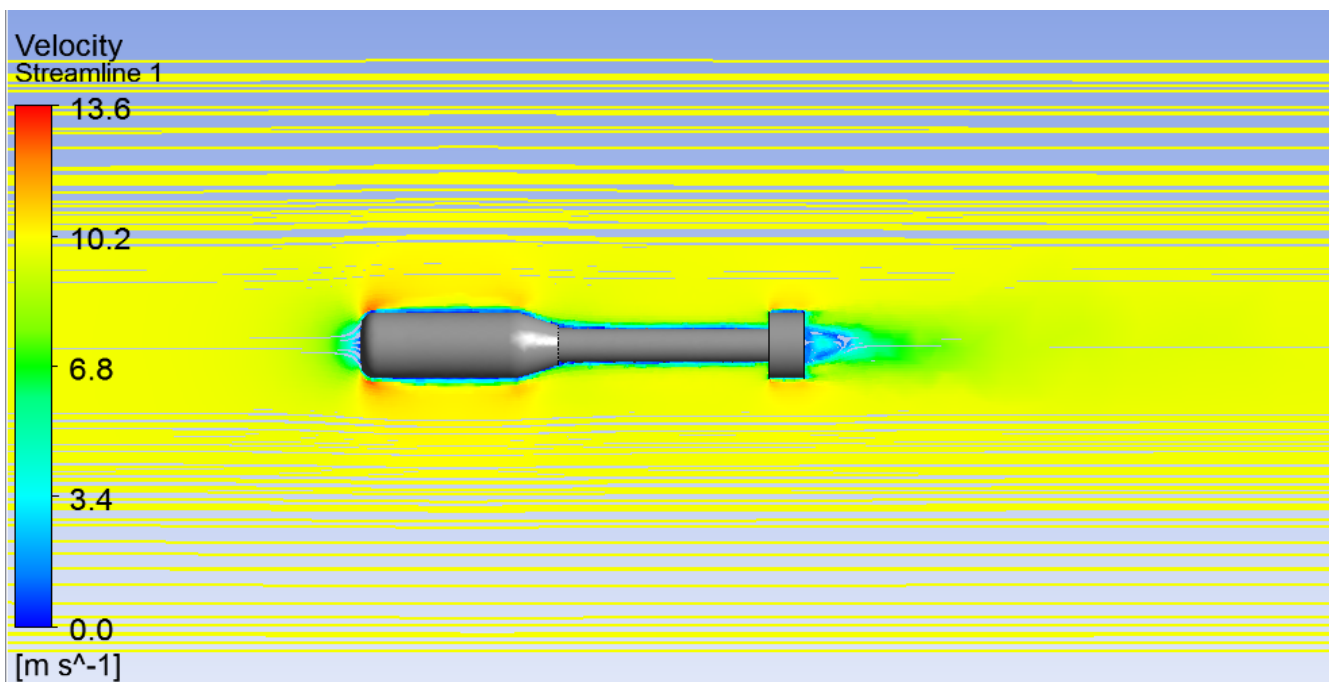


3.31 pav. 7,7 m/s vandens srauto greičio pasiskirstymas

Kai vandens srauto greitis 10 m/s, pasipriešinimo jėga yra 476 N, o pasipriešinimo koeficientas 0,316.

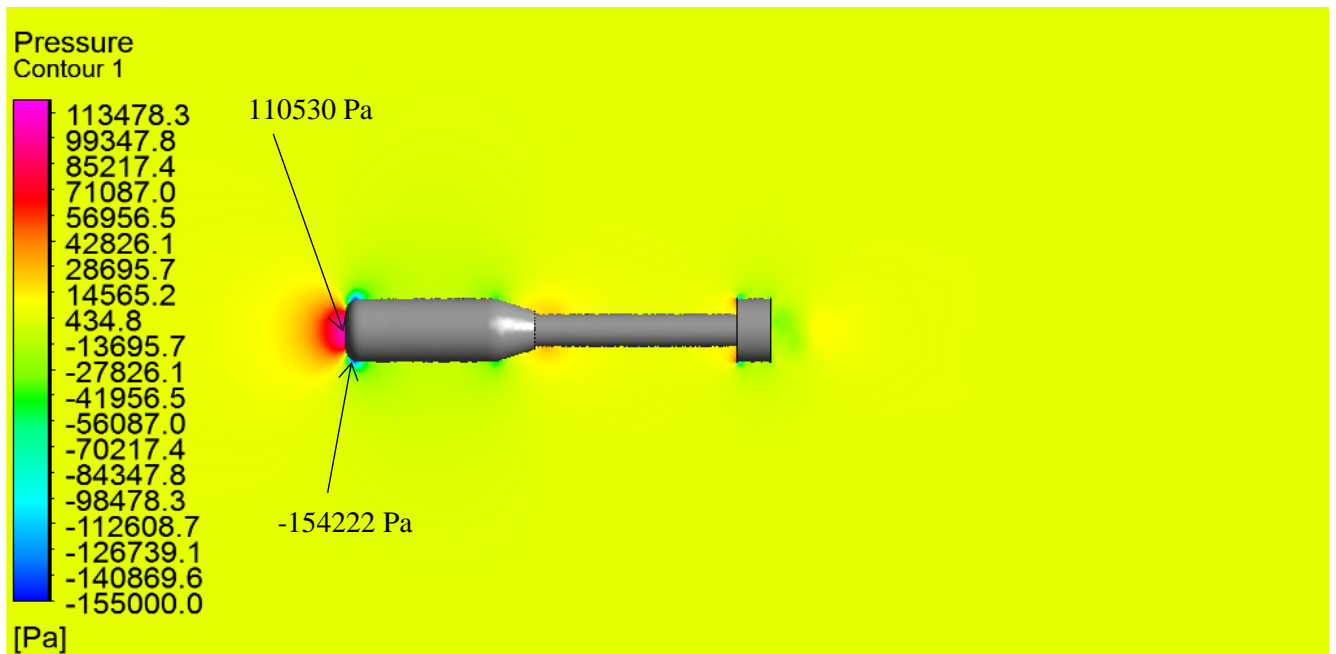


3.32 pav. 10 m/s vandens srauto slėgio pasiskirstymas

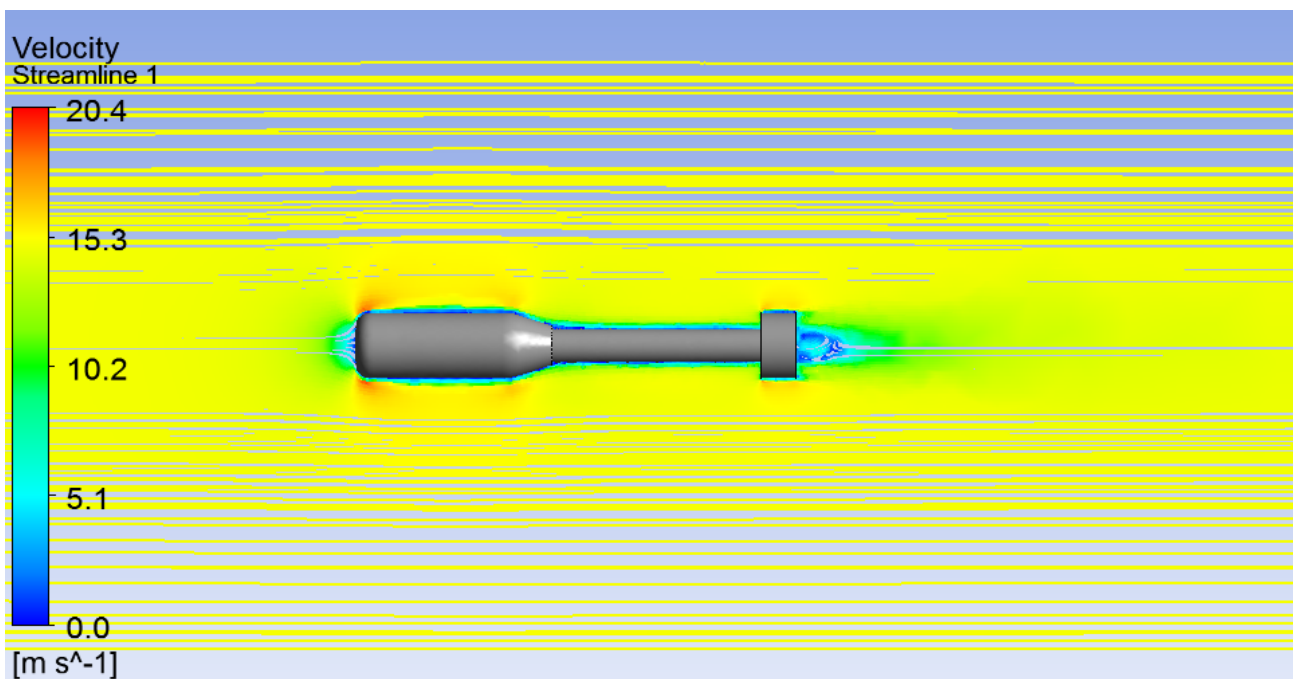


3.33 pav. 10 m/s vandens srauto greičio pasiskirstymas

Kai vandens srauto greitis 15 m/s, pasipriešinimo jėga yra 1066 N, o pasipriešinimo koeficientas 0,315.

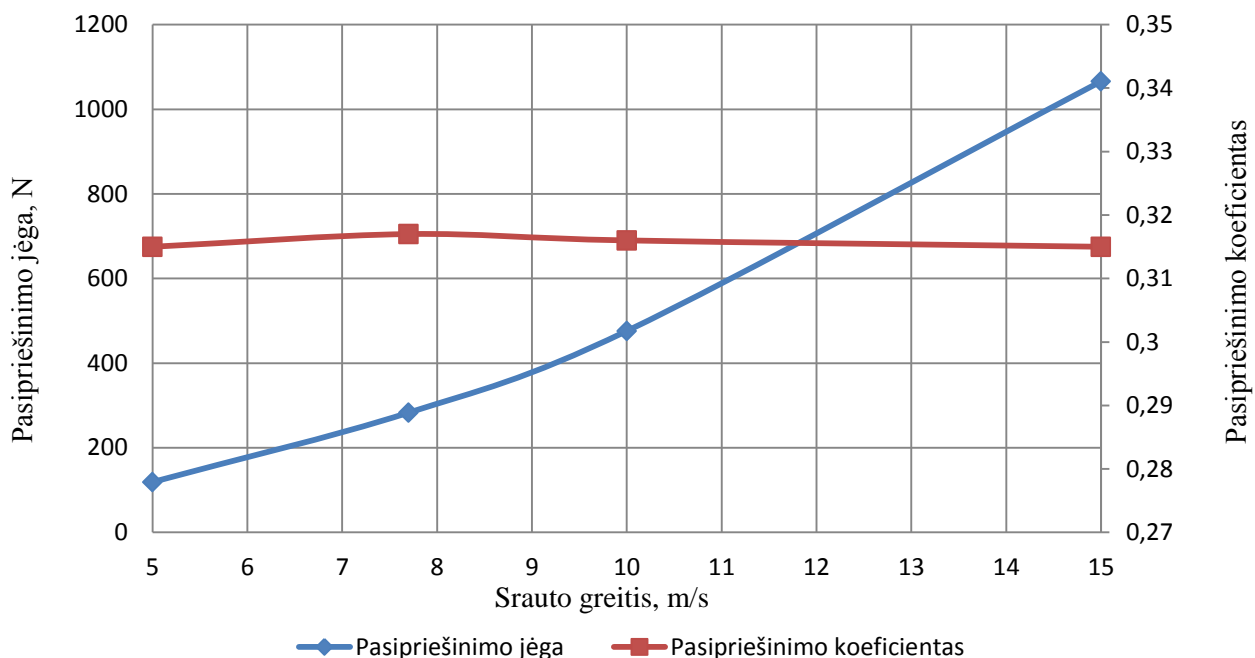


3.34 pav. 15 m/s vandens srauto slėgio pasiskirstymas



3.35 pav. 15 m/s vandens srauto greičio pasiskirstymas

Atlikus tyrimą matyti, kad rezultatai panašūs kaip ir aerodinaminėje analizėje. Pasipriešinimo koeficientas vandenyje išliko panašus $C_d \sim 0,32$, tačiau pasipriešinimo jėgos ženkliai padidėjo, jos vandenyje siekia 119 N iki 1066 N, nors srauto greitis daug mažesnis nei ore. Taip yra dėl daug didesnio vandens tankio.



3.36 pav. Pasipriešinimo jėgos ir pasipriešinimo koeficiento priklausomybės vandenyje nuo srauto greičio

IŠVADOS IR APIBENDRINIMAI

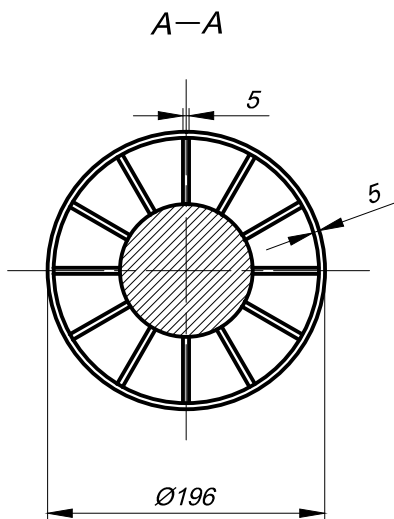
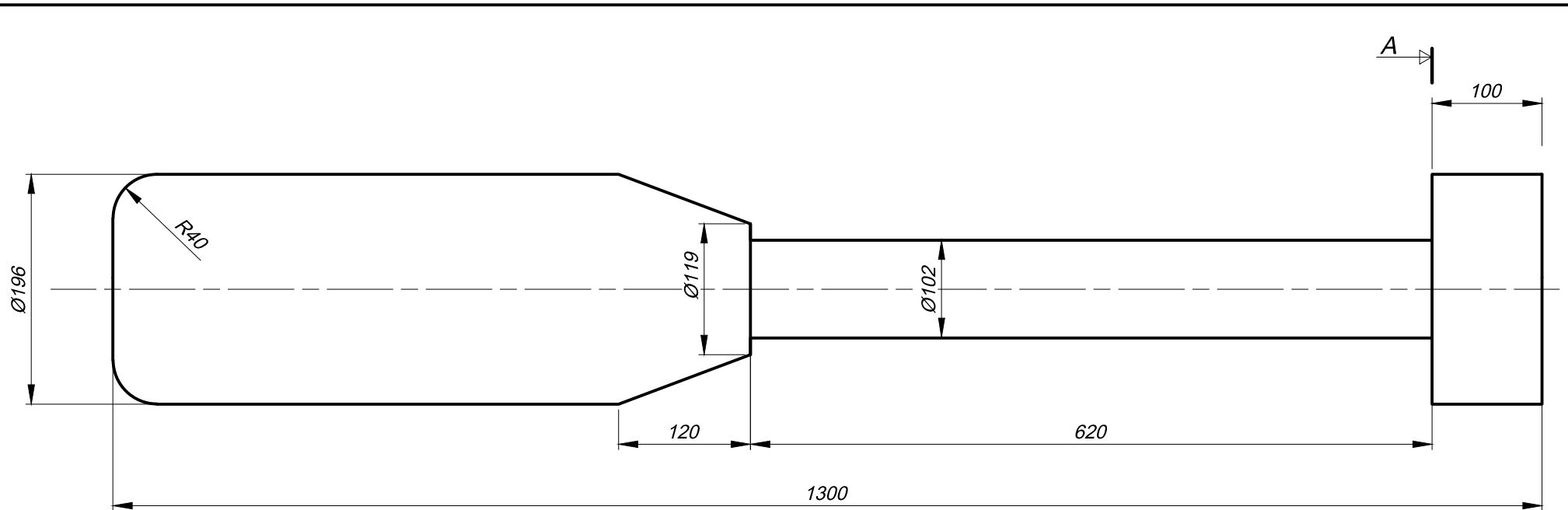
1. Darbe išnagrinėti mokomosios raketinės giluminės bombos judėjimo 3 uždaviniai:
 - skrydžio atmosferoje aerodinamika;
 - smūgio į vandenį momentas;
 - raketinės giluminės bombos aptekėjimas vandenyje.
2. Atlikus mokomosios raketos aerodinamikos tyrimą nustatyta, kad raketos pasipriešinimo koeficientas ore yra $C_d \sim 0,32$ tirtų greičių diapazone. Taip pat nustatyta, kad pasipriešinimo jėga išauga iki 462 N, kai srauto greitis 272 m/s (arba 0,8 Macho). Gautas slėgio koeficiento priklausomybę raketos ilgyje grafikas (žiūrėti pav. 3.20).
3. Atliekant raketos smūgio į vandenį analizę nustatytos mokomosios raketinės giluminės zonos, kuriuose atsiranda didžiausi įtempiai. Šie įtempiai gali siekti iki 400 MPa. Smūgio į vandenį metu raketa patiria dideles perkrovas, nes jos greitis staigiai (beveik per 0,1 s) pasikeičia nuo jos galutinio greičio 193 m/s (60° kampu atveju) iki skendimo greičio 9 m/s. Todėl dėl staigaus greičio kitimo raketa patiria iki 1800 g momentines perkrovas.
4. Atlikus mokomosios raketinės giluminės bombos aptekėjimo tyrimą vandenyje gauta, kad didžioji dalis rezultatų, kaip slėgio centras, slėgio koeficientų pasiskirstymas apie raketą, bei pasipriešinimo koeficientas $C_d \sim 0,32$, išliko panašūs kaip ir mokomajai raketiniai bombai aptekant oro srautui. Tačiau ženkliai išaugo pasipriešinimo jėgos, 476 N kai vandens srauto greitis 10 m/s, o panaši pasipriešinimo jėga ore yra, kai srauto greitis ~ 272 m/s.
5. Smūgio analizės metu pastebėta, kad mokomajai raketiniai giluminiai bombai krentant mažesniu nei 45° kampu į paviršinį vandens sluoksnį (iki 2 m) jos trajektorija tampa beveik horizontali, o toliau pereina į grimzdimo etapą.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Akuliavičius P., Skurdenis A. Aerodinamika ir skrydžių dinamika: mokymų priemonė. Vilnius: Rosma, 2000. 256 p.
2. Laugalienė G., Mionaitė M. Karinis anglų – lietuvių kalbų žodynas. Vilnius, 2003. 153 p.
3. Lasauskas E. Skrydžio principai. Vilnius: Technika, 2008. 182p.
4. ANSYS Fluent user's guide. Canonsburg: 2010. 2334p. [žiūrėta 2018-01-20] Prieiga per internetą: http://www.fluid.tuwien.ac.at/322057?action=AttachFile&do=get&target=flu_ug.pdf
5. ANSYS Explicit dynamics analysis. [žiūrėta 2018-03-02] Prieiga per internetą: https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/17.0/en-us/help/exd_ag/exd_ag.html
6. Račasuskas S. Raketinio taikinio ir jo valdymo sistemos kūrimas ir tyrimas. Kaunas, 2014. 67 p.
7. Student's guide to Learning Solidworks. 2010 [žiūrėta 2018-01-12] Prieiga per internetą: https://www.solidworks.com/sw/docs/student_wb_2011_eng.pdf
8. Terminal Velocity. NASA [žiūrėta 2018-03-18] Prieiga per internetą: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/termv.html>
9. Anti-submarine weapons. [žiūrėta 2018-04-05] Prieiga per internetą: https://en.wikipedia.org/wiki/Anti-submarine_weapon
10. Shape effects on drag. NASA [žiūrėta 2018-03-18] Prieiga per internetą: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/shaped.html>
11. Anti-submarine warfare (ASW) rocket and launcher system. Roketsan. [žiūrėta 2018-01-07] Prieiga per internetą: <http://www.roketsan.com.tr/wp-content/uploads/2012/09/DSH-ENGg-email2.pdf>
12. Roketsan - ASW Rocket System Submarine Warfare (DSH). [žiūrėta 2018-01-20] Prieiga per internetą: <https://www.youtube.com/watch?v=FQN-gWNoU1k>
13. ASW-600 archived report. [žiūrėta 2018-03-27] Prieiga per internetą: https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm?ARC_ID=1713
14. RBU-6000. [žiūrėta 2018-03-27] Prieiga per internetą: <http://www.warships.ru/Russia/Weapons/PLO/RBU-6000/>
15. RBU-6000. [žiūrėta 2018-03-27] Prieiga per internetą: <http://army-news.ru/2012/01/korabelnaya-rbu-6000-proverenko-vremenem/>
16. Anti-submarine grenade launcher demo onboard Swedish strike craft HMS Styrbjörn. [žiūrėta 2018-03-27] Prieiga per internetą: <https://www.youtube.com/watch?v=6rXc9FUGfEU>

17. Anti-submarine warfare (ASW) rocket and launcher system. [žiūrēta 2018-01-07] Prieiga per internetą: <http://www.roketsan.com.tr/en/urunler-hizmetler/deniz-sistemleri/denizalti-savunma-harbi-dsh-roketi-ve-atici-sistemi/>
18. Thai Military and Asian Region. [žiūrēta 2018-04-11] Prieiga per internetą: <https://thaimilitaryandasianregion.wordpress.com/2016/07/08/new-project-23420-small-anti-submarine-warfare-ship/>

PRIEDAI



	Bylos Nr.	Papildoma informacija	Medžiaga	Mastelis M 1:5
Atsakinga žinyba	Konsultantas	Dokumento tipas Bendras vaizdas		Dokumento statusas Mokomasis
Savininkas KTU	Rengė M.V.Garšva	Antraštė Mokomosios raketinės giluminės bombos schema		TIK.A.MVG.00.00.001
	Tvirtino A. Fedaravičius	Laida	Data 2016-05-14	Kalba LT
			Lapas 1	