

ŠOLSKI CENTER LJUBLJANA  
SREDNJA STROJNA IN KEMIJSKA ŠOLA LUBLJANA



PROJEKTNA NALOGA  
IZDELAVA NATANČNE KOPIJE  
SREDNJEVEŠKEGA MEČA

Avtorja:

Jon Kren, S4Č

Matic Pirih, S4Č

Mentor:

Robert Jamnik

Ljubljana, marec 2021

V raziskovalni nalogi bova predstavila postopek izdelave natančne kopije srednjeveškega meča. Opisala bova razvoj srednjeveškega meča skozi stoletja uporabe, natančno izdelavo meča, uporabljene postopke za izdelavo, lastnosti materialov, orodje današnjega časa ter prav tako orodje, s katerim je bil meč izdelan originalno.

## Namen in cilji raziskovalne naloge

Najin cilj je izdelati natančno kopijo meča, s čim več podobnostmi originalnemu izdelku. Uporabila bova moderne in starodobne tehnike izdelave, preko katerih bova stopila korak bližje času, v katerem je bil meč izdelan. Z raziskovalno nalogo bova tudi pridobila znanje o tehniki in materialu izpred nekaj stoletij.

## Contents

Namen in cilji raziskovalne naloge .....	2
1. Razvoj meča skozi srednji vek .....	5
2. Material uporabljen za izdelavo.....	7
2.1 Opis materiala.....	7
2.2 Uporaba .....	7
2.3 Lastnosti jekla .....	7
3. Izdelava.....	8
3.1 Zasnova meča .....	8
3.2 Izdelava meča .....	8
3.3 Izdelava branika .....	11
3.4 Izdelava glaviča .....	12
3.5 Izdelava ročaja .....	13
4. Zaključni izdelek.....	14
5. Orodja.....	15
6. Razvoj materiala od srednjega veka do danes .....	19
7. Viri .....	20

Figure 1; Original vikinškega meča .....	5
Figure 2; Normanski meč .....	5
Figure 3; Renesančni meč Estoc .....	6
Figure 4 Grobo kovan trn .....	8
Figure 5 Zarisana ravna površina.....	9
Figure 6 Žig delavnice.....	10
Figure 7 Spolirano rezilo .....	10
Figure 8 Spolirani branik .....	11
Figure 9 Spolirani branik .....	12
Figure 10 Povit ročaj .....	13
Figure 11 Izgled celotnega meča .....	14
Figure 12 Izgled ročaja .....	14
Figure 13 Tračna brusilka .....	15
Figure 14 Strojno kladivo .....	16
Figure 15 Udarno orodje.....	17
Figure 16 Prikaz srednjeveškega brušenja.....	18
Figure 17 Prikaz strojnega kladiva .....	18
Figure 18 Rekonstrukcija plavža .....	19

## 1. Razvoj meča skozi srednji vek

Ko je Rimsko cesarstvo padlo, so njegovi vojaki že dolgo zamenjali Gladiusa s kratko rezilo za njegovega potomca Spatha. Vojaki so segali okoli velikih ovalnih ščitov z dolgim rezilom in zbadali svoje Sovražnike. Meči se od leta 400 do približno leta 1000 niso veliko spremajali. Vikingi so uporabljali relativno dolge enoročne meče, ki so jih tudi laminirali, za boljšo homogenost materiala.



Figure 1; Original vikingškega meča

Takrat so za oklep največkrat uporabljali verižnino, saj so imeli meči bolj tope konice in so bili namenjeni za sekanje. Ob razpadu vikingov, se je stil meča zelo spremenil. Ročaj je imel veliko daljši branik, oblika glaviča se je tudi spremenila v bolj želodasto obliko.



Figure 2; Normanski meč

V 13. stoletju se pojavi nova, daljša oblika meča. Dolgi meč ima med 85 in 110 cm dolgo rezilo in tehta od 1200 do 2000 gramov. Večinoma so ga uporabljali vitezi kot sekundarno orožje. Prvi tipi so bili krajši ter imeli bolj tope konice za boj proti verižnini.

V sredini 14. stoletja je postal pločevinast oklep veliko bolj pogost za vojake, zato tope konice niso bile več učinkovite proti vitezom. Razvili so ožje, debelejše in bolj špičaste meče, da bi lahko prebodli človeka med luknjami v oklepu.

Od približno 1300 do 1500 so se zaradi izboljšanja pločevinastega oklepa vse hitreje razvijali inovativni modeli mečev. Glavna sprememba je podaljšanje ročaja, ki omogoča dvoročno uporabo, in daljše rezilo. Do leta 1400 je bila ta vrsta meča, takrat imenovana langes Schwert (dolgi meč) ali spadone, pogosta in preživeli so številni Fechtbücherji iz 15. in 16. stoletja, ki prikazujejo navodila za njihovo uporabo. Druga varianta so bili specializirani oklepni meči tipa estoc. Estoc je postal priljubljen zaradi svoje sposobnosti, da se potiska v reže med oklepнимi ploščami. Oprijem je bil običajno ovit z žico ali grobo živalsko kožo, da je bil boljši oprijem in je uporabniku težje zdrsnil iz roke.



Figure 3; Renesančni meč Estoc

## 2. Material uporabljen za izdelavo

### 2.1 Opis materiala

Jeklo vsebuje nadpovprečno količino ogljika v primerjavi z drugimi ogljikovimi jekli. Uporaben je zaradi zmožnosti doseganja visokih trdot, a s toplotno obdelavo hkrati izgubimo žilavost jekla značilno za druga konstrukcijska jekla.

### 2.2 Uporaba

Kaljeno in posledično popuščano jeklo uporabljeno za hladno valjane vzmeti, žice, kovane izdelke, rezilna orodja, itd.

### 2.3 Lastnosti jekla

- Modul elastičnosti [ $10^3 \times N/mm^2$ ]: 210
- Gostota [ $g/cm^3$ ]: 7,85
- Žarjenje pri  $926^\circ C$
- Popuščanje pri  $350-700^\circ C$
- Kovanje pri  $850-1050^\circ C$

### 3. Izdelava

#### 3.1 Zasnova meča

V muzeju sem našel skico izvirnega meča, jo na računalniku povečal na razmerje 1:1 ter izmeril vse potrebne dimenziije. Omenjene dimenziije meča sem tem bolj natančno in pazljivo s svinčnikom prenesel na papir, na katerega sem se skliceval pri izdelavi rezila, branika, ročaja ter glaviča.

#### 3.2 Izdelava meča

Izdelavo sem začel s kovanjem rezila iz okrogle palice premora 20 milimetrov. Najprej sem s pomočjo strojnega kladiva, ki ima približno 60 kilogramsko udarno glavo, sploščil palico na pravokoten presek približno 25x10 milimetrov. Nato sem na nakovalu skoval z 2.8 kilogramskim kladivom, konico ter trn za ročaj. Razžaril sem pričetek rezila in začel kovati rob. Palico sem na nakovalu nagnil približno pod kotom 20 stopinj, prav tako tudi kladivo. Tako sem dobil približno rombičen presek z robom debelim od 2 do 3 milimetre. Na koncu sem cel trn razžaril in pustil, da se ohladi v peči.



Figure 4 Grobo kovan trn

Ohlajen meč sem za tem vpel v primež in s kotno busilko odbrusil vso morebitno nastalo oksidacijo na površini obdelovanca. Zdaj že grobo zbrušeni meč sem iz kovaškega primeža izpel in na hitro poravnal prej zbrušeno površino na tračni brusilki s 40 granulacijo keramičnega platnenega traku. Iz skice sem z ravnilom in alkoholnim flomastrom prenesel natančen izgled skice. V kotno brusilko sem vpel

tanko rezalno ploščo za rezanje nerjavečega jekla in odrezal ves odvečen material, ki mi je v napoto. Rezilo sem izpel, ga ohladil v hladni vodi ter na tračnem brusilnem stroju zbrusil odrezano površino. Vpel sem ga nazaj v primež in izpel rezalni disk ter vpel s sedaj bolj primernim brusilnim diskom. Pod kotom sem zbrusil sredinsko črto in pustil rob še relativno debel za kaljenje.



Figure 5 Zarisana ravna površina

Naslednji postopek je verjetno najpomembnejši izmed vseh do zdaj. Pri kaljenju namreč tvegamo uničiti vse delo do sedaj. Za to je več razlogov; mikro razpoke, ukrivljanje, nemerno pregorevanje materiala. Pred samim postopkom kaljenja, je bilo za to potrebno pripraviti daljšo kalilno peč domače izdelave. Na peč sem pritrdil pihalnik in pričel s segrevanjem peči. Ko je minilo dovolj časa, da je nastala primerna količina žerjavice, sem v peč previdno vstavil rezilo. Meč sem nato začel počasi prekrivati z ogljem in žerjavico, tako da je bilo povsod bolj ali manj enakomerno segreto. Posebno previdnost sem posvetil konici meča. Med obratovanjem kalilne peči sem meč enakomerno pomikal vzdolž kalilne peči za približno 100 milimetrov. Ko se je segrel na približno rahlo oranžno barvo, sem ga previdno odstranil iz žerjavice in postavil na nakovalo. S pomočjo pomočnika sem še v rezilo vbil žig moje delavnice. Nato sem ga vpel za trn v primež. Tam se ga pustil par minut oziroma dokler se ni večinoma ohladil. Meč sem nato vrnil v žerjavico in proces ponovil še dvakrat. Po zadnjem takem segrevanju, sem ga še zadnjič razžarel in ga potopil v že prej segreto olje. V olju sem ga pustil okoli 20 sekund, nato sem ga potegnil ven in preveril trdoto s pilo. Meč sem nato razmastiil s pomočjo odvečnega pepela peči.



Figure 6 Žig delavnice

Po kaljenju sta sledila še zadnje 2 procesa izdelave, fino brušenje in poliranje. Na tračni brusilki sem z rabljenim grobim trakom odbrusil nastalo martenzitno površino. Najprej sem na meč narisal sredinsko črto z alkoholnim flomastrom ter zarisal končno obliko rezila. To obliko sem na tračni brusilki zbrusil. Vpel sem ga v primež in s kotno brusilko zbrusil rob na približno 1 milimeter. Zatem sem še zbrusil konus po debelini, zbrusil rob na pol milimetra debeline in točno poravnal sredinsko črto. Vzel sem kos lesa, ga vpel v primež in na les previdno vpel rezilo. Začel sem z dolgim procesom poliranja. S 40 brusilnim papirjem sem poliral vzdolž rezila, da sem odstranil vse prečne praske. Nadaljeval sem s 60, 80, 120, 150, 180, 240, 320 in 360.



Figure 7 Spolirano rezilo

### 3.3 Izdelava branika

Izdelavo branika sem pričel z risbo originalnega. Branik sem skoval iz kvadratne jeklene palice ck 18 20x20 milimetrov. S pomočjo strojnega kladiva sem grobo izvlekel ven obe stranice, 4 cm sredine sem pa pustil rahlo debelejšo. Za tem sem vzel kos listnate vzmeti in jo zbrusil na enak prečni presek kot je rezilo. Branik sem sprva prebil z dletom, nato pa še s trnom, da sem dobil točno prilego na rezilo. Ko se je ohladil, sem s tračno brusilko odbrusil nastalo škajo na vseh površinah. Z alkoholnim flomastrom sem označil točno obliko in jo zbrusil. Za tem sem ponovno segrel peč in zaukrivil obe strani navzgor proti rezilu. Ko se je ohladil sem še pobral robe in ga spoliral. Nesel sem ga k peči in ga zelo rahlo razžaril ter premazal z voskom, da sem ga bruniral.



Figure 8 Spolirani branik

### 3.4 Izdelava glaviča

Vzel sem okroglo jekleno ck-18 palico premera 60 milimetrov in dolžine 35 milimetrov. S pomočjo strojnega kladiva in skice sem ga skoval v približni izgled. Z asistentom sem ga z macolo spravil v malo bolj končno obliko. S tračno brusilko sem odbrusil škajo s površine in s flomastrom zarisal sredino. S točkalom sem označil in s 4.5 milimetrskim svedrom zvrtal luknjo vse skozi. S flomastrom sem zarisal čelno obliko in s kotno brusilko odrezal odvečni material. Reze sem očistil s tračno brusilko. Kos sem nato ohladil v vodi in ga vpel v primež. S pilo sem spilil zadnje stopničke. S tračno brusilko sem še odstranil kote, da je prijeten za oprijem. Z malimi pilami sem povečal luknjo, da se je popolnoma prilegal trnu. Na koncu sem še na tračni brusilki spoliral vse površine ter segrel peč. Prav tako kot branik, sem segrel tudi glavič in ga premazal z voskom, da sem dobil črn izgled.

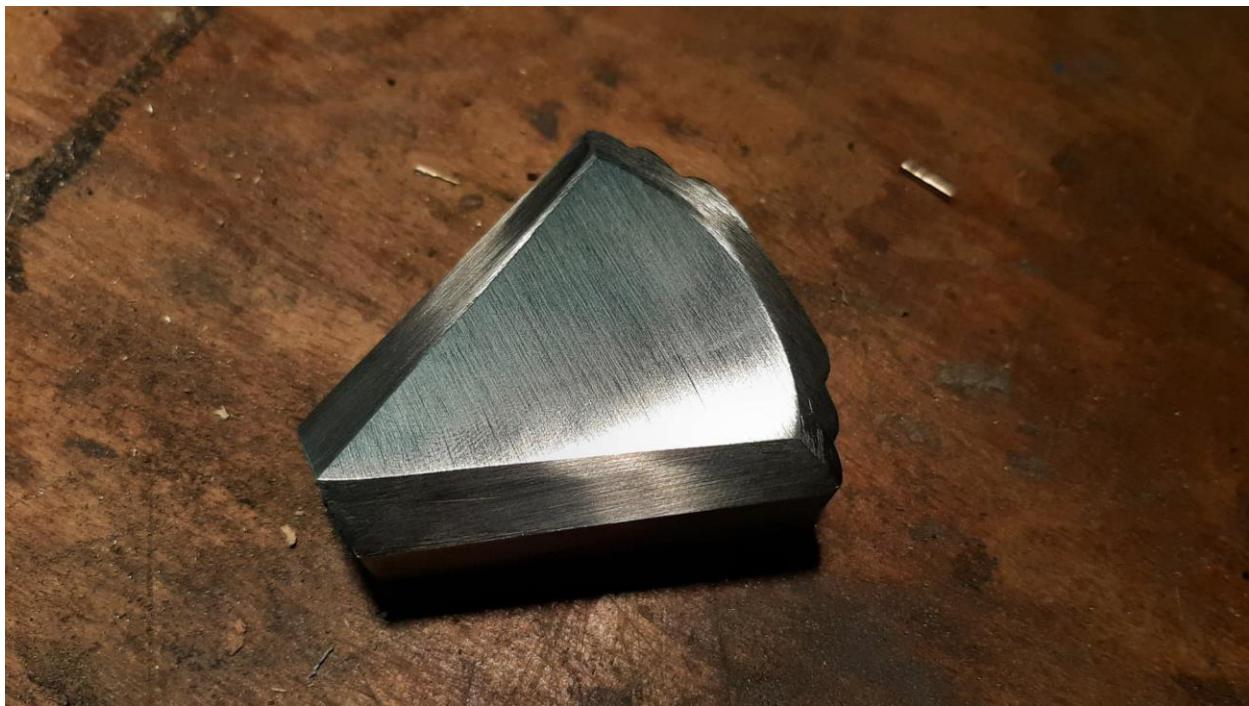


Figure 9 Spolirani branik

### 3.5 Izdelava ročaja

Predno sem se lotil ročaja sem še skupaj združil rezilo, branik in glavič. Ko je bilo vse na svojem mestu sem, zakovičil trn na rezilu, da se nič ne more premakniti. Za tem sem vzel kos jesenovega lesa in odrezal 2 kosa 190x20x30 milimetrov. Zbrusil sem ju na tako dolžino, da sta pasala med branik in glavič brez razpoke. Na en kos sem obriral trn in po tej črti zarezal z nožem. Z dletom sem stesal utor, ki paše direktno na ročaj. Oba kosa sem skupaj zlepil in ju zbrusil in spoliral v končno obliko. Razdružil sem ju in razmastil ter ponovno zlepil, tokrat na trn meča. Vmes ko se je lepilo strjevalo, sem odrezal kos usnja, ki je enake dolžine ročaja in enake širine, kot je obseg. Z nožem sem pobral robe, da bi bil spoj manj viden. Vzel sem črno bravo in celotno usnje prebarval. Ko se je strdilo lepilo sem nanesel lepilo na površino lesa ter notranjega dela usnja. Ko se je strdilo sem odrezal še 2 kosa vrvice na enako dolžino kot je obseg. Nato sem rahlo navlažil usnje in ga ovil okoli ročaja. Povezal sem ga še z vrvico, a sem dosegel boljši oprijem. Po parih urah sem vrvico odvил in projekt je bil zaključen.



Figure 10 Povit ročaj

#### 4. Zaključni izdelek



*Figure 11 Izgled celotnega meča*



*Figure 12 Izgled ročaja*

## 5. Orodja

Od strojnega orodja sem uporabil:

- Kovaško peč z električnim podpihom, ki je zmožna doseči temperature okrog 1200 °c. Zame je bila optimalna temperatura 900-1000 °c, ker sem moral paziti, da materiala ne pregrejem ter da temperaturo ohram dovolj visoko, da je kovanje potekalo učinkovito.
- Kotno brusilko, s katero sem odstranil približno 1000 gramov materiala in meč obdelal v manj grobo obliko od začetne. S tem postopkom sem tudi zagotovil, da je težišče na željeni (zgodovinsko ustrezni) točki.
- Tračni brusilni stroj, s katerim sem meč bolj fino obdelal in zbrusil, istočasno pa ga spravil na končno debelino ter ga spoliral. Na tračni brusilki sem uporabil trakove granulacije od 40 do 1000.



Figure 13 Tračna brusilka

- Vrtalni stroj, katerega sem uporabil za izvrtino v braniku(fi 6 mm), kateremu sem nato luknjo za rezilo povečal s trnom v obliki rezila. Zavrtal sem tudi luknjo v glavič s 4.5 mm svedrom.

-Strojno kladivo (federhammer), sem uporabil za večino grobega kovanja. Strojno kladivo je zmožno udarcev s silo več kot 600 N, kar je več kot dovolj za potrebe kovanja predstavljenega meča. Kladivo deluje na principu ekscentrične osi in močne listnate vzmeti, kar omogoča udarce z enakomerno silo in boljši nadzor nad kovanjem obdelovanca.



Figure 14 Strojno kladivo

Od ročnega orodja sem največ uporabil kladiva za oblikovanje izdelka v kombinaciji z nakovalom ter različnimi udarnimi orodji, s katerimi sem zagotovil korektno obliko in površino meča. S točkali, prebijači in sekači sem si pomagal pri izdelavi branika ter glaviča – npr. Izdelava luknje v branik in glaviču meča. Med izdelavo izdelka sem ga vpenjal v primeže različnih velikosti, katere so ustrezale mojim željam med izdelavo. Na koncu grobega oblikovanja vseh delov meča sem uporabljal tudi pile različnih oblik in grobosti.



Figure 15 Udarno orodje

V srednjem veku so imeli kar veliko načinov za brušenje jekla. Ker je bilo železo takrat bistveno bolj dragoceno, so se veliko bolj potrudili, da so skovali čim bolj točno in v končno obliko. Ko je bilo skovano so ponavadi uporabili razna strgala ter pile. Imeli so pa tudi brusilne kamne, ki so jih lahko poganjali ročno ali pa s pomočjo mlina na vodo.

V današnjem času je pa brušenje veliko hitreje ter manj naporno. Ker so naše metode zelo učinkovite, si lahko privoščimo, da pustimo obdelovanec debelejši. Za grobo brušenje običajno danes uporabljam kotno brusilko, za bolj fino pa tračni brusilnik. Proses poliranja je pa ostal bolj ali manj enak. Danes uporabljam brusilni papir, včasih so pa med drugim uporabljali tudi kožo morskih psov.



Figure 16 Prikaz srednjeveškega brušenja

Tako kot danes, so si ljudje tudi v srednjem veku si poskušali tem bolj olajšati fizično delo. Prva strojna kladiva so se pojavila že v 12. stoletju. Takrat so delovala s pomočjo osi in mlina na vodo. Ko se je mlin v vodi vrtil, je vrtel zraven tudi os. Os je imela na sebi izbolklino, ki je z vsakim obratom dvignila leseni hlod, ki je na koncu imel železno glavo. Ta glava je nato udarjala na nakovalo.

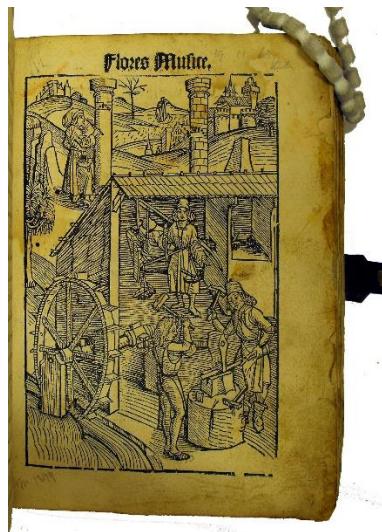


Figure 17 Prikaz strojnega kladiva

## 6. Razvoj materiala od srednjega veka do danes

V srednjem veku se je izdelava vsakega meča začela po istem postopku. Ta postopek je namreč pridobivanje železa iz plavža. V srednjem veku sta bile 2 veliki inovativnosti v fužinarstvu; uporaba vodne moči pri pridelavi železa ter prva evropska proizvodnja litega železa. Železo so s pomočjo vodne moči pridelovali do konca 18. stoletja. Mnogo rezil je bilo narejenih samo iz železa, nekateri so imeli pa kovaško privarjen rob iz jekla. Jeklo so takrat pridelali tako, da so tanjše kose železa zračno zaprli v posodo, katero so napolnili z virom ogljika, kot je na fino zdrobljeno oglje. S tem so železo cementirali (naogljičili) in s tem pridobili jeklo. Jeklo je bilo veliko dražje, zato so z jekлом varčevali.



Figure 18 Rekonstrukcija plavža

## 7. Viri

- Lasten
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Sword>
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Steelmaking>
- <https://steelselector.sij.si/steels/CK75.html>
- <https://www.haraldthesmith.com/>