



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Sraigtašparnio durų šaulio treniruoklio kūrimas ir tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Arnas Latvėnas
Projekto autorius

Prof. Dr. Sigitas Kilikevičius
Vadovas

Kaunas, 2025



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Sraigtašparnio durų šaulio treniruoklio kūrimas ir tyrimas

Baigiamasis magistro projektas
Aeronautikos inžinerija (6211EX024)

Arnas Latvėnas

Projekto autorius

Prof. dr. Sigitas Kilikevičius

Vadovas

Prof. dr. Artūras Keršys

Recenzentas

Kaunas, 2025



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Arnas Latvėnas

Sraigtasparnio durų šaulio treniruoklio kūrimas ir tyrimas

Akademinių sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Arnas Latvėnas

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kaunas technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Išduota studentui (-ei) – Arnas Latvėnas

1. Projekto tema

Sraigtasparnio durų šaulio treniruoklio kūrimas ir tyrimas

(Lietuvių kalba)

Research and Development of Helicopter Door Gunnery Trainer

(Anglų kalba)

2. Projekto tikslas ir uždaviniai

Tikslas: Suprojektuoti sraigtasparnio durų šaulio treniruoklį ir atlikti jo stipruminę ir dinaminę analizę

Uždaviniai:

1. Išanalizuoti ir apibendrinti sraigtasparnio durų šaulio įrangos konstrukcijas, veikimo principus.
2. Atlikti eksperimentinius kulkosvaidžio šūvio atatrakos dinaminių charakteristikų tyrimus.
3. Sudaryti ginklo ir stovo dinامينius ir matematinius modelius bei ištirti sistemos dinamines charakteristikas.
4. Suprojektuoti treniruoklio stovą.
5. Atlikti stovo stiprumo analizę.

3. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos

1. Treniruoklio stovas turi atitikti sraigtasparnyje esančio kulkosvaidžio laikiklio funkcijas ir matmenis.
2. Treniruoklio stovas turi būti tinkamas naudoti kulkosvaidį FN MAG.

4. Papildomi reikalavimai projektui, ataskaitai ir jos priedams

Netaikoma

Projekto autorius

Arnas Latvėnas

2025-02-15

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Projekto vadovas

Sigitas Kiliukevičius

2025-02-15

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Krypties studijų
programų vadovas

Artūras Keršys

2025-02-15

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

(Data)

Latvėnas, Arnas. Sraigtasparnio durų šaulio treniruoklio kūrimas ir tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. dr. Sigitas Kilikevičius; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: sraigtasparnis, treniruoklis, lafetas, atatranka, ginklas.

Kaunas, 2025. 46 p.

Santrauka

Darbe atlikta vidutinio kulkosvaidžio FN MAG KSP – 58, naudojamo Lietuvos Kariuomenėje, konstrukcijų ir techninių eksploatacinių charakteristikų analizė. Atlikta sraigtasparnio UH – 60 „Black Hawk“ techninių eksploatacinių charakteristikų apžvalga. Išnagrinėti įvairūs sraigtasparnio durų šaulio vidutinio kulkosvaidžio lafetai. Apžvelgti egzistuojantys treniruokliai nenaudojantys kovinių šaudmenų skirti durų šaulių rengimui, jų veikimo principai ir privalumai. Išnagrinėtos šaudymą nuo lafeto veikiančios jėgos ir dinaminės charakteristikos. Atlikus teorinius skaičiavimus nustatyta, jog lafetas slopina atsiradusius ginklo judesius, kol ginklas grįžta į pradinę padėtį. Nustatyta, kad viena svarbiausių rengimo savybė, tai tiksliai atkartojama sraigtasparnyje esanti durų šaulio pozicija ir kulkosvaidžio tvirtinimas. Nustatyta, jog treniruoklis turi tiksliai atkartoti sraigtasparnio kulkosvaidžio laikiklį, šaulio užimamą poziciją ir matymo lauką. Aptarta kuriamo lafeto galimybė tikti montuoti kovinį kulkosvaidį FN MAG KSP – 58 ir jį atitinkantį mokomąjį ginklą, būti tinkamam atlikti treniruotes mokomoje klasėje vidaus sąlygomis ir šaudykloje lauko sąlygomis.

Darbe pateikta sraigtasparnio durų šaulio treniruoklio lafeto koncepcija suprojektuota panaudojant „Solidworks“ programinę įrangą. Sukurto lafeto, remiantis sraigtasparnio UH – 60 „Black Hawk“ durų šaulio pozicijos parametrais, šūvio metu veikiančių dinaminių jėgų analizė bei atliktas virtualus stiprumo ir nuovargio tyrimas atliekant šūvius vidutiniu kulkosvaidžiu FN MAG KSP – 58. Virtualaus stiprumo tyrimo metu nustatyti lafetą veikiantys įtempiai ir jų vieta struktūroje. Virtualaus nuovargio tyrimo metu nustatyta, jog po 1 000 000 šūvių lafeto struktūra nepatyrė pažeidimų ir liekamųjų deformacijų.

Eksperimentiniu būdu ištirtos kovinio vidutinio kulkosvaidžio FN MAG KSP – 58 šūvio atatranks dinaminės charakteristikos šaudant pavieniais šūviais ir trijų šūvių papliupomis ginklą laikant įtvirtintą lafete ir pastatytą ant žemės. Įvertintas skirtumas naudojant skirtingus imitacinius šovinius, nustatytos juntamos atatranks jėgos bei atlikta jų palyginamoji analizė. Eksperimentinio tyrimo metu nustatyta, jog atliekant šaudymus nuo lafeto šaulį veikia apytikriai 10 N mažesnė juntamoji atatranks jėga nei šaudant ginklą laikant pastatytą ant žemės. Nustatyta, jog imitaciniai šoviniai plastikinėmis tūtelėmis generuoja mažesnę jėgą šūvio metu nei šoviniai metalinėmis tūtelėmis, todėl sumažėja atatranks jėga ir šaudymo greitis.

Latvėnas, Arnas. Research and Development of Helicopter Door Gunnery Trainer. Master's Final Degree Project/ supervisor prof. dr. Sigita Kilikevičius; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: helicopter, trainer, mount, recoil, weapon.

Kaunas, 2025. 46.

Summary

In this paper structural and technical performance characteristics of the FN MAG KSP – 58 medium machine gun, used by the Lithuanian military, were analyzed. An overview of the UH – 60 “Black Hawk” helicopter’s technical characteristics has been carried out. Various medium machine gun mounts for the helicopter door gunner have been examined. Looked into already existing door gunner trainers that don't use live ammunition, their working principles and advantages. Analysis of present forces and dynamic characteristics during shooting from a machine gun mount. After performing theoretical calculations, it was concluded that the training stand suppresses all weapon motions until it returns to its starting position. It was concluded, that one of the most important parts in gunnery training is the exact replication of the door gunner position and machine gun mount. It was concluded that the gunnery trainer must accurately replicate the helicopter machine gun mount, gunners position and field of view. Projected the training stand to be usable for both indoor training and outdoor shooting range exercises, able to mount a medium machine gun FN MAG KSP – 58 and a trainer weapon replicating it.

This paper provides a concept for a helicopter door gunner training stand created using „Solidworks” software. Dynamic forces and virtual fatigue analysis of the training stand, which was created based on UH – 60 „Black Hawk” helicopter door gunner position parameters, firing from the medium machine gun FN MAG KSP - 58. Virtual structural strength analysis identified the stresses acting on the structure of the training stand and their location. During the virtual fatigue analysis, it was determined that after 1 000 000 shots, the training stand did not suffer any structural damage or permanent deformation.

An experiment was performed to find recoil dynamic characteristics of single shot and burst firing medium machine gun FN MAG KSP – 58 when having the weapon mounted on the training stand and placed on the ground. Evaluated the size and difference in recoil kick while using different types of blank ammunition. During the experiment it was discovered that while the machine gun is mounted on the training stand, the shooter experiences approximately 10 N reduced recoil kick compared to firing with the weapon placed on the ground. It was discovered that blank rounds in plastic casings generate less force when fired compared to metal casings; therefore, the recoil force and rate of fire gets reduced.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Įvadas.....	10
1. Literatūros apžvalga	11
1.1. UH – 60 „Black Hawk“ sraigtasparnis	12
1.2. Kulkosvaidis FN MAG KSP – 58	13
1.3. 7,62x51 mm kulkosvaidžių stovai	14
1.4. ACME's Gunnery Training system	17
1.5. ACME's Gun Active Recoil.....	18
1.6. „LT – 5“ lazerinė šaudykla	20
2. Teoriniai skaičiavimai ir metodika	23
2.1. Teorinių skaičiavimų matematiniai modeliai	23
2.2. Baigtinių elementų modeliai.....	26
2.3. Mokomasis lafetas	27
2.4. Teoriniai skaičiavimai	28
3. Praktinis modeliavimas ir eksperimentinis tyrimas.....	31
3.1. Eksperimentinio atatrunkos tyrimo įranga.....	31
3.2. Kulkosvaidžio FN MAG KSP – 58 atatrunkos tyrimas	32
3.2. Lafeto stipruminė analizė	39
Išvados	42
Literatūros sąrašas	43
Priedai	47
1 priedas. „Matlab“ kodas	47
2 priedas. Bendro vaizdo brėžinys	49

Lentelių sąrašas

1 lentelė. 3 šūvių papliūpos nuo lafeto atatranks skaičiavimo rezultatai.....	34
2 lentelė. 3 šūvių papliūpos ginklą laikant ant žemės atatranks skaičiavimo rezultatai.....	36
3 lentelė. 3 šūvių papliūpos nuo lafeto pagreičio skaičiavimo rezultatai	38
4 lentelė. Atatranks tyrimo rezultatai	39

Paveikslų sąrašas

1 pav. UH – 60 „Black Hawk“ durų šaulys [8]	11
2 pav. Sraigtasparnis su papildoma durų šaulio pozicija [11]	12
3 pav. Kulkosvaidis FN MAG KSP – 58 [12]	13
4 pav. M122 ir M122A1 trikojis	14
5 pav. UH – 1 sraigtasparnio kulkosvaidžio laikiklis M23 [18].....	14
6 pav. CH – 47 sraigtasparnio kulkosvaidžio laikiklis M24 [18].....	15
7 pav. CH – 47 sraigtasparnio kulkosvaidžio laikiklis M41 [18].....	15
8 pav. UH – 60 sraigtasparnio kulkosvaidžio laikiklis M144 [18].....	16
9 pav. „Gunnery Training System“ treniruoklis [6]	17
10 pav. „ACME’s Gun Active Recoil“ sistemos veikimo schema [21].....	18
11 pav. „ACME’s Gun Active Recoil“ sistema [21]	19
12 pav. „LT – 5“ lazerinė šaudykla [23]	20
13 pav. Dinaminis mokomojo ginklo modelis [23].....	21
14 pav. Kulkosvaidžio stovo eskizas	22
15 pav. Atatranks veikimo schema [25]	23
16 pav. Stabilus ginklas (trys šūviai) [16]	24
17 pav. Nestabilus ginklas (trys šūviai) [16]	24
18 pav. Ginklo stabilumo nustatymo dinaminis modelis [16].....	24
19 pav. Šaudymo stabilumo dinaminis modelis	25
20 pav. Kulkosvaidžio lafetas.....	27
21 pav. Durų šaulio ginklo judėjimo ribos [36]	28
22 pav. Kulkosvaidžio modelis	29
23 pav. Matlab rezultatai	30
24 pav. Tyrimo įranga	31
25 pav. Tyrimo stendo veikimo schema	31
26 pav. Tyrimo įranga	32
27 pav. FN MAG KSP – 58 vieno šūvio nuo lafeto atatranks rezultatai.....	33
28 pav. FN MAG KSP – 58 trijų šūvių papliūpos nuo lafeto atatranks rezultatai	34
29 pav. FN MAG KSP – 58 vieno šūvio nuo žemės atatranks rezultatai.....	35
30 pav. FN MAG KSP – 58 trijų šūvių papliūpos nuo žemės atatranks rezultatai	36
31 pav. FN MAG KSP – 58 vieno šūvio nuo lafeto pagreičio rezultatai	37
32 pav. FN MAG KSP – 58 trijų šūvių papliūpos nuo lafeto pagreičio rezultatai.....	38
33 pav. Lafeto analizės kraštinės sąlygos	40
34 pav. Lafetą veikiantys įtempiai.....	41

Ivadas

Siekdamas įgyti ir išlaikyti gerus šaudymo ir ginklo valdymo įgūdžius kiekvienas šaulys privalo reguliariai atlikti šaudymo treniruotes. Šių įgūdžių lavinimą apima stabilios šaudymo padėties užėmimas, stabilus ginklo laikymas, taisyklingas buožės įrėmimas į petį, taisyklinga nuleistuko kontrolė, taisyklingas kvėpavimas ir psichologinis pasiruošimas šūviui. Kiekvieną atliktą šūvį seka atatranka. Atatranka tai atgalinis ginklo judėjimas atlikus šūvį. Atatranka – skirstoma į mechaninę (angl. *recoil*) ir juntamą (angl. *kick*). Juntamoji atatranka pasireiškia, kai mechaninė atatranka paveikia šaulio kūną. Juntamajai atatrakai įtakos turi šaulio kūno sudėjimas ir ginklo laikymas [1, 2]. Kiekvienas šaulys turi unikalų fizinį ir psichologinį pasirengimą, todėl juntamoji atatranka kiekvieną veikia skirtingai [3, 4]. Psichologinis efektas pasireiškia kaip šūvio baimė. Šaulys prieš atlikdamas šūvį bijo būsimo smūgio, todėl pradeda nevalingai judėti, stumia ginklą nuo savęs, kreipia jį nuo taikinio, dreba, užsimerkia atlikdamas šūvį, netaisyklingai spaudžia nuleistuką. Fizinis efektas pasireiškia kaip šaudymo nuovargis, kai per mažą laiko tarpą atliekama daug šūvių. Šaudymo nuovargis apima fizinį skausmą, diskomfortą rankose ar pečiuose, triukšmo nuovargį ir parako dujų prisikvėpavimą. Pavargusiam šauliui sunkiau taikliai šaudyti, išlaikyti ginklą nukreiptą į taikinį [5]. Šiems įgūdžiams lavinti pasitelkiami koviniai šaudymai ir šaudymo treniruokliai. Treniruočių metu scenarijų stengiamasi kiek įmanoma priartinti prie realių sąlygų, todėl šaudymo treniruoklio efektyvumą nusako jo gebėjimas atkurti tikro ginklo fizinį ir psichologinį efektą šauliui [1]. Abu treniruočių įrankiai turi savo privalumų ir trūkumų. Treniruotės metu galima naudoti tikrą kovinį ginklą, tačiau tai reikalauja amunicijos, dėvėti ginklas, kiekvienoje treniruotėje turi dalyvauti patyręs treneris. Mokomieji treniruokliai imituoja tikro ginklo atatranką su paklaida, gali riboti šaulio judėjimą ir ginklo funkcionalumą ar neatitikti tikro ginklo svorio ir masės centro, tačiau šaulys greičiau pripranta prie atatrankos, šaudymo instruktorius vienu metu gali treniruoti daugiau šaulių, virtuali šaudykla leidžia atlikti tokius šaudymo scenarijus, kurių nepavyktų atlikti treniruojantis su tikru koviniu ginklu. Taip pat galima įvertinti šaulio klaidas dėl ginklo laikymo ar šūvio baimės, kadangi judesio davikliais sekamas ginklo judėjimas. Galiausiai treniruokliai nenaudoja šaudmenų, transporto priemonių ir fizinių šaudyklų. Sraigtasparnio durų šaulio kovinio šaudymo treniruotės kainuoja 0,86 – 2,49 doleriai už šūvį ir 13 634 – 83 256 doleriai už skrydžio valandą [6]. Šaudymo treniruokliai yra pigi alternatyva, kuri leidžia nepatyrusį šaulį greitai ir efektyviai supažindinti su taisyklingu ginklo valdymu bei taiklaus šaudymo principais.

Darbo tikslas: Suprojektuoti sraigtasparnio durų šaulio treniruoklį ir atlikti jo stipruminę ir dinaminę analizę

Uždaviniai:

1. Išanalizuoti ir apibendrinti sraigtasparnio durų šaulio įrangos konstrukcijas, veikimo principus.
2. Atlikti eksperimentinius kulkosvaidžio šūvio atatrankos dinaminių charakteristikų tyrimus.
3. Sudaryti ginklo ir stovo dinامينius ir matematinius modelius bei ištirti sistemos dinamines charakteristikas.
4. Suprojektuoti treniruoklio stovą.
5. Atlikti stovo stiprumo analizę.

1. Literatūros apžvalga

Dabartinis konfliktas Ukrainoje sužadino Europos šalių kariuomenes ir parodė jų spragas bei trūkumus. Besiginkluojančių ir gynybai besiruošiančių NATO šalių kariuomenėms ne išimtis ir Lietuvos karinės pajėgos. Lietuvos kariuomenė investuoja į karybos infrastruktūros plėtojimą ir naują ginkluotę ir techniką. Vienas iš kariuomenės tikslų – parengti personalą šalies gynybai. Šio tikslo įgyvendinimui palengvinti ir atpiginti gali būti pasitelkti šaudymo treniruokliai. Lietuvos karinės oro pajėgos įsigijo UH – 60 „Black Hawk“ sraigtasparnius. Šio sraigtasparnio ekipažo dalį sudaro durų šaulys (1 pav.). Tai karys, kuris atlieka orlaivio saugą ir antžeminių pajėgų rėmimą, ginkluotas sraigtasparnio šone sumontuotu kulkosvaidžiu. Šie ekipažo nariai turi pasižymėti puikiais šaudymo ir ginklo valdymo įgūdžiais, gebėti pataikyti į judančius taikinius skrydžio metu. Tačiau parengti tokį šaulį reikalauja daug laiko ir pinigų. Treniruokliai, leidžiantys imituoti durų šaulio poziciją sraigtasparnyje ir mūšio lauko sąlygas, leistų greičiau ir pigiau paruošti naujus durų šaulius. Sraigtasparnio durų šaulio kovinio šaudymo treniruotės kaina gali vyrauti tarp 0,86 – 2,49 dolerių už šūvį ir 13 634 – 83 256 dolerių už skrydžio valandą [6]. Pradiniam susipažinimui su šaudymu iš sraigtasparnio ypatumais tinkami naudoti antžeminiai lafetai, atkartojantys durų šaulio poziciją sraigtasparnyje. Tokie lafetai nereikalauja sraigtasparniu nusukti į šaudyklą šaudymo pratimams atlikti, todėl sutaupomos skrydžio ir aptarnavimo valandos [7]. Ant lafeto taip pat gali būti montuojamas ne kovinis mokomasis ginklas su galimybe imituoti šūvio atitrąką ir pataikymą. Naudojantis tokiu treniruokliu mokomuosius šaudymus kariai galėtų atlikti angare ar pritaikytoje mobilioje stotelėje.



1 pav. UH – 60 „Black Hawk“ durų šaulys [8]

1.1. UH – 60 „Black Hawk“ sraigtasparnis

UH – 60 „Black Hawk“ – tai keturių menčių, dviejų turbo veleninių variklių universalusis sraigtasparnis. Orlaivis tinkamas skrydžiams atšiauriomis sąlygomis, nuo -40 iki +55 °C. Sraigtasparnio bazė gali būti modifikuojama ir pritaikoma įvairioms užduotims vykdyti: pasienio apsauga, gaisrų gesinimas, keleivių gabenimas, ataka ir kovinė parama mūšio lauke [9]. Dažniausiai šis orlaivis naudojamas atliekant įvairias karines užduotis. „Black Hawk“ sraigtasparnyje gali būti 12 sėdimų vietų keleiviams ir 2 įgulai, taip pat jis pakelia iki 4695 kg krovinį [9]. Dėl šių parametrų mūšio lauke jis dažniausiai atlieka transportavimo funkcijas: transportuoja kovinį vienetą į ar iš mūšio lauko, atlieka sužeistųjų evakuaciją. Reikalui esant gali transportuoti kitas antžemines transporto priemones (pvz. *Hummvee*). Sraigtasparnio apsaugą užtikrina durų šauliai. Durų šaulių pozicijos įrengtos kairėje ir dešinėje sraigtasparnio pusėse už pilotų kabinos. Pozicijos gali būti apginkluotos M-240 7,62 mm vidutiniais kulkosvaidžiais, 12,7 mm GAU-19/A sunkiaisiais kulkosvaidžiais arba GE M134 7,62 mm šešiavamzdžiais kulkosvaidžiais [10, 11]. Kiekvienai ginklų sistemai reikalinga skirtinga įranga ir laikikliai. Norint padidinti durų šaulių ugnies galią turi būti atliktos orlaivio modifikacijos atsižvelgiant į tam tikras ribojančias sąlygas. JAV oro pajėgų 943-oji gelbėtojų grupė atliko tyrimą, kurio metu sraigtasparnio duryse įrengė papildomą poziciją dar vienam durų šauliui siekiant padidinti sraigtasparnio ugnies galią. Naujojoje pozicijoje buvo montuojamos anksčiau išvardytos ginklų sistemos ir buvo nustatyta, jog sraigtasparnio grindų struktūrą neatlaiko sukamojo momento kurį generuoja 12.7 mm GAU 18/A sunkusis kulkosvaidis, o 7,62 mm GAU-2C *minigun* reikalauja per daug energijos, todėl tinkamiausiu ginklu buvo išrinktas M240 7,62 mm vidutinis kulkosvaidis [11].



2 pav. Sraigtasparnis su papildoma durų šaulio pozicija [11]

1.2 Kulkosvaidis FN MAG KSP – 58

FN MAG (Mitrailleuse d'Appui General) – tai belgų gamybos universalusis vidutinis kulkosvaidis skirtas prieš gyvąjį jėgą ir nešarvuotai ar lengvai šarvuotai technikai naikinti. Ginklo gamyba pradėta 1958 metais pagal švedų užsakymą siekiant pakeisti senąją BAR (*Browning Automatic rifle*) kulkosvaidį naujuoju KSP 58 (*Kulspruta 58*) (3 pav.). Šį kulkosvaidį naudoja daugelis pasaulio kariuomenių suteikdamos jam skirtingą pavadinimą, pvz. amerikietiškas M240, angliškas L7, brazilishkas M971 [14]. Universalusis kulkosvaidis tinkamas mūšio lauke atlikti įvairias funkcijas. Jis sutinkamas pėstininkų rankose, įmontuotas tankuose, šarvuotose ir nešarvuotose automobiliuose, sraigtasparniuose, laivuose. Ginklas taip pat yra modifikuojamas, keičiamos pistoletinės rankenos, buožės, vamzdžiai, uždedami optiniai taikikliai [14]. Lietuvos kariuomenėje šį kulkosvaidį galima sutikti kiekviename pėstininkų skyriuje ir kai kuriuose karinio transporto priemonėse. Kariai ginklo valdymo įgūdžius lavina šaudyklose ir lauko pratybų metu. Ginklo stabilumui pagerinti naudojamos atramos ir stovai. Šaudymams ant žemės gali būti naudojamas M122 trikojis (4 pav.). Trikojis suteikia stabilią ginklo atramos sistemą, todėl šauliui ginklas atrodo lengvesnis ir pagerėja šūvių taiklumas [15, 16].



3 pav. Kulkosvaidis FN MAG KSP – 58 [12]

Techniniai – taktiniai duomenys [13]:

Šovins: 7,62x51 mm NATO

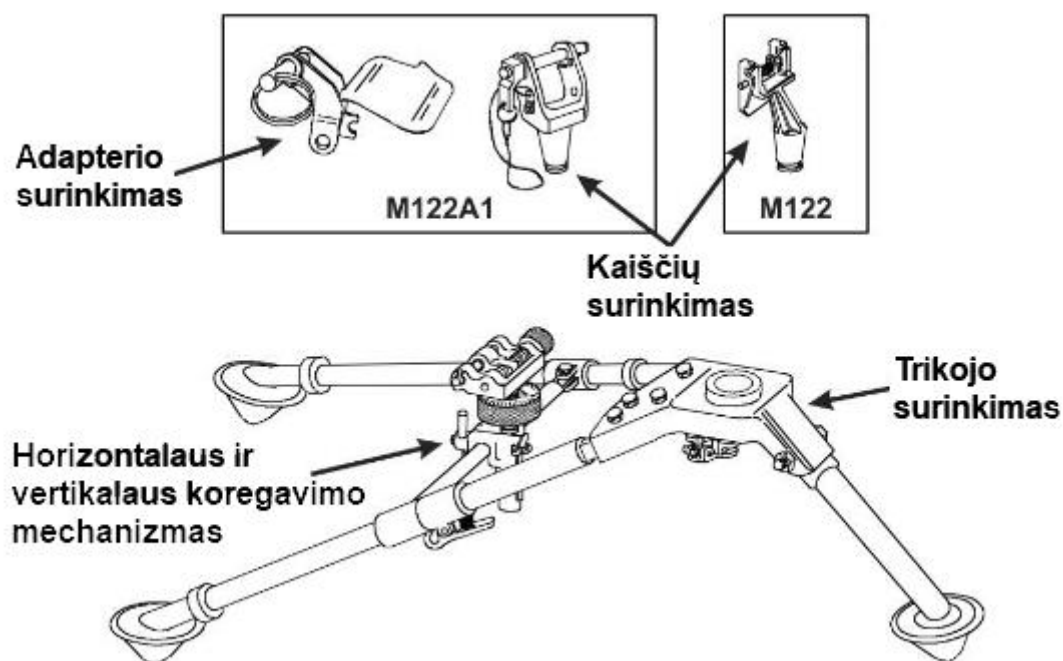
Greitošauda: 600 – 950 šūv/min

Vamzdžio ilgis: 546 mm

Masė: 11,6 kg

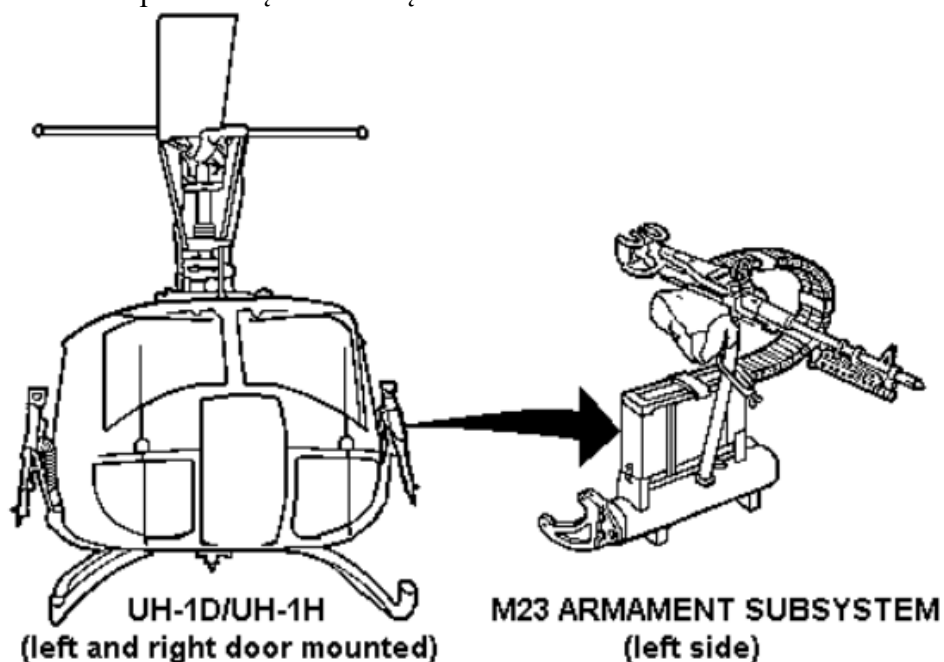
Ilgis: 1275 mm

1.3 7,62x51 mm kulkosvaidžių stovai



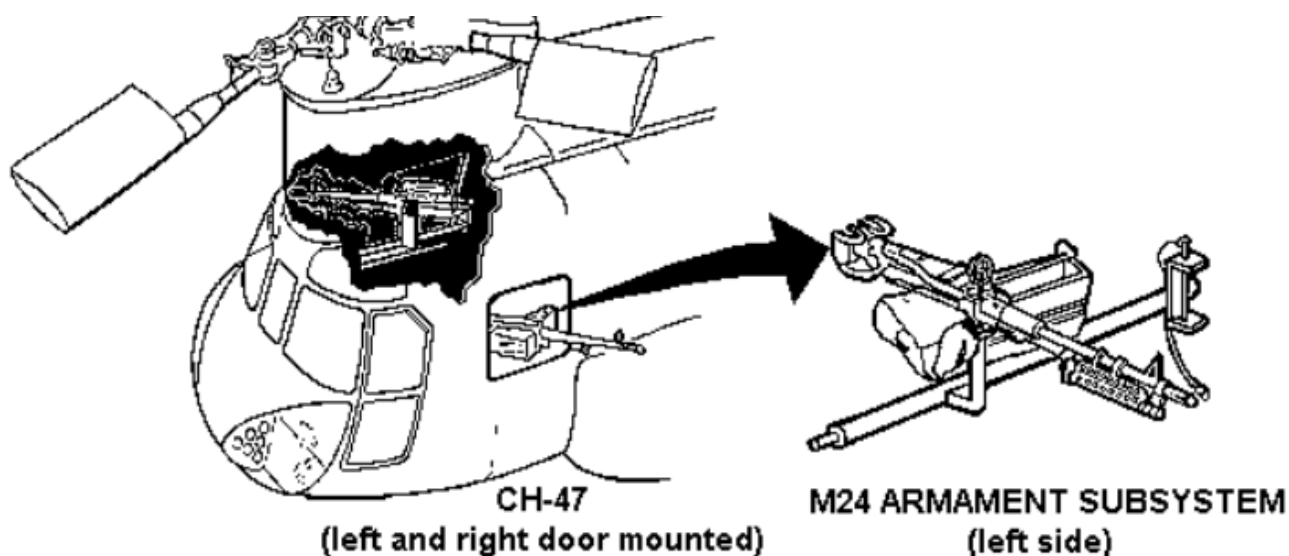
4 pav. M122 ir M122A1 trikojis

Kiekviena transporto priemonė turi sau pritaiktą kulkosvaidžio stovą. Nekintančios dalys yra kulkosvaidis ir kaiščiai, kurie jungia ginklą su lafetu. Sraigtasparnio durų šaulių pozicijos kulkosvaidžiai yra laisvai judantys, tačiau apribotos eigos ir elevacijos [17]. Pozicija įrengta taip, kad netrukdytų šauliui ginklu dengti savo sektoriaus, pertaisyti ginklą ir keisti jo vamzdį [18]. Daugelio sraigtasparnių durų šaulio kulkosvaidžio laikikliai yra lengvos konstrukcijos, fiksuojamos kovinėje arba transportavimo padėtyse, turi iššautų tūtų surinkimo ekstraktorius, kurie saugiai nukreipia tūtas į surinkimo vietą taip mažindami sraigtasparnio pažeidimo tikimybę. Kiekvieno sraigtasparnio durų šaulio pozicija turi savo privalumų ir trūkumų.



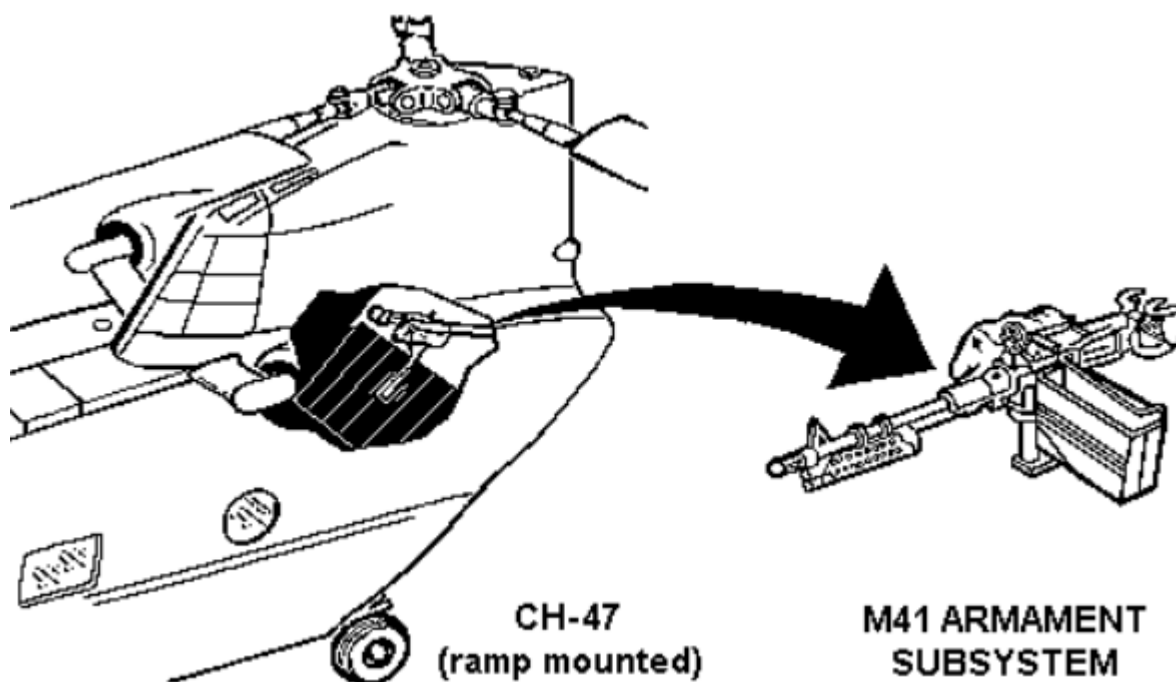
5 pav. UH – 1 sraigtasparnio kulkosvaidžio laikiklis M23 [18]

M23 laikiklis (5 pav.) yra varžtais tvirtinamas prie grindų tarp plačių sraigtasparnio durų kairėje ir dešinėje. Sraigtasparnio durų šaulys prie ginklo lafeto prisirišęs saugos apraišais. Ginklo laikiklyje sumontuota šovinių dėžė talpina 550 šovinių, šovinių padavimo juostą ir drobinį maišelį tūtomis bei savaardėms šovinių juostos jungtims surinkti [18].



6 pav. CH – 47 sraigtasparnio kulkosvaidžio laikiklis M24 [18]

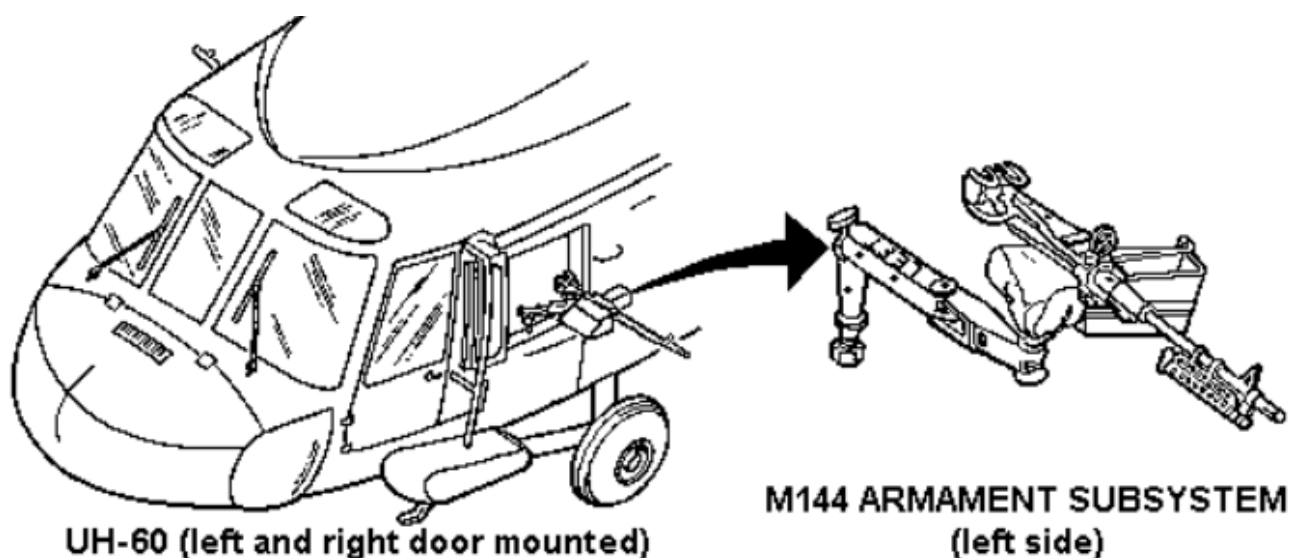
M24 laikiklis (6 pav.) sveria 20,4 kg [19] ir yra vyriais įtvirtintas į orlaivio rėmą. Sukiojant laikiklį leidžiama kulkosvaidžiui būti patalpintam sraigtasparnio viduje arba kyšoti per durų šaulio langelį kairėje ir dešinėje sraigtasparnio pusėse. Durų šaulys prie sraigtasparnio prisirišęs saugos apraišais, kulkosvaidžio laikiklyje pritaikyta vieta pritvirtinti šovinių dėžę, kurioje telpa 200 šovinių juosta, tūtų ir savaardės šovinių juostos jungtims surinkti naudojamas maišas [18].



7 pav. CH – 47 sraigtasparnio kulkosvaidžio laikiklis M41 [18]

M41 laikiklis (7 pav.) yra varžtais įtvirtintas ant sraigtasparnio galinės rampos. Šaulys prisisegęs saugos diržų prie sraigtasparnio šaudo sėdėdamas ant grindų. Laikiklyje yra pritaikyta vieta šovinių

dėžei, kurioje telpa 200 šovinių juosta, tūtų ir savaardės šovinių juostos jungtims surinkti naudojamas maišas arba vamzdis, kuris nukreipia jungtis iš sraigtasparnio [18].



8 pav. UH – 60 sraigtasparnio kulkosvaidžio laikiklis M144 [18]

M144 laikiklis (8 pav.) sveria 10,3 kg [19] ir yra kniedėmis įtvirtintas sraigtasparnio durų šaulio lango rėme kairėje ir dešinėje pusėse. Laikiklis leidžiasi sukiojamas ir yra fiksuojamas sraigtasparnio viduje ir išorėje transportavimo pozicijose (taip, kad kulkosvaidis nejudėtų ir neapdaužytų sraigtasparnio), ir kovinės parengties pozicijoje. Laikiklyje naudojamas greito ištraukimo kaištis su tikslu greitai nuimti kulkosvaidį [15]. Šaulys šaudo atsisėdęs sėdynėje. Laikiklyje pritaikyta vieta tvirtinti šovinių dėžę, į kurią telpa 200 šovinių juosta, tūtų ir savaardės šovinių juostos jungtims surinkti sumontuotas maišas, dėžė arba vamzdis, išmetantis visas atliekas iš sraigtasparnio [18].

1.4 ACME's Gunnery Training System

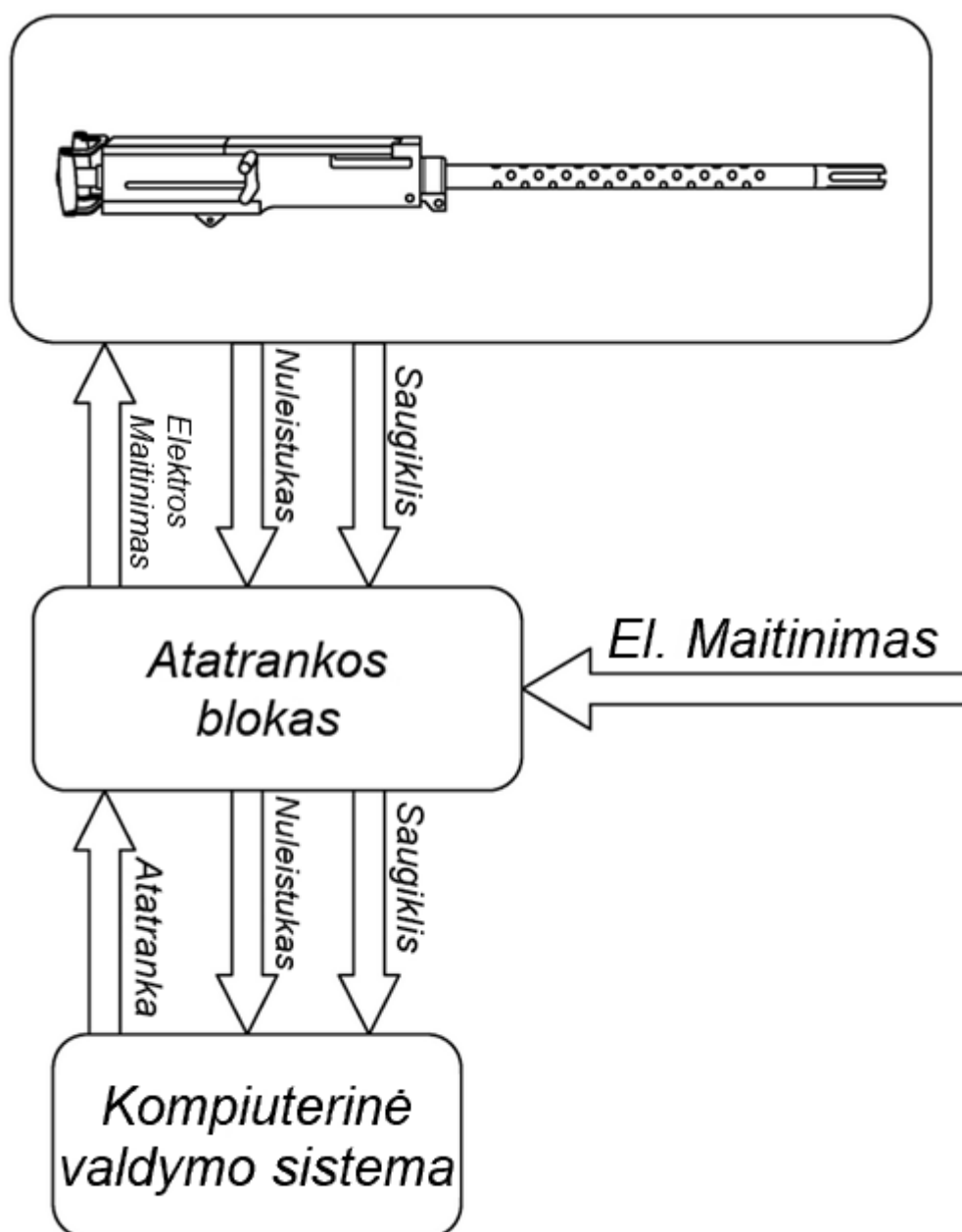
„ACME's Gun Active Recoil Gunnery Training System“ tai pilnavertis elektroninis sraigtasparnio durų šaulio treniruoklis. Treniruoklį sudaro platforma, ekranas ir mokomasis ginklas (9 pav.). Ekrane vaizduojamas imituojamas vaizdas pro sraigtasparnio duris, kurį mato durų šaulys. Vaizdas valdomas kompiuteriu, kuris yra sumontuotas platformoje. Kompiuteriu galima nustatyti treniruotės scenarijų, t. y. parinkti priešiškas ir draugiškas pajėgas, jų dydį, išsidėstymą ir judėjimą, vietovę, oro sąlygas, paros laiką, skrydžio greitį ir trajektoriją. Taip pat instruktorius turi galimybę rankiniu būdu valdyti virtualų sraigtasparnį. Platformoje yra sumontuotas mokomasis ginklas. Mokomajame ginkle įmontuoti lazeriniai davikliai, kuriais fiksuojami pataikymai ekrane. Mokomasis ginklas imituoja standartinius durų šaulio ginklus, M134, M240, GAU – 19/A jų atatranką, veikimą bei strigimus [20]. Ginklo atatranka sukurama elektromechaninių prietaisų, kurie sumontuoti ginklo laikiklyje, o ne pačiame ginkle, dėl šios sistemos naudojimo mažinamas mokomojo ginklo susidėvėjimas [20, 21]. Šiuo treniruokliu šaulys mokosi ne tik šaudyti iš skraidančio sraigtasparnio, bet ir atpažinti taikinius, gyvu laiku reaguoti į atsiradusius trikdžius ir valdyti ginklą, nes instruktorius gali bet kuriuo metu keisti treniruotės scenarijų įvesdamas naujų trikdžių ir situacijų. Keli treniruokliai gali būti sujungti į tą pačią treniruotę, tai leidžia atlikti treniruotes, kurių scenarijų metu dalyvauja daugiau nei vienas šaulys ar sraigtasparnio ekipažas. Tokios treniruotes taip pat naudingos ir dalinio vadams, kadangi tai leidžia treniruotis resursų ir padalinių valdymą [6].



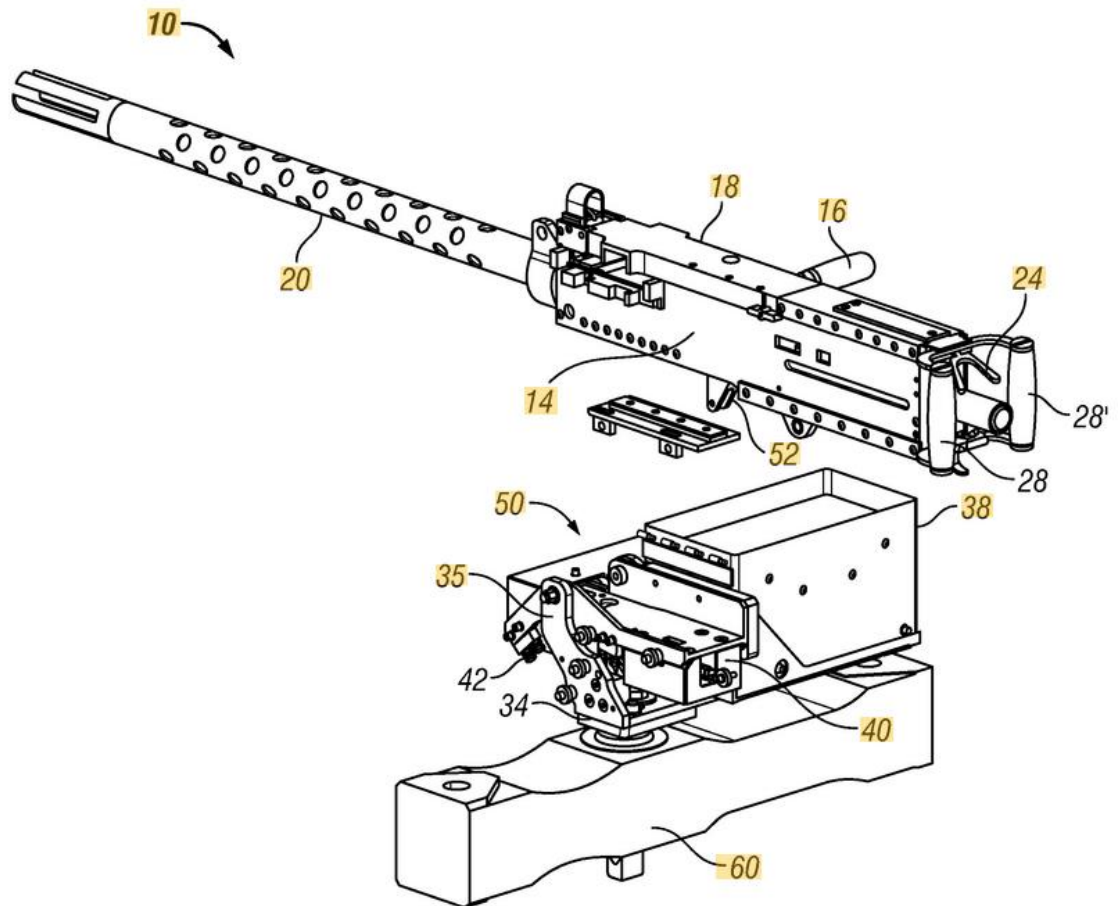
9 pav. „Gunnery Training System“ treniruoklis [6]

1.5 ACME's Gun Active Recoil

„ACME's Gun Active recoil“ tai elektroninė atatranks simuliavimo sistema. Sistemą sudaro mokomasis ginklas, atatranks blokas, kompiuterio valdymo sistema (10 pav.) . Nuspaudus nuleistuką ar manipuliuojant saugiklį siunčiamas elektroninis signalas į kompiuterio valdymo sistemą. Kompiuterinė valdymo sistema tada siunčia signalą atatranks blokui. Atitinkamai pagal gautą signalą atatranks valdymo bloke elektromechaniškai pradeda judėti slankiojantis dėklas. Slankiojantis dėklas linijinių guolių ir elektrinių motorų dėka juda pirmyn ir atgal ginklo vamzdžio ašimi. Kompiuterinės valdymo sistemos siunčiamas signalas gali būti keičiamas su tikslu imituoti skirtingas šaudymo sąlygas, pavyzdžiui, ginklo strigimą, ankstyva šovinio detonacija dėl perkaitusio ginklo, šūvio neatlikimą dėl neiššovusio šovinio ir t. t. [21]



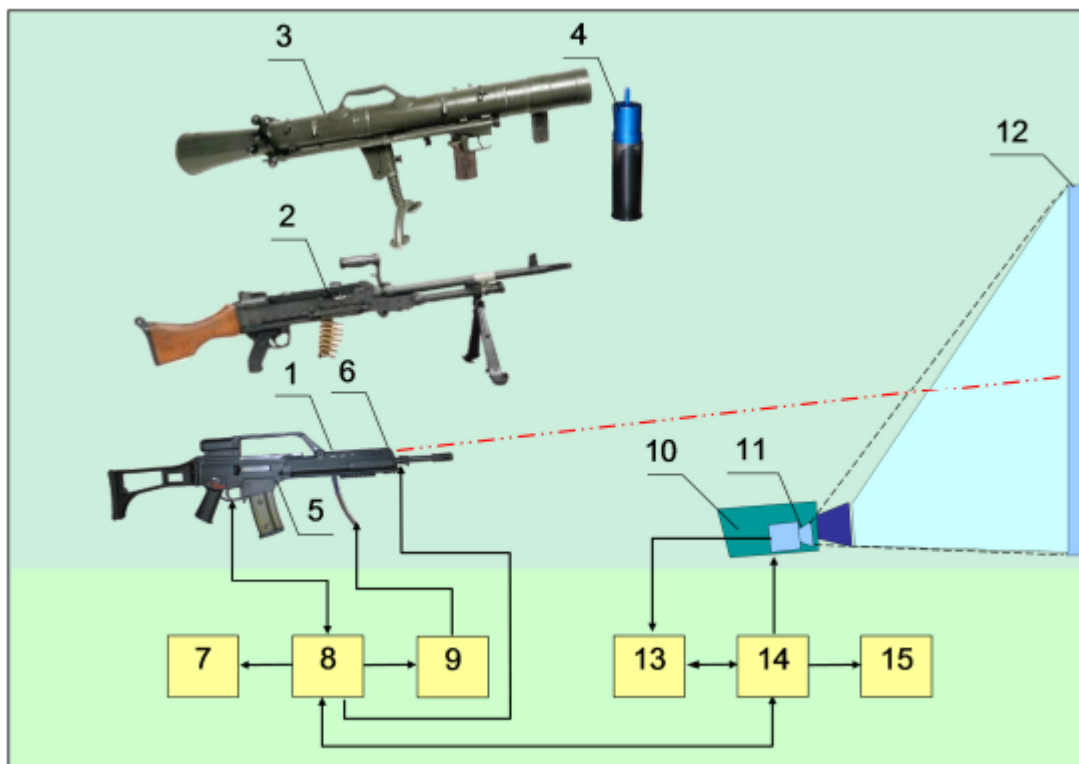
10 pav. „ACME's Gun Active Recoil“ sistemos veikimo schema [21]



11 pav. „ACME’s Gun Active Recoil“ sistema (10 – mokomasis ginklas; 50 – atatranks valdymo blokas; 40 – slankiojantis dėklas) [21]

Mokomasis ginklas ir jo laikiklis sukonstruoti taip, kad maksimaliai atitiktų realius daiktus ir jų veikimą (11 pav.). Tai leidžia šauliui teisingai prisitaikyti prie ginklo atatranks, šaudymo savybių ir taisyklingai šalinti strigimus [21]. Šaudymo treniruoklis yra pritaikytas imituoti šaudymus nuo trikojo, specifinės antžeminės transporto priemonės ir sraigtasparnio [22]. Elektrinės atatranks imitavimo sistemos naudojimas vietoj pneumatinės atatranks imitavimo sistemos nereikalauja ginklo montuoti judančių dalių, kurios imituotų spynos judėjimą. Judančios detalės dėvėsi, todėl elektrinė sistema yra ilgaamžiškesnė nei pneumatinė sistema.

1.6 „LT – 5“ lazerinė šaudykla



12 pav. „LT – 5“ lazerinė šaudykla (1 – mokomasis ginklas G36, 2 – mokomasis kulkosvaidis FN MAG, 3 – mokomasis prieštankinis ginklas Carl Gustaf, 4 – lazerinė Carl Gustaf galvutė 5 – pneumatinis atatranks imitavimo mechanizmas, 6 – infraraudonųjų spindulių lazeris, 7 – garso sistema, 8 – šūvio atatranks, lazerio ir garso sistemų valdymo blokas, 9 – suslėgto oro tiekimo sistema, 10 – projektorius, 11 – video kamera, 12 – taikinių ekranas, 13 – lazerio sekimo sistema, 14 – kompiuteris, 15 – monitorius) [23]

„LT – 5“ tai lazerinė šaudykla, kuri naudoja pneumatinę atatranks sistemą [23]. Treniruoklis pritaikytas naudoti automatinį šautuvą G36 (1), kulkosvaidį FN MAG (2) ir prieštankinį beatošliužį ginklą CARL GUSTAF (3) (12 pav.). Ginklų vamzdžiuose sumontuotas infraraudonųjų spindulių lazeris (6) fiksuoja atliktų šūvių pataikymus ir ginklo judėjimą ekrane (12). Valdymo blokas (8) valdo suslėgto oro tiekimo (9) ir garso (7) sistemas. Šūvio atatranks imitavimą atlieka suslėgto oro pneumatinis cilindras [24] (13 pav.). Šūvio imitavimą apibūdina matematinis modelis, kuriame įvertinamas ginklo spynos judėjimas šūvio metu. Atliekant šūvį suslėgto oro jėga $F(t)$ pajudina ginklo spyną kuri, perduoda smūgį ginklo korpusui. Matematinis modelis turi būti pritaikytas įvertinti jėgas, veikiančias ginklo spyną ir korpusą. Spynos imitatoriaus stūmoklis juda ašimi x' . Stūmoklio koordinatės yra $(x', 0)$, jo judėjimą aprašo šios formulės:

Kai $x_v < x_{m1} < x_d$:

$$m_1 \ddot{x}_{m1} + c_{m1} \text{sign}(\dot{x}_{m1}) + k_{m1} x_{m1} = F(t) \quad (1)$$

čia m_1 – stūmoklio masė;

k_{m1} – standumo koeficientas;

c_{m1} – slopinimo koeficientas.

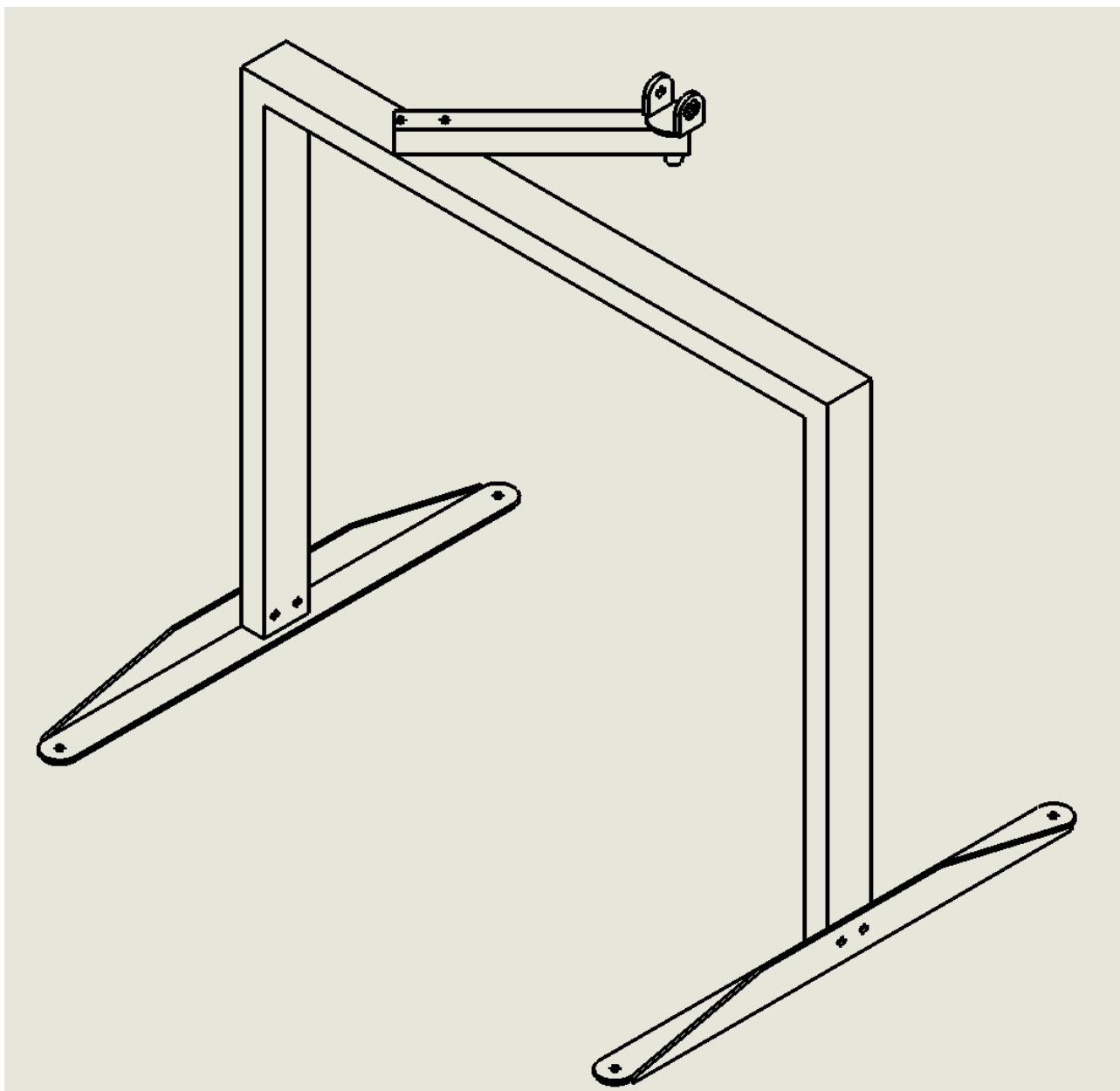
The diagram illustrates a mechanical system for a gunlock. A gunlock is mounted on a weapon. The gunlock has a mass m and is connected to the weapon by a spring k_{m1} and a damper c_{m1} . The weapon has a mass m and is connected to a base by a spring k_{Dy} and a damper c_{Dy} . The gunlock is also connected to a base by a spring k_c and a damper c_c . The diagram shows various forces, displacements, and geometric parameters.

Key parameters and forces shown in the diagram include:

- Forces: $F(t)$ (applied to the gunlock), F_c (applied to the base), F_{Dy} (applied to the weapon), F_{Dx} (applied to the weapon).
- Displacements: x_k , x_y , x_d , x' , x'' , x .
- Geometric parameters: L_1 , L_2 , L_3 , θ , ϕ .
- Masses: m (gunlock), m (weapon).
- Spring constants: k_{m1} , k_{m2} , k_{Dy} , k_c .
- Damping coefficients: c_{m1} , c_{m2} , c_{Dy} , c_c .

21

Apibendrinimas:



14 pav. Kulkosvaidžio lafeto eskizas

Atlikus sraigtasparniuose naudojamų kulkosvaidžių laikiklių ir sraigtasparnio durų šaulių treniruoklių apžvalgą, nuspręsta treniruoklį kurti kaip nešiojamą, į žemę tvirtinamą lafetą, imituojantį sraigtasparnio UH – 60 „Black Hawk“ naudojamą M144 kulkosvaidžio laikiklį su galimybe uždėti kulkosvaidį FN MAG ar jo repliką pritaikytą atlikti ginklo atatrangą imituojančius šūvius (14 pav.). Toks treniruoklis atliktų dvigubą funkciją, leistų naujiems sraigtasparnio durų šauliams susipažinti su šaudymo iš sraigtasparnio ypatumais mokomosios klasės sąlygomis bei priprasti prie šaudymo nuo M144 laikiklio naudojant pneumatinį mokomąjį ginklą „LT – 5“ lazerinėje šaudykloje. Lafetas turėtų galimybę būti nugabentas į šaudyklą ir atlikti kovinius šaudymus su koviniu kulkosvaidžiu. Tokie šaudymo iš sraigtasparnio imitavimo treniruokliai pasiteisina, nes leidžia atkartoti šaulio poziciją šaudant iš sraigtasparnio, leidžia sutaupyti sraigtasparnio skrydžio valandas, aptarnavimo ir kuro išlaidas [7]. Uždėjus mokomąjį ginklą būtų sutaupomos šaudmenų ir šaudyklos išlaidos, taip pat instruktorius tiksliai matytų šaulio daromas klaidas ir turėtų galimybę jas tikslingai koreguoti.

2. Teoriniai skaičiavimai ir metodika

2.1 Teorinių skaičiavimų matematiniai modeliai

Ginklo pasipriešinimas ir šaudymo stabilumas priklauso nuo atatranks jėgų vertės [25]. Jei ginklo vamzdis yra standžiai įtvirtintas laikiklyje, atatranks jėga yra pilnai perduodama laikikliui. Siekiant išvengti tokio įtvirtinimo apsunkinančių sąlygų ilgo šaudymo metu, vamzdis yra įtvirtinamas lafete elastine jungtimi. Tai leidžia vamzdžiui arba visam ginklui judėti vamzdžio ašyje šaudymo metu [25]. Kulkosvaidžio lafeto tikslas minimizuoti degančio parako dujų slėgio sukeltą jėgą nedarant per didelės įtakos ginklo funkcionalumo parametrams. Atatranka susideda iš trijų dalių. Pirma tai reakcija atsiradusi nuo kulkos pajudėjimo ir įsibėgėjimo nuo ramybės būsenos iki greičio kuriuo kulka palieka vamzdžio, pradinio kulkos greičio [26]. Antra dalis, tai reakcija į besiplečiančių degančio parako dujų slėgio jėgą. Trečia, tai ugnies blykstė, kuri atsiranda kulkai ir karštomis aukšto slėgio dujoms palikus vamzdį, sukurianti tokią pat reakciją kuri kuria trauką raketoje [23, 27]. Degančių parako dujų slėgio jėga pirmiausia veikia ginklo spyną. Judanti spyna spaudžia grąžinamąją spyruoklę kuri priešinasi degančių parako dujų slėgio jėgai. Jei ginklas laikiklyje yra įtvirtintas elastiškai, atsiranda atatranks pasipriešinimo jėga ir trinties jėga tarp ginklo ir jį laikančių įtvirtinimų, gaunama atatranks jėga (15 pav.) [25]:

$$\vec{P}_{kn} = \vec{F}_{bg} + \vec{F}_{op} + \vec{F}_{bf} + \vec{F}_{tr} \quad (6)$$

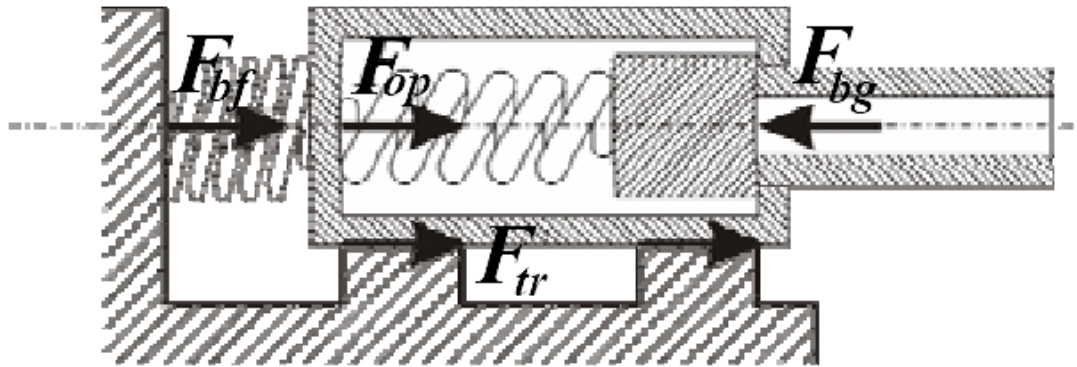
čia $\vec{P}_{kn}$ – atatranks jėga;

$\vec{F}_{bg}$ – degančių parako dujų slėgio jėga;

$\vec{F}_{op}$ – grąžinamosios spyruoklės jėga;

$\vec{F}_{bf}$ – laikiklio slopinamoji jėga;

$\vec{F}_{tr}$ – trinties jėga;



15 pav. Atatranks veikimo schema [25]

Išvardytos jėgos veikia lygegriai ginklo vamzdžio ašiai, todėl gali būti išreikšiamos [25]:

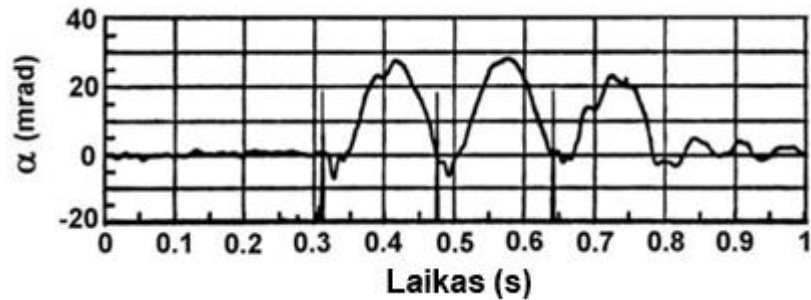
$$P_{kn}(x_1, x_2, t) = F_{bg}(t) - F_{op}(x_1) - F_{bf}(x_2) - F_{tr}(x_2) \quad (7)$$

čia t – laikas nuo šūvio pradžios;

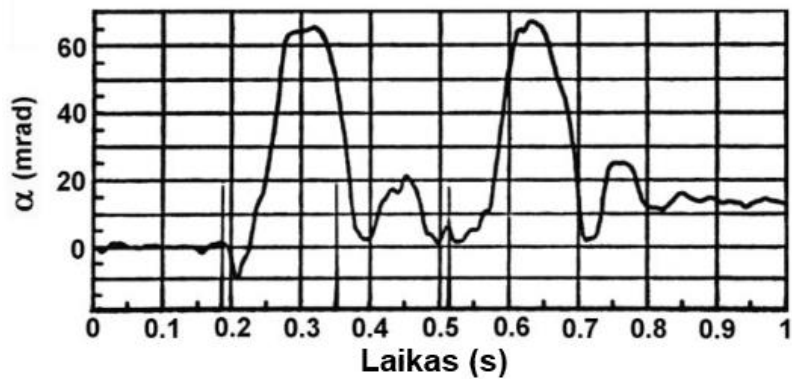
x_1 – spynos poslinkis;

x_2 – ginklo poslinkis atatranks metu.

Automatinio ginklo šūvio stabilumas nusakomas vamzdžio judesiu tarp šūvių, jei vamzdis tarp šūvių grįžta į pradinę padėtį, ginklas yra stabilus (16 pav.), jei vamzdžio judėjimas nepastovus – ginklas nestabilus (17 pav.) [16].



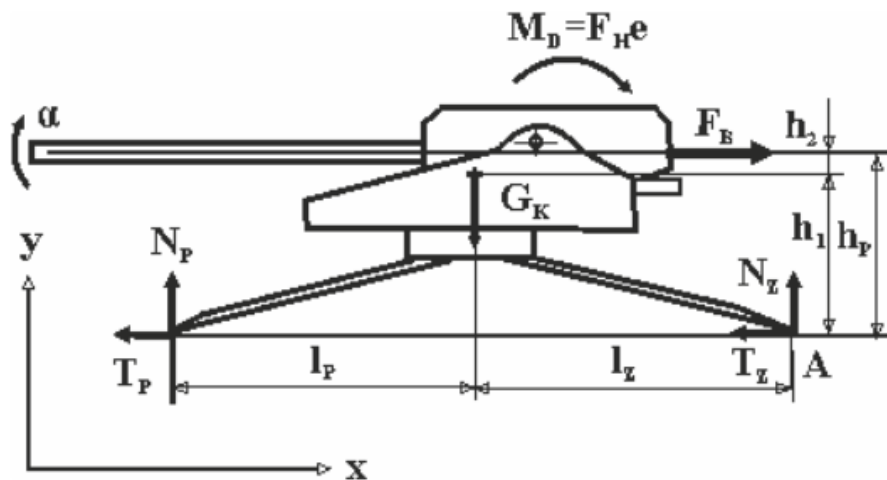
16 pav. Stabilus ginklas (trys šūviai)



17 pav. Nestabilus ginklas (trys šūviai) [16]

Šaudant nuo trikojo šūvio stabilumui įtakos turi ginklo atatranka, trikojo struktūra, paviršius ant kurio stovi trikojis [28–30], todėl ginklo stabilumas nustatomas eksperimentiniu būdu įstatant ginklą į specialų stovą, kuriame ginklas turi tik 1 laisvės laipsnį – sukimąsi aplink tašką A (18 pav.) [16]. Kampinis judėjimo momentas α taško A atžvilgiu aprašomas formule:

$$I_A \ddot{\alpha} = F_B h_1 + (T_Z + T_P) h_2 + N_P l_P - N_Z l_Z + F_H e \quad (8)$$



18 pav. Ginklo stabilumo nustatymo dinaminis modelis [16]

čia I_A – sistemos masės inercijos momentas taško A atžvilgiu;

F_B – jėga veikianti sistemą;

T_Z – galinės atramos reakcija x ašyje;

T_P – priekinės atramos reakcija x ašyje;

N_Z – galinės atramos reakcija y ašyje;

N_P – priekinės atramos reakcija y ašyje;

F_H – šūvio jėga;

h_P – vamzdžio aukštis;

h_1 – gravitacijos centro aukštis;

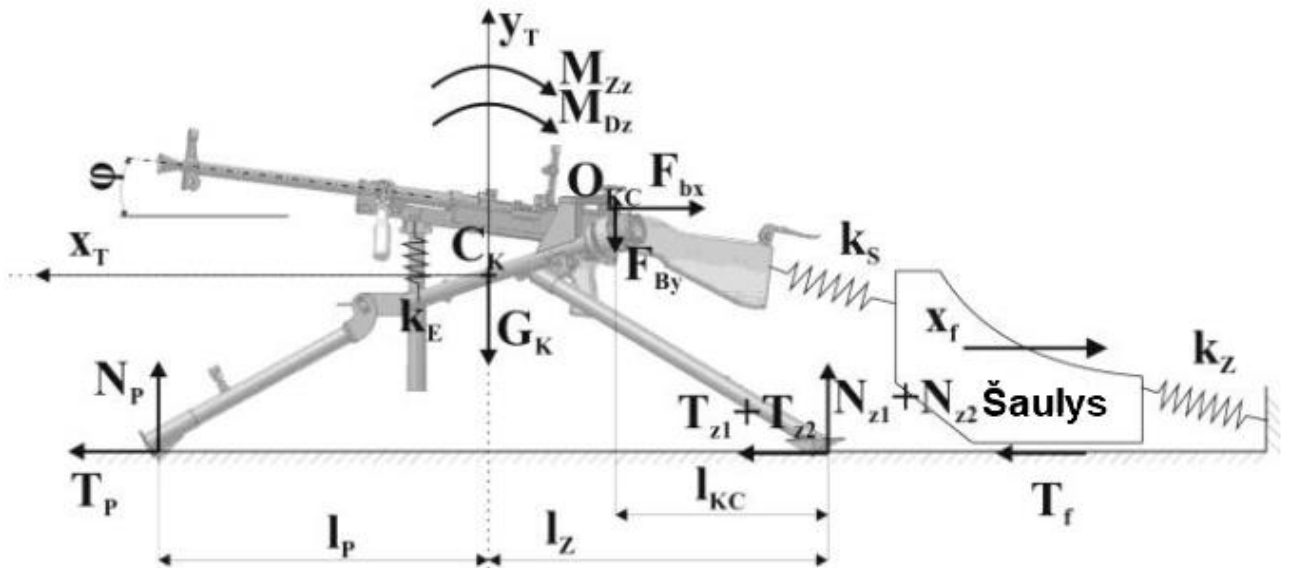
h_2 – vamzdžio aukštis virš gravitacijos centro;

l_P – horizontalus atstumas nuo priekinės atramos iki gravitacijos centro;

l_Z – horizontalus atstumas nuo galinės atramos iki gravitacijos centro;

e – vertikalus atstumas tarp F_B ir F_H .

Realaus šaudymo metu ginklas nėra įtvirtintas į eksperimentinį stovą, todėl turi daugiau laisvės laipsnių. Kitas dinaminis modelis modeliuoja šaudymą nuo stabiliai stovinčio trikojo (19 pav.). Šis modelis turi aštuonis laisvės laipsnius, šeši priklauso trikojui, vienas priklauso keliamųjų komponentų vibracijai, vienas priklauso šaulio judėjimui [16].



19 pav. Šaudymo stabilumo dinaminis modelis [16]

Sistemos judesys aprašomas šiomis lygtimis ir formulėmis:

$$\sum M_{x_T} = F_{Bz}(h_{KC} - h_T) + F_{By}(b_{KC} - b_T) + (S_{Z1} - S_P - S_{Z2})h_T - N_{Z1}(b - b_T) + N_{Z2}(b + b_T) + N_P b_T - M_{Zx} + M_{Dx} \quad (12)$$

$$\sum M_{y_T} = F_{Bx}(b_{KC} - b_T) - F_{Bz}(l_Z - l_{KC}) - T_{Z1}(b - b_T) + T_{Z2}(b + b_T) + T_P b_T + (S_{Z1} - S_{Z2})l_Z + S_P l_P + M_{Zy} \quad (13)$$

$$\sum M_{z_T} = F_{By}(l_Z - l_{KC}) + F_{Bx}(h_{KC} - h_T) + N_P l_P - (N_{Z1} + N_{Z2})l_Z + (T_{Z1} + T_{Z2} + T_P)h_T + M_{Zz} + M_{Dz} \quad (14)$$

Keliamojo komponento judėjimą aprašo formulė:

$$I_A \ddot{\alpha} = F_B h_1 + (T_Z + T_P) h_2 + N_P l_P - N_Z l_Z + F_H e \quad (15)$$

čia I_E – inercijos momento masė antgalio atžvilgiu;

k_E – keliamojo komponento standumas;

b_E – keliamojo komponento slopinimo koeficientas;

$\ddot{\alpha}_E, \dot{\alpha}_E, \alpha_E$ – keliamojo komponento kampinis pagreitis, greitis ir sukimo kampas;

$r_{EC} - F_B$ jėgos petis (atstumas tarp C_Z ir O_{KC}).

Lygtis aprašanti šaulio judėjimą:

$$m_S \ddot{x}_S = k_S (x_T - x_S) - k_Z x_S - T_f \operatorname{sgn}(\dot{x}_S) \quad (16)$$

čia m_S – šaulio masė;

k_S – standumas tarp šaulio ir ginklo;

k_Z – standumas tarp šaulio ir žemės;

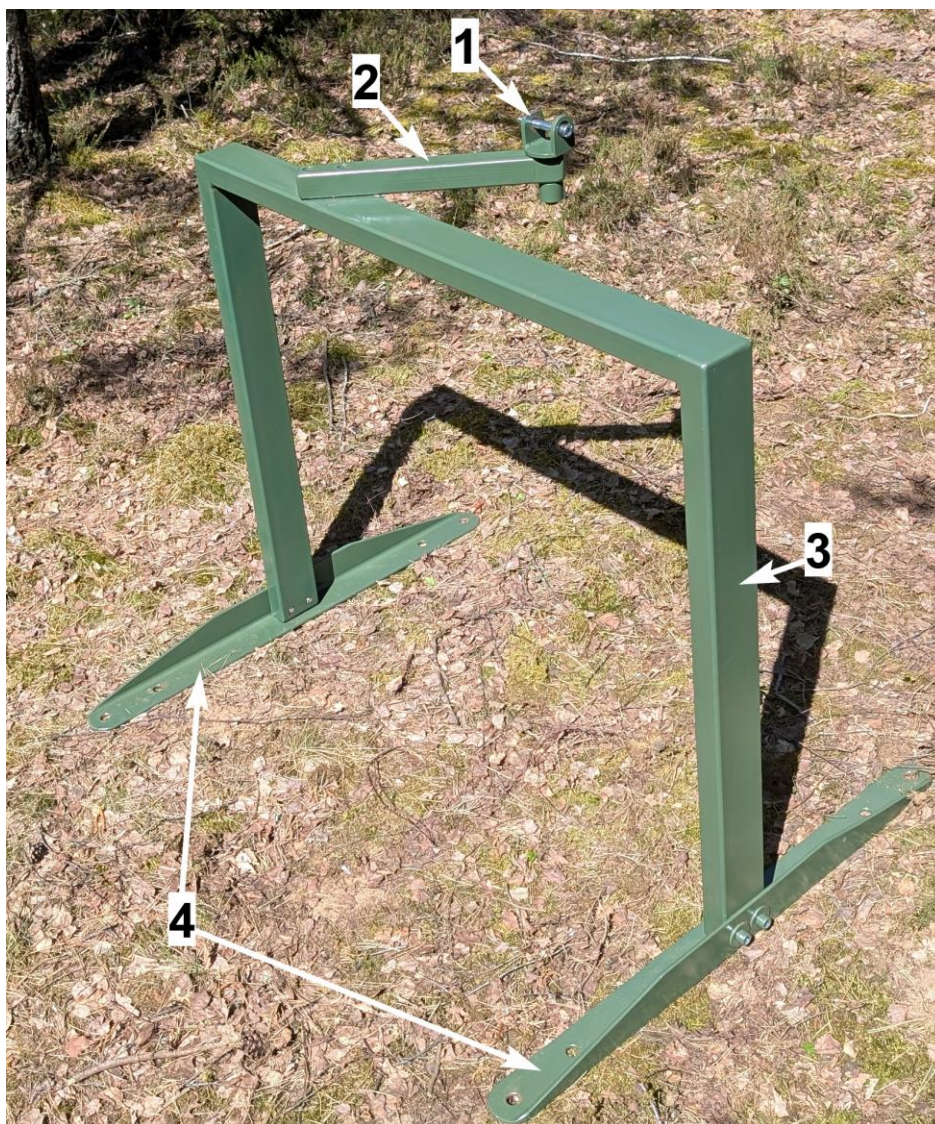
$\ddot{x}_S, \dot{x}_S, x_S$ – šaulio pakreitis ir poslinkis.

2.2 Baigtinių elementų modeliai

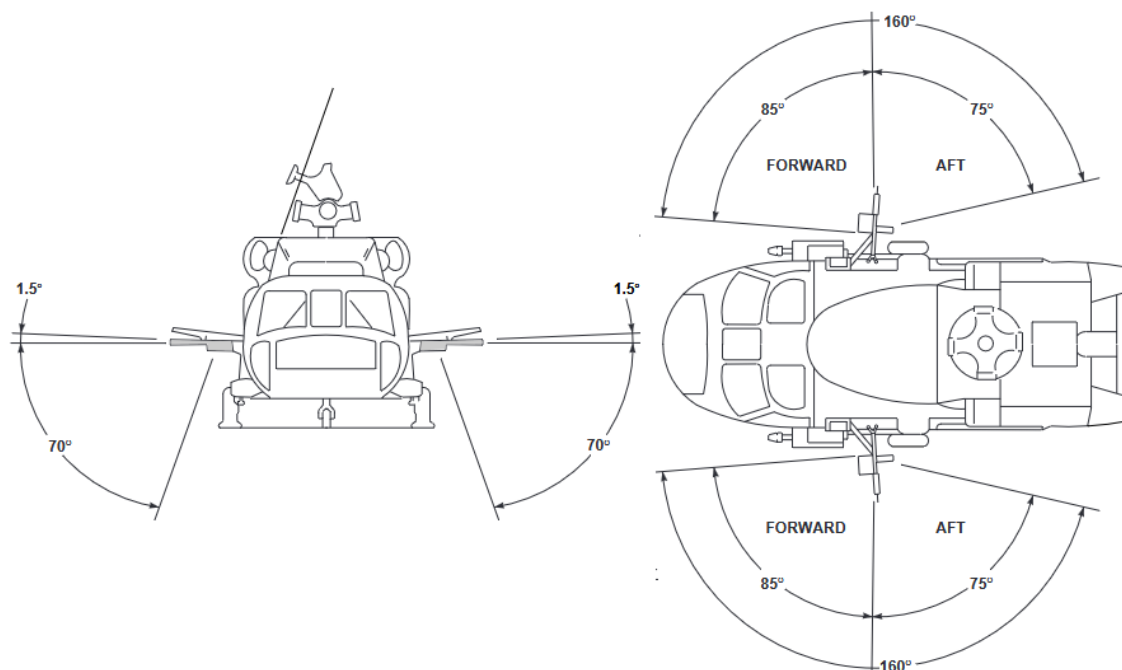
Struktūrinio vientisumo vertinimas reikalauja sudėtingos tikimybinės analizės, šiai analizei tinkamas kompiuterinis modeliavimas [31]. Struktūrinei ir stipruminei analizei pasitelkiamos baigtinių elementų metodą taikančios programos. Paprasčiausias ir klasikinis Monte Karlo metodas veikia generuodamas bandinius kurie parenkami atsitiktine tvarka ir įvertinami ar išpildo patikimumo reikalavimus [31]. Šis metodas yra didelio tikslumo, nes įvertina visas kintamųjų kombinacijas ir gali būti integruojamas su baigtinių elementų metodu. [32]. Baigtinių elementų metodas veikia modeliuojamą kūną padalindamas į daugelį paprastos formos dalių tinklelę. Tinklelio dalių diferencialinės lygtys pakeičiamos algebrinių lygčių sistemomis. Tarpusavyje palyginti lygčių sistemų rezultatai sudaro bendrą tiriamojo modelio rezultatą.[34]. Modeliavimas leidžia identifikuoti ir įvertinti modelyje atsiradusius įtempius, jų poveikį modeliui. Treniruoklio stovo modeliavimui ir stipruminei analizei atlikti naudojama „Solidworks“ programinė sistema [35]. Programa leidžia atlikti nuovargio analizę, jų metu modelis yra veikiamas užduotų ciklinių jėgų ir rezultatai gaunami remiantis programoje esančiu medžiagų ir jų savybių katalogu arba individualiai parinktų medžiagos parametrų. Baigtinių elementų modeliavimas leidžia atlikti virtualų tyrimą, kuriam nereikalingas fizinis daiktas ir specialūs bandymo standai, taip pagreitinant ir atpiginant kūrimo procesą.

2.3 Mokomasis lafetas

Remiantis UH – 60 „Black Hawk“ sraigtasparnio durų šaulio pozicijos ir kulkosvaidžio FN MAG KSP – 58 geometriniais parametrais sukurtas lafetas, leidžiantis imituoti šaudymą iš sraigtasparnio (20 pav.). Stovas (3) dedamas ir varžtais įveržiamas ant platformų (4) per kurias smeigėmis įtvirtinamas į žemę taip suteikiant lafetui stabilumo. Atitinkamai sraigtasparnio durų šauliui, šaudymas atliekamas iš sėdimos padėties. Lafeto šonuose uždėjus vaizdą blokuojančias priemones gali būti imituojamas ribotas šaulio matymo langas. Alkūnė (2), imituojanti sraigtasparnio durų šaulio kulkosvaidžio laikiklį, ant stovo (3) tvirtinama varžtais, toks sprendimas palengvina lafeto transportavimą. Laisvame alkūnės (2) gale išgręžta kiaurymė ginklo laikikliui (1) montuoti. Kulkosvaidis kaiščiu tvirtinamas ginklo laikiklyje (1) kur gali sukiotis ir kiltis ar leistis aplink laikiklio tvirtinimo tašką. Stovas projektuojamas atskiromis dalimis su tikslu palengvinti transportavimą. Ginklo laikiklis gali būti pakeistas į kitokio modelio laikiklį siekiant prisitaikyti prie kitokių ginklų tvirtinimo metodų, pavyzdžiui, tvirtinimo bėgeliai ar spaustuvai. Ilgaamžiškumui ir konstrukciniam stiprumui užtikrinti visi lafeto komponentai gaminami iš S355 plieno.



20 pav. Kulkosvaidžio lafetas (1 – ginklo laikiklis, 2 – alkūnė, 3 – stovas, 4 – platformos.)



21 pav. Durų šaulio ginklo judėjimo ribos [36]

Projektavimo metu lafetui keliama ginklo judėjimo reikalavimai, atitinkantys sraigtasparnio ginklo judėjimo lauką (21 pav.), išpildyti. Lafetas atitinka šoninį judėjimo lauką, tačiau ginklo nuleidimas ribojamas ties 42°. Treniruotėm per mažas ginklo nuleidimo langas įtakos neturės, nes šaudyklose tokių stačių nuolydžių nebūna.

2.4 Teoriniai skaičiavimai

Pagrindiniai atatranks skaičiavimo principai remiasi trečiuoju Niutono dėsnio ir judesio impulso išsaugojimo dėsnio. Degančių dujų slėgio jėga F_a yra randama [30]:

$$F_a = \frac{m_K v_K^2}{2s_V} \quad (17)$$

čia m_K – kulkos masė;

v_K – kulkos greitis palikus vamzdį;

s_V – ginklo vamzdžio ilgis.

Pirminė atatranka tai jėga veikianti ginklą, tokia pati jėga priešinga kryptimi veikia kulka [37].

Remiantis linijinio momento teorema:

$$m_K v_K - m_G v_G = 0 \quad (18)$$

čia m_G – ginklo masė;

v_G – ginklo atatranks greitis.

$$v_G = \frac{m_K v_K}{m_g} = \frac{0,0098 \cdot 840}{11,6} = 0,7097 \text{ m/s} \quad (19)$$

Kulkos kinetinė energija randama:

$$E_K = \frac{1}{2} m_K v_K^2 = \frac{1}{2} 0,0098 \cdot 840^2 = 3457,44 \text{ J} \quad (20)$$

Atatranka veikianti ginklą randama:

$$F_K = \frac{E_K}{s} = \frac{3457,44}{0,546} = 6332,31 \text{ N} \quad (21)$$

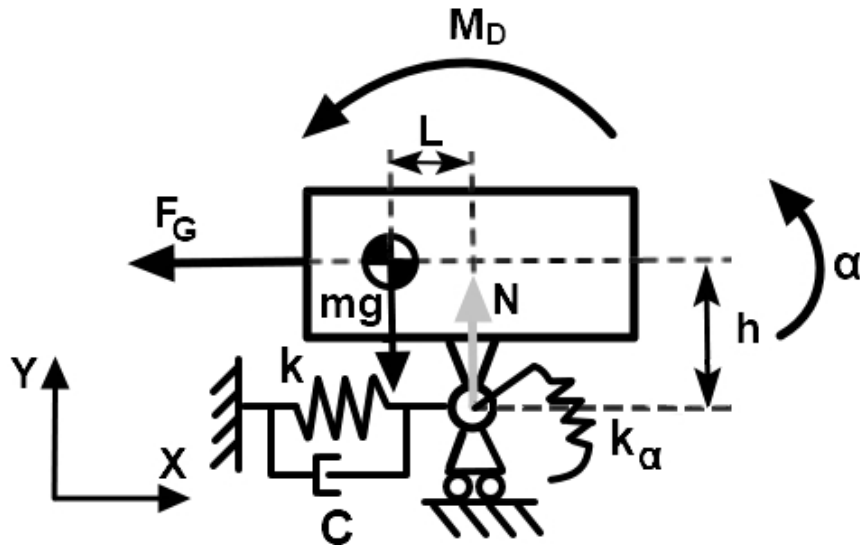
čia s – vamzdžio ilgis.

Ginklo atatranka randama:

$$F_G = \frac{m_G \cdot v_G}{t} = \frac{11,6 \cdot 0,7097}{0,04} = 205,81 \text{ N} \quad (22)$$

čia t – atatrankos veikimo laikas.

Antrinė atatranka atsiranda dujoms paliekant vamzdį, jos greitai išsiskirsto ir žymios įtakos ginklo judėjimui neturi, todėl toliau ji nebus vertinama. Skaičiuojama ir eksperimentinė atatrankos vertė nėra vienodos, dėl aukšto slėgio dujų nuotėkio, kuris atsiranda dėl vamzdžio susidėvėjimo, tačiau paklaida išlieka apytikriai pastovi viso tyrimo metu [37–39].



22 pav. Kulkosvaidžio dinaminis modelis

$$M_D = F_K \cdot e = 6332,31 \cdot 0,248 = 1570,41 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (23)$$

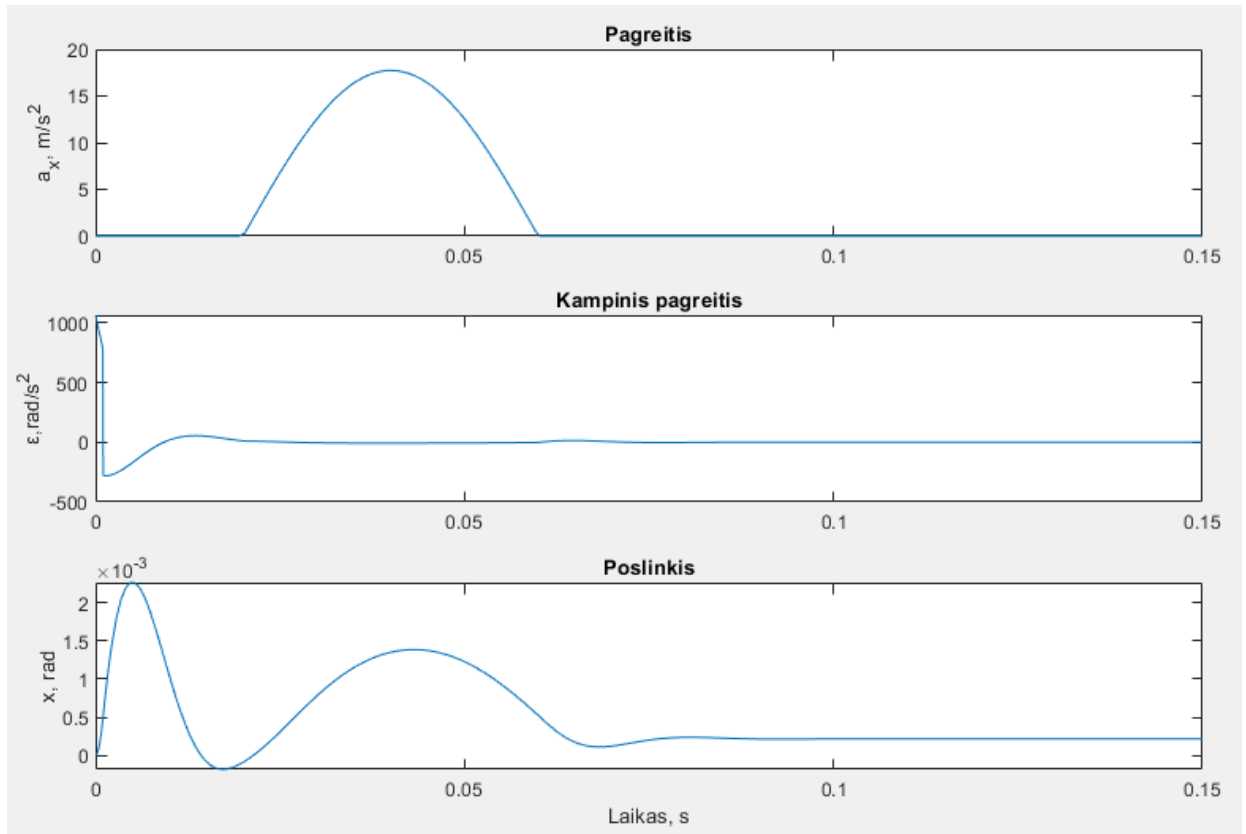
$$I\varepsilon = M_D + F_G \cdot h + mg \cdot L - k_\alpha \cdot \alpha - C \cdot \dot{\alpha} \quad (24)$$

$$ma_x = F_G - k \cdot x - C \cdot \dot{x} \quad (25)$$

čia e – atstumas tarp F_K ir F_G ;

x – poslinkis;

a_x – linijinis pagreitis;
 I – inercijos momentas;
 α – kampinis poslinkis;
 ε – kampinis pagreitis;
 k – standumo koeficientas (275 kNm/rad);
 k_α – susūkimo standumo koeficientas (125 kNm/rad);
 C – slopinimo koeficientas (400 Nms/rad).



23 pav. Matlab rezultatai

Teorinių skaičiavimų metu naudojamas matematinis modelis (22 pav.), vaizduojantis įtvirtintą kulkosvaidį, galintį judėti X ašyje ir sukis apie įtvirtinimo tašką. Šūvis nepadarо lafetui pastebimo efekto, todėl į matematinį modelį jis neįtraukiamas [40]. Kulkosvaidį veikia momentas M_D , atsirandantis dėl šovinio iniciavimo, ir atatrąkos jėga F_G . Inercijos momentas I randamas „Solidworks“ programoje sumodeliavus kulkosvaidį FN MAG KSP – 58. Lygtys vertinamos naudojantis „Matlab“ *ode45* funkcija (1 priedas). Randamas linijinis pagreitis, kampinis pagreitis ir poslinkis (23 pav.). Momentas M_D veikia pirmąją 0,001 s, kuriuo metu iškelia kampinį pagreitį iki jo didžiausios vertės 1064,92 rad/s². Dėl to poslinkis pasiekia maksimalų pasisukimą – $2,3 \cdot 10^{-3}$ rad. 0,02 s atsiradęs linijinis pagreitis x ašyje vėl iššaukia ginklo judėjimą ir nutolina sistemos nusistovėjimą iki 0,1 s. Ginklui sujudėjus virpesiai yra slopinami lafeto struktūros standumo k ir C . Po šūvio sistema grįžta į pradinę padėtį.

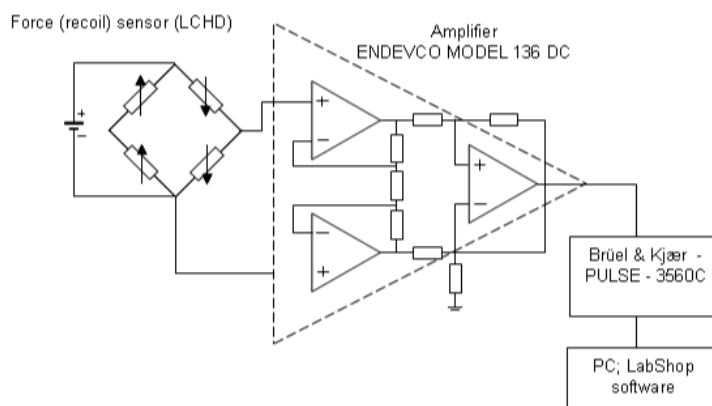
3. Praktinis modeliavimas ir eksperimentinis tyrimas

3.1 Eksperimentinio atatranks tyrimo įranga



24 pav. Tyrimo įranga (1 – kulkosvaidis FN MAG KSP – 58, 2 – lafetas, 3 – pjezoelektrinis sensorius, 4 – analizavimo blokas, 5 – stiprintuvas, 6 – ekranas.)

Ginklo atatrakai išmatuoti naudota pjezoelektrinis sensorius (3), „PULSE Type 3560“ analizavimo blokas (4) ir „ENDEVCO Model 136“ stiprintuvas (5) (24 pav.). Pjezoelektrinis jutiklis veikia tiesioginiu pjezoefektu. Jutiklis, veikiamas mechaninių apkrovų, sudaro elektrinę krūvį [41]. Jutiklis tvirtinamas ant ginklo (1) buožės ir yra remiamas į šaulio petį. Atliekant šūvį judantys ginklo komponentai ir pats ginklas spaudžia sensorių, kuris sukuria elektrinę signalą atitinkantį matuojamą jėgą. Stiprintuve sustiprintas signalas nukeliauja į analizavimo bloką, kuriame analizuojamos vibracijos pateikiamos ekrane (6) (25 pav.). Jėgos ir laiko grafikas gaunamas fiksuojant signalą kas $61,1 \cdot 10^{-6}$ s.



25 pav. Tyrimo stendo veikimo schema

3.2 Kulkosvaidžio FN MAG KSP – 58 atatranks tyrimas



26 pav. Tyrimo įranga (1 – kulkosvaidis FN MAG KSP – 58, 2 – lafetas, 3 – pjezoelektrinis sensorius, 4 – akselerometras.)

Eksperimento metu buvo šaudoma kulkosvaidžiu FN MAG KSP – 58 (1) naudojant imitacinius šovinius, laikant ginklą ant žemės ir ant lafeto (2), pavieniais šūviais ir papliūpomis. Tyrimo metu naudoti dviejų rūšių imitaciniai šoviniai, vieni metalinėse tūtelėse, kiti plastikinėse. Abiejų rūšių šoviniuose parako užtaisas vienodas. Ant ginklo buožės pritvirtintas pjezoelektrinis jutiklis (3) šūvio metu fiksavo generuojamą jėgą. Ant lafeto alkūnės uždėtas akselerometras (4) fiksavo alkūnės judėjimą ir virpesius (26 pav.). Kulkosvaidis FN MAG – KSP 58 veikia atviros spynos principu, tai reiškia, kad nuspaudus nuleistuką atitraukta spyna paleidžiama judėti į priekį spyruoklės pagalba. Judėdama į priekį spyna paima šovinį, jį įstumia į šovinio lizdą ir iššauna. Po šūvio spyna pradeda judėti atgal grįžtančių dujų pagalba. Eksperimento metu gauti impulsai ir jėgos apskaičiuojami šiomis formulėmis [42]:

$$S = \Sigma F \cdot \Delta t \quad (27)$$

čia S – impulsas

ΣF – visų jėgos reikšmių veikiančių impulso metu suma;

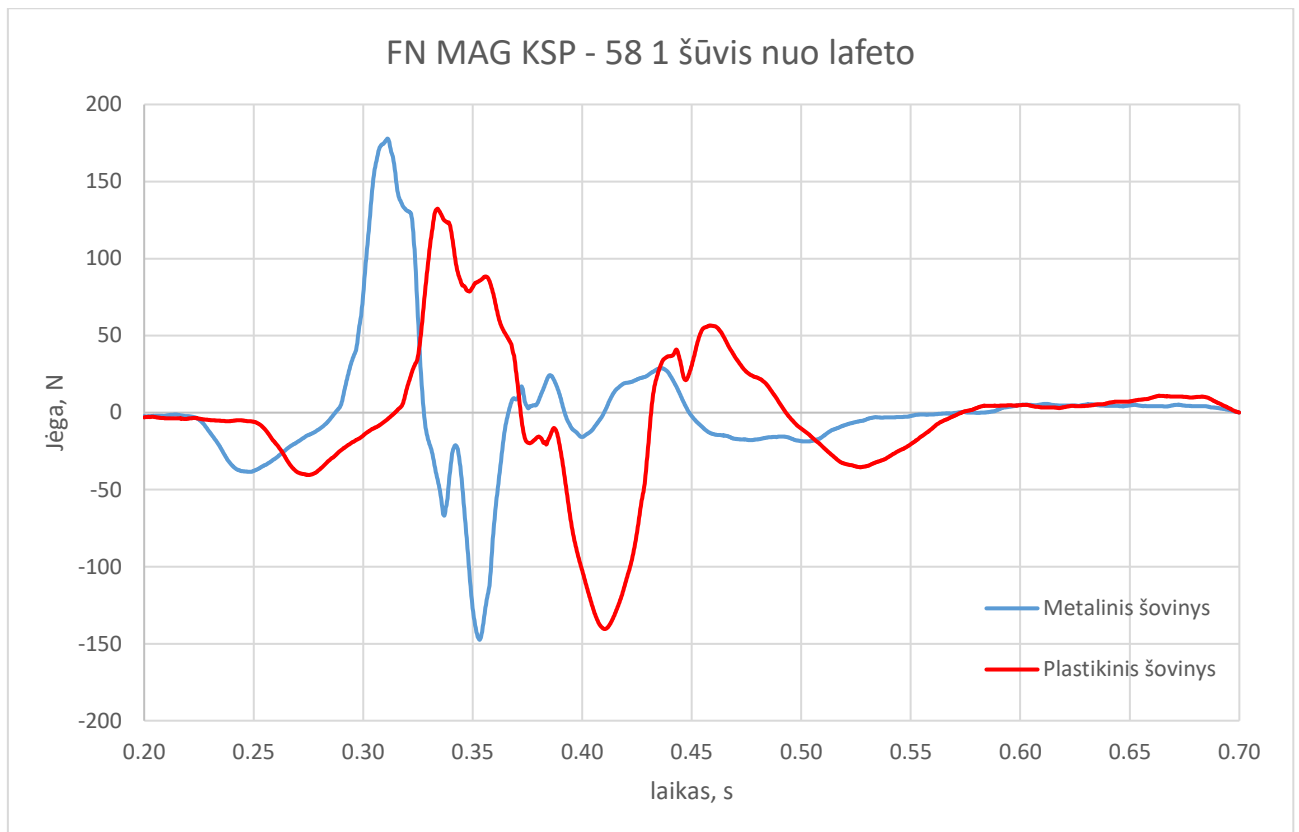
Δt – diskretinė laiko vertė ($61,1 \cdot 10^{-6}$ s)

$$F = \frac{p}{t} \quad (28)$$

čia F – jėga;

p – judesio kiekis;

t – laikas



27 pav. FN MAG KSP – 58 vieno šūvio nuo lafeto atatrunkos rezultatai

Atliktas pavienis šūvis šaunant nuo lafeto (27 pav.). Gautame grafike matomas jėgos šuolis ir impulso veikimo trukmė. Didžiausia grafiko vertė pasiekama, kai spyna pasiekia savo galutinį tašką ir trenkiasi į buožę. Iš kart po to spyna juda atgal į priekinę padėtį, jai atsitrenkus į ginklo priekinę sienelę gaunama didžiausia neigiama jėgos reikšmė. Likę virpesiai atsiranda nuo lengvų ginklo ir šaulio judesių, kuriuos fiksuoja pjezoelektrinis sensorius. Remiantis grafiku atlikus skaičiavimus gaunama:

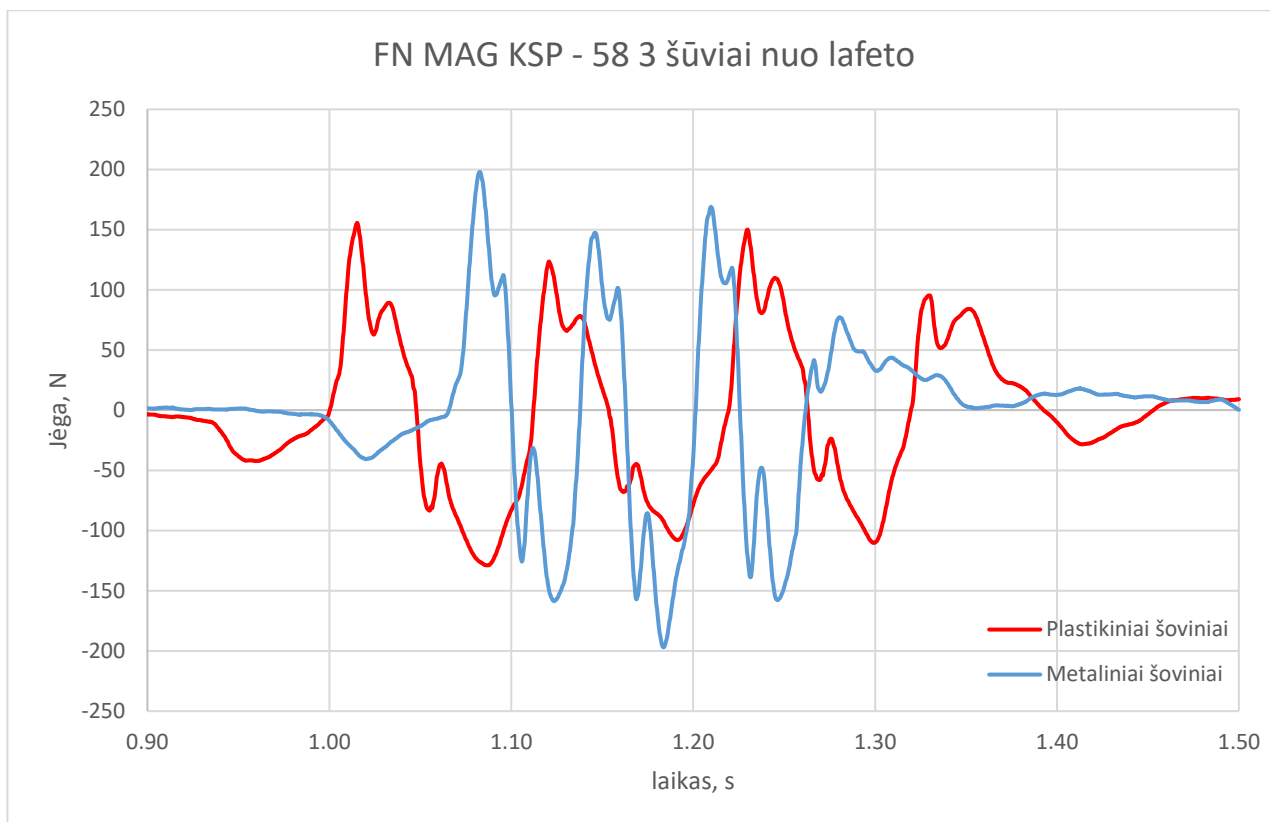
$$S_{Metalinis} = 1,24 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$F_{Metalinis} = 31 \text{ N}$$

$$S_{Plastikinis} = 1,26 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$F_{Plastikinis} = 22,11 \text{ N}$$

Metalinio šovinio didžiausia jėga pasiekia 177,93 N, plastikinio šovinio didžiausia jėga pasiekia 132,38 N. Plastikinis šovinis mažesne jėga pajudina kulkosvaidžio spyną, todėl ji lėčiau įveikia savo trajektoriją. Dėl to gaunamas ženkliai didesnis laiko tarpas nuo šovinio iniciavimo iki spynos eigos pabaigos.



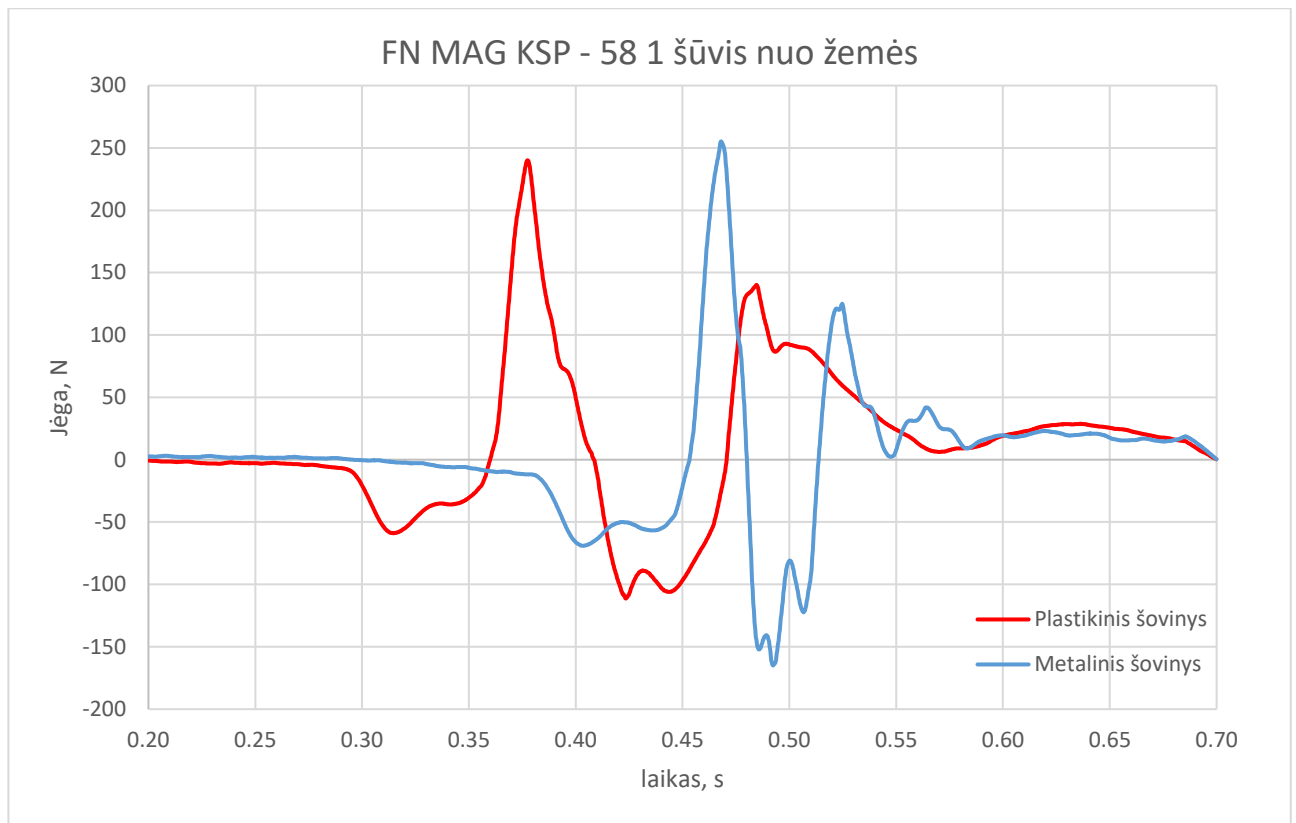
28 pav. FN MAG KSP – 58 trijų šūvių papliūpos nuo lafeto atatrunkos rezultatai

Atlikta trijų šūvių papliūpa šaudant nuo lafeto (28 pav.). Gautame grafike matomi visų šūvių jėgų šuoliai ir impulsų veikimo trukmės. Kiekvieno šūvio didžiausia grafiko vertė pasiekama, kai spyna pasiekia savo galutinį tašką ir trenkiasi į buožę. Iškart po to spyna juda atgal į priekinę padėtį paimdama naują šovinį, jį įstumia į šovinio lizdą ir išsauna. Prieš naują šūvį pasiekama didžiausia neigiama jėgos reikšmė. Atlikus 3 šūvius grafike matomi virpesiai atsiranda nuo lengvų ginklo ir šaulio judesių, kuriuos fiksuoja pjezoelektrinis sensorius. Remiantis grafiku atliekami skaičiavimai kiekvieno šūvio duomenims gauti (1 lent.).

1 lentelė. 3 šūvių papliūpos nuo lafeto atatrunkos skaičiavimo rezultatai

S ₁ Metalinis, N·s	1,07	S ₁ Plastikinis, N·s	1,09
S ₂ Metalinis, N·s	0,73	S ₂ Plastikinis, N·s	0,84
S ₃ Metalinis, N·s	0,84	S ₃ Plastikinis, N·s	1,13
F ₁ Metalinis, N	31,47	F ₁ Plastikinis, N	22,71
F ₂ Metalinis, N	29,2	F ₂ Plastikinis, N	20,49
F ₃ Metalinis, N	35	F ₃ Plastikinis, N	26,28

Metaliniai šoviniai generuoja didesnę jėgą, dėl to jų pajudinta spyna greičiau įveikia savo trajektoriją ir atlieka kitą šūvį. Tarpai tarp šūvių šaudant metaliniais šovniais yra 0,06 s. Tarpai tarp šūvių šaudant plastikiniais šovniais yra 0,11 s. Šaudant metaliniais imitaciniais šovniais pasiekama beveik dvigubai greitesnė greitošauda.



29 pav. FN MAG KSP – 58 vieno šūvio nuo žemės atatrunkos rezultatai

Atliktas pavienis šūvis šaunant nuo lafeto (29 pav.). Gautame grafike matomas jėgos šuolis ir impulso veikimo trukmė. Didžiausia grafiko vertė pasiekama, kai spyna pasiekia savo galutinį tašką ir trenkiasi į buožę. Iš kart po to spyna juda atgal į priekinę padėtį, jai atsitrenkus į ginklo priekinę sienelę gaunama didžiausia neigiama jėgos reikšmė. Likę virpesiai atsiranda nuo lengvų ginklo ir šaulio judesių, kuriuos fiksuoja pjezoelektrinis sensorius. Remiantis grafiku atlikus skaičiavimus gaunama:

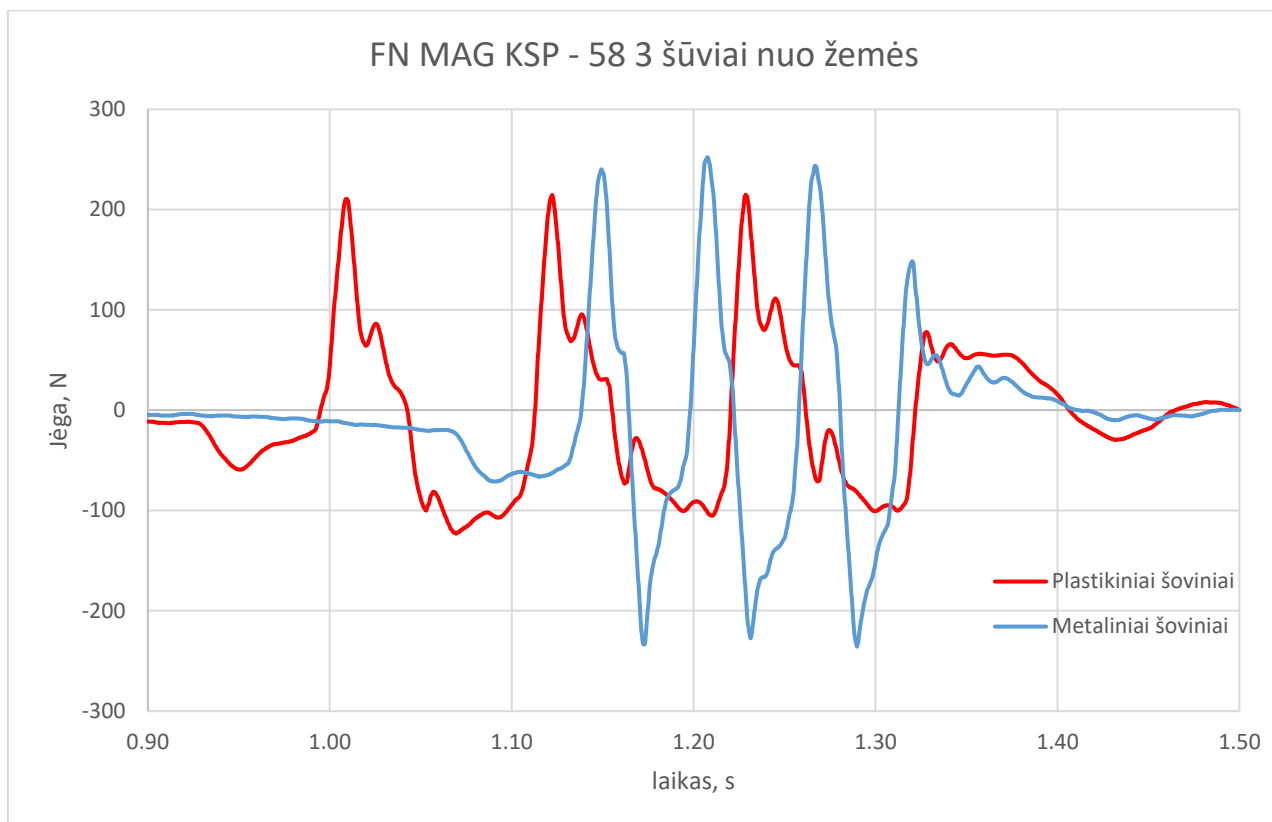
$$S_{Metalinis} = 1,20 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$F_{Metalinis} = 44,44 \text{ N}$$

$$S_{Plastikinis} = 1,60 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$F_{Plastikinis} = 33,33 \text{ N}$$

Metalinio šovinio didžiausia jėga pasiekia 255,23 N, plastikinio šovinio didžiausia jėga pasiekia 240,08 N. Plastikinis šovinis mažesne jėga pajudina kulkosvaidžio spyną, todėl ji lėčiau įveikia savo trajektoriją. Dėl to gaunamas ženkliai didesnis laiko tarpas nuo šovinio iniciavimo iki spynos eigos pabaigos.



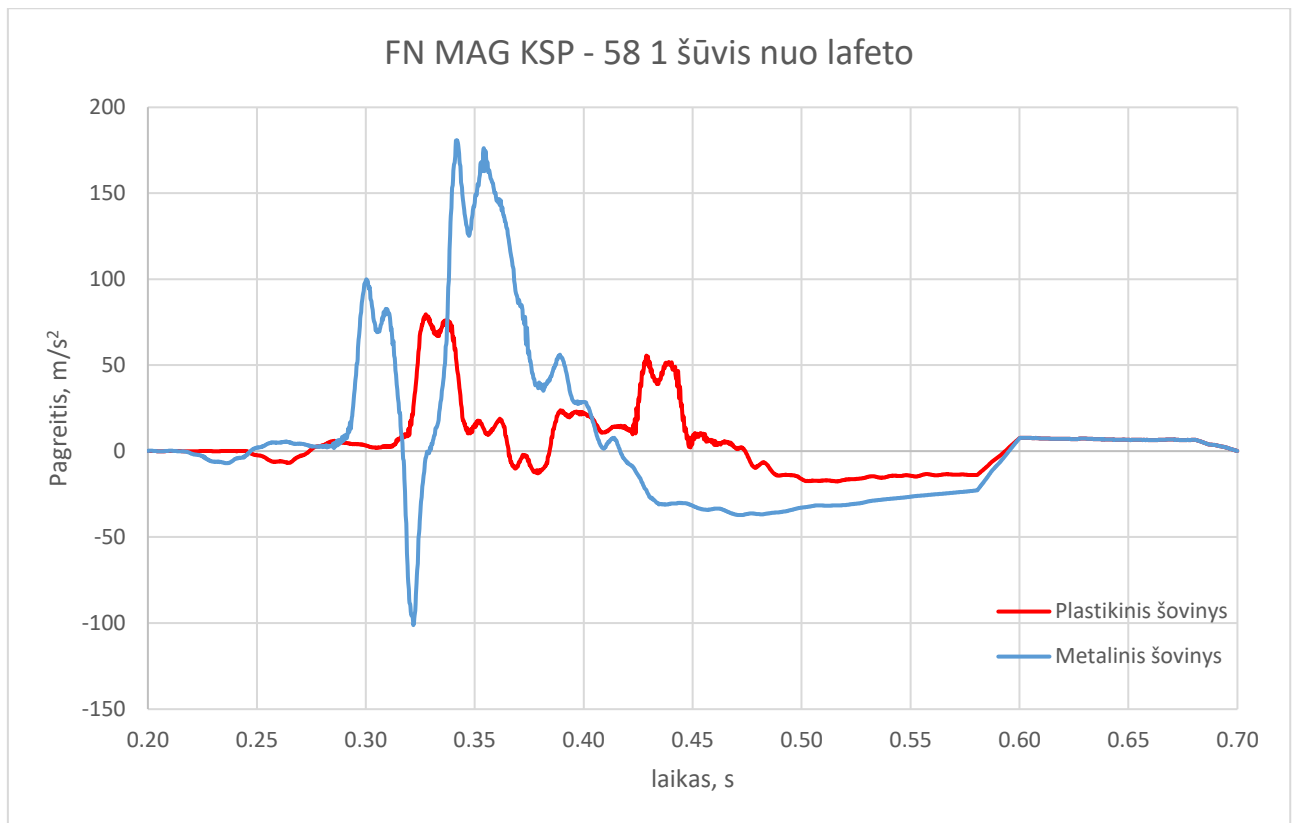
30 pav. FN MAG KSP – 58 trijų šūvių papliūpos nuo žemės atatrunkos rezultatai

Atlikta trijų šūvių papliūpa šaudant nuo lafeto (30 pav.). Gautame grafike matomi visų šūvių jėgų šuoliai ir impulsų veikimo trukmės. Kiekvieno šūvio didžiausia grafiko vertė pasiekama kai spyna pasiekia savo galutinį tašką ir trenkiasi į buožę. Iškart po to spyna juda atgal į priekinę padėtį paimdama naują šovinį, jį įstumia į šovinio lizdą ir išsauna. Prieš naują šūvį pasiekama didžiausia neigiama jėgos reikšmė. Atlikus 3 šūvius grafike matomi virpesiai atsiranda nuo lengvų ginklo ir šaulio judesių, kuriuos fiksuoja pjezoelektrinis sensorius. Remiantis grafiku atliekami skaičiavimai kiekvieno šūvio duomenims gauti (2 lent.).

2 lentelė. 3 šūvių papliūpos ginklą laikant ant žemės atatrunkos skaičiavimo rezultatai

S ₁ Metalinis, N·s	0,99	S ₁ Plastikinis, N·s	1,20
S ₂ Metalinis, N·s	1	S ₂ Plastikinis, N·s	1.20
S ₃ Metalinis, N·s	1	S ₃ Plastikinis, N·s	1,25
F ₁ Metalinis, N	38,08	F ₁ Plastikinis, N	25
F ₂ Metalinis, N	41,67	F ₂ Plastikinis, N	28.57
F ₃ Metalinis, N	43,48	F ₃ Plastikinis, N	30.49

Metaliniai šoviniai generuoja didesnę jėgą, dėl to jų pajudinta spyna greičiau įveikia savo trajektoriją ir atlieka kitą šūvį. Tarpai tarp šūvių šaudant metaliniais šoviniais yra 0,06 s. Tarpai tarp šūvių šaudant plastikiniais šoviniais yra 0,11 s. Šaudant metaliniais imitaciniais šoviniais pasiekama beveik dvigubai greitesnė greitošauda.



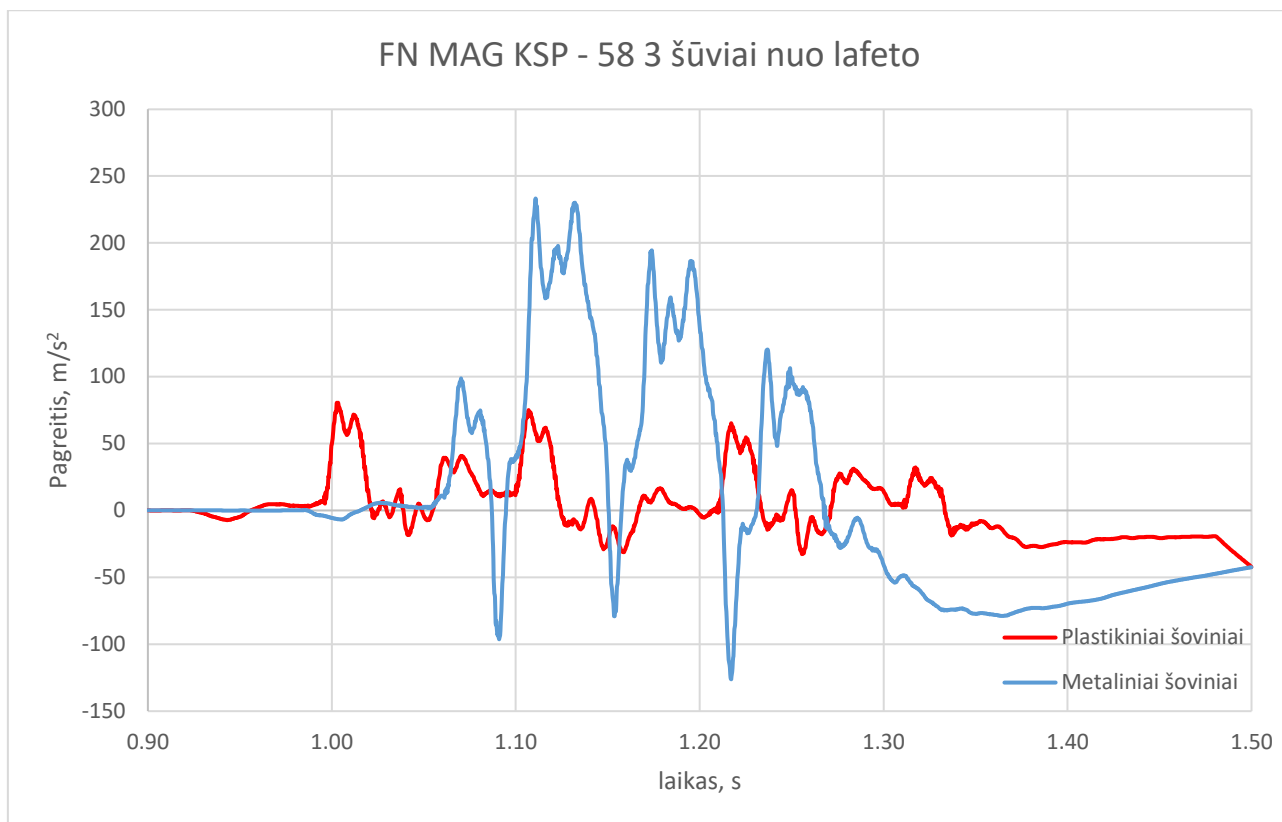
31 pav. FN MAG KSP – 58 vieno šūvio nuo lafeto pagreičio rezultatai

Atlikti pavieniai šūviai šaunant nuo lafeto (31 pav.). Gautame grafike matomas lafeto alkūnės pagreičio kitimas. Pagreičio grafikas yra atvirkščias atatrunkos grafikui, teigiama pagreičio vertė gaunama ginklui judant nuo šaulio, neigiama vertė gaunama ginklui judant į šaulį. Didžiausią neigiamą vertę pagreitis pasiekia po to, kai ginklo spyna judėdama atgal atsitrenkia į buožę. Didžiausią teigiamą vertę pagreitis pasiekia po to, kai spyna pasiekia savo pradinę padėtį ir atsimuša į priekinę sienelę. Pirmasis pagreičio šuolis prieš šūvi atsiranda, nes šaudymo metu kulkosvaidžio spyna pradeda galinėje padėtyje ir judėdama į priekį paima šovinį, kurį iškart iššauna. Likę virpesiai atsiranda nuo lengvų ginklo ir šaulio judesių, kuriuos fiksuoja akselerometras. Remiantis grafiku atlikus skaičiavimus gaunama:

$$a_{Metalinis} = 2,01 \text{ m/s}^2$$

$$a_{Plastikinis} = 0,55 \text{ m/s}^2$$

Metalinis šovinis išvysto didžiausią pagreitį $180,6 \text{ m/s}^2$. Plastikinis šovinis išvysto didžiausią pagreitį $79,58 \text{ m/s}^2$. Dėl mažesnės generuojamos jėgos ir pagreičio plastikinis imitacinis šovinis leidžia atlikti stabilesnius šūvius.



32 pav. FN MAG KSP – 58 trijų šūvių papliūpos nuo lafeto pagreičio rezultatai

Atliktos trijų šūvių papliūpos šaudant nuo lafeto (32 pav.). Gautame grafike matomas lafeto alkūnės pagreičio kitimas. Pagreičio grafikas yra atvirkščias atatrunkos grafikui, teigiama pagreičio vertė gaunama ginklui judant nuo šaulio, neigiama vertė gaunama ginklui judant į šaulį. Didžiausią neigiamą vertę pagreitis pasiekia po to, kai ginklo spyna judėdama atgal atsitrenkia į buožę. Didžiausią teigiamą vertę pagreitis pasiekia po to, kai spyna pasiekia savo pradinę padėtį ir atsimuša į priekinę sienelę. Pirmasis pagreičio šuolis prieš šūvi atsiranda, nes šaudymo metu kulkosvaidžio spyna pradeda galinėje padėtyje ir judėdama į priekį paima šovinį, kurį iškart iššauna. Likę virpesiai atsiranda nuo lengvų ginklo ir šaulio judesių, kuriuos fiksuoja akselerometras. Remiantis grafiku atlikus skaičiavimus gaunama:

3 lentelė. 3 šūvių papliūpos ginklų laikant ant lafeto pagreičio skaičiavimo rezultatai

a_1 Metalinis, m/s^2	2,48	a_1 Plastikinis, m/s^2	0,40
a_2 Metalinis, m/s^2	1,90	a_2 Plastikinis, m/s^2	0,36
a_3 Metalinis, m/s^2	0,82	a_3 Plastikinis, m/s^2	0,29

Plastikiniai šoviniai generuoja mažesnę jėgą ir pagreitį, todėl spyna juda lėčiau ir silpniau trenkiasi į buožę. Dėl šios priežasties šaudant plastikiniais imitaciniais šoviniais greitošauda yra mažesnė nei metaliniais. Grafike taip pat matoma didesnis pagreitis ginklui judant nuo šaulio nei į šaulį, taip yra todėl, kad spyna didesne jėga trenkiasi į priekinę ginklo sienelę nei į buožę.

Apibendrinimas:

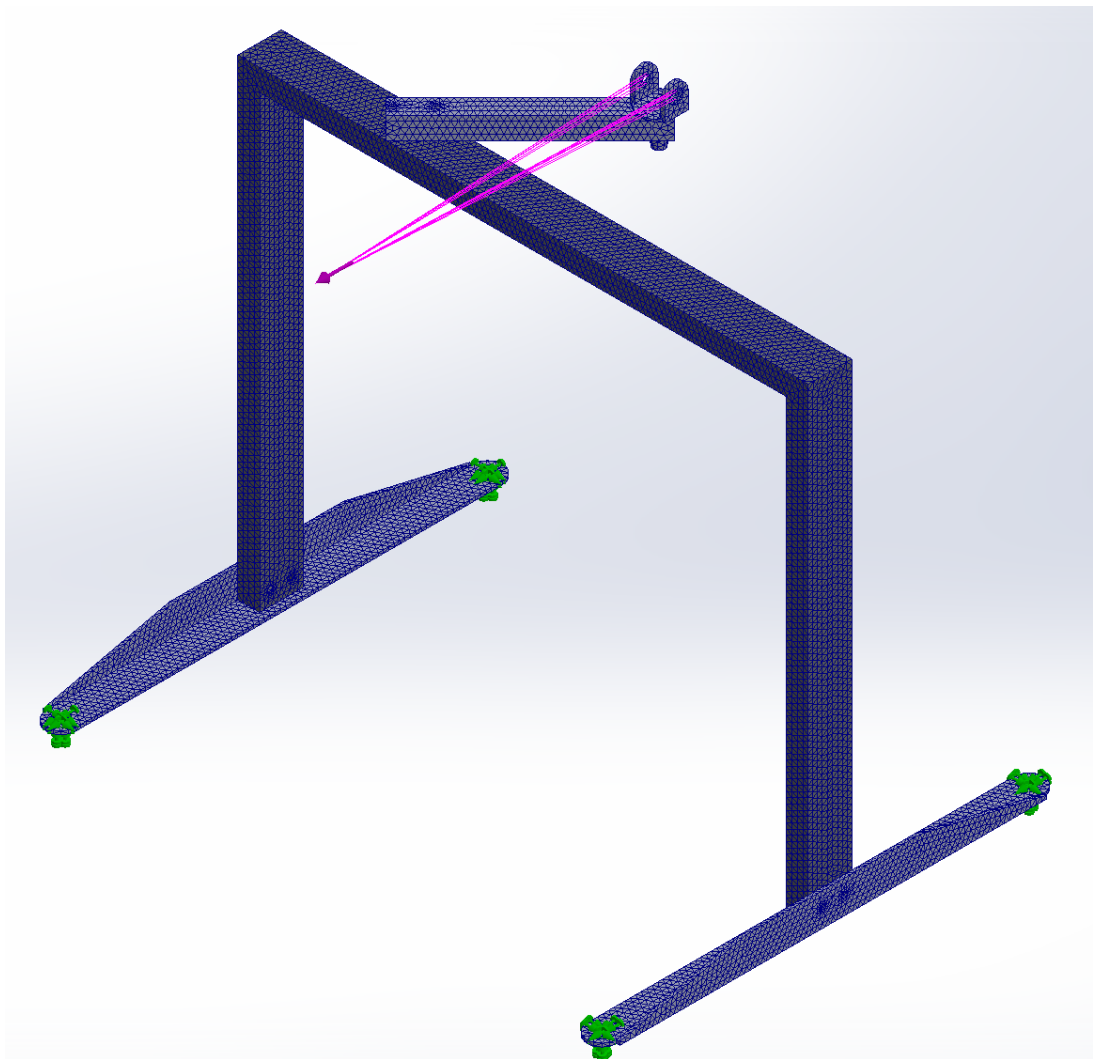
4 lentelė. Atatranks tyrimo rezultatai

Matavimas	Vidutinė juntamoji atatranka F, N	Vidutinis impulsas S, N·s
Vienas šūvis nuo lafeto (metalinis šoviny)	31	1,24
Vienas šūvis nuo lafeto (plastikinis šoviny)	22,11	1,26
Vienas šūvis nuo žemės (metalinis šoviny)	44,44	1,20
Vienas šūvis nuo žemės (plastikinis šoviny)	33,33	1,60
Trys šūviai nuo lafeto (metalinis šoviny)	31,89	0,88
Trys šūviai nuo lafeto (plastikinis šoviny)	23,16	1,02
Trys šūviai nuo žemės (metalinis šoviny)	41,08	1
Trys šūviai nuo žemės (metalinis šoviny)	28,02	1,22

Išanalizavus eksperimento metu gautus duomenis nustatyta, jog šaudant nuo lafeto šaulį veikia mažesnė atatranks jėga nei šaudant ginklą laikant ant žemės. Juntamosios atatranks skirtumas naudojant metalinius imitacinius šovinius yra 13,44 N atliekant pavienius šūvius ir 9,19 N išvedus trijų šūvių papliūpos aritmetinį vidurkį. Naudojant plastikinius imitacinius šovinius atatranks skirtumas yra 11,22 N atliekant pavienius šūvius ir 4,86 N išvedus trijų šūvių papliūpos aritmetinį vidurkį (4 lent.). Plastikiniai imitaciniai šoviniai generuoja mažesnę jėgą, todėl spyna juda lėčiau ir sumažėja greitošauda lyginant su metaliniais imitaciniais šoviniais. Šaudant papliūpomis pastebima kiekvieno šūvio didžiausios jėgos vertės padidėjimas (30 pav.) ir pagreičio sumažėjimas (32 pav.), tam daro įtaką tvirtesnis buožės įspaudimas į šaulio petį. Ginklas mažiau juda ir dėl šios priežasties pjezoelektrinis sensorius su kiekvienu šūviu gauna vis didesnę apkrovą, o akcelerometras vis mažiau juda. Papliūpos pagreičio matavimo metu nustatyta, jog plastikiniai imitaciniai šoviniai kelia mažesnę ginklo judėjimą. Tai reiškia, jog šaudant ginklas stovi stabiliau.

3.3 Lafeto stipruminė analizė

Remiantis eksperimentiniu tyrimu „Solidworks“ programa atliekama lafeto stipruminė analizė. Analizė atliekama tiriant pilnai surinktą lafetą. Lafetas standžiai įtvirtinamas į žemę kaiščių kiaurymių vietose. Ginklo laikiklio kaiščio tvirtinimo kiaurymėse uždedama apkrova, atitinkanti didžiausią šūvio atatranks jėgą matuotoje vietoje (33 pav.). Tyrimui parenkamas tinklėlis, kurio didžiausias leistinas elemento dydis 10 mm, o mažiausias leistinas elemento dydis 0,87 mm. Minimalus apskritimu išsidėsčiusių elementų skaičius 8. Lafetas yra veikiamas impulso viena kryptimi, o ne pastovia statine apkrova. Poveikiui lafeto struktūrai nustatyti atliekamas ciklinių apkrovų nuovargio tyrimas, pasirinkus *zero based* sąlygą, atliekant 1 000 000 ciklų.



33 pav. Lafeto analizės kraštinės sąlygos

Lafetui pagaminti ir virtualiam tyrimui atlikti naudotos medžiagos duomenys:

S355 plienas [43]:

Tamprumo modulis: 210 GPa ;

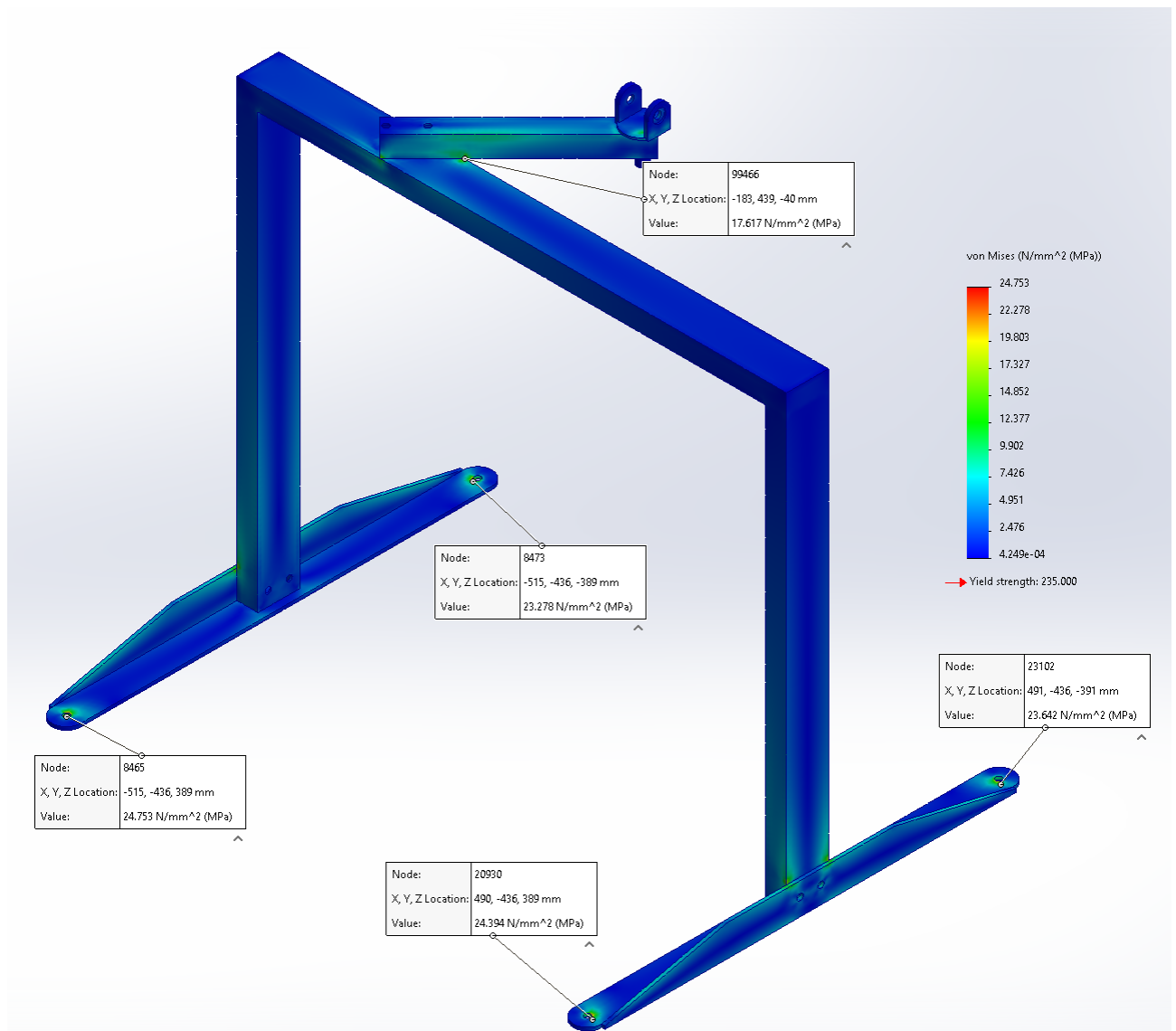
Puasono koeficientas: 0,3;

Šlyties modulis: 81 GPa;

Tankis: 7850 kg/m³;

Tempimo stiprumas: 500 MPa;

Takumo stiprumas: 355 MPa.



34 pav. Lafetą veikiantys įtempiai

Didžiausi įtempiai, iki 24,753 MPa, susidaro smeigių tvirtinimo kiaurymėse (34 pav.). Likusi lafeto struktūra tokių didelių įtempių nepatiria. Alkūnės ir stovo susilietimo vietoje įtempiai siekia iki 17,617 MPa. Šie įtempiai nesiekia pavojingo dydžio. Likusioje struktūroje streso taškai nesusidaro, todėl lafeto struktūra nepatiria žalos ir deformacijų. Virtualus nuovargio tyrimas atliktas vertinant jėgą veikiančią vieną kryptimi. Apkrovai suveikus 1 000 000 ciklų nustatyta, jog kulkosvaidžio FN MAG KSP – 58 atatranks jėga lafetui nesukelia pažeidimų ir deformacijų.

Apibendrinimas:

Tiriamas lafetas yra tinkamas montuoti vidutinį kulkosvaidį FN MAG KSP – 58 ar jį atitinkantį mokomąjį treniruoklį. Lafetas, pagamintas iš S355 plieno, yra ilgaamžis. Jį veikiančios atatranks jėgos nesudaro pavojingų įtempių ir streso taškų, nesukelia deformacijų ir pažeidimų.

Išvados

1. Sraigtasparnio durų šauliai ginkluoti vidutiniais arba sunkiaisiais kulkosvaidžiais. Ginkluotė dedama ant lafetų ir laikiklių sraigtasparnio šonuose ir gale. Durų šauliai šūvius atlieka iš sėdimos arba stovimos padėties, priklausomai nuo lafeto konstrukcijos. Lafetas leidžia ginklą sukroti ir lankstyti beveik 180° lauku sraigtasparnio saugai ir taikinių pasirinkimo laisvei užtikrinti. Nustatyti konstrukciniai ir funkciniai reikalavimai durų šaulių rengimo treniruokliui
2. Atlikus vidutinio kulkosvaidžio FN MAG KSP – 58 atatranks tyrimą naudojant imitacinius šovinius šaudant nuo lafeto ir ginklą laikant ant žemės gautos jėgos ir laiko diagramos. Atlikti skaičiavimai remiantis gautais duomenimis parodė, jog šūvis ginklą laikant ant žemės sukelia $1,20 \text{ N}\cdot\text{s}$ impulsą, kuris trunka $0,027 \text{ s}$ ir perduoda $44,44 \text{ N}$ juntamą atatrangą, o šūvis nuo lafeto sukelia $1,24 \text{ N}\cdot\text{s}$ impulsą, kuris trunka $0,04 \text{ s}$ ir perduoda 31 N juntamą atatrangą.
3. Teorinių skaičiavimų metu nustatyta, jog šaudamas ginklas generuoja momentą $M_D = 1570,41 \text{ Nm}$ ir atatranks jėgą $F_G = 205,81$. Veikiami šių jėgų, kampinis pagreitis pasiekia $1064,92 \text{ rad/s}^2$, o poslinkis pasiekia $2,3 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$. Judančio ginklo virpesiai, slopinami lafeto struktūros standumo, nusistovi ir grįžta į pradinę padėtį per $0,1 \text{ s}$.
4. Treniruoklio lafetas suprojektuotas remiantis „UH – 60 Blackhawk“ sraigtasparnio parametrais. Tai yra $1,05 \text{ m}$ ilgio, $0,875 \text{ m}$ aukščio stovas ant kurio sumontuota 45° kampu į priekį atsikišusi $0,375 \text{ m}$ ilgio alkūnė ant kurios dedamas kulkosvaidžio laikiklis. Lafetas išsiardo atskiromis dalimis siekiant palengvinti transportavimą.
5. Virtualaus tyrimo metu nustatyta, jog šaudant FN MAG KSP – 58 kulkosvaidžiu dėl atatranks jėgos didžiausi įtempiai, iki $24,753 \text{ MPa}$, susidaro smeigių tvirtinimo kiaurymėse, tačiau šie įtempiai nėra pavojingi ir nesudaro pažeidimų ir liekamųjų deformacijų. Kitose struktūros dalyse streso taškai nesusidaro, atlikus $1\,000\,000$ šūvių struktūra nepatyrė pažeidimų ir liekamųjų deformacijų.

Literatūros sąrašas

1. FEDARAVIČIUS, Algimantas, PILKAUSKAS, Kęstutis, SLIZYS, Egidijus and SURVILA, Arvydas. Research and development of training pistols for laser shooting simulation system /. Defence technology. 2020. Vol. 16, no. 3, p. 530–534. DOI 10.1016/j.dt.2019.06.018.
2. (PDF) Experimental Measurement of Rifle Dynamics During the Range Shooting of Biathlon Weapons. ResearchGate [online]. 22 October 2024. [Accessed 27 March 2025]. DOI 10.1016/j.proeng.2015.07.261. Available from: https://www.researchgate.net/publication/282556539_Experimental_Measurement_of_Rifle_Dynamics_During_the_Range_Shooting_of_Biathlon_Weapons
3. HALL, Matthew J. Measuring felt recoil of sporting arms. International Journal of Impact Engineering. 1 June 2008. Vol. 35, no. 6, p. 540–548. DOI 10.1016/j.ijimpeng.2007.03.007.
4. SZMIT, Ł and WOŹNIAK, R. Specificity of Design and Action of the Weapon's Jump and Recoil Laboratory Test Stand. Problemy Mechatroniki: uzbrojenie, lotnictwo, inżynieria bezpieczeństwa. 2012. Vol. Vol. 3, Nr 3 (9), p. 29–39.
5. BROWN, Melissa Jean. The Effect of acute exercise-induced fatigue on pistol shooting performance in police officers. [online]. [Accessed 12 March 2025]. DOI 10.34917/2429997. Available from: <https://digitalscholarship.unlv.edu/thesesdissertations/1038>
6. Gunnery Training System (GTS) | ACME Worldwide. [online]. [Accessed 10 March 2025]. Available from: <https://www.acme-worldwide.com/gunnery-training-system-gts/>
7. Michigan Soldier invents Black Hawk door-gunnery simulator. National Guard [online]. [Accessed 27 March 2025]. Available from: <https://www.nationalguard.mil/News/Article/2179205/michigan-soldier-invents-black-hawk-door-gunnery-simulator/https%3A%2F%2Fwww.nationalguard.mil%2FNews%2FArticle-View%2FArticle%2F2179205%2Fmichigan-soldier-invents-black-hawk-door-gunnery-simulator%2F>
8. “That others may live”: Gunners vital to rescue mission. [online]. 11 August 2011. [Accessed 11 May 2023]. Available from: <https://www.moody.af.mil/News/Features/Display/Article/212470/that-others-may-live-gunners-vital-to-rescue-mission/https%3A%2F%2Fwww.moody.af.mil%2FNews%2FFeatures%2FDisplay%2FArticle%2F212470%2Fthat-others-may-live-gunners-vital-to-rescue-mission%2F>
9. HAWK, Black. RUGGED, VERSATILE & ALWAYS MISSION READY. .
10. Combat Mission Equipment for Black Hawks. Skycore Aviation [online]. [Accessed 27 February 2025]. Available from: <https://www.skycoreaviation.com/blog/combat-mission-equipment-for-black-hawks>
11. HELFRICH, Emma. Check Out The New Twin M240 Door Guns For HH-60 Rescue Helicopters. The War Zone [online]. 23 November 2022. [Accessed 27 February 2025]. Available from: <https://www.twz.com/twin-machine-gun-configuration-developed-for-hh-60-helicopter-doors>
12. 7.62mm FN MAG General Purpose Machine Gun, 1980 (c) | Online Collection | National Army Museum, London. [online]. [Accessed 1 May 2025]. Available from: <https://collection.nam.ac.uk/detail.php?acc=1984-06-139-1>

13. MEDIA, Fresh. Kulkosvaidis FN MAG | Lietuvos kariuomenė. Kulkosvaidis FN MAG | Lietuvos kariuomenė [online]. [Accessed 28 February 2025]. Available from: <https://www.kariuomene.lt/ginkluote/kulkosvaidziai/kulkosvaidis-fn-mag/22848>
14. Fabrique Nationale FN MAG General Purpose Machine Gun (GPMG). [online]. [Accessed 28 February 2025]. Available from: https://www.militaryfactory.com/smallarms/detail.php?smallarms_id=121
15. tc3_22x240.pdf [online]. [Accessed 24 March 2025]. Available from: https://rdl.train.army.mil/catalog-ws/view/100.ATSC/D3E3917D-68D2-47D2-A0DD-F423C9F5338F-1493731899844/tc3_22x240.pdf
16. (PDF) Dynamics of automatic weapon mounted on the tripod. ResearchGate [online]. [Accessed 25 March 2025]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/228899302_Dynamics_of_automatic_weapon_mounted_on_the_tripod
17. SHINSEKI, Eric and HUDSON, Joel. Operator's Manual for UH-60A Helicopter, UH-60L Helicopter, EH-60A Helicopter. .
18. M60 Machine Gun. [online]. [Accessed 24 March 2025]. Available from: <https://www.huey.co.uk/m60.php>
19. DA-complete-catalog.pdf [online]. [Accessed 24 March 2025]. Available from: <https://dillonaero.com/wp-content/uploads/2018/05/DA-complete-catalog.pdf>
20. ACME GAR® Patent | ACME Worldwide. [online]. [Accessed 3 January 2024]. Available from: <https://www.acme-worldwide.com/products/gun-active-recoil-systems/acme-gar-patent/>
21. GURULE, Randall S., SUTTON, Douglas D., MAESTAS, E. Victor, AGNEW, Peter, HASTEY, Matthew and SKELTON, Michael T. Apparatus and method for a weapon simulator [online]. US8690575B1. 8 April 2014. [Accessed 3 January 2024]. Available from: <https://patents.google.com/patent/US8690575/enUS12611420>
22. ACME M240 Machine Gun | ACME Worldwide. [online]. [Accessed 10 March 2025]. Available from: <https://www.acme-worldwide.com/acme-m240-machine-gun/>
23. FEDARAVIČIUS, Algimantas, SURVILA, Arvydas, PATAŠIENĖ, Laima and SLIŽYS, Egidijus. Design, research and practical implementation of the laser shooting simulation system for 5.56 mm G-36, 7.62 mm FN MAG and 84 mm Carl Gustaf. Problemy mechatroniki: uzbrojenie, lotnictwo, inżynieria bezpieczeństwa. 2016. Vol. 7, no. 2, p. 7–17. DOI 10.5604/20815891.1203113.
24. LUKÁČ, Tomáš, VÍTEK, Roman, DUC, L. and HORÁK, Vladimír. EXPERIMENTAL MECHANICAL DEVICE FOR RECOIL SIMULATION. SCIENTIFIC RESEARCH AND EDUCATION IN THE AIR FORCE. 24 June 2016. Vol. 18, p. 337–344. DOI 10.19062/2247-3173.2016.18.1.46.
25. KARI, Aleksandar, JOVANOVIĆ, Dušan, JERKOVIĆ, Damir and HRISTOV, Nebojša. Stress Analysis of Integrated 12.7 mm Machine Gun Mount. Scientific Technical Review. 1 January 2016. Vol. 66, p. 47–51. DOI 10.5937/STR1604047K.
26. ONGARO, F., ROBBE, C., PAPY, A., STIRBU, B. and CHABOTIER, A. Modelling of internal ballistics of gun systems: A review. Defence Technology. 1 November 2024. Vol. 41, p. 35–58. DOI 10.1016/j.dt.2024.05.004.
27. SUN, Huai-Ku, CHEN, Cun-Gin and WANG, Hue-Poe. Dynamic Analysis of Rigid-Body Mechanisms Mounted on Flexible Support Structures — Spatial Case. . 2007.

28. LIU, Hengsha, HE, Long and XU, Cheng. Experimental study on continuous firing vibration response of the typical machine guns under different ground conditions. *Journal of Vibroengineering*. 15 August 2023. Vol. 25, no. 5, p. 825–843. DOI 10.21595/jve.2023.22834.
29. Optimal Structural Modifications of a Gun Tripod for Desired Natural Frequencies. [online]. [Accessed 26 March 2025]. Available from: <https://journal.bit.edu.cn/jbit/article/id/20040111>
30. FEDARAVIČIUS, A., JONEVIČIUS, V., SURVILA, A. and PINCEVIČIUS, A. Dynamics study of the carrier HMMWV M1151. *Journal of Vibroengineering*. 30 September 2013. Vol. 15, no. 3, p. 1619–1626.
31. KALISZUK, Joanna and WASZCZYSZYN, Zenon. Reliability Analysis of Structures by Neural Network Supported Monte Carlo Methods. In : RUTKOWSKI, Leszek and KACPRZYK, Janusz (eds.), *Neural Networks and Soft Computing*. Heidelberg : Physica-Verlag HD, 2003. p. 754–759. ISBN 978-3-7908-1902-1.
32. (PDF) Reliability Methods for Finite Element Models. ResearchGate [online]. [Accessed 28 March 2025]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/27341385_Reliability_Methods_for_Finite_Element_Models
33. What is Finite Element Analysis (FEA)?. [online]. [Accessed 7 April 2023]. Available from: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/finite-element-analysis.aspx>
34. BARAUSKAS, Rimantas-. *Skaitiniai inžinerijos metodai: vadovėlis* / Rimantas Barauskas ; Kauno technologijos universitetas. Kaunas : Vitae Litera, 2007. ISBN 978-9955-686-40-8. D198376
35. LAUREL, Capitol Technology University 11301 Springfield Road and MD 20708 800.950.1992. What is SOLIDWORKS?. [online]. [Accessed 7 April 2023]. Available from: <https://www.captechu.edu/blog/solidworks-mechatronics-design-and-engineering-program>
36. <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA409934.pdf>. [online]. [Accessed 24 March 2025]. Available from: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA409934.pdf>
37. Dynamics of Automatic Firing System Type Gas-Operated Weapon. ResearchGate [online]. 12 December 2024. [Accessed 27 March 2025]. DOI 10.5604/01.3001.0054.1645. Available from: https://www.researchgate.net/publication/376982769_Dynamics_of_Automatic_Firing_System_Type_Gas-Operated_Weapon
38. JEDLIČKA, Luděk, BEER, Stanislav and VÍDENKA, Miroslav. Modelling of pressure gradient in the space behind the projectile. In : *Department of weapons and ammunition - University of Defence*, Czech Republic. 22 November 2008.
39. Study on method to determine the life of testing gun that fires 7.62x25mm ammunition - *Advanced Engineering Letters*. [online]. 30 June 2023. [Accessed 27 March 2025]. Available from: <http://www.adeletters.com/no-2-1-2023/>
40. JONEVIČIUS, Vaclovas, LIPINSKIS, Tadas, SKRICKIJ, Viktor and PINCEVIČIUS, Albertas. Investigation of recoil force influence on dynamic parameters of carrier M113. *Journal of Vibroengineering*. 15 August 2016. Vol. 18, no. 5, p. 3205–3212. DOI 10.21595/jve.2016.17396.
41. PLESKAS, Stanislovas. *MECHATRONIKOS KOMPONENTAI*. .
42. PALIŪNAS, Vytautas-. *Teorinė mechanika: [vadovėlis]* / Vytautas Paliūnas. Vilnius : Žuvėdra, 1997. ISBN 978-9986-500-22-3. D184739, 531

43. TEAM, EurocodeApplied. Table of material properties for structural steel S235, S275, S355, S420. EurocodeApplied.com [online]. [Accessed 30 April 2025]. Available from: <https://eurocodeapplied.com/design/en1993/steel-design-properties>

Priedai

1 priedas. Matlab kodas

```
m = 11.6; %kg
g = 9.81; %m/s^2
I = 1.5; %kg*m^2
h = 0.68; %m
L = 0.237; %m
k = 275000; %Nm/rad
ka = 125000; %Nm/rad
C = 400; %Nms/rad
MD_peak = 1570.41; %Nm
FG_peak = 205.81; %N

%laikas
tspan = [0 0.15];

y0 = [0; 0; 0; 0];

%ODE
[t, y] = ode45(@(t, y) systemODE(t, y, m, g, I, h, L, k, ka, C, MD_peak, FG_peak), tspan, y0);

x = y(:,1);
dx = y(:,2);
alpha = y(:,3);
dalpha = y(:,4);

%pagreiciai
ddx = zeros(size(t));
ddalpha = zeros(size(t));
for i = 1:length(t)
    dydt = systemODE(t(i), y(i,:)', m, g, I, h, L, k, ka, C, MD_peak, FG_peak);
    ddx(i) = dydt(2);
    ddalpha(i) = dydt(4);
end

figure;
subplot(3,1,1); plot(t, ddx); title('Pagreitis'); ylabel('a_x, m/s^2');
subplot(3,1,2); plot(t, ddalpha); title('Kampinis pagreitis'); ylabel('?, rad/s^2');
subplot(3,1,3); plot(t, alpha); title('Poslinkis'); ylabel('x, rad'); xlabel('Laikas, s');

% ODE 2
function dydt = systemODE(t, y, m, g, I, h, L, k, ka, C, MD_peak, FG_peak)
    x = y(1);
```

```

dx = y(2);
alpha = y(3);
dalpha = y(4);

% jega-laikas
if t >= 0.02 && t <= 0.06
    FG = FG_peak * sin(pi * (t - 0.02) / 0.04);
else
    FG = 0;
end

% momentas-laikas
if t <= 0.001
    MD = MD_peak;
else
    MD = 0;
end

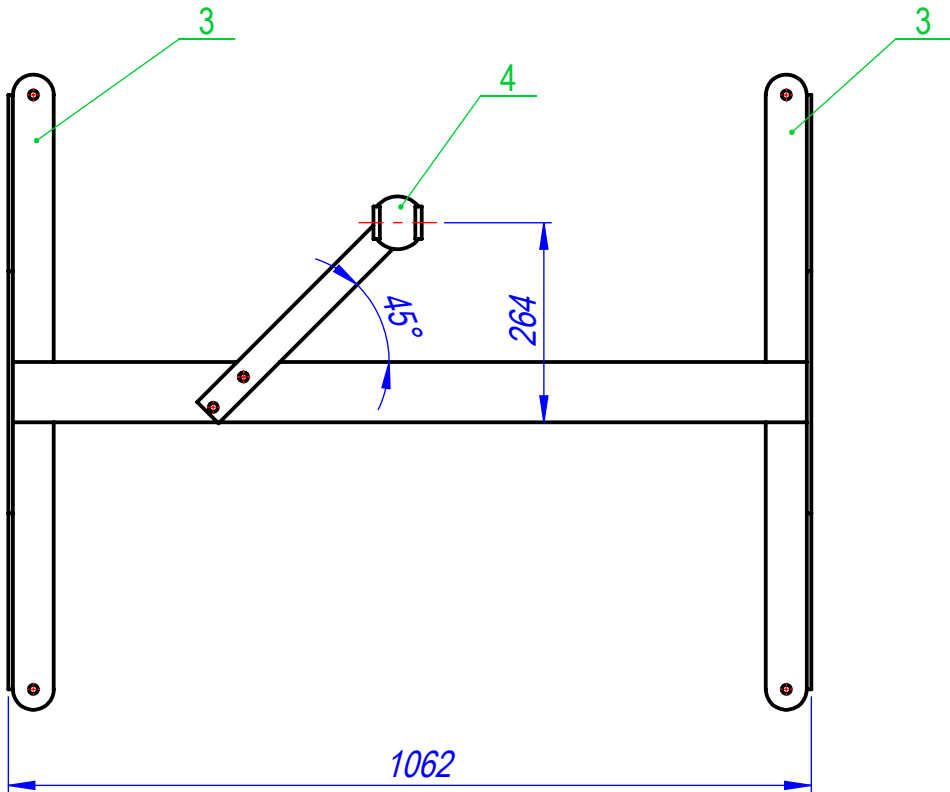
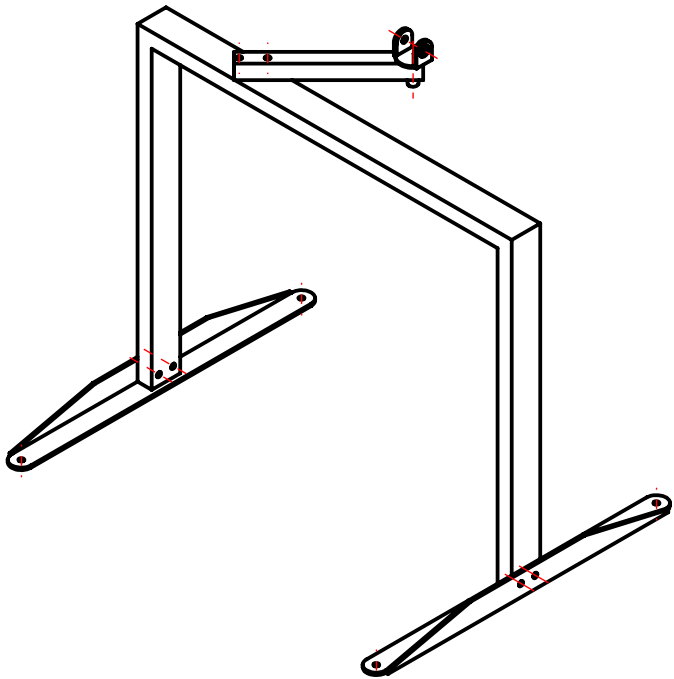
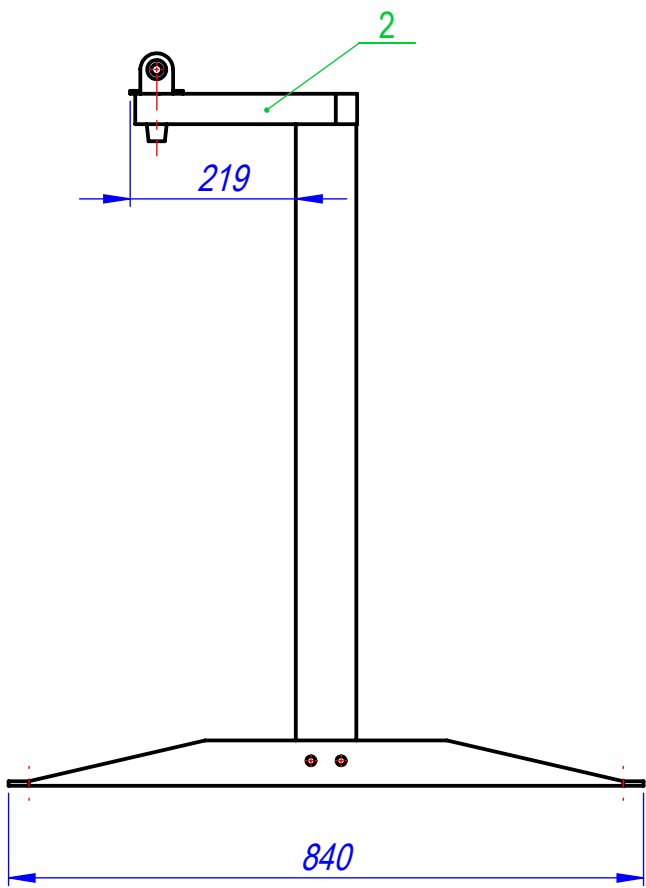
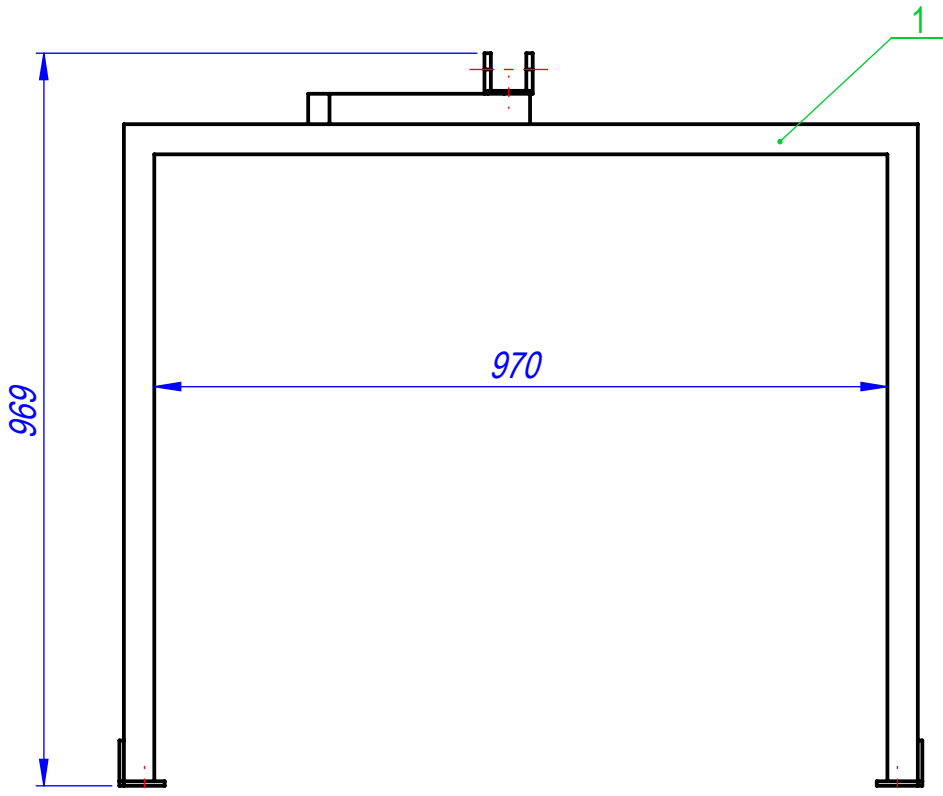
% pagreitis
ddx = (FG) / m;

% sukimas
ddalpha = (MD + FG * h + m * g * L - ka * alpha - C * dalpha) / I;

dydt = [dx; ddx; dalpha; ddalpha];
end

```

POZICIJA	PAVADINIMAS	PASTABOS	KIEKIS
1	Stovas		1
2	Alkunė		1
3	Platforma		2
4	Laikiklis		1



1. Nenurodytos matmenų, padėties ir formos nuokrypos pagal LST EN 22768-mK.
2. Nenurodyti suapvalinimo spinduliai R=1.0 mm.

	Bylos Nr.	Papildoma informacija	Medžiaga <i>Plienas S355</i>	Mastelis <i>1:10</i>
Atsakinga žinyba MIDF	Konsultantas	Dokumento tipas <i>Bendro vaizdo brėžinys</i>	Dokumento statusas <i>Mokomasis</i>	
Savininkas 	Rengė <i>Arnas Latvėnas</i>	Antraštė <i>Lafetas</i>	<i>LF.00.00 BV</i>	
	Tvirtino		Laida <i>A</i>	Data <i>10/05/2025</i>
			Kalba <i>Lt</i>	Lapas <i>1/1</i>