

ŠOLSKI CENTER VELENJE
ELEKTRO IN RAČUNALNIŠKA ŠOLA
Trg mladosti 3, 3320 Velenje

MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ ŠALEŠKE DOLINE

RAZISKOVALNA NALOGA

MAGNETNA PUŠKA

Tematsko področje: ELEKTROTEHNIKA, ELEKTRONIKA IN ROBOTIKA

Avtorja:
Klemen Hleb 4. TN
Lovro Brdnik 4. TN

Mentor:
Matjaž Žerak, univ. dipl. inž.

Velenje, 2011

Naloga je bila opravljena v laboratorijih Elektro in računalniške šole na Medpodjetniškem izobraževalnem centru Velenje.

Mentor: Matjaž Žerak, univ. dipl. inž.

Datum predstavitve:

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Elektro in računalniška šola Velenje/2011
KG elektrotehnika/magnetika/magnetna puška
AV BRDNIK Lovro / HLEB Klemen
SA ŽERAK, Matjaž ment.
KZ 3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3
ZA Šolski center Velenje, Elektro in računalniška šola
LI 2010
IN MAGNETNA PUŠKA.
TD RAZISKOVALNA NALOGA
OP VII, 36 s., 7 preg., 10 graf., 17 sl.,
IJ SL
JI sl/en

AI Z raziskavo so ugotavljali vpliv oblike tuljave na silo, ki deluje na izstrelek. Napravili so meritve pri različnih pozicijah izstrelka v tuljavi in ugotavljali kje je največja sila. Ugotavljali so pri kateri obliki tuljave, poziciji, obliki in velikosti izstrelka se pojavi največja sila. Rezultate so analizirali in obrazložili. Na podlagi dobljenih rezultatov so potrdili oz. zavrnili podane hipoteze in to obrazložili.

KEY WORD DOCUMENTATION

- ŠD Elektro in računalniška šola Velenje/2011
- KG electrotechnics/magnetics/magnet gun
- AV BRDNIK Lovro / HLEB Klemen
- SA ŽERAK, Matjaž ment.
- KZ 3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3
- ZA Šolski center Velenje, Elektro in računalniška šola
- LI 2010
- IN MAGNETIC GUN.
- TD RESEARCH WORK
- OP VII, 36 p., 7 tab., 10 graf., 17 pic.,
- IJ SL
- JI sl/en
- AI With this research they tried to discover the effect of the coil shape on the force acting on the projectile. Several measurements were made at different positions of the projectile to determine the position of the maximum acting force. They tried to discover in what shape of the coil, position, shape and size of the projectile the maximum force occurs. The results were analyzed and discussed. On the base of the obtained results the hypothesis has been approved or rejected. Everything has been explained.

KAZALO

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	II
KEY WORDS DOCUMENTATION.....	III
KAZALO.....	IV
KAZALO PREGLEDNIC.....	V
KAZALO SLIK.....	V
KAZALO SLIK.....	VI
KAZALO GRAFOV.....	VI
KAZALO PRILOG.....	VI
SEZNAM OKRAJŠAV.....	VI
1 UVOD.....	1
1.1 Hipoteze.....	1
2 PREGLED OBJAV.....	2
2.1 Osnove o magnetni puški.....	2
2.1.1 Kaj je to magnetna puška.....	2
2.1.2 Sestava.....	2
2.1.3 Delovanje magnetne puške.....	3
2.1.4 Feromagnetni materiali.....	4
2.1.5 Kje se uporablja!.....	4
2.1.6 Oblika izstrelka.....	4
3 MATERIAL IN METODE.....	5
3.1 Definicija našega pogleda na obliko tuljave.....	5
3.2 Osnovni model tuljave za izračun sil.....	6
3.3 Opis merilne metode.....	7
3.4 Opis programa.....	8
3.5 Opis merilnega postopka.....	9
3.5.1 Definicija materialov.....	9
3.5.2 Način risanja.....	9
3.5.3 Pričetek risanja problema.....	10
3.5.4 Definicija problema za program FEMM.....	10
3.5.5 Omejitve problema z pol-krožnico.....	11
3.5.6 Izračun števila trikotnikov v mreži.....	12
3.5.7 Izračun magnetnega polja.....	12

3.5.8	Pregled izračunanega magnetnega polja	13
3.5.9	Izračun sile na izstrelek	14
3.5.10	Kriteriji za izbiro med merilnima metodama	17
3.5.11	Ugotovitev	17
4	REZULTATI IN RAZPRAVA	18
4.1	Vpliv oblike tuljave na silo na izstrelek	18
4.2	Z tuljavo enako dolgo, kot je izstrelek, dosežemo največjo silo	22
4.3	Vpliv različnih dimenzij izstrelka na silo	24
4.4	Vpliv na silo pri različni dolžini izstrelka	24
4.5	Vpliv na silo pri različnem premeru izstrelka	27
5	ZAKLJUČEK	29
6	POVZETEK	30
7	ZAHVALA	31
8	PRILOGE	32
9	VIRI IN LITERATURA	36

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Definirane lastnosti uporabljene pri meritvah v programu FEMM.....	14
Preglednica 2 : Analiza odstopanja Stress Tensor	15
Preglednica 3 : Analiza odstopanja Lorentz.....	16
Preglednica 4 : Primerjava sil med dolgo in kratko tuljavo	20
Preglednica 5 : Primerjava sil enako dolge, krajše in daljše tuljave od izstrelka.....	23
Preglednica 6 : Primerjava različnih dolžin izstrelkov.....	25
Preglednica 7 : Primerjava različnega premera izstrelka	27

KAZALO SLIK

Slika 1 : Primer večstopenjske postavitve. Vir: http://brassbullet.org/	3
Slika 2 : Primer delovanja magnetne puške. Vir: http://www.coilgun.eclipse.co.uk/index.html	3
Slika 3 : Oblika izstrelka. Vir: http://www.coilgun.eclipse.co.uk/index.html	4
Slika 4 : Definicija glede na obliko tuljave	5
Slika 5: Kratka tuljava.....	6
Slika 6: Dolga tuljava	6
Slika 7: Model uporabljen za izračun sile na izstrelek	7
Slika 8 : Prikaz izrisa programa triangel	8
Slika 9 : Izris geometrije v programu FEMM	9
Slika 10 : Orodna vrstica v programu FEMM.....	10
Slika 11 : Prikaz razlike v velikosti trikotnikov pri dvojni meji	11

Slika 12 : Prikaz števila izrisanih trikotnikov in izgled trikotnikov.....	12
Slika 13 : Prikaz izrisanih silnic magnetnega polja.....	13
Slika 14 : Prikaz možnosti izbire različnih merilnih metod	14
Slika 15 : Daljša tuljava	22
Slika 16 : Enako dolga tuljava.....	22
Slika 17 : Krajša tuljava	22

KAZALO GRAFOV

Graf 1 : Analiza odstopanja Stress Tenzor.....	15
Graf 2 : Analiza odstopanja Lorentz	16
Graf 3 : Gibanje izstrelka skozi tuljavo.....	17
Graf 4 : Primerjava sile glede na obliko tuljave.....	18
Graf 5 : Energija dolge tuljave	19
Graf 6 : Energija kratke tuljve.....	19
Graf 7 : Primerjava sil med kratko in dolgo tuljavo.....	21
Graf 8 : Primerjava sil enako dolge, krajše in daljše tuljave od izstrelka	24
Graf 9 : Primerjava različnih dolžin izstrelkov	26
Graf 10 : Primerjava različnega premera izstrelka.....	28

KAZALO PRILOG

Priloga 1: Izdelava tuljavnika za magnetno puško.....	32
Priloga 2 : Končni izdelek.....	34
Priloga 3 : Avtorja Raziskovalne	35

SEZNAM OKRAJŠAV

Seznam okrajšav v tekstu

FEMM	Finite Element Method Magnetics (Metoda končnih elementov Magnetike)
RP	Robni pogoji

Seznam simbolov

C_0	konstanta za RP definirana z enačbo
μ_0	permeabilnost praznega prostora
C_1	konstanta za RP
V	napetost
H	magnetna poljska jakost
I	tok
B	gostota magnetnega pretoka

1 UVOD

Kaj bodo nasledniki zastarele tehnologije pušk, ki potrebujejo za delovanje eksplozivno snov? Kaj če bi lahko v prihodnosti uporabljali puške ali pištole na varen način z možnostjo nastavitve hitrosti projektila in s tem tudi same smrtonosnosti.

Magnetna puška deluje na principu tuljave navite okoli močne tanke cevi in za pogon projektila potrebuje smo tok in pravočasno prekinitev izvora toka.

Naša raziskava je začetek, ki je potreben za razvoj dobrega izdelka. Na podlagi naših raziskav se lahko razbere pravilna smer, ki je potrebna, da bo izdelek kot je npr. magnetna puška, dosegel glede na obliko, velikost ter praktičnost kar največjo možno uporabnost. Na podlagi teh ugotovitev smo pričeli raziskovati tuljavo, ki je bistvena za izdelavo kateregakoli kvalitetnega izdelka.

Raziskali smo kako vpliva oblika tuljave na silo, ki deluje na izstrelak. Hoteli smo doseči optimalno obliko, pri istem preseku po katerem teče tok oz. lastnostih tuljave kot so tok, ovoji, debelina žice, pri kateri bi dosegli najvišjo možno energijo, ki jo lahko tuljava odda izstrelku. Prav tako smo raziskali kako vpliva dolžina izstrelka na silo, ki jo tuljava proizvede na izstrelak. V raziskavi je obrazložena kolikšna energija se proizvede glede na silo in pot, ki jo izstrelak pridobi pri izstrelitvi.

Na podlagi raziskave se lahko izdelajo učinkovite tuljave, ki so lahko namenjene raznovrstnim tehnologijam in namenom.

1.1 Hipoteze

- Daljša je tuljava, večja je sila na izstrelak.
- Največjo silo ima tuljava, ki je enako dolga kot izstrelak.
- Daljši je izstrelak, večja sila deluje nanj.
- Večji je premer izstrelka, večja sila deluje nanj.

2 PREGLED OBJAV

2.1 Osnove o magnetni puški

2.1.1 Kaj je to magnetna puška

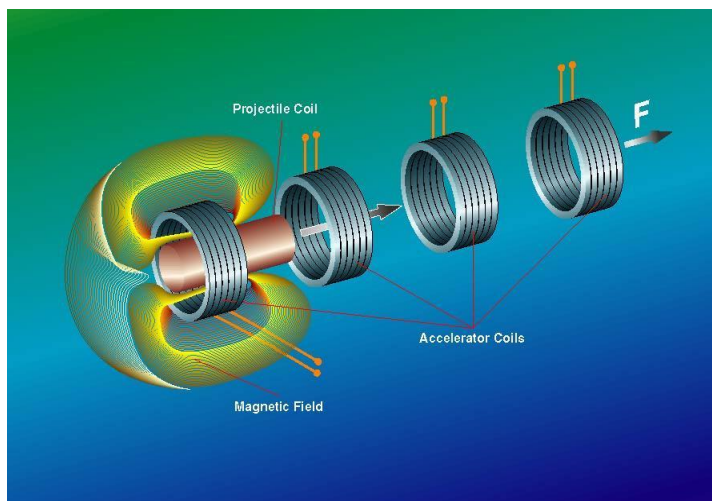
Magnetna puška je vrsta puške, ki za pospeševanje izstrelka uporablja elektromagnetno silo, ki pospeši izstrelak do visoke hitrosti. Sestavljena je iz ene ali več tuljav, ki so navite vzdolž cevi in se vklaplajo zaporedno tako, da zagotavljajo velike pospeške.

2.1.2 Sestava

Magnetna puška je sestavljena iz tuljave, ki je navita na cev v katero vstavimo feromagnetni izstrelak. Lahko je sestavljena iz ene tuljave ali pa več manjših, temu pravimo enostopenjska ali večstopenjska postavitev. Za napajanje lahko uporabimo vir napetosti iz omrežja, baterije ali visokonapetostne kondenzatorje.

Sestavni deli:

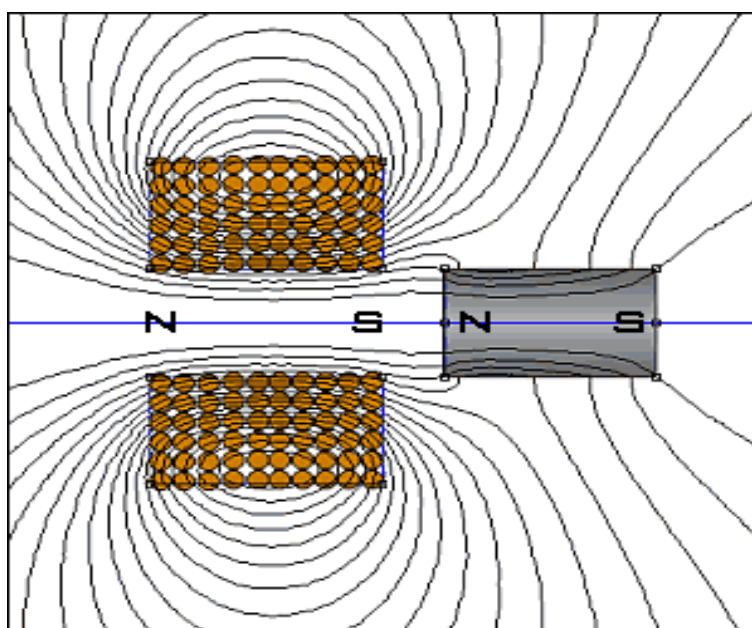
- **Cev**
Za glavno cev v katero vstavimo izstrelak se običajno izbere cev iz plastike. Lahko izberemo tudi kovinsko cev, vendar pa mora biti ali odprta ali pa lamelirana. Nikakor pa ne sme biti prevodna, da se izognemo vrtničnim tokovom. Stena cevi mora biti zelo tanka. Priporoča se okoli 1,5 mm. Vir: http://wiki.4hv.org/index.php/Coil_gun
- **Tuljava**
Tuljava je glavni del celotne puške saj s pomočjo tuljave izstrelimo izstrelak. Sestavljena je iz lakirane bakrene žice. Da tuljava ostane na svojem mestu poskrbi tuljavnik, ki je izdelan iz plastike ali drugih materialov, ki pa ne smejo biti magnetni.
- **Kondenzatorji**
Kondenzator je električna naprava, ki je v enosmernih tokokrogih, namenjena za shranjevanje energije. Kondenzator je ključnega pomena pri napajanju. Pri magnetni puški potrebujemo impulzno napajanje in ravno to lahko najlažje omogočimo s kondenzatorji. Izberemo kondenzator za 250 V + in pa da ima dovolj veliko kapacitivnost.
- **Senzorji ali stikala**
Za pravilno delovanje potrebujemo tudi senzorje, ki izklopijo napajanje tuljave, ko doseže izstrelak središče tuljave in pa vklopi naslednjo tuljavo, če imamo večstopenjsko postavitev.



Slika 1 : Primer večstopenjske postavitve. Vir: <http://brassbullet.org/>

2.1.3 Delovanje magnetne puške

Magnetna puška deluje na principu magnetnega polja. Tuljave napajamo impulzno in v trenutku vklopa skozi tuljavo steče velik tok, ki povzroči magnetno polje. Magnetno polje feromagnetni izstreljek pritegne do središča tuljave. Točno v središču tuljave, kjer je sila enaka 0 se tuljava izklopi in izstrelka ničesar ne zadržuje. Če je tuljava večstopenjsko postavljena, se pa v trenutku izklopa prve tuljave vklopi druga tuljava. Poznamo pa še drugi princip delovanja, kjer naenkrat vklopimo vse tuljave, ter te tuljave potem, postopoma izklapljammo ko izstreljek po vrsti zapušča tuljave in nato še cev. Vendar ta način ni priporočljiv, saj je tuljava, skozi katero nazadnje prileti izstreljek, najdlje izpostavljena velikemu toku in se posledično lahko poškoduje.



Slika 2 : Primer delovanja magnetne puške. Vir: <http://www.coilgun.eclipse.co.uk/index.html>

2.1.4 Feromagnetni materiali

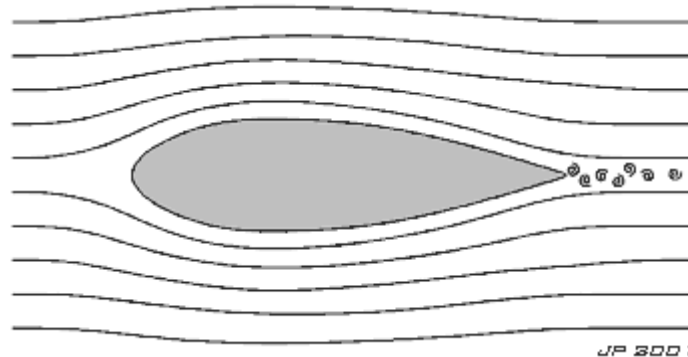
Verjetno najbolj znan feromagnetni material je železo, vendar obstajajo drugi elementi, kot so kobalt in nikelj, kot tudi številne zlitine, kot so jeklo, silicij. Vsak material ima določeno lastnost, ki je primerna za njegovo uporabo. Kaj so torej feromagnetni materiali? Feromagnetni materiali so tisti materiali na katere deluje sila v magnetnem polju.

2.1.5 Kje se uporablja!

Magnetna puška trenutno še nima svojega industrijskega namena. Prišli so pa na idejo, da bi jo lahko uporabljali za pošiljanje tovora v orbito. Vendar obstaja še kar nekaj vprašanj in težav, ki jih je potrebno razrešiti preden se bo ta projekt štel med izvedljive.

2.1.6 Oblika izstrelka

Izstrelak ali projektil ima toliko vpliva na uspešnost magnetne puške kot vsi ostali drugi sistemi, ki sestavljajo magnetno puško. Če želimo oblikovati dober izstrelak moramo gledati na zmanjšanje ali odpravo vrtničnih tokov. Poiskati moramo material z najboljšimi B od H lastnostmi. Prilagoditi moramo tudi površino izstrelka za najmanjše trenje in pa obliko za minimalni zračni upor. Primer enega najbolj racionalnih izstrelkov imamo spodaj na sliki:



Slika 3 : Oblika izstrelka. Vir: <http://www.coilgun.eclipse.co.uk/index.html>

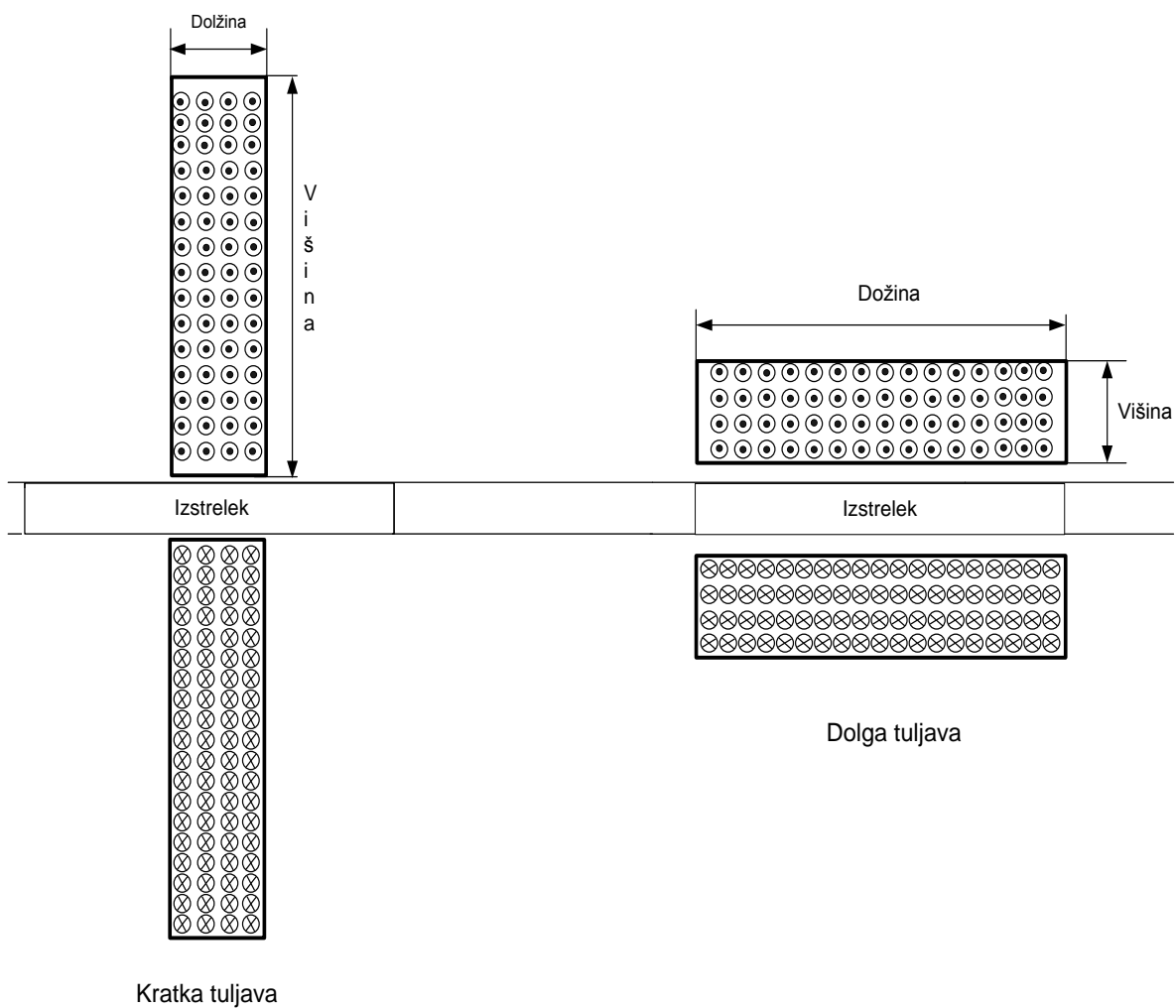
Ta izdelek zagotavlja minimalen zračni upor, vendar je pa zelo nestabilen v cevi in pri samem izstreljevanju. Posledično lahko hitro pride do tega, da ne potuje v liniji ki smo si jo zamislili.

3 MATERIAL IN METODE

3.1 Definicija našega pogleda na obliko tuljave

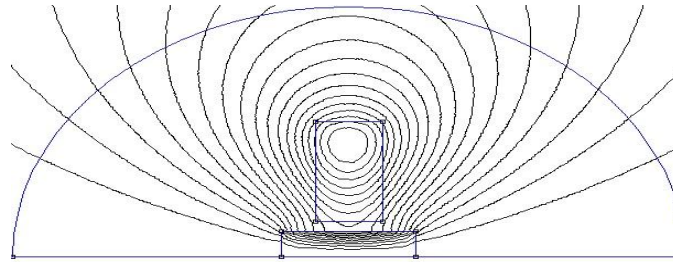
Kratka tuljava: Pod pojmom kratka tuljave je mišljena tuljava, ki ima višjo zunanjo steno, kot pa je njena dolžina.

Dolga tuljava: Dolga tuljave se razlikuje od kratke po tem, da ima večjo dolžino tuljave, kot pa višino zunanje stene.

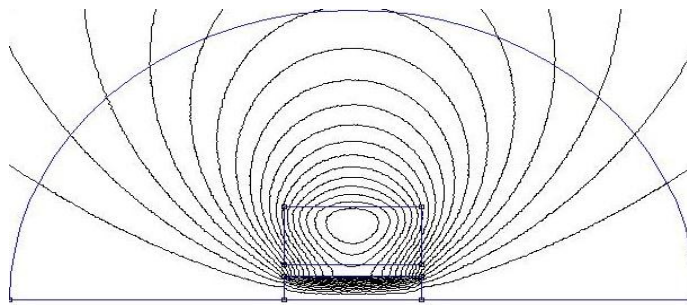


Slika 4 : Definicija glede na obliko tuljave

Primerjava med dolgo in kratko tuljavo:



Slika 5: Kratka tuljava

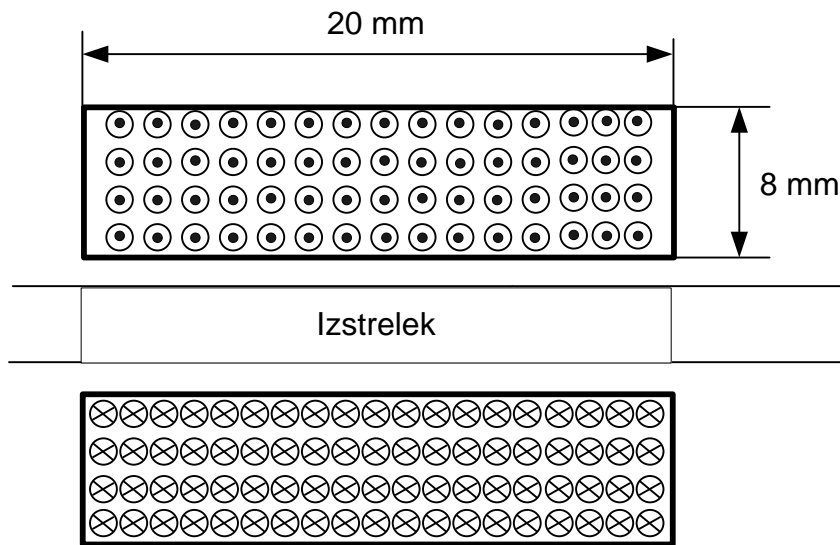


Slika 6: Dolga tuljava

Na zgornji sliki mam primer kratke tuljave, ki smo jo skrajšali na višino dolge tuljave in pa povišali na dolžino dolge tuljave 20 mm. Na spodnji sliki pa je primer dolge tuljave. Pri tej tuljavi pričakujemo tudi maksimalno silo zaradi svoje dolžine, pri pregledu izračunov bomo videli ali je temu res tako.

3.2 Osnovni model tuljave za izračun sil

Vse osnovne meritve, kot so primerjava dveh merilnih metod in ostalih meritev, kjer niso podane druge dimenzije se bodo izvajale na modelu dolge tuljave. Dolžina tuljave je 20 mm in pa višina 8 mm. Izstrek ima premer 8 mm, zračna reža med izstrelkom in tuljavo je pa 1 mm.



Dolga tuljava

Slika 7: Model uporabljen za izračun sile na izstrelek

3.3 Opis merilne metode

Za merilno metodo smo uporabili program FEMM, kateri nam je omogočal izračun različnih oblik tuljave, ki smo si jih zadali za izračun podatkov, s katerimi smo lahko kasneje določili našo izbiro optimalne tuljave.

Program je moč najti na svetovnem spletu in sicer na spletnem naslovu <http://www.femm.info/wiki/HomePage>. Program je brezplačen in je namenjen vsem, ki si želijo raziskovati v področju magnetizma, toka, elektrostatike, in toplotnega pretoka.

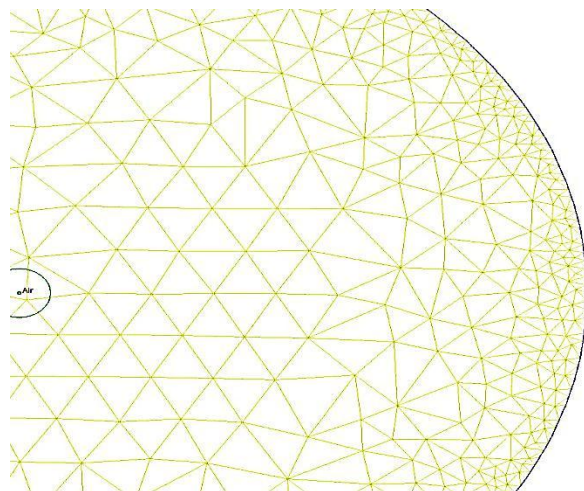
3.4 Opis programa

FEMM je zbirka programov za reševanje nizkofrekvenčnih dvodimenzionalnih ali osnosimetričnih problemov. Program trenutno obravnava linearne in nelinearne magnetno-statične probleme, linearne in nelinearne harmonične magnetne probleme, linearne elektrostatične probleme in v stanju ravnovesja problematiko toplotnega pretoka.

Program FEMM je razdeljen na tri dele:

- Interaktivna lupina (femm.exe). Ta program je Pred-procesni dejavnik z vmesnikom zmožnim procesiranja mnogih dokumentov in po-procesorski dejavnik, da je mogoče rešiti različne vrste težav s programom FEMM. Vsebuje vmesnik, ki je podoben tistemu znanega programa CAD, ki omogoča opredelitev geometrijskega problema, katerega želimo rešiti, in opredeliti lastnosti materialov ter robnih pogojev. Program je tudi zmožen uvoza datotek iz programa AutoCad, ki imajo končnico DXF. Datoteke se lahko uvozijo zaradi olajšanja naloge ponovnega izrisa in analize že obstoječih geometrijskih objektov. Polje rešitve se lahko prikažejo v obliki obrisa in gostote ploskev. Program prav tako omogoča uporabniku, da pregleda področje na poljubnih mestih, ter rešiti številne probleme z integrali, parcelami itd.

- Triangel (triangle.exe) razdeli površino oz. obseg danega problema v veliko število trikotnikov, katerim sami določimo število oz. gostoto postavitve, kar je pomemben del procesa izračuna problema. Ta program je napisal Jonathan Shewchuk in je na voljo na njegovi strani Universityweb.



Slika 8 : Prikaz izrisa programa triangel

- Program vsebuje različne vrste reševalcev za različne probleme. Reševalec fkern.exe je program za reševanje magnetnih problemov, belasolv je reševalec problemov za elektrostatiko medtem ko je hsolv za težave v zvezi toplotnim tokom.

Vsak reševalec ima na voljo nabor podatkov, ki opisujejo dan problem. Ta problem skuša rešiti s pomočjo ustreznih parcialnih diferencialnih enačb za pridobitev vrednosti za želene pogoje glede na rešitve za domeno. Skriptni jezik Lua, je integriran v interaktivno lupino. Takšna enota nam omogoča hkratno procesiranje, analiziranje podane geometrije in tudi prikaz rezultatov merjenja.

3.5 Opis merilnega postopka

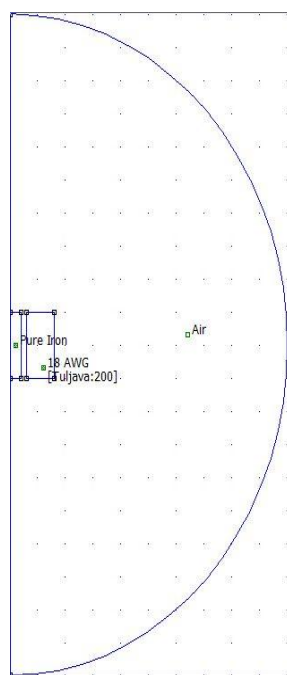
3.5.1 Definicija materialov

Sprva je potrebno v programu FEMM definirati lastnosti materialov, ki se bodo uporabljali v raziskovanju. Vsak material, ki se je izbral iz zbirke materialov (knjižnice materialov), ki jih vsebuje program FEMM smo skrbno pregledali in nastavili kot smo potrebovali. V našem primeru so ti materiali: jeklo, bakrena žica in zrak.

Jeklo smo nastavili, da ima nelinearno karakteristiko B od H, za vse ostale lastnosti je poskrbel program FEMM. Za bakreno žico smo uporabili linearno karakteristiko in v program smo vnesli žico premera 1.02 mm. Zraku smo določili prav tako linearno karakteristiko. Pri zraku smo morali biti pozorni, saj je bilo potrebno sprva ustvariti nov material, ga dodati v knjižico materialov in mu definirati lastnosti, kar smo dosegli s pomočjo koeficienta $C_0 = 1/(u_0 \cdot 4 \cdot \text{inch})$ in drugega koeficienta $C_1 = 0$. Za definicijo lastnosti mej zraka je bilo še potrebno izbrati lastnost mixed boundary.

3.5.2 Način risanja

Pri uporabi programa FEMM smo si za način risanja izbrali osnosimetrično risanje oz. Axisymmetric. Kar nam je omogočilo, da smo vnesli geometrijo problema za polovico prereza in nam je nato program izračunal naš problem ne samo za polovico prereza ampak za celotno situacijo. Mi smo problem risali v dvodimenzionalnem prerezu. Torej je narisana samo polovica izstrelka, cevi in tuljave. Izračun se izvede na podlagi te polovice, ki je narisana, in preslika rezultate na drugo stran osi tako, da dobimo izračun problema kot bi ga risali celotnega.



Slika 9 : Izris geometrije v programu FEMM

3.5.3 Pričetek risanja problema

Izstrelak in samo tuljavo v programu FEMM narišemo z uporabo gumbov v orodni vrstici, ki se nahaja zgoraj risalne površine.



Slika 10 : Orodna vrstica v programu FEMM

Ti gumbi nam omogočijo, da lahko ustvarimo robe izstrelka, tuljave in tudi zraka, kar dosežemo s pomočjo gumba, ki ima narisano kvadrato. Te robove med seboj povežemo s pomočjo drugega gumba, ki ima narisano premico, da ustvarimo celoten kos predmeta, ki ga rišemo. Za povezovanje robov zraka uporabimo tretji gumb z leve, da povežemo ti dve točki z polkrožnico. S pomočjo četrtega gumba, ki je zelen, določimo narisanim predmetom iz katerega materiala so narejeni. Zrak, jeklo ali bakrena žica.

3.5.4 Definicija problema za program FEMM

Za reševanje problema smo nastavili v programu FEMM nekaj lastnosti, ki jih program potrebuje za pravilen preračun magnetne sile.

Tip Problema : Osnosimetričen oz. Axisymmetric

Enota za dolžino : Milimetri

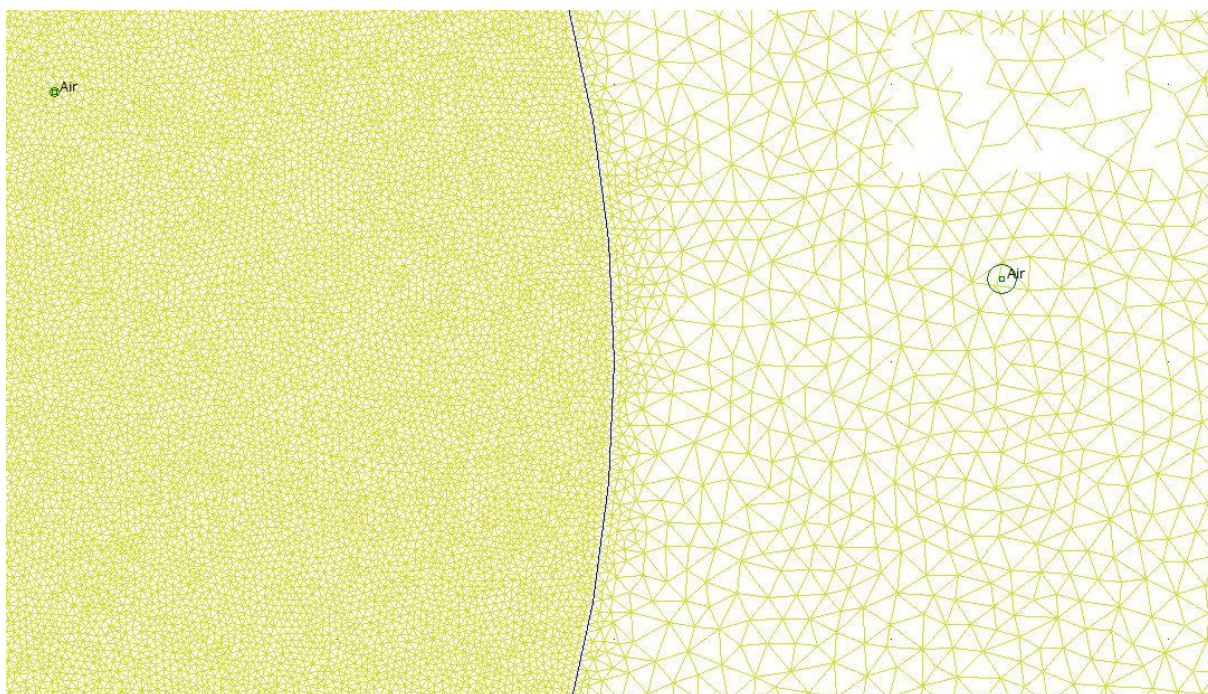
Frekvenca toka : 0 Hz (ker je enosmeren tok)

Preciznost reševanje problema : 1e-008

3.5.5 Omejitev problema z pol-krožnico

V Programu FEMM je bilo potrebno za reševanje problema definirati neko mejo. Torej se je problem in izračun problema dogajal do te meje in ne naprej. V primeru, da problema nebi omejili, bi to pomenilo da bi program poizkušal izračunavati narisani problem v neskončnost. To bi program prikazal kot, da je izračun neizvedljiv.

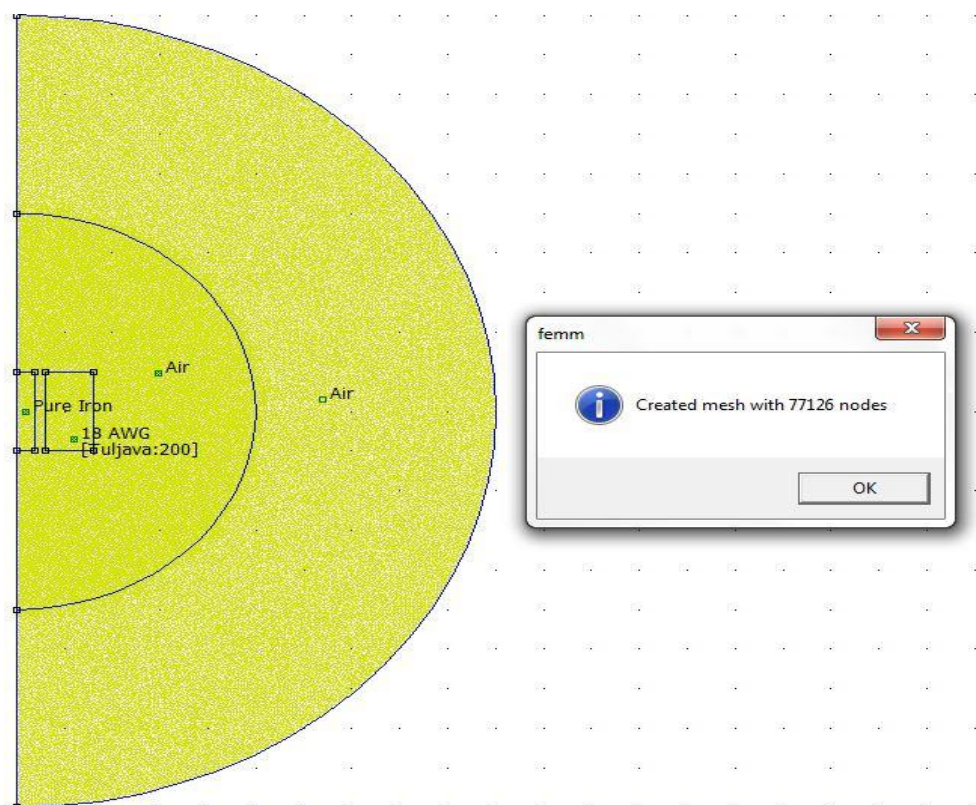
Ker smo želeli natančne meritve smo v programu definirali dve meji. V prvi meji smo definirali, da je število izrisanih trikotnikov večje, kar nam je pomenilo večjo natančnost v področju v katerem je vrisana tuljava. V drugi meji smo določili manjše število izrisanih trikotnikov. To smo storili zaradi praktičnosti same meritve, saj bi nam znatno povečanje natančnosti oz. števila izrisanih trikotnikov v programu pomenilo izredno dolge čase izračunov. Uporaba dveh mej nam je pomenila tudi, da nismo žrtvovali preveliko natančnosti zaradi časa izračuna.



Slika 11 : Prikaz razlike v velikosti trikotnikov pri dvojni meji


3.5.6 Izračun števila trikotnikov v mreži

Ker smo morali pri definiciji materialov določiti še kolikšna naj bo natančnost izračuna oz. število izrisanih trikotnikov, se nam je sedaj, na podlagi predhodno izbranega števila izrisanih trikotnikov za določeno površino, grafično izrisala mreža trikotnikov in izpis koliko trikotnikov je zajetih v problem, kar nam hkrati pove tudi samo natančnost izračunov (več kot je izrisanih trikotnikov, večja je natančnost meritve).




Slika 12 : Prikaz števila izrisanih trikotnikov in izgled trikotnikov

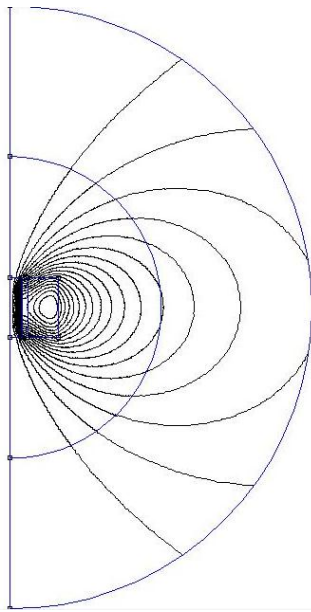
3.5.7 Izračun magnetnega polja

Silo, ki deluje na izstrelek smo izmerili tako, da smo najprej pritisnili na gumb , ki se nahaja v orodni vrstici. Ob pritisku program prične izračunavati vse sebi potrebne informacije za risalno površino, ki so potrebni za nadaljnje izračune, upoštevajoč natančnost glede na število izrisanih trikotnikov in uporabljene materiale ter vstavljene pogoje teh materialov poleg samih robnih pogojev.

3.5.8 Pregled izračunanega magnetnega polja

Ob pritisku na gumb  nam program FEMM prikaže in izpiše dobljene izračune, ki jih je predhodno temu opravil. Vidimo tudi, da se ob pritisku gumba odpre nov zavihek v programu.

Izpišejo se lastnosti, ki jih predstavlja problem: naslov, število izrisanih trikotnikov, število elementov, frekvenca, merska enota in način risanja. Izrišejo se silnice, ki jih ustvarja tuljava na izstrelek in zrak.

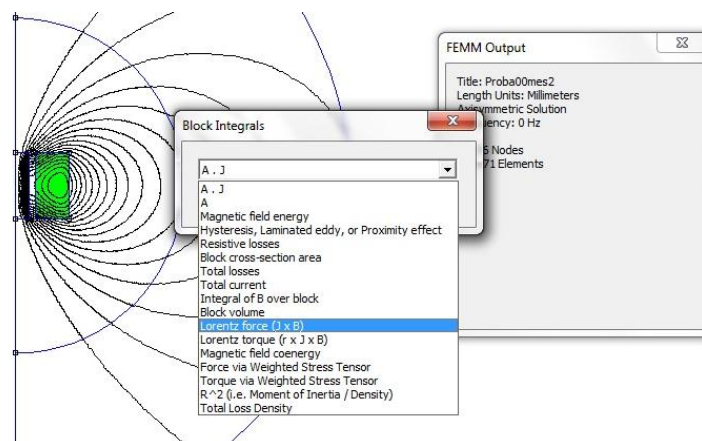


Slika 13 : Prikaz izrisanih silnic magnetnega polja

Nov zavihek nam ponudi možnosti izračuna sile na izstrelek.

3.5.9 Izračun sile na izstrelek

Na delovni površini izberemo pravilno telo npr. izstrelek ali tuljava (v našem primeru tuljava), katero želimo izmeriti oz. opazovati kaj se z njim dogaja. Ko smo telo izbrali programu FEMM ukažemo naj prikaže možne načine izračunov za označeno telo. Program FEMM nam sedaj ponudi tabelo, kjer si izberemo nam ustrezen način oz. metodo izračuna sile ali potrebne veličine.



Slika 14 : Prikaz možnosti izbire različnih merilnih metod

V našem primeru sta se nam ponudili dve možnosti. Uporaba **Lorentz force** ali **Force via Weighted stress Tensor**. Ker nismo vedeli katera meritev bi bila bolj natančna, primerna oz. realna, smo prvotno meritve izvedli s pomočjo obeh metod. Naredili smo meritve pri izbrani dolžini projektila, dolžini tuljave in premiku izstrelka od središča tuljave. Ta metoda nam je podala natančne zelene rezultate, da smo lahko dobili sklepne rezultate, ki so nam pripomogli k izbiri pravilne merilne metode.

Dobili smo naslednje rezultate:

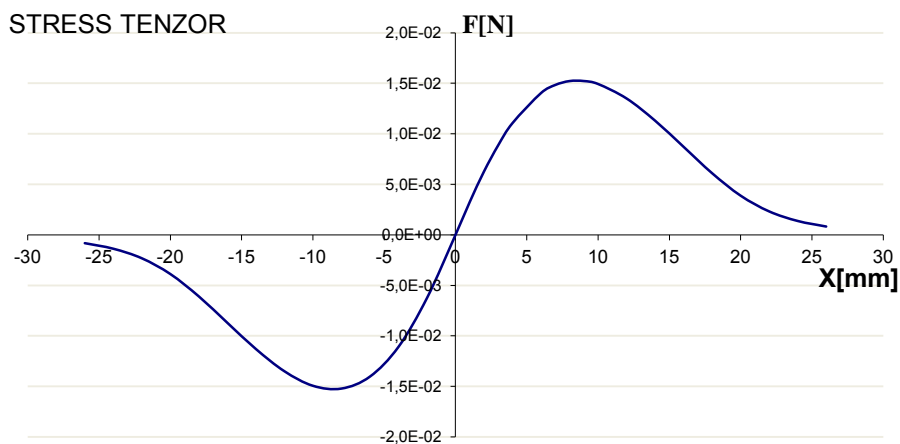
Preglednica 1: Definirane lastnosti uporabljene pri meritvah v programu FEMM

Mreža 1mm,0,25mm	Boundary : Mixed	$C_1=0, C_0=1/(u_0*4*inch)=7832428.301766503$
I=1A	Nodes = 76791	N=200 ovojev

Preglednica 2 : Analiza odstopanja Stress Tenzor

ANALIZA ODPSTOPANJA STRESS TENZOR			
Odstopanje od vrednosti nič (0) v središču tuljave X=0			
			odstopanje
			-5,054E-06
	<i>F</i>		
Pomikanje izstrelka od centra tuljave X [mm]	Pomik izstrelka navzdol od središča tuljave	Pomik izstrelka navzgor od središča tuljave	Odstopanje meritev pri isti vrednosti pomika izstrelka od centra tuljave v obe smeri
	F(N) X>0	F(N) X<0	
2	-6,259E-03	6,273E-03	-1,441E-05
4	-1,109E-02	1,106E-02	2,780E-05
6	-1,403E-02	1,404E-02	-5,600E-06
8	-1,522E-02	1,522E-02	-4,600E-06
10	-1,494E-02	1,493E-02	8,700E-06
12	-1,350E-02	1,350E-02	3,800E-06
14	-1,130E-02	1,130E-02	-1,700E-06
16	-8,708E-03	8,711E-03	-2,590E-06
18	-6,098E-03	6,100E-03	-1,870E-06
20	-3,879E-03	3,879E-03	2,200E-07
22	-2,319E-03	2,320E-03	-9,700E-07
24	-1,373E-03	1,374E-03	-9,800E-07
26	-8,223E-04	8,224E-04	-4,900E-08

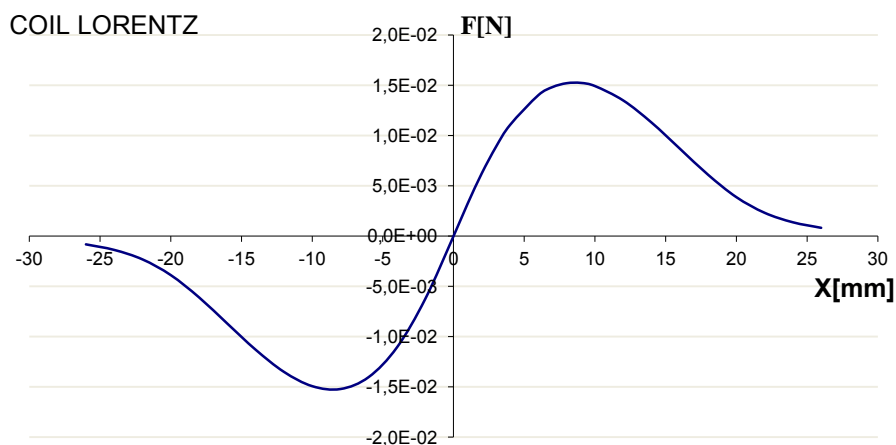
Graf 1 : Analiza odstopanja Stress Tenzor



Preglednica 3 : Analiza odstopanja Lorentz

ANALIZA Odstopanja LORENTZ			
Odstopanje od vrednosti nič v središču tuljave X=0			
			odstopanje
		-9,778E-07	9,778E-07
<i>F</i>			
Pomikanje izstrelka od centra tuljave X [mm]	Pomik izstrelka navzdol od središča tuljave F(N) X>0	Pomik izstrelka navzgor od središča tuljave F(N) X<0	Odstopanje meritev pri isti vrednosti pomika izstrelka od centra tuljave v obe smeri
2	-6,248E-03	6,251E-03	-3,140E-06
4	-1,106E-02	1,106E-02	-5,000E-07
6	-1,402E-02	1,402E-02	-1,300E-06
8	-1,521E-02	1,521E-02	2,600E-06
10	-1,492E-02	1,492E-02	1,200E-06
12	-1,350E-02	1,349E-02	6,900E-06
14	-1,130E-02	1,130E-02	1,400E-06
16	-8,703E-03	8,703E-03	-2,000E-07
18	-6,094E-03	6,102E-03	-7,650E-06
20	-3,877E-03	3,876E-03	9,200E-07
22	-2,318E-03	2,319E-03	-9,000E-07
24	-1,373E-03	1,374E-03	-9,700E-07
26	-8,216E-04	8,217E-04	-5,400E-08

Graf 2 : Analiza odstopanja Lorentz



3.5.10 Kriteriji za izbiro med merilnima metodama

Kriteriji za izbiro metode, za izračun sile na izstrelak, so bili v našem primeru zelo pomembni za natančnost nadaljnjih meritev.

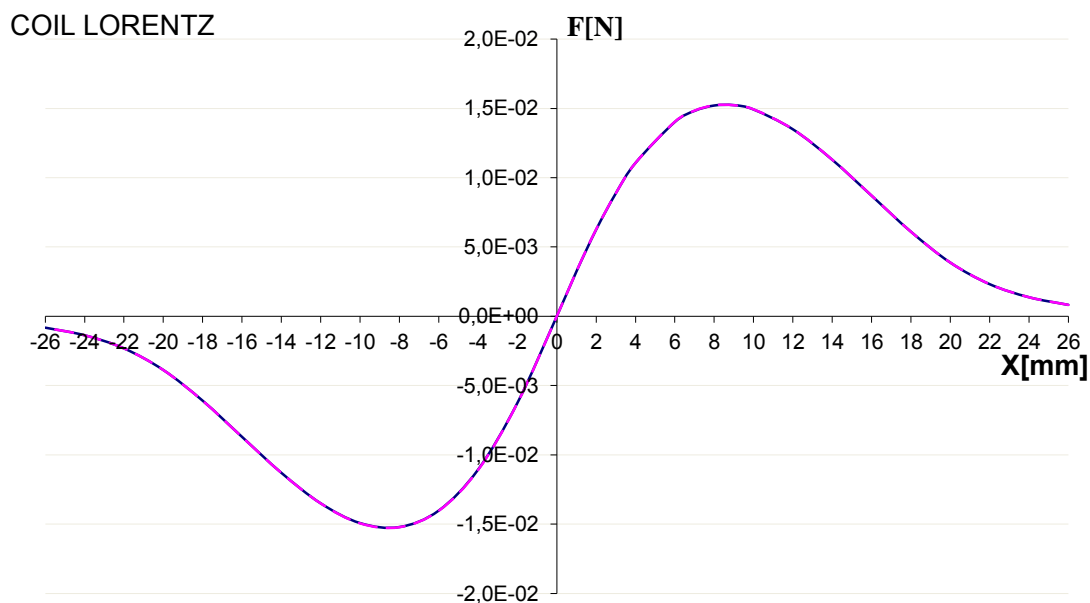
Kriterij za izbiro metode izračuna smo osnovali na poznanem dejstvu, da ima feromagnetno telo, ki je postavljeno v središče tuljave, skozi katero teče tok, silo enako nič. Saj vse sile, ki delujejo na to telo se izničijo oz. so enake nič. Torej smo iskali metodo izračuna, ki bo imela v središču tuljave silo, ki je enaka nič oz. se zelo približa tej vrednosti.

Drugi kriterij, ki smo si ga zadali je konstantnost in ponovljivost izračunov oz. meritev pri različni oddaljenosti izstrelka od središča tuljave.

3.5.11 Ugotovitev

Ugotovili smo, da je metoda izračuna sile **Coil Lorentz** podala rezultate najprimernejše našim zahtevam. Iz razpredelnice 'Analiza odstopanja **Lorentz**' je možno razbrati kolikšna je bila vrednost sile, ki je delovala na telo v središču tuljave. Ker je bilo odstopanje le $0,9778 \cdot 10^{-6} \text{N}$ od predvidene oz. realne ali pričakovane vrednosti, napram vrednosti, ki se je pokazala pri metodi **Strees Tenzor**. Metoda Stress Tenzor je podala rezultat pri meritvi izstrelka v središču tuljave silo $0,5054 \cdot 10^{-5} \text{N}$, katera je za decimalno mesto večja kot pri **Coil Lorentz**. Iz tega razloga smo zaradi natančnosti in pristnosti izračunov izbrali metodo za izračun sile na izstrelak **Coil Lorentz**.

Graf 3 : Gibanje izstrelka skozi tuljavo



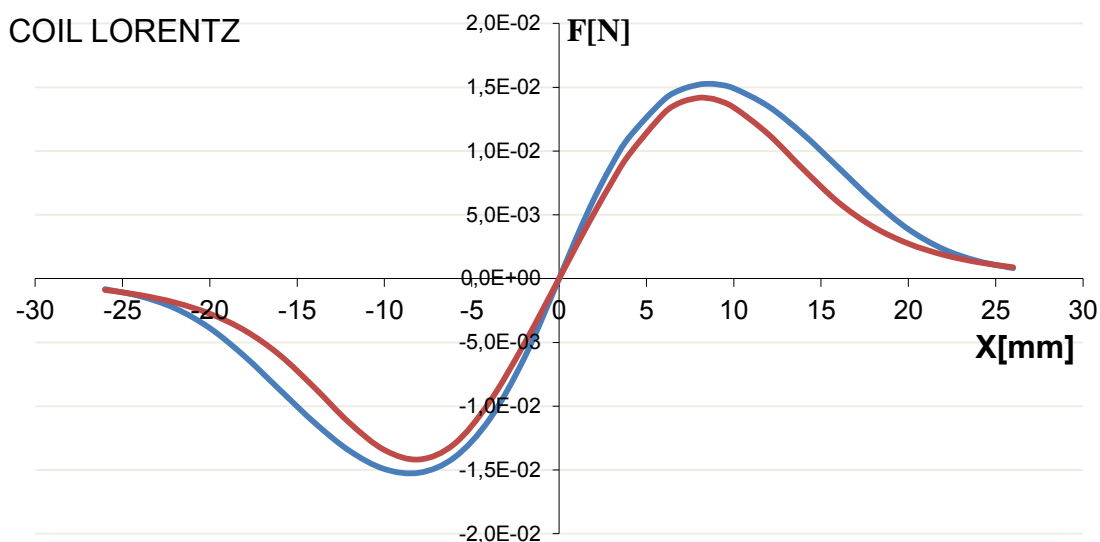
4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 Vpliv oblike tuljave na silo na izstrelek

Sila na izstrelek je odvisna od veliko dejavnikov. Eden od teh dejavnikov, je tudi oblika tuljave. Izračunala sva sile na izstrelek pri dolgi tuljavi in krajši tuljavi. Iz teh izračunov bomo razbrali ali je res pri daljši tuljavi maksimalna sila ali pa dosežemo večjo silo pri krajši tuljavi. Ta trditev je postavljena tudi kot ena od hipotez v tej nalogi.

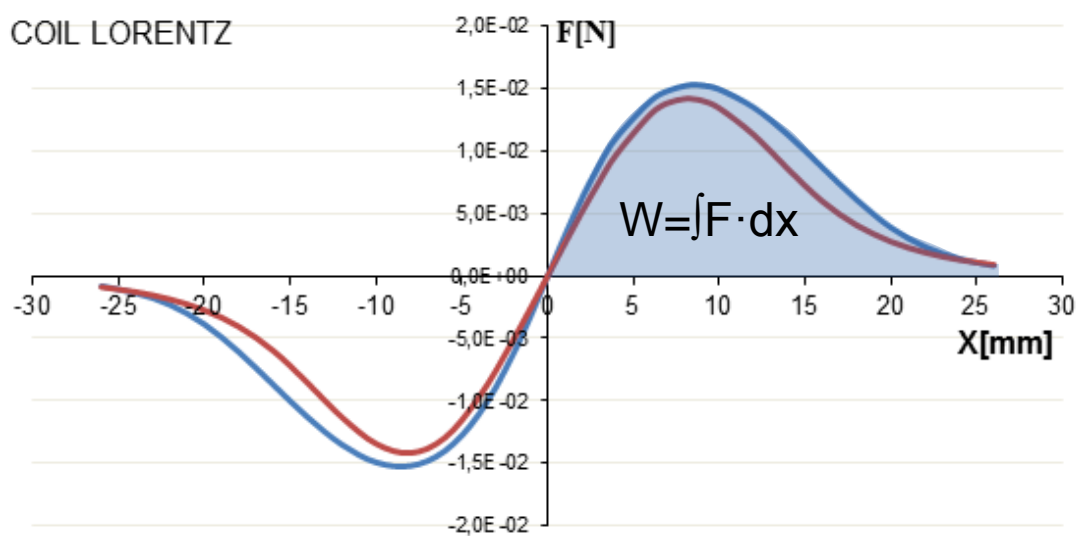
Katera sila je večja, lahko razberemo tudi iz grafikona. Modra krivulja nam prikazuje silo dolge tuljave, rdeča krivulja pa silo kratke tuljave pri različnih odmikih izstrelka iz središča tuljave X.

Graf 4 : Primerjava sile glede na obliko tuljave



Iz grafa pa lahko razberemo tudi energijo, ki deluje na izstrelek. Energijo dobimo, če pomnožimo silo in pot, ki jo opravi izstrelek. Spodaj sta dve sliki iz katerih lahko nazorno vidimo, da je energija dolge tuljave (modra površina) večja od energije kratke tuljave (rdeča površina).

Graf 5 : Energija dolge tuljave



Graf 6 : Energija kratke tuljave

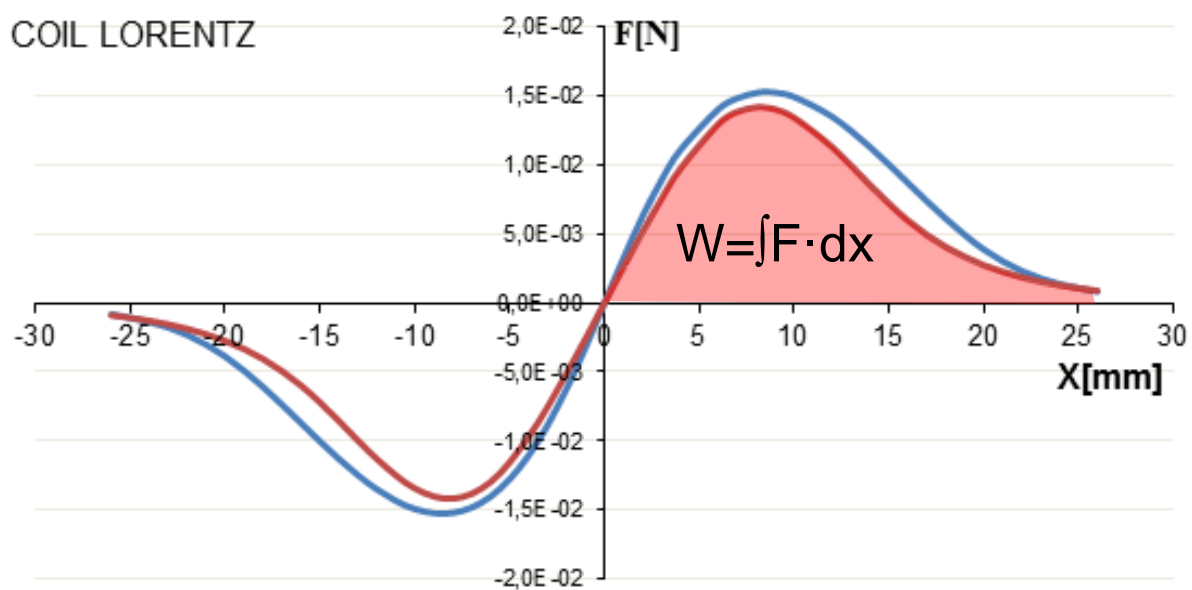
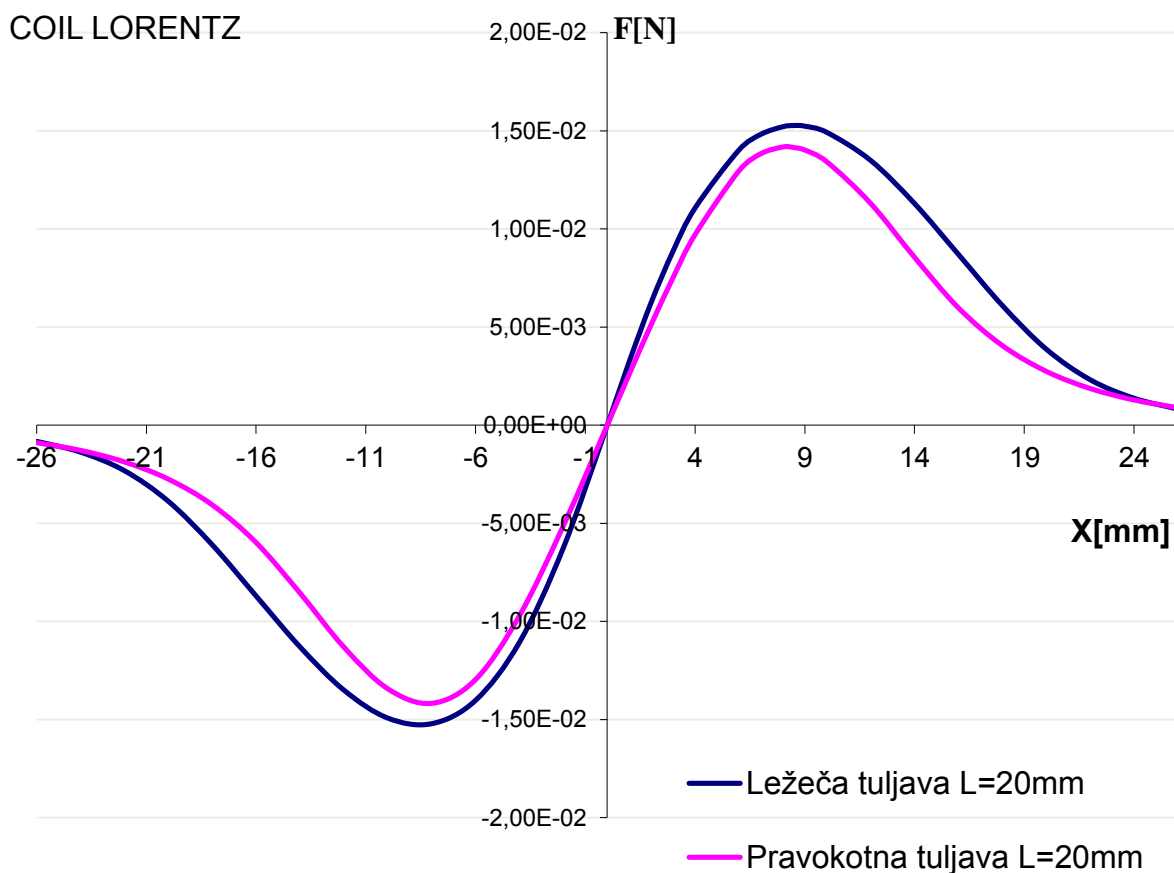


Tabela spodaj nam prikazuje izračunane sile. Levi stolpec prikazuje sile dolge tuljave, desni stolpec pa sile kratke tuljave.

Preglednica 4 : Primerjava sil med dolgo in kratko tuljavo

X [mm]	<i>Dolžina izstrelka 20mm</i>	<i>Dolžina izstrelka 20mm</i>
	Ležeča tuljava	Pravokotna tuljava
26	8,217E-04	8,911E-04
24	1,374E-03	1,284E-03
22	2,319E-03	1,871E-03
20	3,876E-03	2,745E-03
18	6,102E-03	4,058E-03
16	8,703E-03	5,978E-03
14	1,130E-02	8,555E-03
12	1,349E-02	1,130E-02
10	1,492E-02	1,343E-02
9	1,524E-02	1,402E-02
8,5	1,527E-02	1,415E-02
8	1,521E-02	1,418E-02
7	1,482E-02	1,383E-02
6	1,402E-02	1,296E-02
4	1,106E-02	9,707E-03
3	8,873E-03	7,523E-03
2	6,251E-03	5,123E-03
1	3,235E-03	2,596E-03
0	-9,778E-07	-5,307E-08
-2	-6,248E-03	-5,121E-03
-4	-1,106E-02	-9,705E-03
-6	-1,402E-02	-1,296E-02
-8	-1,521E-02	-1,417E-02
-10	-1,492E-02	-1,343E-02
-12	-1,350E-02	-1,131E-02
-14	-1,130E-02	-8,552E-03
-16	-8,703E-03	-5,982E-03
-18	-6,094E-03	-4,060E-03
-20	-3,877E-03	-2,748E-03
-22	-2,318E-03	-1,871E-03
-24	-1,373E-03	-1,285E-03
-26	-8,216E-04	-8,909E-04

Graf 7 : Primerjava sil med kratko in dolgo tuljavo

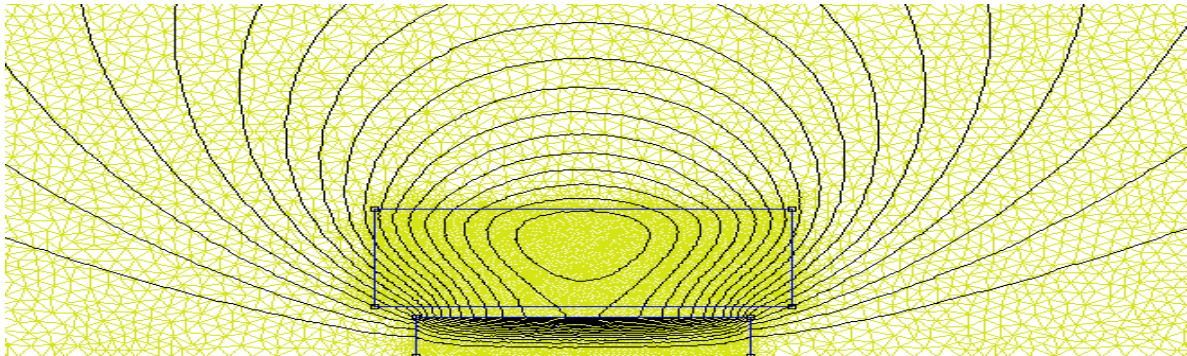


Ugotovitev: Iz pregleda rezultatov ugotovimo, da ima večjo silo na izstrelek dolga tuljava, vendar se te sile na razlikujejo veliko. Na podlagi teh ugotovitev lahko potrdimo postavljeno hipotezo. Je pa dolga tuljava tudi veliko bolj praktična pri uporabi. Tudi v šolskih poizkusih in drugje se uporablja dolga tuljava, saj je na njej veliko lažje demonstrirati stvari. Kratka tuljava pa ima veliko prednost takrat, ko potrebujemo čim krajšo tuljavo, višina pa nam ni pomembna. Pri dolgi tuljavi je tudi energija na izstrelek več, kot pri kratki tuljavi.

4.2 Z tuljavo enako dolgo, kot je izstrelek, dosežemo največjo silo

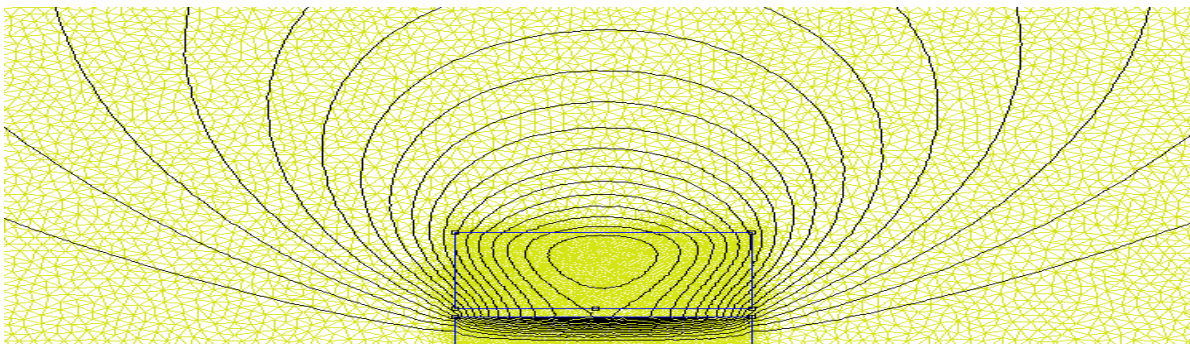
Velikost sile na izstrelek je odvisna tudi od dolžine tuljave. Tuljava je lahko isto dolga kot izstrelek, lahko je krajša ali daljša. Po pregledu izračunov bomo našli optimalno tuljavo in potrdili ali ovrgli hipotezo, da ima največjo silo na izstrelek enako dolga tuljava, kot je izstrelek.

Primer daljše tuljave:



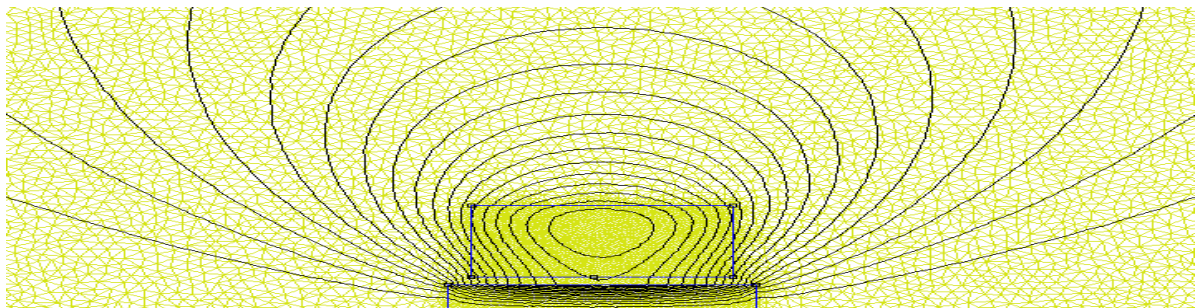
Slika 15 : Daljša tuljava

Primer enako dolge tuljave:



Slika 16 : Enako dolga tuljava

Primer krajše tuljave:



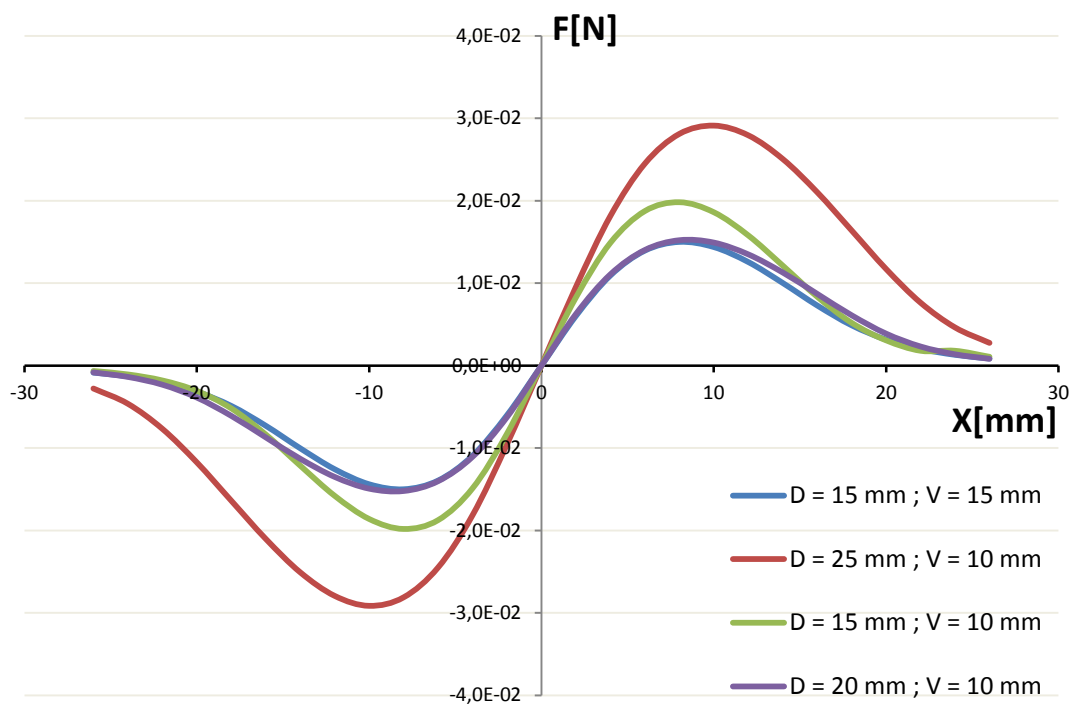
Slika 17 : Krajša tuljava

Tabela spodaj nam prikazuje rezultate izračunanih sil. Izračunali smo sile za 3 primere, kadar je tuljava krajša kot izstrelek, tuljava daljša kot izstrelek in kadar je tuljava enako dolga kot izstrelek.

Preglednica 5 : Primerjava sil enako dolge, krajše in daljše tuljave od izstrelka

Merjenje sile na tuljavo pri istem projektilu 20 mm; in istih lastnostih kot sva jih do sedaj imela pri meritvah				
	D = 15 mm ; V = 15 mm	D = 25 mm ; V = 10 mm	D = 15 mm ; V = 10 mm	D = 20 mm ; V = 10 mm
	TULJAVA	TULJAVA	TULJAVA	TULJAVA
X [mm]	LORENTZ	LORENTZ	LORENTZ	LORENTZ
26	8,536E-04	2,754E-03	1,070E-03	8,217E-04
24	1,306E-03	4,627E-03	1,801E-03	1,374E-03
22	2,021E-03	7,631E-03	1,801E-03	2,319E-03
20	3,151E-03	1,172E-02	3,064E-03	3,876E-03
18	4,889E-03	1,639E-02	5,192E-03	6,102E-03
16	7,295E-03	2,103E-02	8,358E-03	8,703E-03
14	1,003E-02	2,506E-02	1,213E-02	1,130E-02
12	1,257E-02	2,794E-02	1,579E-02	1,349E-02
10	1,438E-02	2,911E-02	1,860E-02	1,492E-02
8	1,500E-02	2,810E-02	1,982E-02	1,521E-02
6	1,395E-02	2,450E-02	1,875E-02	1,402E-02
4	1,093E-02	1,815E-02	1,489E-02	1,106E-02
2	6,021E-03	9,542E-03	8,261E-03	6,251E-03
0	-2,126E-06	8,661E-06	3,787E-06	-9,778E-07
-2	-6,021E-03	-9,537E-03	-8,261E-03	-6,248E-03
-4	-1,093E-02	-1,815E-02	-1,489E-02	-1,106E-02
-6	-1,395E-02	-2,449E-02	-1,874E-02	-1,402E-02
-8	-1,500E-02	-2,811E-02	-1,981E-02	-1,521E-02
-10	-1,439E-02	-2,914E-02	-1,860E-02	-1,492E-02
-12	-1,257E-02	-2,793E-02	-1,579E-02	-1,350E-02
-14	-1,003E-02	-2,507E-02	-1,213E-02	-1,130E-02
-16	-7,291E-03	-2,102E-02	-8,355E-03	-8,703E-03
-18	-4,889E-03	-1,639E-02	-5,187E-03	-6,094E-03
-20	-3,151E-03	-1,173E-02	-3,065E-03	-3,877E-03
-22	-2,021E-03	-7,668E-03	-1,801E-03	-2,318E-03
-24	-1,306E-03	-4,630E-03	-1,070E-03	-1,373E-03
-26	-8,535E-04	-2,778E-03	-6,484E-04	-8,216E-04

Graf 8 : Primerjava sil enako dolge, krajše in daljše tuljave od izstrelka



Iz grafa in tabele lahko razberemo, da ima največjo silo na izstrelek tuljava, ki je daljša od samega izstrelka. Tako, da lahko ovržemo hipotezo, da ima največjo silo na izstrelek enako dolga tuljava kot izstrelek. Tudi v praksi se uporablja tuljava daljša od izstrelka.

4.3 Vpliv različnih dimenzij izstrelka na silo

Ker je sila, ki deluje na izstrelek prav tako odvisna od samih lastnosti izstrelka smo tudi raziskali vpliv dolžine in širine izstrelka pri isti dolžini, višini in magnetnih lastnostih tuljave.

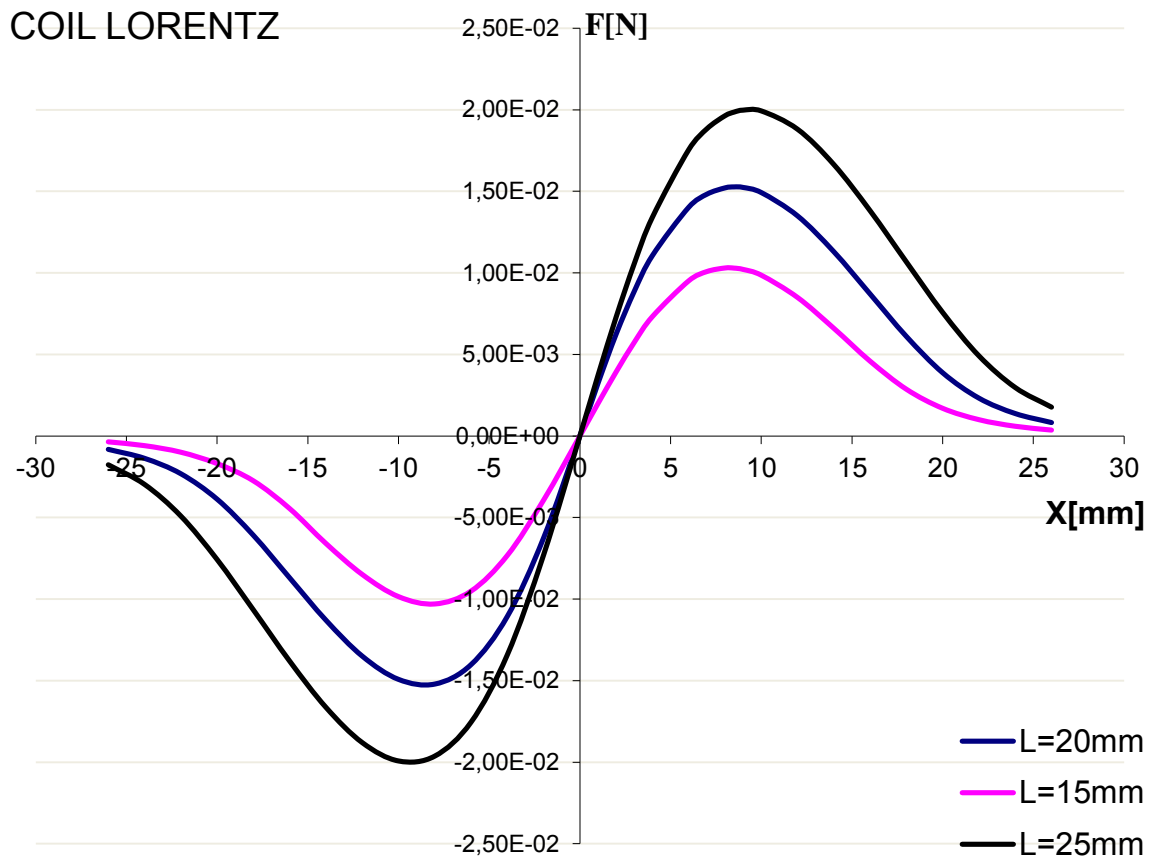
4.4 Vpliv na silo pri različni dolžini izstrelka

Pri spreminjanju dolžine izstrelka smo pri vsaki spremembi dolžine opravili s programom FEMM, 27 meritev pri različnih pomikih projektila v pozitivno in negativno smer od sredine tuljave.

Preglednica 6 : Primerjava različnih dolžin izstrelkov

Premer izstrelka = 8 mm	<i>DOLŽINA IZSTRELK = 20mm</i>	<i>DOLŽINA IZSTRELK = 15mm</i>	<i>DOLŽINA IZSTRELKA = 25mm</i>
	TULJAVA JE ISTE DOLŽINE		
Premik od centra tuljave X [mm]	UPORABLJENA METODA MERITVE JE COIL LORENTZ		
26	8,217E-04	3,609E-04	1,767E-03
24	1,374E-03	5,943E-04	2,970E-03
22	2,319E-03	9,977E-04	4,910E-03
20	3,876E-03	1,696E-03	7,574E-03
18	6,102E-03	2,864E-03	1,067E-02
16	8,703E-03	4,584E-03	1,381E-02
14	1,130E-02	6,600E-03	1,664E-02
12	1,349E-02	8,491E-03	1,881E-02
10	1,492E-02	9,857E-03	1,993E-02
9	1,524E-02	1,021E-02	1,998E-02
8,5	1,527E-02	1,029E-02	1,986E-02
8	1,521E-02	1,030E-02	1,963E-02
7	1,482E-02	1,008E-02	1,883E-02
6	1,402E-02	9,511E-03	1,755E-02
4	1,106E-02	7,321E-03	1,341E-02
3	8,873E-03	5,744E-03	1,057E-02
2	6,251E-03	3,930E-03	7,296E-03
1	3,235E-03	1,994E-03	3,718E-03
0	-9,778E-07	5,090E-07	-3,557E-07
-2	-6,248E-03	-3,932E-03	-7,292E-03
-4	-1,106E-02	-7,324E-03	-1,342E-02
-6	-1,402E-02	-9,511E-03	-1,755E-02
-8	-1,521E-02	-1,030E-02	-1,963E-02
-10	-1,492E-02	-9,851E-03	-1,993E-02
-12	-1,350E-02	-8,491E-03	-1,880E-02
-14	-1,130E-02	-6,594E-03	-1,664E-02
-16	-8,703E-03	-4,455E-03	-1,381E-02
-18	-6,094E-03	-2,752E-03	-1,067E-02
-20	-3,877E-03	-1,695E-03	-7,577E-03
-22	-2,318E-03	-9,978E-04	-4,910E-03
-24	-1,373E-03	-5,942E-04	-2,972E-03
-26	-8,216E-04	-3,609E-04	-1,768E-03

Graf 9 : Primerjava različnih dolžin izstrelkov



Rezultati so nam pokazali pričakovane vrednosti. Večja kot je bila dolžina izstrelka večja je bila sila, ki je delovala na projektil. Kar je razvidno tudi iz preglednice, čeprav se sila pri različni dolžini projektila skorajda zanemarljivo malo spremeni. Vendar je pa razvidno, da če povečamo dolžino projektila se sila, ki deluje nanj poveča.

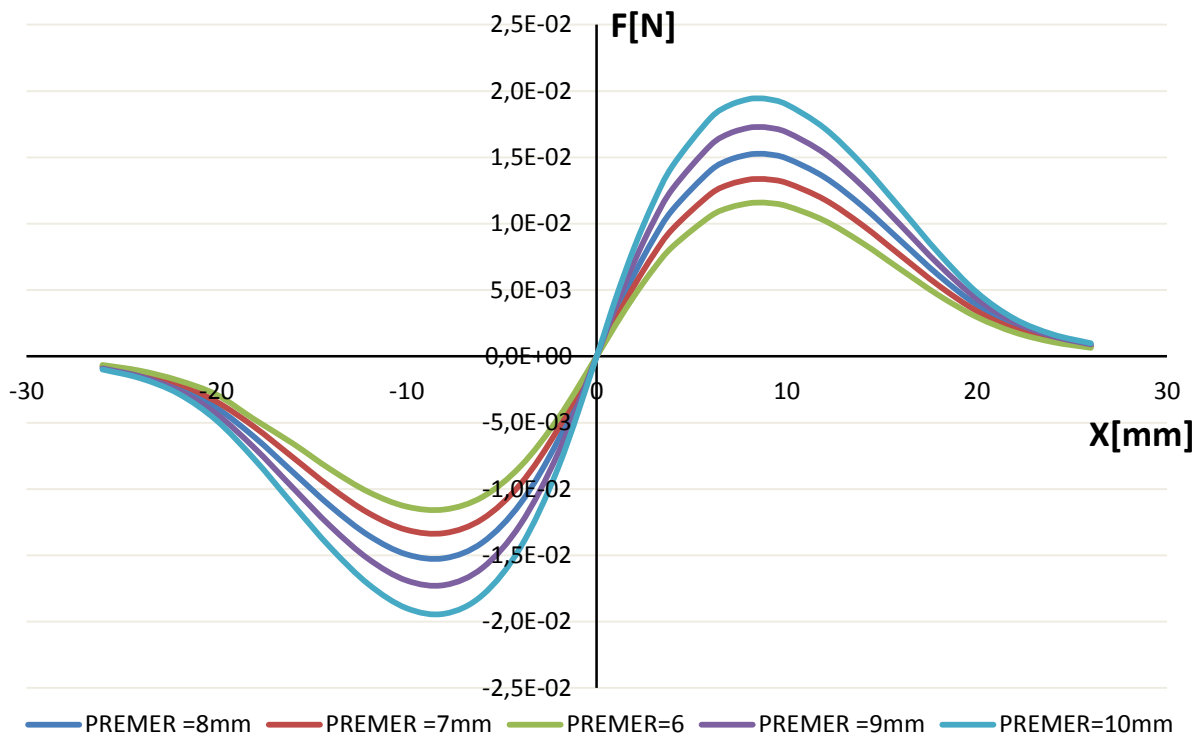
4.5 Vpliv na silo pri različnem premeru izstrelka

Na silo tudi vpliva premer izstrelka. V programu FEMM smo izvedli meritve sile na izstrelke pri različnih premerih izstrelka. Ti so pokazali, kako vpliva premer izstrelka na silo, ki deluje nanj. Meritve sva izvedla za premer od 6 do 10 mm.

Preglednica 7 : Primerjava različnega premera izstrelka

Pomik izstrelka od centra tuljave za X [mm]	PREMER =8mm	PREMER =7mm	PREMER=6	PREMER =9mm	PREMER=10mm
	ISTA DOLŽINA TULJAVE JE UPORABLJENA ZA VSE PREMERE IZSTRELKA				
	UPORABLJENA JE MERILNA METODA COIL LORENTZ				
26	8,217E-04	7,349E-04	6,464E-04	9,064E-04	9,884E-04
24	1,374E-03	1,227E-03	1,078E-03	1,518E-03	1,655E-03
22	2,319E-03	2,062E-03	1,804E-03	2,572E-03	2,819E-03
20	3,876E-03	3,413E-03	2,967E-03	4,346E-03	4,825E-03
18	6,102E-03	5,334E-03	4,600E-03	6,912E-03	7,770E-03
16	8,703E-03	7,594E-03	6,549E-03	9,877E-03	1,114E-02
14	1,130E-02	9,872E-03	8,527E-03	1,281E-02	1,442E-02
12	1,349E-02	1,181E-02	1,022E-02	1,528E-02	1,718E-02
10	1,492E-02	1,307E-02	1,133E-02	1,689E-02	1,899E-02
9	1,524E-02	1,334E-02	1,157E-02	1,725E-02	1,939E-02
8,5	1,527E-02	1,337E-02	1,159E-02	1,729E-02	1,945E-02
8	1,521E-02	1,332E-02	1,154E-02	1,723E-02	1,939E-02
7	1,482E-02	1,297E-02	1,122E-02	1,681E-02	1,894E-02
6	1,402E-02	1,225E-02	1,058E-02	1,593E-02	1,798E-02
4	1,106E-02	9,618E-03	8,280E-03	1,264E-02	1,437E-02
3	8,873E-03	7,689E-03	6,605E-03	1,019E-02	1,164E-02
2	6,251E-03	5,394E-03	4,614E-03	7,208E-03	8,294E-03
1	3,235E-03	2,786E-03	2,378E-03	3,754E-03	4,358E-03
0	-9,778E-07	2,611E-06	2,298E-06	8,972E-07	2,224E-06
-2	-6,248E-03	-5,391E-03	-4,616E-03	-7,205E-03	-8,297E-03
-4	-1,106E-02	-9,612E-03	-8,277E-03	-1,264E-02	-1,437E-02
-6	-1,402E-02	-1,225E-02	-1,059E-02	-1,593E-02	-1,799E-02
-8	-1,521E-02	-1,332E-02	-1,154E-02	-1,724E-02	-1,940E-02
-10	-1,492E-02	-1,307E-02	-1,132E-02	-1,689E-02	-1,898E-02
-12	-1,350E-02	-1,181E-02	-1,023E-02	-1,528E-02	-1,718E-02
-14	-1,130E-02	-9,868E-03	-8,524E-03	-1,281E-02	-1,443E-02
-16	-8,703E-03	-7,595E-03	-6,553E-03	-9,882E-03	-1,114E-02
-18	-6,094E-03	-5,333E-03	-4,760E-03	-6,911E-03	-7,766E-03
-20	-3,877E-03	-3,415E-03	-2,887E-03	-4,346E-03	-4,825E-03
-22	-2,318E-03	-2,062E-03	-1,814E-03	-2,573E-03	-2,817E-03
-24	-1,373E-03	-1,226E-03	-1,090E-03	-1,517E-03	-1,654E-03
-26	-8,216E-04	-7,351E-04	-6,467E-04	-9,063E-04	-9,882E-04

Graf 10 : Primerjava različnega premera izstrelka



Iz zgornje tabela in grafa lahko vidimo, da večji kot je premer izstrelka, večja sila deluje nanj. Če si bolj podrobno ogledamo rezultate vidimo, da je med silami na izstrelak premera 6 mm in silami na izstrelak premera 10 mm kar konkretna razlika. In če bi izdelovali magnetno puško, bi morali to ugotovitev upoštevati. Te meritve so potrdile najino hipotezo. Vendar v praksi ponavadi ne povečujemo silo na izstrelak s tem, da vzamemo večji premer izstrelka, ampak se poslužujemo drugih dejavnikov, kot so povečanje toka, ki teče skozi tuljavo, povečanje napetosti, oz povečanje same tuljave oz. števila zaporednih tuljav.

5 ZAKLJUČEK

Pomembna ugotovitev, ki sva jo v času raziskovanja opazila je, da v času vklopa toka skozi tuljavo, sile ki delujejo na telo pričnejo naraščati. Z bližanjem samega telesa oz. izstrelka proti središču tuljave sila, ki deluje na telo narašča.

V naši raziskavi je bila najšibkejša sila pri največji oddaljenosti, kar je bilo v našem primeru 26 mm od središča tuljave. In najmočnejša sila pri 8 mm oddaljenosti od središča tuljave. Z pomikom izstrelka še bližje središču se je sila zopet pričela zmanjševati in v središču tuljave dosegla nič.

Ta ugotovitev nas je privedla do dveh spoznanj:

- V primeru, da toka ne bi prekinili pravočasno, se pravi ko je izstrelak nekje pri 8 mm oz. blizu središča tuljave, bi ob prehodu čez središče tuljave tok oz. sila na izstrelak pričela delovati zaviralno. To bi lahko povzročilo, da se telo zaustavi in ne zapusti cevi, ter, da se telo ustavi v sredini tuljave kjer so sile, ki delujejo na telo enake nič oz. da se energija, ki jo vsebuje izstrelak toliko izniči, da je izstopna hitrost izstrelka zelo majhna oz. skorajda brez energije.
- V primeru prenosa tega znanja na izdelavo tovrstne tehnologije, bi za optimalni izkoristek bilo potrebno tuljave razvrstiti pravilno na takšen način, da bi v času potovanja izstrelka, tuljave delovale tako, da ko je izstrelak na začetku ene tuljave bi ga privlačili naslednji dve. Tuljave pa bi prav tako bilo potrebno uskladiti na takšen način, da bi preden bi izklopila npr. 1. tuljava bi 2. tuljava že delovala, saj bi tako zagotovili izstrelku konstantno pospeševalno silo, ki bi jo povzročile tuljave.

Ugotovitve kažejo torej, da je potrebna nekakšna metoda pravočasnega izklopa tuljave, da omogočimo izstrelku neovirano gibanje skozi cev. Takšen izklop je mogoče doseči z induktivnim stikalom in ustreznim vezjem.

Upoštevali smo, da imajo vse tuljave, ki smo jim spreminjali obliko, iste lastnosti kot so število ovojev in tok ki teče skozi njih. Kar nam je zagotovilo primerljive rezultate in zanimiva odkritja.

V raziskavi smo opredelili našo optimalno obliko tuljave. Ta je 20 mm dolga in 8 mm visoka in je v naši raziskavi pokazala, da je glede na razmerje velikosti in količini oddane energije ta najprimernejša za uporabo pri izdelavi magnetne puške, saj je razmerje velikost-sila ravno pravšnja.

Pri meritvah smo bili dosledni in napravili 27 meritev pri vsaki obliki tuljave. Meritve so bile izvedene tako, da smo izstrelak premikali po 2 mm najprej pri oddaljenosti 26 mm od središča tuljave. Nato smo premikali izstrelak proti središču in zopet na drugo stran tuljave do oddaljenosti 26 mm. Iz rezultatov je razvidno, da je naša merilna metoda podala zelo dosledne rezultate pri istih oddaljenostih na eni ali drugi strani tuljave. Kar je pomenilo, da je naša merilna metoda zanesljiva.

Ugotovili smo:

- Da deluje največja sila na izstrelak v bližini vstopa izstrelka v tuljavo.
- Daljša tuljava deluje na izstrelak z večjo silo kot krajša.
- Sila na izstrelak večjega premera je večja kot na izstrelak manjšega premera.
- Sila na daljši izstrelak je večja kot na krajši izstrelak.

Prišli smo do zaključka, da večji kot je izstrelak večja je sila, ki deluje nanj.

Pri raziskavi smo razmišljali v smeri kolikšna energija se prenese iz tuljave v izstrelak. Razvidno je, da je energija največja takrat, ko je delujoča sila na izstrelak največja na čim daljši poti pospeševanja.

Porodila so se tudi dodatna vprašanja pri implementaciji optimalne oblike tuljave v samo izdelavo magnetne puške, saj z izbiro optimalne tuljave, katero smo definirali v raziskavi, se sama velikost magnetne puške poveča zaradi postavitve tuljav. Tu so odprta dodatna vprašanja ali je bolj ekonomično postaviti tuljave tako, da pridobimo na prostoru in velikosti končnega izdelka vendar pri tem izgubimo nekaj izkoristka tuljave. Ali pa je bolje izkoristiti silo, ki jo proizvede optimalna tuljava in izgubiti na obliki ter velikosti končnega izdelka.

6 POVZETEK

Pri raziskovalni nalogi sva si izbrala različne oblike tuljav. In sva potem s pomočjo izračunov in primerjav določila optimalne lastnosti tuljave, ki je glede na silo na izstrelek podala najboljše rezultate. Na podlagi teh izračunov bi lahko kasneje našla najprimernejšo tuljavo in izstrelek za uporabo v tehniki magnetnih pušk. Za osnovni model tuljave sva si izbrala dolgo tuljavo dolžine 20 mm in višine 8 mm.

Zaradi velikega zanimanja in mnogo vprašanj sva se lotila raziskovalne naloge, katero sva temeljila na podlagi štirih hipotez.

Te hipoteze so bile:

- Daljša je tuljava, večja je sila na izstrelek.
- Največjo silo ima tuljava, ki je enako dolga kot izstrelek
- Daljši je izstrelek, večja sila deluje nanj
- Večji je premer izstrelka, večja sila deluje nanj

Nekaj novega sva odkrila pri hipotezi, da ima največjo silo na izstrelek tuljava, ki je enako dolga kot izstrelek. Tu so bila najina pričakovanja napačna, zato sva po pregledu rezultatov to ovrgla. Ugotovila sva, da ima največjo silo tuljava, ki je daljša od izstrelka.

Ostale 3 hipoteze sva pravilno predvidela.

S pomočjo predznanja sva nekatere rezultate pričakovala. Nekateri rezultati so naju pa tudi presenetili in sva se naučila veliko novega.

Iz najine raziskave se sedaj, da določiti optimalno dolžino tuljave, postavitve in pa presek ter dolžino izstrelka.

Pri tem zaključku se nama je pa odprlo tudi nekaj novih hipotez za nadaljnje raziskovanje.

Pri nadaljevanju iskanja optimalne tuljave in izstrelka bi lahko še izračunala:

- Silo na izstrelek pri različnih materialih.
- Pospešek in končno hitrost izstrelka pri različnih masah izstrelka
- Vpliv oblike izstrelka na silo na izstrelek (aerodinamična oblika)

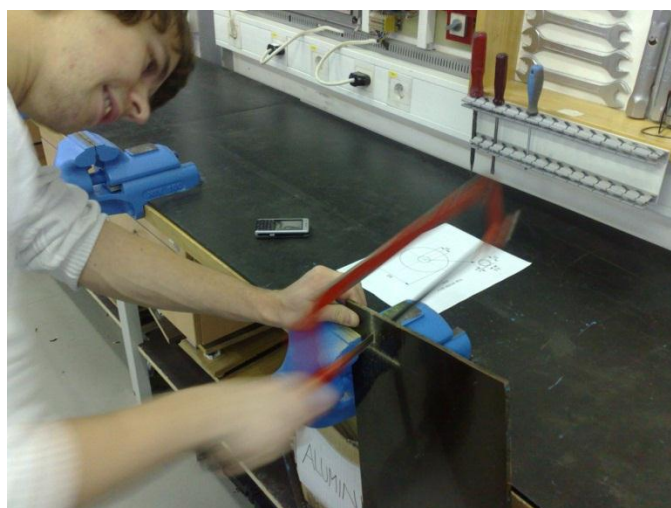
To je nekaj od stvari, ki so se nama prikazali pri raziskovanju in so dobra iztočnica za nadaljevanje raziskave in izboljšanje magnetne puške.

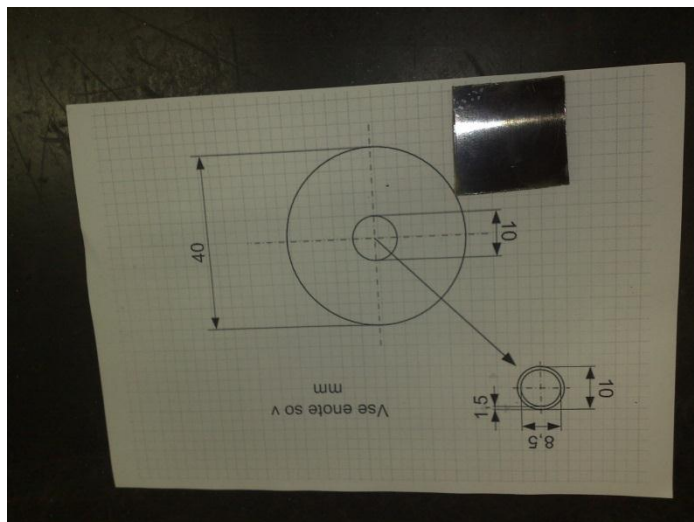
7 ZAHVALA

Zahvaljujeva se mentorju gospodu Matjažu Žeraku za pomoč, usmerjanje ter trud in podporo pri raziskovalni nalogi. Gospe Sonji Lubej za lektoriranje povzetka. Razredničarki Marjetki Herodež za opravičene izostanke od pouka. Zahvala gre tudi elektro in računalniški šoli in vsem, ki so pripomogli k nastanku te naloge.

8 PRILOGE

Priloga 1: Izdelava tuljavnika za magnetno puško

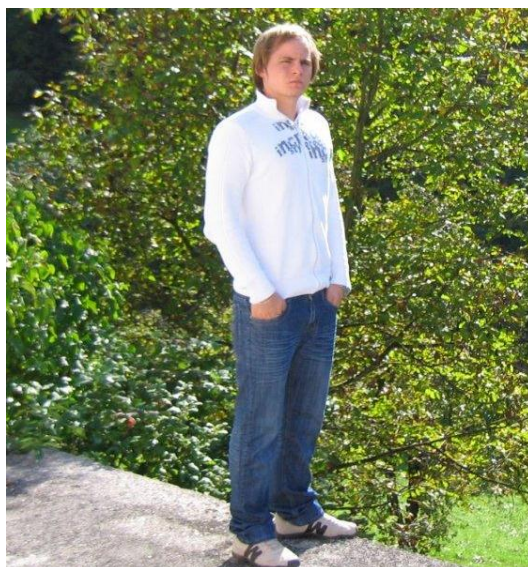




Priloga 2 : Končni izdelek



Priloga 3 : Avtorja Raziskovalne



9 VIRI IN LITERATURA

1. DAVID MEEKER. 2006. FEMM 4.2 Magnetostatic Tutorial. January 2006.
2. DAVID MEEKER. 2010. Finite Element Method Magnetics. Version 4.2. User's Manual. October 2010.
3. <http://www.femm.info/wiki/HomePage>
4. <http://www.google.si/>
5. http://www.coilgun.eclipse.co.uk/projectile_design.html
6. <http://en.wikipedia.org/wiki/Coilgun>
7. <http://www.coilgun.info/about/home.htm>
8. <http://www.powerlabs.org/coilgun.htm>