



## **Středoškolská technika 2019**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

### **PARNÍ STROJ**

**Lea Vagnerová**

Gymnázium Botičská  
Botičská 1, Praha 2

## **Anotace**

Odborná práce se zabývá konstrukcí modelu parního stroje. V práci jsou popsány vybrané kapitoly z historie, druhy a uspořádání parních strojů. Práce také obsahuje počítačové modely jednotlivých dílů, jejich okótované nákresy a postup při výrobě.



# Obsah

Anotace.....	3
Obsah.....	5
Úvod.....	6
Přehled literatury .....	7
Historie parního stroje.....	7
T. Savery a T. Newcomen.....	9
James Watt .....	9
Rozdělení parních strojů.....	10
Základní dělení .....	10
Hledisko páry .....	12
Vnitřní rozdíly.....	13
Poháněný stroj.....	13
Uspořádání parního stroje.....	14
Metodika .....	16
Kotel a pojistný ventil .....	16
Šoupátko .....	18
Válec, píst a pístní tyč.....	19
Ojnice a hřídel.....	20
Setrvačnick.....	21
Ložiska, držáky a rozvod páry .....	21
Výsledky a diskuse .....	24
Kotel a pojistný ventil .....	24
Šoupátko .....	28
Válec, píst a pístní tyč.....	31
Ojnice.....	35
Kliková hřídel a setrvačnick .....	37
Ložiska, držáky a přívod páry.....	39
Závěr.....	45
Seznam literatury .....	46

# Úvod

Jako téma své práce jsem zvolila parní stroje. K tomuto tématu mne dovedl zájem o to, jak parní stroj vznikl, kteří vynálezci stáli za jeho vývojem a jak celý stroj funguje. Cílem mé práce je seznámit se s jednotlivými částmi parního stroje a jejich funkcemi. Budu se zabývat výkresovou dokumentací v konstrukčním programu, ve kterém taktéž vytvořím ke každé součástce její model. Výstupem z mé práce by měl být funkční model parního stroje. Částečně budu vycházet z modelu, který jsem stavěla již dříve a zdokonalím jeho konstrukci a účinnost.

# Přehled literatury

## Historie parního stroje

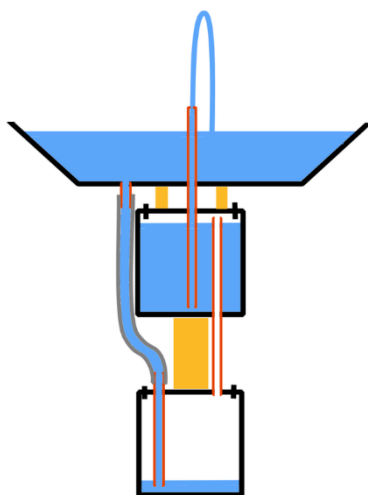
Historie parního stroje začíná již v 1. století našeho letopočtu, ze kterého se dochovaly spisy Héróna Alexandrijského. V těchto spisech je popsán parní stroj nazývaný Aeolipile. Jednalo se o zavěšenou kulovou nádobu s tryskami po obvodu. Byla naplněna vodou a zahřívána nad ohněm. Jak se voda ohřívala, trysky vypouštěly páru, takže se nádoba reaktivní silou roztočila.



Obrázek 1 Aeolipile (1)

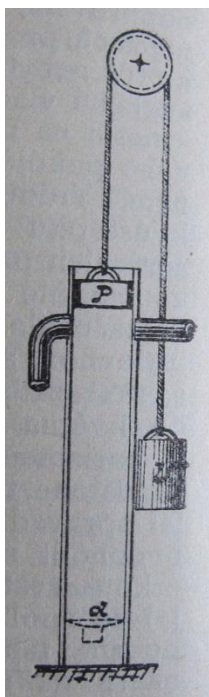
Tepelnými stroji se zabýval i Leonardo da Vinci. Jeho parní zařízení Architonnerre dokázalo vrhnout kouli o hmotnosti přibližně 36 kg do vzdálenosti asi 185 m. Princip spočíval ve vstříkovaní malého množství vody na rozžhavený povrch, přičemž náhle vzniklá pára prudce odcházela ven tryskou. Jiný typ parního stroje je popsán v kodexu Leicester, jedná se o válec zahříváný ohněm, voda v něm se mění na páru a píst, který se pohybuje ve válci tlakem páry, zdvihá převodem přes kladku závaží. (2)(3)

Roku 1609 Giovanni Battista della Porta popsal ve své knize *Spirituali* aparát, ve kterém tlak páry přímo vytlačoval vodu do výšky. Šlo o uzavřenou nádobu s vodou, z níž ústila trubice pod vodní hladinu, nad trubicí byla umístěna. Když se pod nádobou rozdělal oheň, zvýšil se tlak, hnal vodu do trubice a koule se zvedla. Toto zařízení pojmenoval Heronova fontána.



Obrázek 2 Heronova fontána (4)

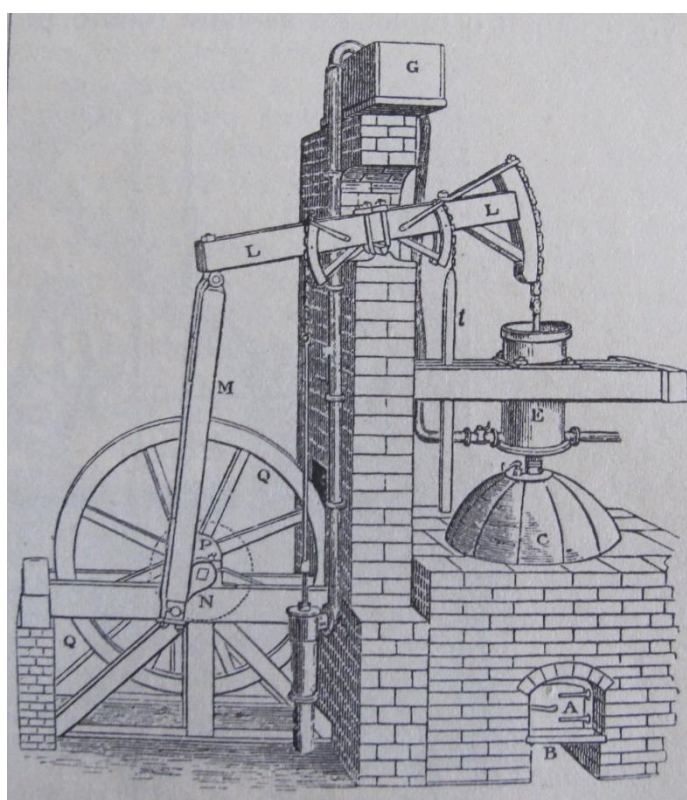
V 80. letech 17. století vynalezl holandský učenec Christian Huygens první výbušný motor. Jednalo se o použití střelného prachu v pístovém stroji, určenému pro čerpání vody. K této práci přizval mladého francouzského mechanika Denise Papina. Huygensův a Papinův stroj měl hnát vodu do fontán v královských zahradách Ludvíka XIX. ve Versailles, což se nakonec nepodařilo uskutečnit. Papin myšlenku motoru neopustil a rozvíjel ji dále sám. Zanechal nebezpečných pokusů se střelným prachem a místo něj začal používat páru. Píst zůstal zachován, při zahřívání jej vznikající pára zdvihala, při ochlazení pára kondenzovala zpět ve vodu, zmenšovala objem a píst klesal. Vedlejším produktem jeho úsilí o parní stroj byl hrnec s pojistným ventilem, který roku 1679 vynalezl. V roce 1690 popsal Papin princip nízkotlakého parního stroje a později postavil i několik parních čerpadel. (2)(5)



Obrázek 3 Huygensův prachový stroj (3)

## T. Savery a T. Newcomen

Anglický vojenský inženýr Thomas Savery jako první uvažoval o použití parních zařízení v průmyslu, proto se spojil s kovářem Thomasem Newcomenem. Vymysleli jednoduchý stroj, v němž ohřívaná pára nejdříve zdvihla píst, obsluha pak válec ochladila studenou vodou, pára zkondenzovala, píst klesl, a tak pořád dokola. Lidskou obsluhu později nahradil ventil, který se automaticky otevřel, když píst dosáhl určité polohy. Nakonec roku 1705 oddělil Newcomen kotel od válce s pístem a vytvořil tak první prakticky použitelný motor, tzv. atmosférický parní stroj. Na něj bylo napojeno vahadlo obvykle ve spojení s důlním čerpadlem. Uvádí se, že Newcomenův parní stroj dosáhl dvanácti cyklů za minutu, při kterých odčerpával 540 litrů vody a nahradil tak práci desítek důlních koní. I přes nízkou účinnost přeměny tepelné energie na práci (přibližně 1 %) a náročnou obsluhu se atmosférické parní stroje v dolech používaly poměrně dlouho. (2)(3)(5)

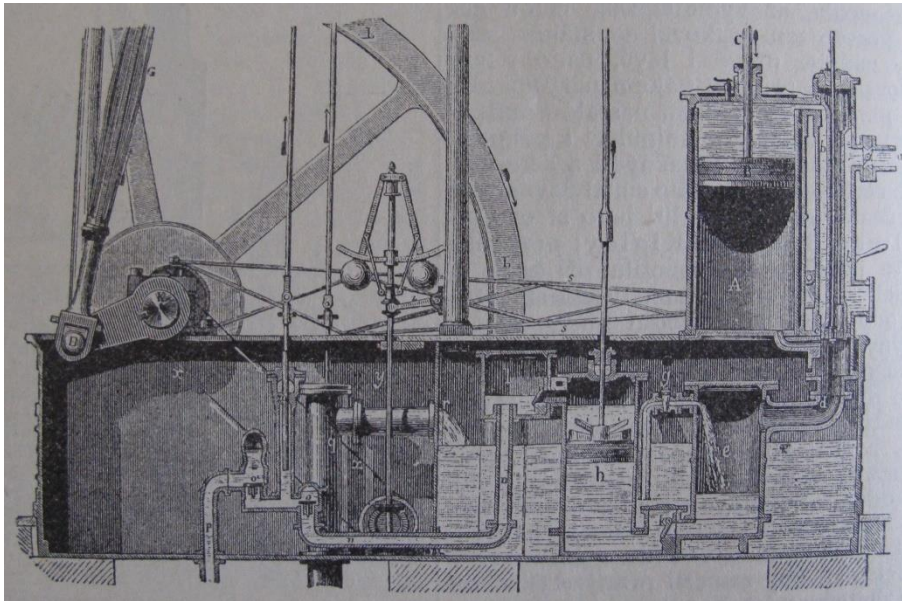


Obrázek 4 Newcomenův parní stroj (3)

## James Watt

James Watt se od roku 1763 věnoval zdokonalování Newcomenova atmosférického stroje. Prvním jeho zlepšením bylo kondenzační zařízení, takže se pára neochlazovala přímo ve válci. Následně přidal k parnímu stroji klikový mechanismus a setrvačnick, což stroji umožnilo vykonávat i otáčivý pohyb. Roku 1782 Watt zavrhl kondenzační fázi při pohybu pístu a začal přivádět páru střídavě na jednu a na druhou stranu válce. Už tedy nepracoval pouze atmosférický tlak, ale také tlak páry, čímž se otevřela cesta k mnohem vyšším výkonům i lepší účinnosti. O dva roky později vynalezl Wattův odstředivý regulátor, který udržoval předem nastavené otáčky stroje. Roku 1775 založil, společně s podnikatelem Matthewem Boultonem, továrnu na výrobu parních strojů, protože chtěl své zařízení zpřístupnit co nejširšímu okruhu podnikatelů. Továrna pod značkou Boulton and Watt postupně uváděla na

trh stále nové a dokonalejší motory a myšlenka nahrazení síly svalů parou začala být všeobecně přijímána. (2)(3)



Obrázek 5 Wattův parní stroj (3)

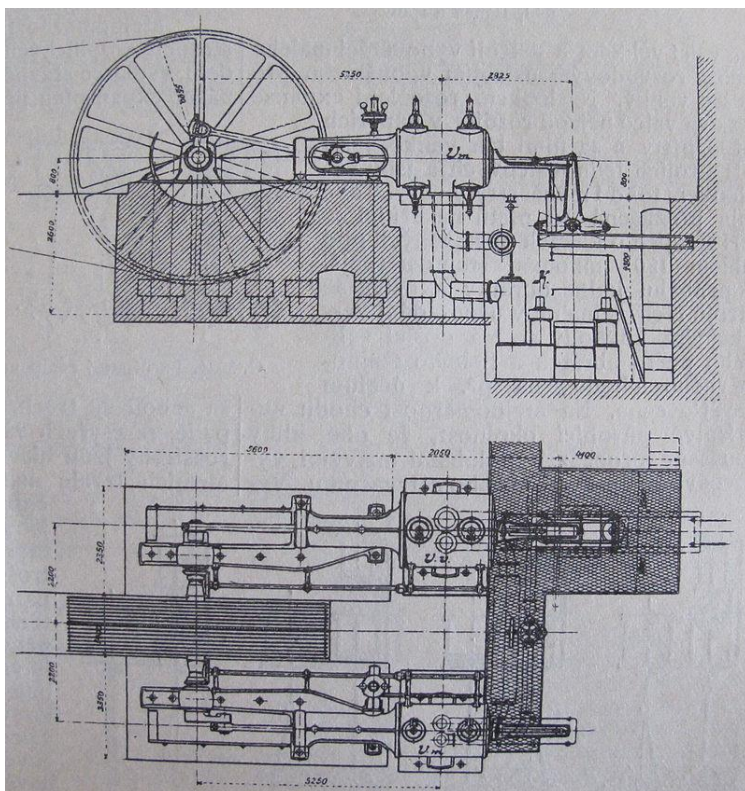
## Rozdělení parních strojů

### Základní dělení

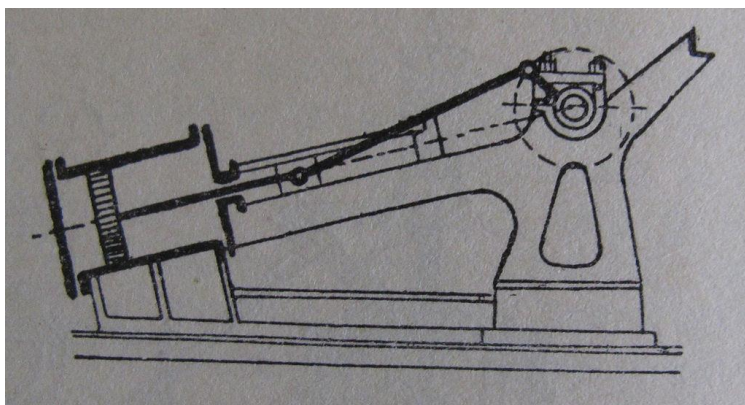
Podle toho, kam stroje vyfukují páru, je můžeme rozdělit na kondenzační a výfukové. Když vypouští stroj páru do vzduchu, je výfukový. Kondenzační je stroj, vypouští-li páru do kondenzátoru. Kondenzační stroje jsou složitější, jejich základy jsou rozsáhlejší a mají větší pořizovací náklady, jsou ale hospodárnější ve spotřebě páry, paliva i tepla. Úspornější jsou až o 30 % podle druhu a velikosti stroje.

Na ležaté, stojaté, šikmé a kývavé můžeme rozdělit parní stroje podle polohy parních válců. Šikmé stroje se využívaly u parních rypadel a hlubidel, kývavé u starých kolesových parníků. Nejvíce se využívaly stroje ležaté kvůli snazší obslužnosti, protože jsou přehledné a přístupné, také se lépe odvodňují a bývají levnější. Tím, že těžké písty leží, však způsobují větší ztráty třením a vybíhání válců, které se pak musí častěji převrtávat. Další nevýhodou je potřeba větší půdorysné plochy, tím pádem rozsáhlejších základů.



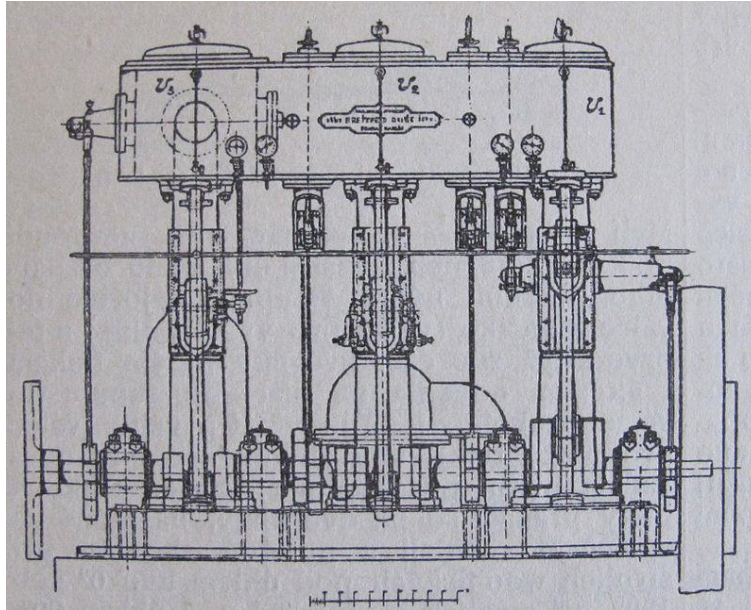


Obrázek 6 Ležatý parní stroj (3)



Obrázek 7 Šikmý parní stroj (3)

Podle počtu válců jsou stroje jednoválcové a několikaválcové. Několika válcové parní stroje jsou buď dvojčité nebo trojčité – skládají se ze dvou nebo tří stejných válců, které jsou uloženy vedle sebe. U dvojčitého stroje jsou kliky obou válců k sobě kolmé, tím je vždy jeden z válců „na zdvihu“ a není potřeba natáčet setrvačnickem při spouštění stroje. Trojčítý stroj má tři kliky, které jsou natočené o 120°. Výhodou několikaválcových strojů oproti jednoválcovému je kromě snadného spouštění rovnoměrnější běh, takže stačí lehčí setrvačnick.



Obrázek 8 Trojválcový stojatý parní stroj (3)

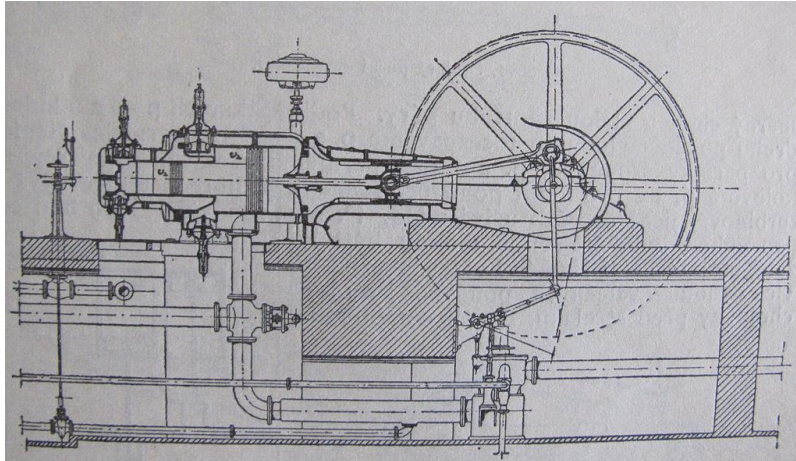
Parní stroje můžeme také rozdělit podle toho, jestli jsou připevněny k základu, což jsou stabilní, stacionární a pevné parní stroje, nebo je možné je snadno přemísťovat, po případě se pohybují vlastní silou, to jsou mobilní, převozná a pohyblivé parní stroje.

Podle toho, jestli pára pracuje na jedné, nebo na obou stranách pístu dělíme parní stroje na jednočinné a dvojčinné. Téměř vždy ale bývají parní stroje dvojčinné. (5)(6)

## Hledisko páry

Na plnotlakové a expanzní můžeme parní stroje rozdělit podle působení páry. U plnotlakových strojů je plnění 100 %. To znamená, že působí plný tlak páry po celou dobu, kdy se zdvihá píst. Využívá se v případech, kde je technologické zpracování nejdůležitějším činitelem, protože je zde velká spotřeba páry. Parní stroje bývají skoro vždy expanzní, což znamená, že plnění je menší než 100 %, tudíž se ve válci využívá rozpínání páry.

Když se podíváme na hledisko jakosti páry, můžou být stroje na sytou nebo přehřátou páru. Kvůli velké úspoře páry převládají stroje na přehřátou páru. Ale na vytápění se více hodí pára sytá, protože snadno kondenzuje. Přitom se uvolňuje značné množství výparného tepla. (6)(7)(8)



Obrázek 9 Schmidtův stroj pro přehřátou páru (3)

## Vnitřní rozdíly

Podle rychlosti rozeznáváme stroje rychloběžné, které mají 200 ot/min, 500 ot/min nebo až 3500 ot/min, a volnoběžné, které mohou mít 150 ot/min nebo 200 ot/min. Rychloběžnost parních strojů by se ovšem měla správněji posuzovat podle velikosti pístové rychlosti než podle počtu otáček.

Podle rozvodu můžeme parní stroje dělit na šoupátkové a ventilové. Zvláštním druhem je stejnosměrný (soproudý) parní stroj. Pára vstupuje do válce vstupními ventily a vystupuje do kondenzátoru otvory ve válci, tento výstup je řízen parním pístem. Pára zachovává při vstupu i výstupu (na stejné straně pístu) stále stejný směr – smysl proudění. U jiných parních strojů proudí pára při plnění a expanzi v jednom směru a při výfuku v opačném směru. Díky technologii stejnosměrného stroje se vstupní prostory válce tolik neochlazují, takže je menší spotřeba páry (přibližně stejná spotřeba jako u dobrého dvouexpanzního stroje). (5)(7)

Parní stroje můžeme také rozdělit podle výše tlaku páry. Stroje s 8 atp nebo 10 atp jsou nízkotlaké. Do 15 atp až 20 atp hovoříme o parních strojích s normálními, středními tlaky. Nad 20 atp jsou to stroje vysokotlaké a nad 50 atp se jedná o stroje s nejvyššími tlaky.

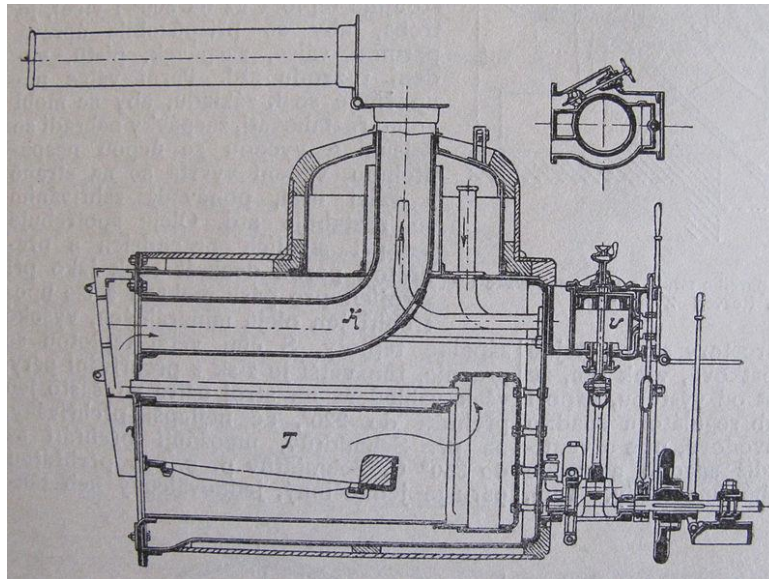
## Poháněný stroj

Parní stroje průmyslové nejenže vykonávají mechanickou práci a pohání pracovní stroje, ale poskytují i teplo svou parou. Teplo se může využívat např. k průmyslovým účelům, jako na průmyslové vaření, paření, odpařování nebo k vytápění dílen i velkých veřejných budov. K těmto účelům můžeme použít stroj protitlakový, který se využívá, když se spotřebuje tolik užitkové páry, kolik jí strojem prochází. Je vlastně stroj výfukový a výstupní pára má tlak přiměřený žádané teplotě páry. Nebo můžeme využít parní stroj odběrový, který se používá, když se potřeba topné páry nerovná množství výfukové páry. Odběrový stroj je kondenzační a odebírá se z něj jen potřebné množství páry.

Převod práce z parního stroje na pracovní stroj se děje nejčastěji s pomocí klikového ústrojí. Jen výjimečně jsou parní stroje bez klikového ústrojí (můžeme také označit jako stroj bez setrvačnicku).



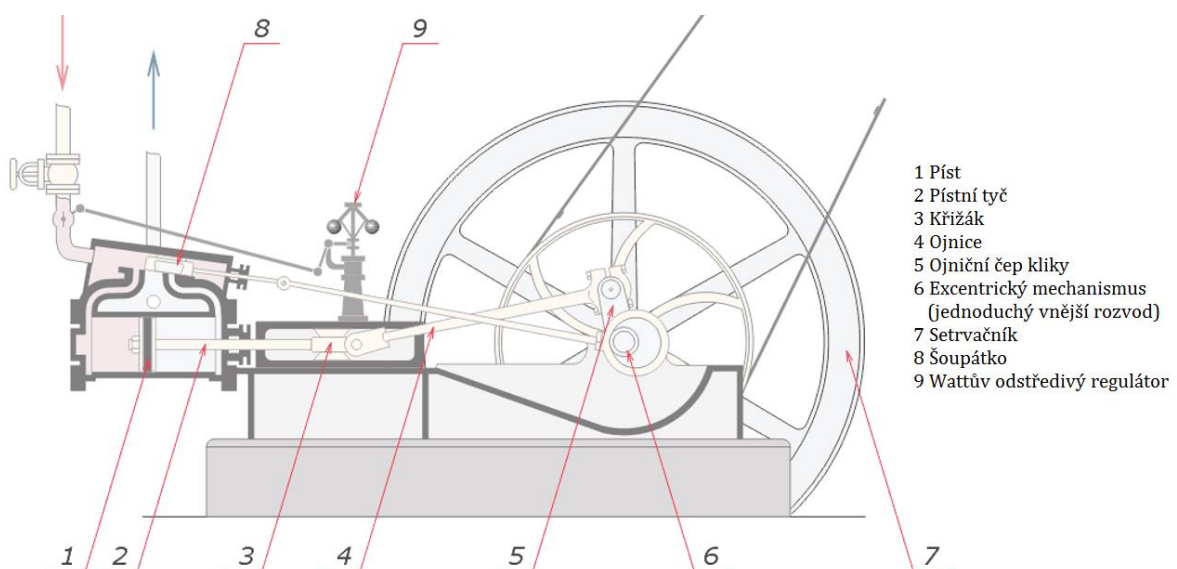
Parní stroje můžeme také rozdělit podle toho, jaký pracovní stroj pohání. Jsou např. generátorové, čerpadlové, kompresorové, dmychadlové, těžní, rypadlové, jeřábové, lodní nebo lokomobilní. (5)(6)(7)(8)



Obrázek 10 Lodní stojatý parní stroj (3)

## Uspořádání parního stroje

Parní motory, jsou motory poháněné parou. Dělíme je na parní stroje pístové a parní turbíny. Parní stroj je parní motor s posuvným a vratným pohybem hnacího ústrojí – pístu. Píst společně s párou se poměrně pomalu (např. 3 m/s) pohybují sem a tam, zatím co kliková hřídel stroje se otáčí (např. 150 ot/min). Parní turbína je parní motor s otáčivým pohybem hnacího ústrojí – oběžného kola. Oběžné kolo s obvodovými lopatkami se otáčejí velkou obvodovou rychlostí (např. 300 m/s) a vysokými otáčkami (např. 3000 ot/min), při čemž také pára vytéká z trysk značnou rychlostí (např. 30 m/s).



Obrázek 11 Schéma jednoválcového parního stroje (9)

Ve válci se nachází píst, jehož činnou plochou a hlavou (čelní plochou) válce prochází pístní tyč. Posuvný pohyb pístu je právě přes pístní tyč, následně přes křížák a ojnicí přenášen na kliku, kde se mění na pohyb rotační.

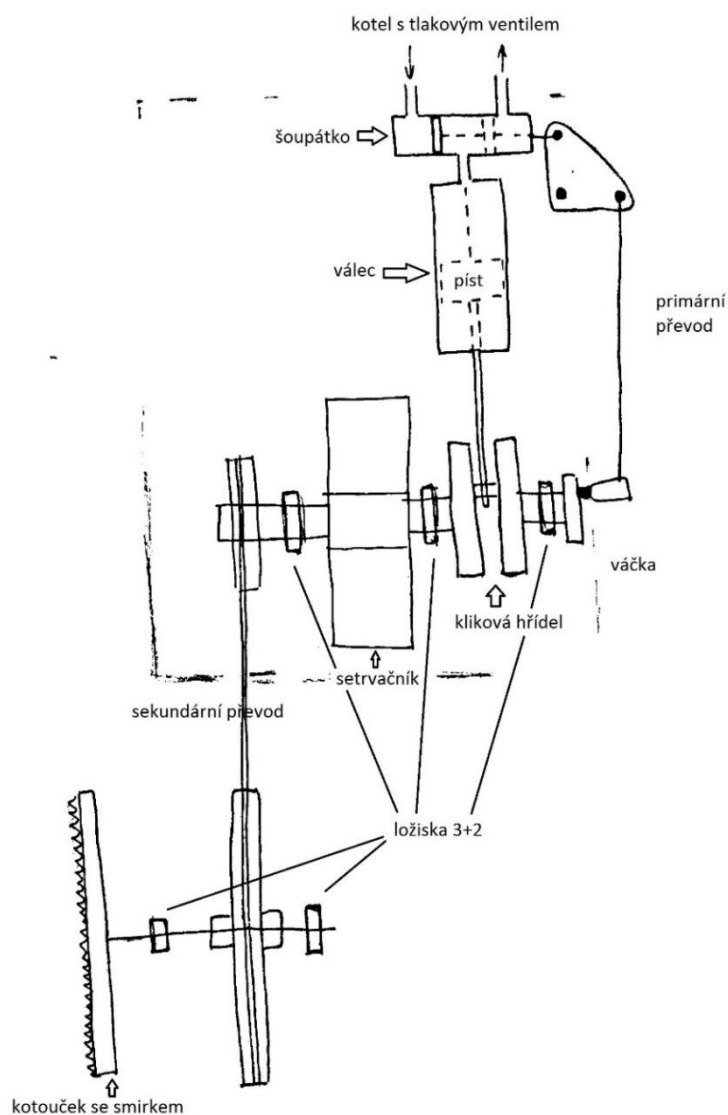
U jednoduchého šoupátkového parního stroje je čerstvá pára přiváděna z parního kotle podle polohy rozvodného šoupátka nebo ventilů střídavě na zadní nebo na přední stranu pístu. (Přední strana je blíže ke klice, zadní strana je na straně stroje, kde je vidět jeho víko.) Tlak páry pohybuje pístem a tento posuvný pohyb se mění klikovým ústrojím (pístnicí, křížákem, ojnicí a klikou) v otáčivý pohyb hřídele. Hřídel poté pohání pracovní stroj, buď přímo, nebo řemenovým převodem.

Kliková hřídel je přímá hřídel s nasazenou čelní klikou na konci hřídele, která je uložena ve dvou ložiskách. Vedle této kliky je klikové ložisko a na druhém konci hřídele je zadní ložisko, mezi ložisky je na hřídeli setrvačnick, který bývá někdy proveden jako řemenový pohon. Jedná-li se o přímý pohon, je na hřídeli místo setrvačnicku příslušný pracovní stroj. (6)(7)(10)

# Metodika

Výkresovou dokumentaci parního stroje jsem zhotovila v konstrukčním programu Fusion360. Při konstrukci jsem používala následující nástroje: výstružník, soustruh, stojanovou vrtačku, pilník, nůžky na plech, cínovou pájku a TIG svářečku. Díly jsem vyráběla z různých materiálů podle potřeby. Rozpis materiálů použitých na výrobu je uveden u jednotlivých dílů.

Rozhodla jsem se pro konstrukci jednočinného parního stroje, který bude pohánět kotouček se smirkovým papírem a sloužit tedy jako brousek na tužky. Ohřev vody jsem zajistila propanbutanovým kahanem. Nejprve jsem si na jednoduchém nákresu (obr. 12) rozvrhla a ujasnila umístění dílu a jejich návaznost.

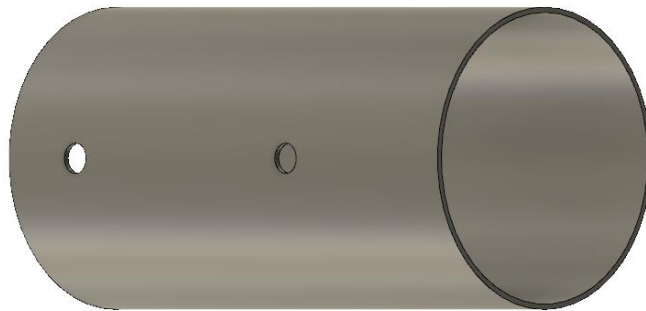


Obrázek 12 Nákres parního stroje (není-li uvedeno jinak, obr. autorka)

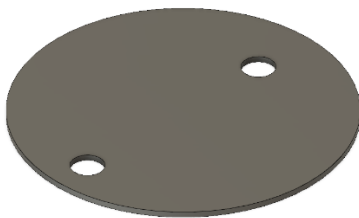
## Kotel a pojistný ventil

Kotel jsem zvolila jednoduchý bez plamenců. Jako základ byla použita nerezová trubka, ke které jsem nechala přivařit dýnka (čela) z nerezového plechu TIG svářečkou (netavící se

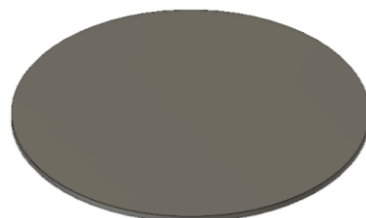
wolframovou elektrodou). Zvolila jsem orientaci kotle na ležato pro lepší stabilitu. Rozhodla jsem se neaplikovat do jednoho z čel průhled, kvůli zvýšené obtížnosti výroby a riziku prasknutí při nedostatečně odolném materiálu.



Obrázek 13 Model těla kotle



Obrázek 14 Model čela kotle

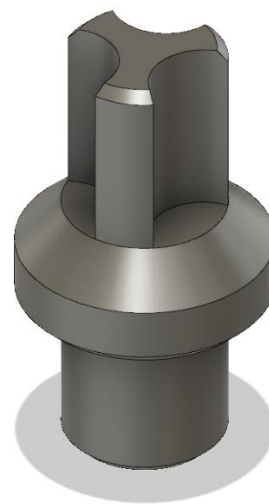


Obrázek 15 Model čela válce

Tlakový pojistný ventil na kotli byl soustružen z mosazi. Skládá se ze sedla s pružinkou a šroubkem. Přitáhnutím šroubku se zvýší přítlak pružinky a tím dojde ke zvýšení tlaku, při kterém se má pára upustit. Tlak z kotle tedy působí proti ventilu s pružinkou. Závitovou vložku jsem soustružila z oceli a následně nechala navařit na kotel.



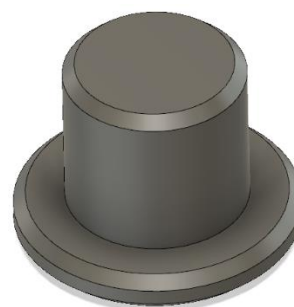
Obrázek 16 Model těla pojistného ventilu



Obrázek 17 Model sedla pojistného ventilu



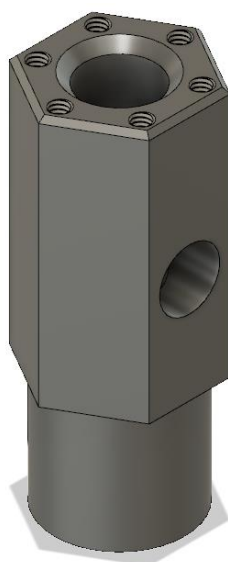
Obrázek 18 Model stavěcího šroubu pojistného ventilu



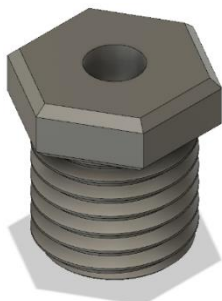
Obrázek 19 Model opěrky stavěcího šroubu

## Šoupátko

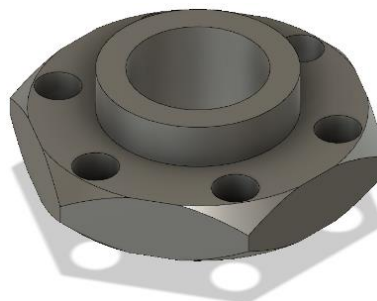
Šoupátko bylo soustruženo z mosazi. Skládá se z pěti částí. Z hlavního válce, na který je z jedné strany šesti šrouby připevněna příruba přivádějící páru a z druhé strany je zašroubováno vedení šoupátka, přes které vede šoupátková tyč. Uvnitř válce je tedy píst, do kterého je zavedena tyč. Na jedné straně je otvor, kudy je vedena pára ze šoupátka do válce.



Obrázek 20 Model válce šoupátka



Obrázek 21 Model vedení šoupátka



Obrázek 22 Model příruby šoupátka





Obrázek 23 Model pístu šoupátka



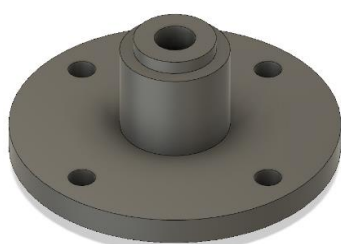
Obrázek 24 Model šoupátkové tyče

## Válec, píst a pístní tyč

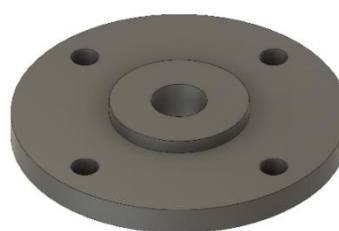
Válec jsem soustružila a poté stružila z oceli. Protože jsem zvolila jednodušší jednočinný parní stroj, vyvrtala jsem na jednu stranu válce otvor pro upouštění páry. Válec se skládá ze tří hlavních dílů: těla a dvou čel. Abych nemusela válec svářet, do čel jsem vyvrtala 4 díry naproti sobě a vedla jimi svorníky, které jsem pevně zajistila matickami a válec tak pevně přiléhá a nepropouští páru v nežádoucích místech. Zároveň toto řešení poskytuje větší prostor pro případné opravy nebo výměnu těsnění na pístu.



Obrázek 25 Model těla válce

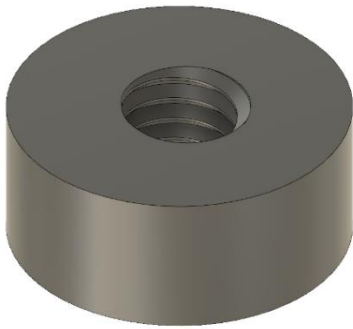


Obrázek 26 Model čela válce



Obrázek 27 Model čela válce

Píst je vyroben soustruhem z mosazi. Pokud by nastal problém s těsněním pístu, můžeme upravit jeho profil a použít těsnící gumičky. Změnu nám usnadní nesvařený válec. Do pístu je zašroubována pístní tyč. Pístní tyč je napojena na klikovou hřídel. Posuvný pohyb se tak mění na otáčivý pohyb hřídele. Pístní tyč je napojena v podélném směru a kolmo je připojena tyč spojující klikovou hřídel se setrvačником, která dále umožňuje pohánění vybraného přístroje. Nesmíme zapomenout na závit pro stavěcí šroub, který kolmo ukotví tyč.



Obrázek 28 Model pístu



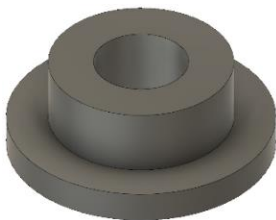
Obrázek 29 Model pístní tyče

## Ojnice a hřídel

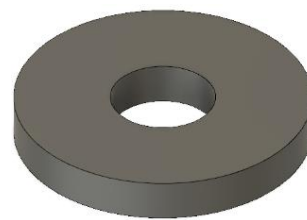
Ojnice je pilovaná z kovového plechu a oka jsou vrtaná stojanovou vrtačkou. Zajišťuje přenos hnacích sil a společně s klikovou hřídelí přeměňuje posuvný pohyb na rotační. K hřídeli je připojena pomocí kluzného pouzdra, které se skládá ze dvou částí, a k pístu je napojena ojnicním čepem.



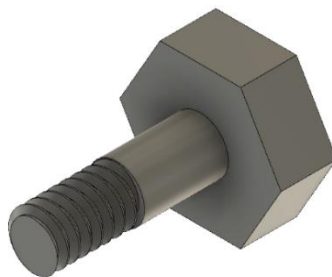
Obrázek 30 Model ojnice



Obrázek 31 Model kluzného ložiska ojnice, část 1

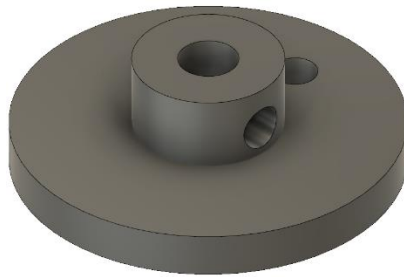


Obrázek 32 Model kluzného ložiska ojnice, část 2



Obrázek 33 Model ojnicního čepu

Kliková hřídel zajišťuje přenos pohybu z ojnice na setrvačnick. Mimo kluzné ložisko ojnice pevně spojené s hřídelí, je druhé ložisko vedle kliky a třetí ložisko je umístěno na druhém konci hřídele, mezi ložisky je na hřídeli setrvačnick.



Obrázek 34 Model klikové hřídele

## Setrvačnick

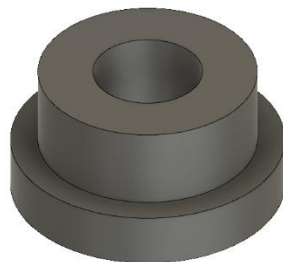
Setrvačnick je soustružený z oceli. Na něj je klikovou hřídelí přiváděn otáčivý pohyb, je to tedy rotační zařízení a slouží pro akumulaci kinetické energie. Vyrvtáním odlehčovacích otvorů jsem zajistila hladký průběh pohybu.



Obrázek 35 Model setrvačnicku

## Ložiska, držáky a rozvod páry

Ložiska jsem zvolila kluzná osazená z mosazi a soustružila je. Poté jsem vystružila otvor 4 na přesný průměr. Dohromady jsem udělala 5 ložisek. Základní 3 ložiska, která z obou stran obklopují setrvačnick a klikovou hřídel (tedy pořadí: ložisko, kliková hřídel, ložisko, setrvačnick, ložisko) a další 2 pro sekundární převod na brusný kotouček, který stroj pohání.



Obrázek 36 Model kluzného ložiska

Držáků z pozinkovaného plechu jsem dělala několik druhů. Dva držáky slouží k uchycení klikové hřídele a setrvačnicku, do nich je cínovou pájkou přiletováno ložisko. Další slouží k uchycení válce a kotle. Velikost těchto dílů je individuální a záleží i na tom, jestli jsou součástky zapuštěné do základní desky.

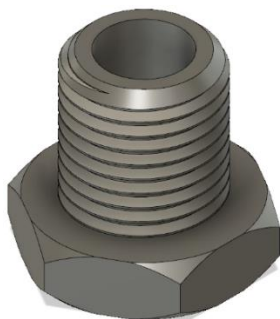


Obrázek 37 Model držáku pro klikovou hřídel (bez ložiska)



Obrázek 38 Model držáku pro válec

Mosazné šroubení slouží k uchycení dílů ke kotli, na který se letuje. Potřebovala jsem tři šroubení: pro pojistný ventil, pro vývod páry a pro výpustní a napouštěcí šroub pojistného ventilu. Rozvod páry jsem zajistila měděnými trubkami, které jsem koupila. Ke kotli jsou trubky připevněny šroubením opatřeným těsníci podložkami, které jsem také koupila.



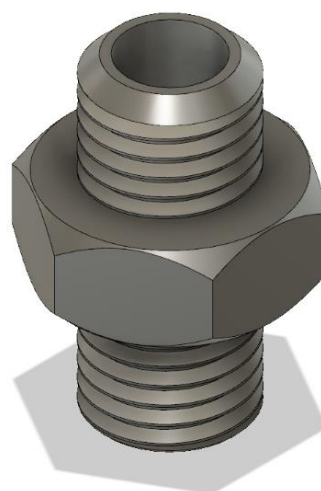
Obrázek 39 Model převlečeného šroubu vývodu páry



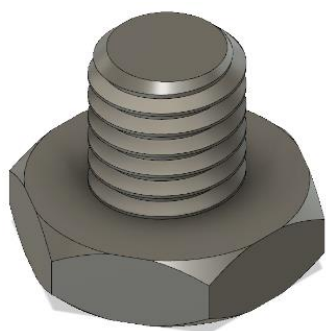
Obrázek 40 Model těsnícího soudku k převlečenému šroubu



Obrázek 41 Model šroubení pro vývod páry



Obrázek 42 Model šroubení pojistného ventilu



Obrázek 43 Model výpustního a napouštěcího šroubu

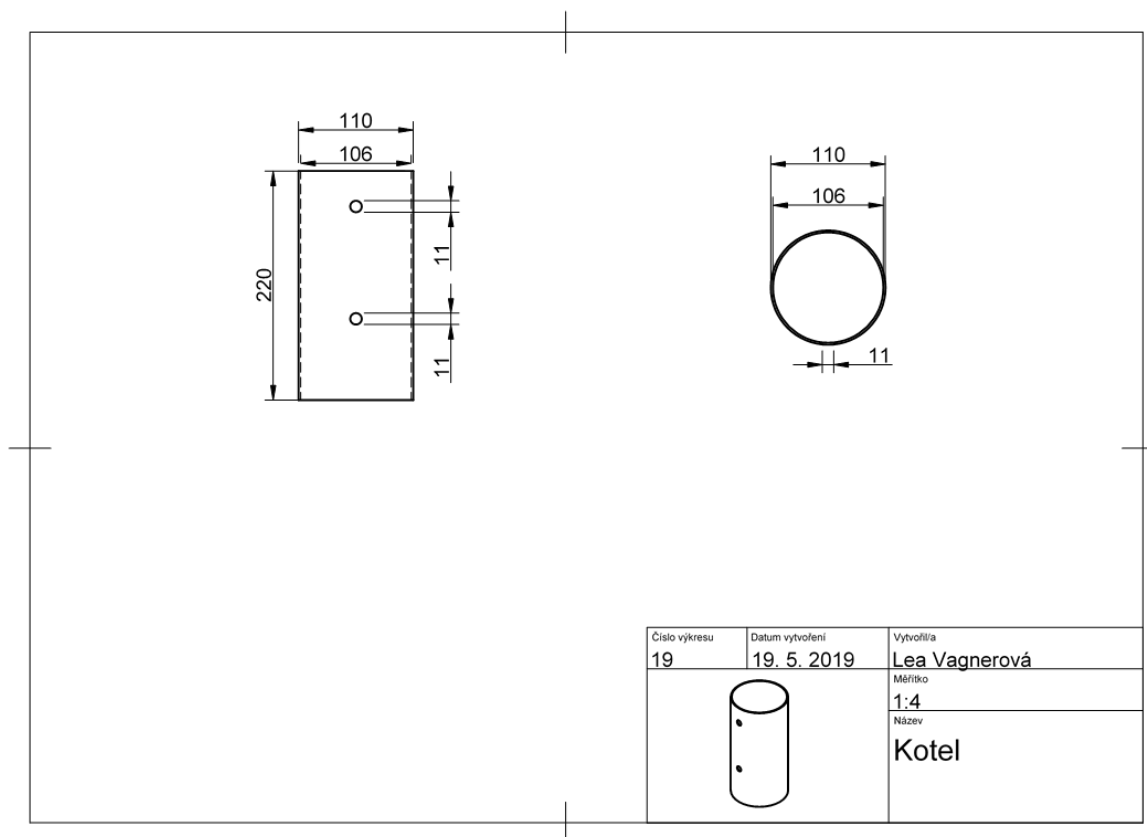


Obrázek 44 Model šroubení výpustního a napouštěcího šroubu

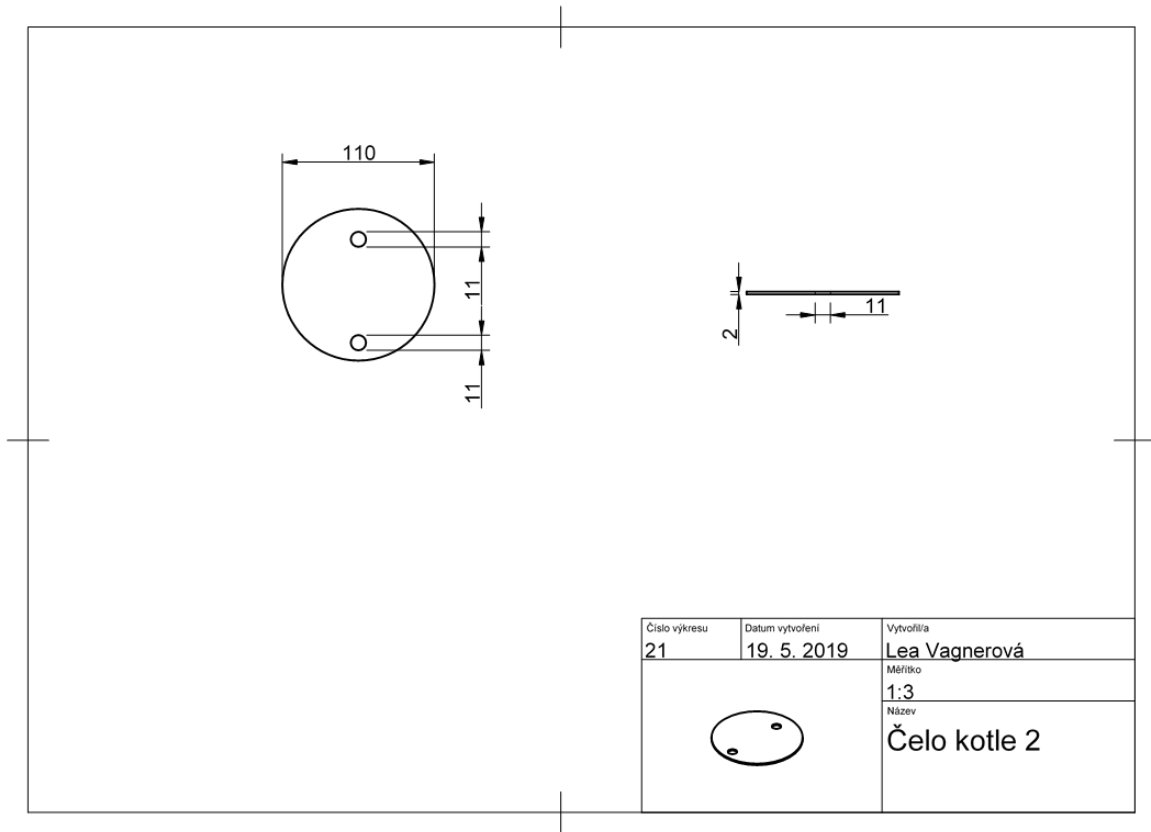
# Výsledky a diskuse

## Kotel a pojistný ventil

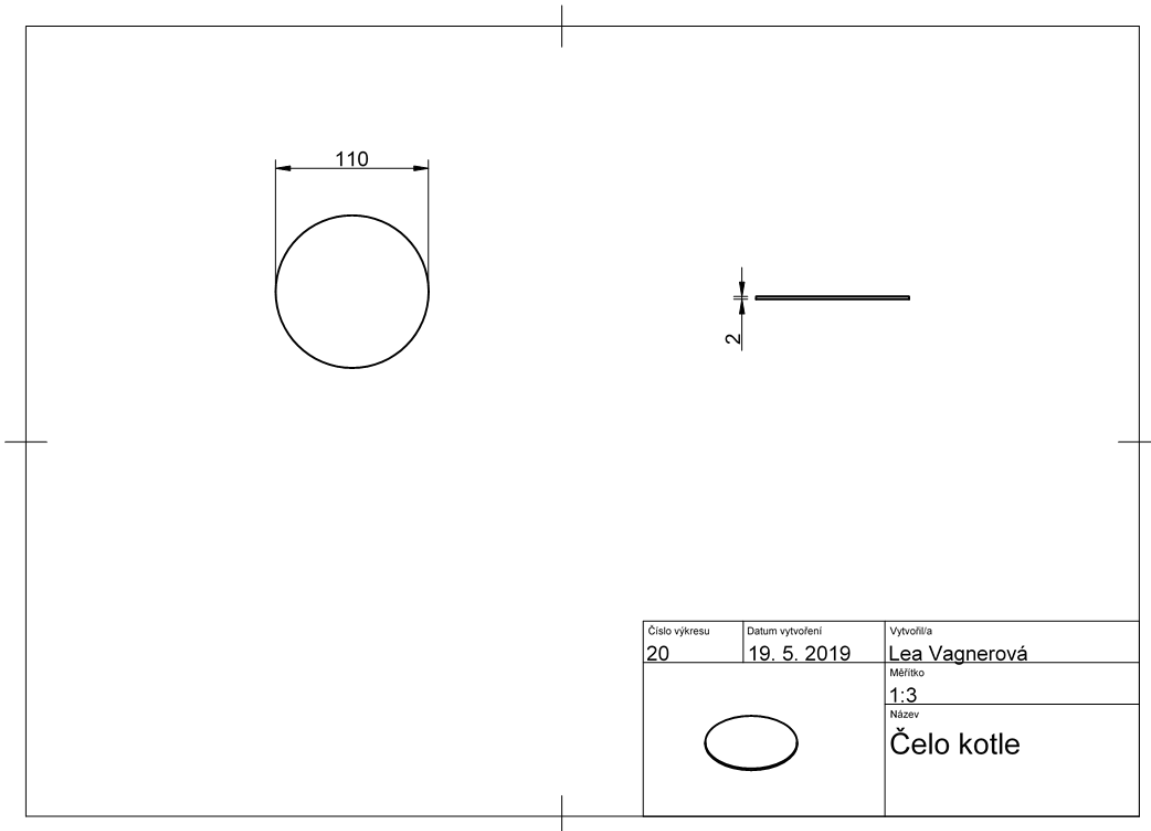
Nerezovou trubku o průměru 110 mm a tloušťce stěny 2 mm jsem zkrátila na délku 220 mm. Na konce trubky jsem nechala přivařit dýnka z nerezového plechu o tloušťce 2 mm. Výsledný objem je tedy téměř 2,1 l. Do horní části a jednoho čela jsem vyvrtala otvory pro šroubení k připojení vývodu páry, pro pojistný ventil a pro vypouštěcí a napouštěcí šroub. Šroubení jsou vyhotovena opět z nerezů a celý kotel je svařený metou TIG.



Obrázek 45 Výkres těla kotle

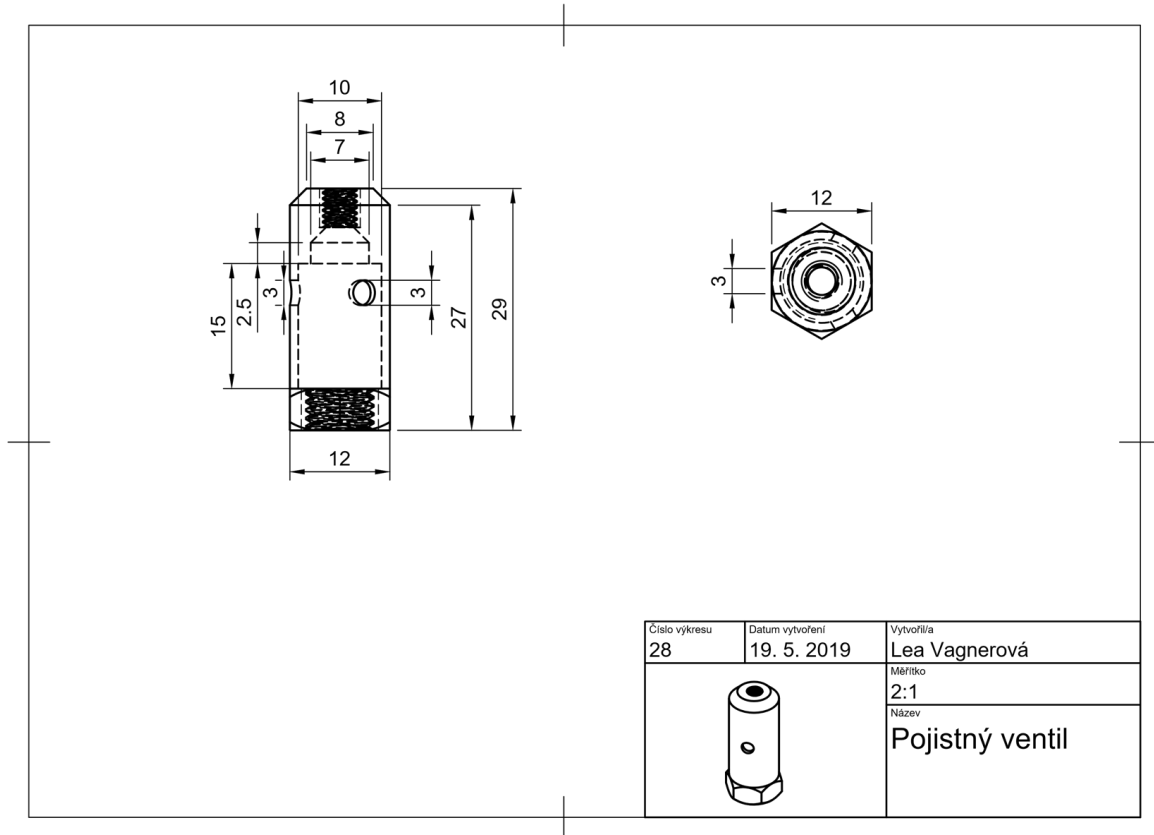


Obrázek 46 Výkres čela válce



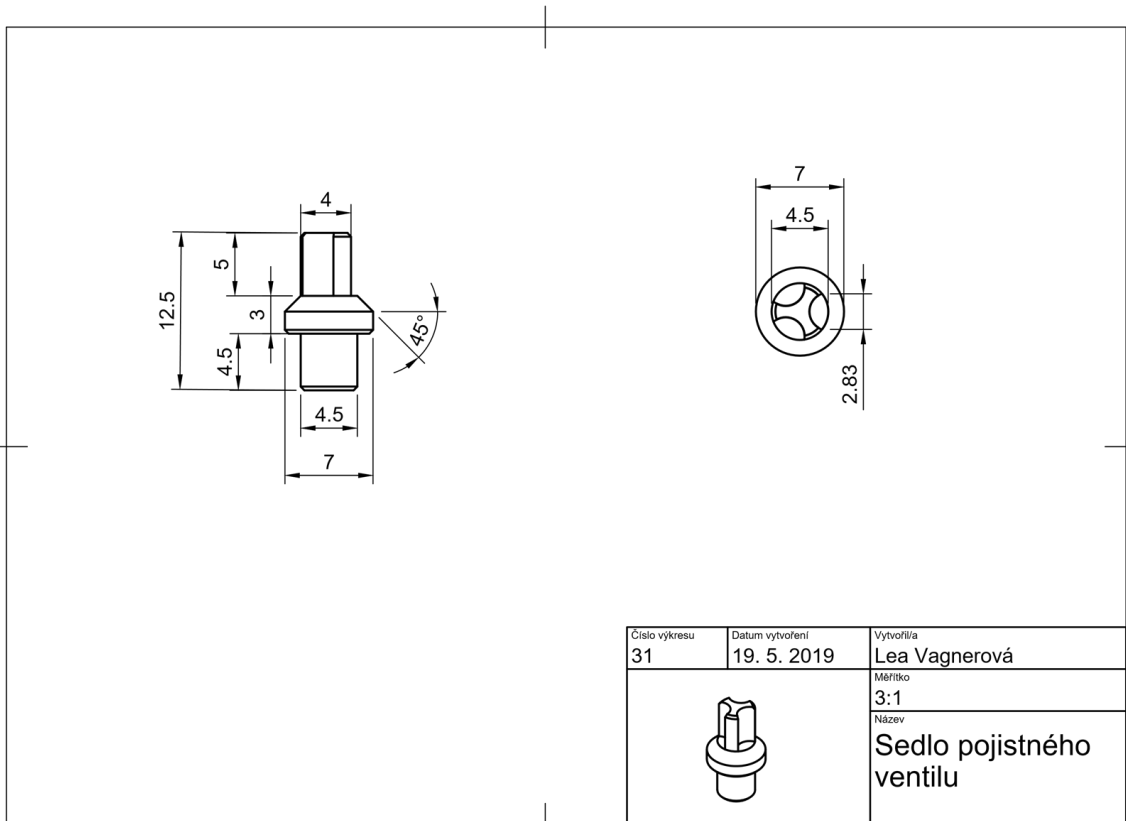
Obrázek 47 Výkres čela kotle

Tlakový pojistný ventil na kotli jsem vysoustružila z mosazi. Tělo pojistného ventilu má z jedné strany závit M8×1 a z druhé strany závit M4, do kterého jsem zašroubovala stavěcí šroub. Závitovou vložku jsem soustružila z nerezové oceli a následně nechal navařit na kotel. Sedlo ventilu jsem zabrousila brusnou pastou. Pružinku o průměru 6 mm a délkou 19 mm jsem zakoupila.

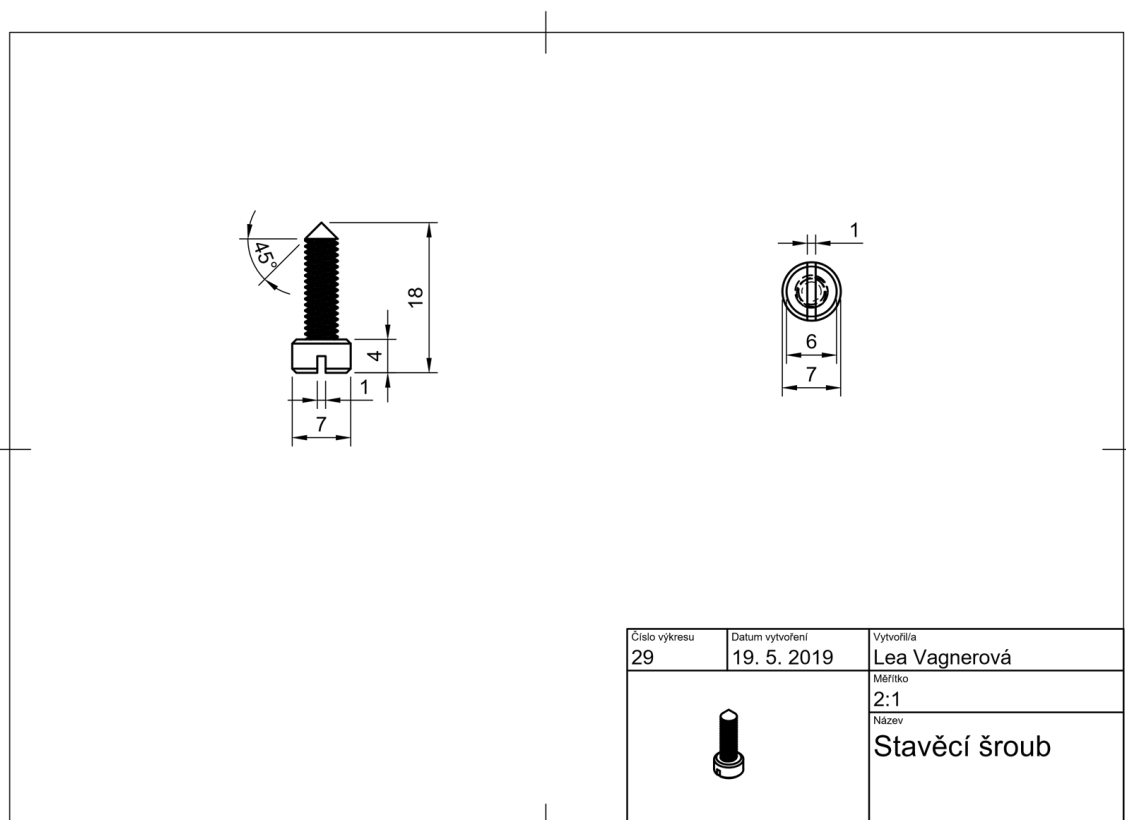


Obrázek 48 Výkres těla pojistného ventilu

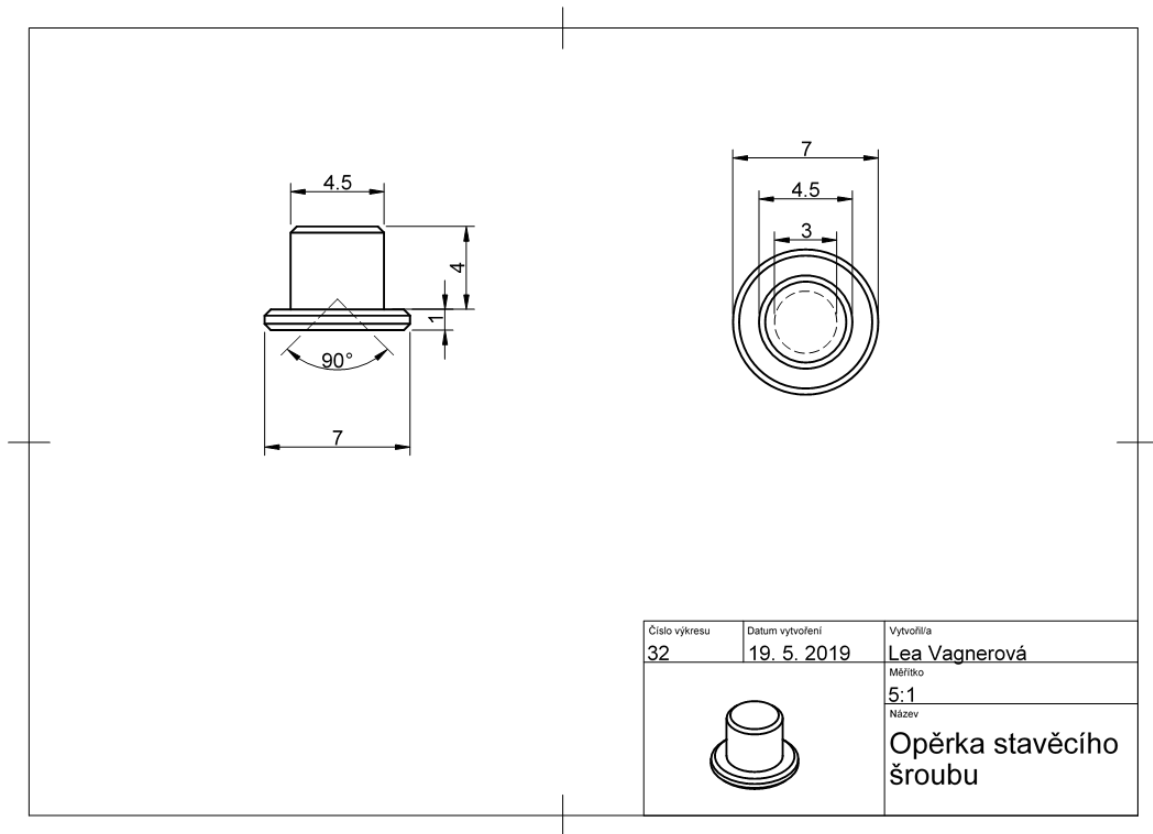




Obrázek 49 Výkres sedla pojistného ventilu



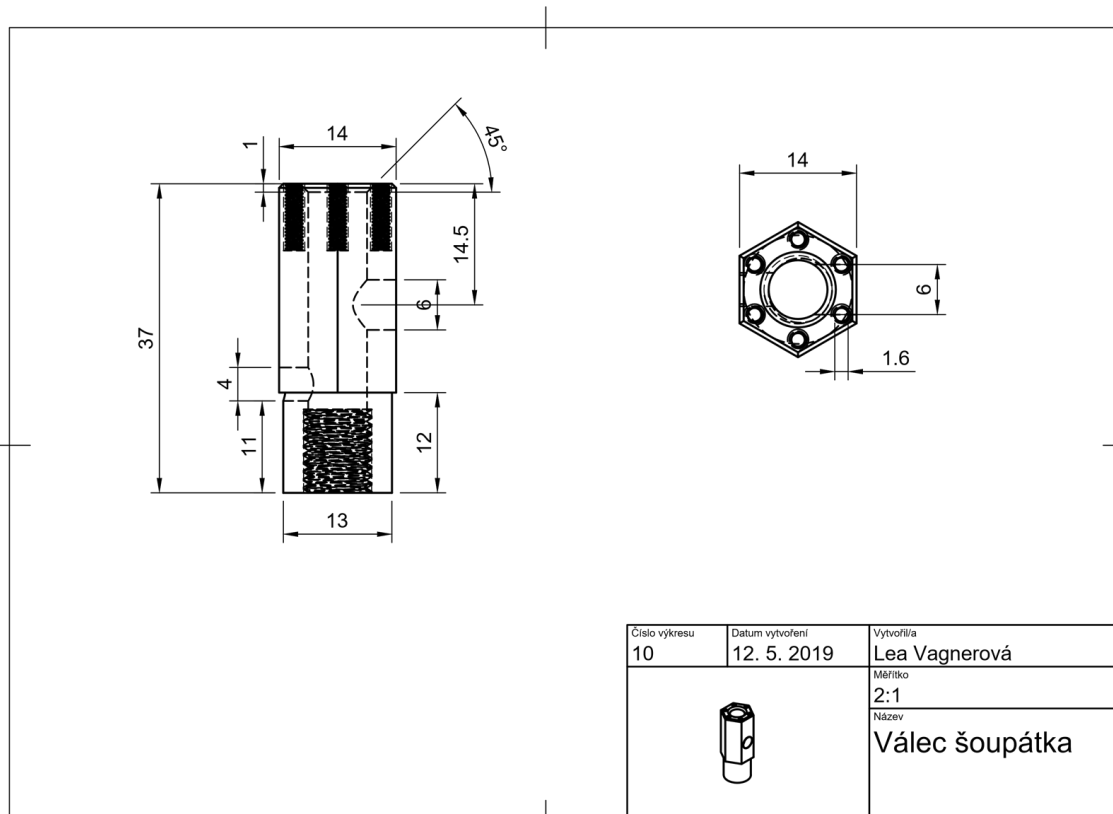
Obrázek 50 Výkres stavěcího šroubu



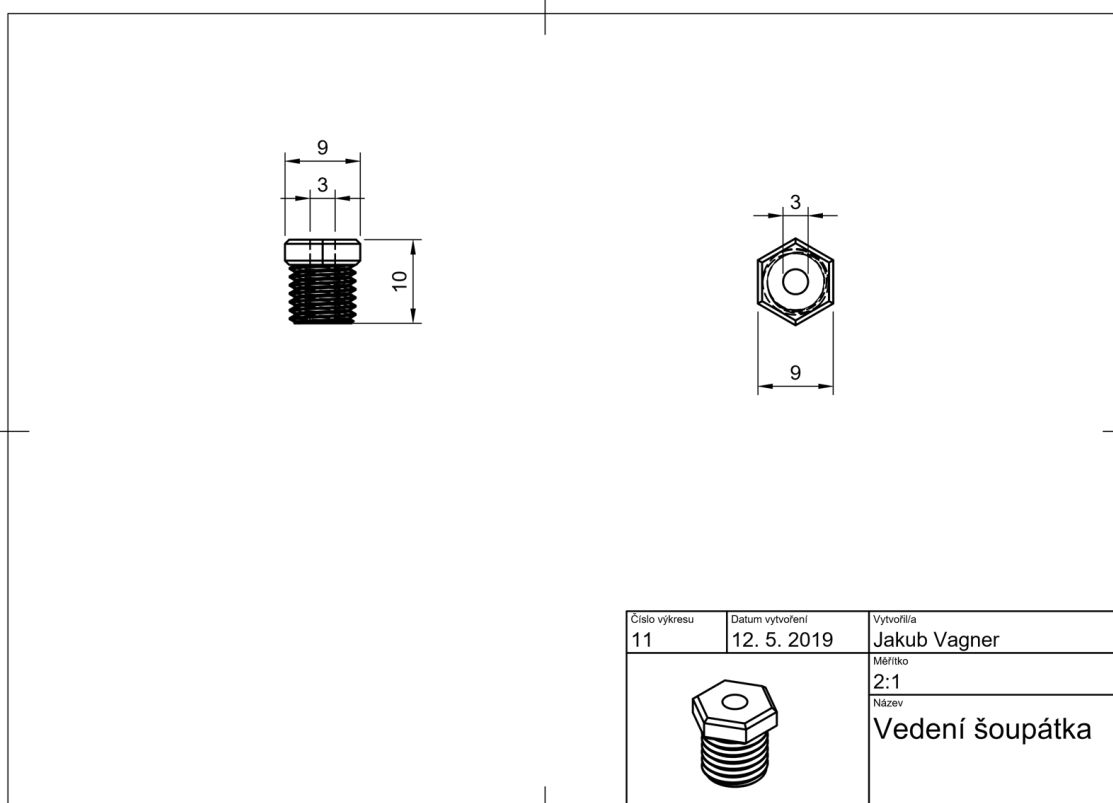
Obrázek 51 Výkres opěrky stavěcího šroubu

## Šoupátko

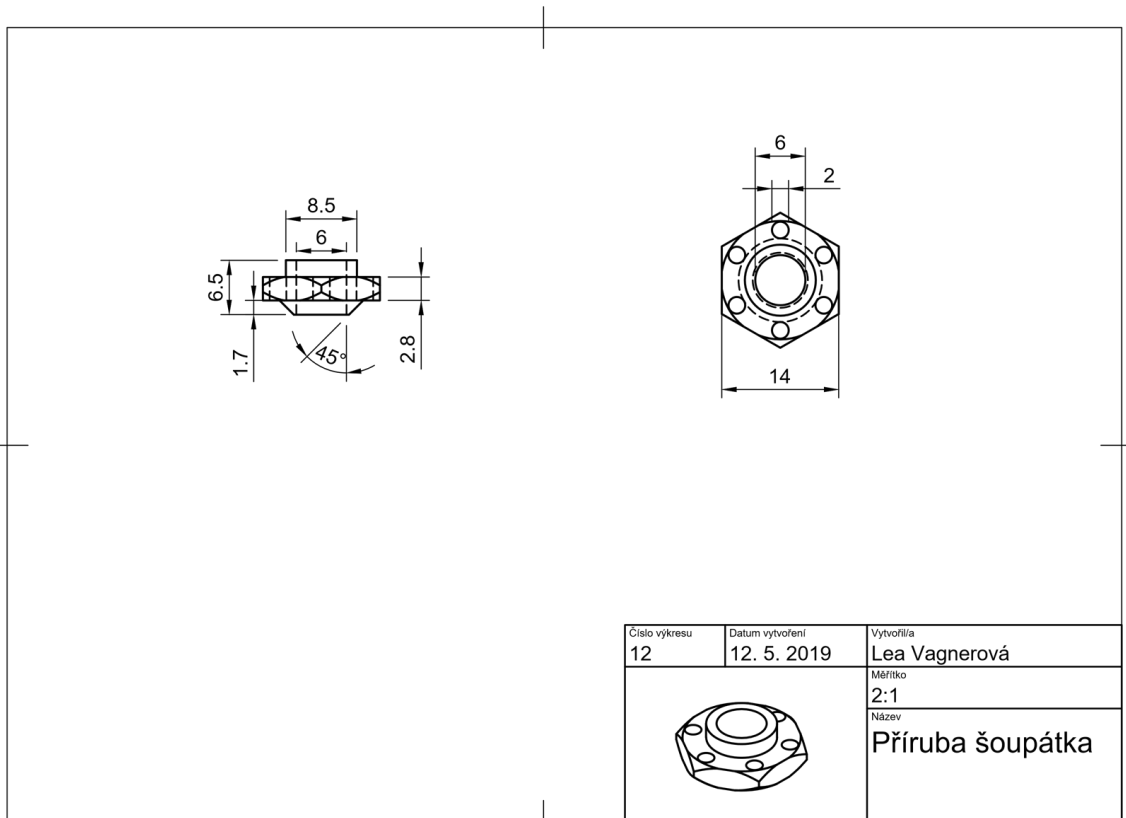
Šoupátko bylo také soustruženo z mosazi a jeho průměr je 6 mm. Válec šoupátka jsem vyvrtala o 0,2 mm menší, aby se dal vystružit na přesný průměr. Do stěny válce jsem vyvrtala otvory pro vstup do válce a výfuk (průměr 4 mm a 6 mm). Z jedné strany je závit M8×1 pro kluzné vedení šoupátka. Z druhé strany jsou otvory pro přívod páry 6×1,6 a závity M2. Převod šoupátka jsem udělala přepákováním. Píst šoupátka jsem soustružila z mosazi a připojila ho k šoupátkové tyči závitem M3.



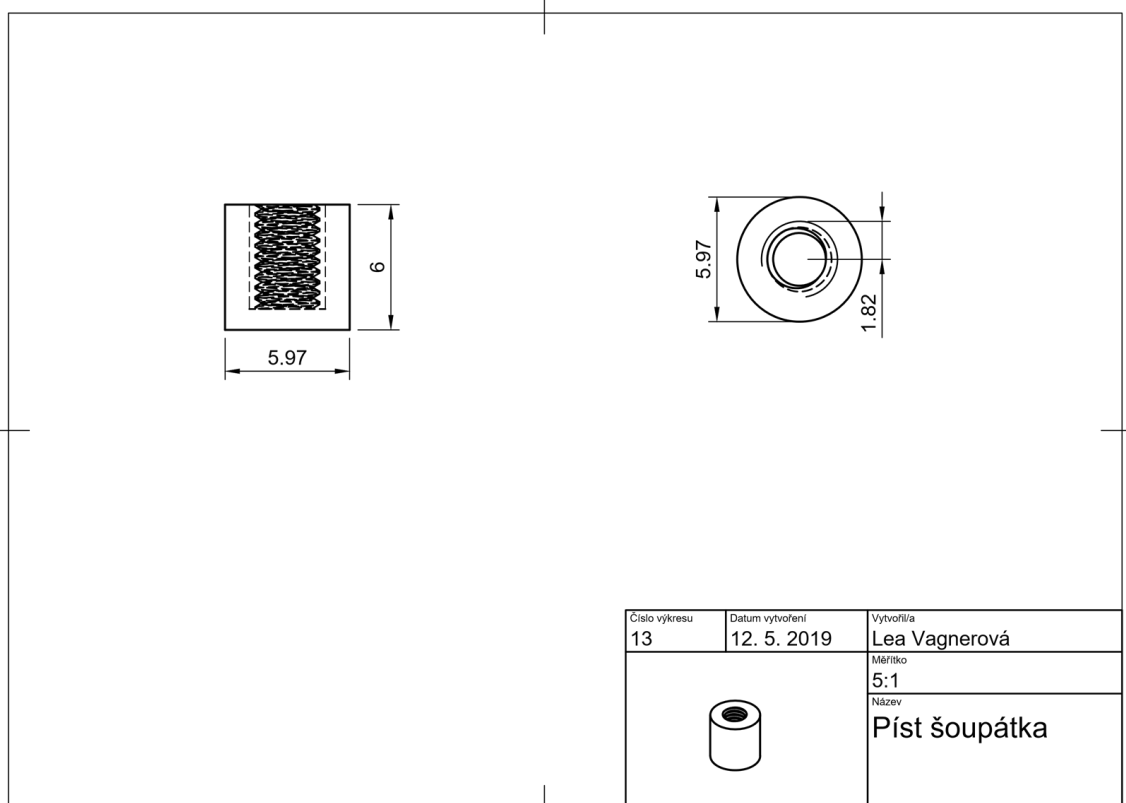
Obrázek 52 Výkres těla válce šoupátka



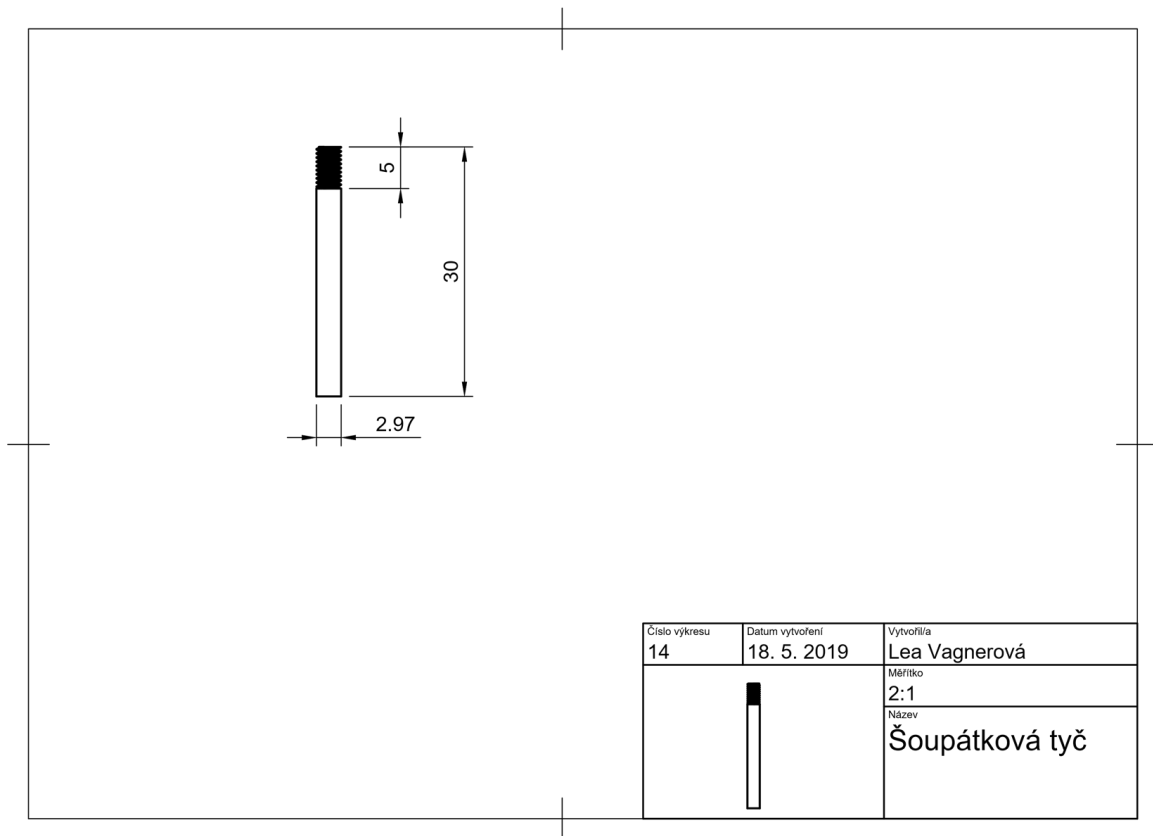
Obrázek 53 Výkres vedení šoupátka



Obrázek 54 Výkres příruby šoupátka



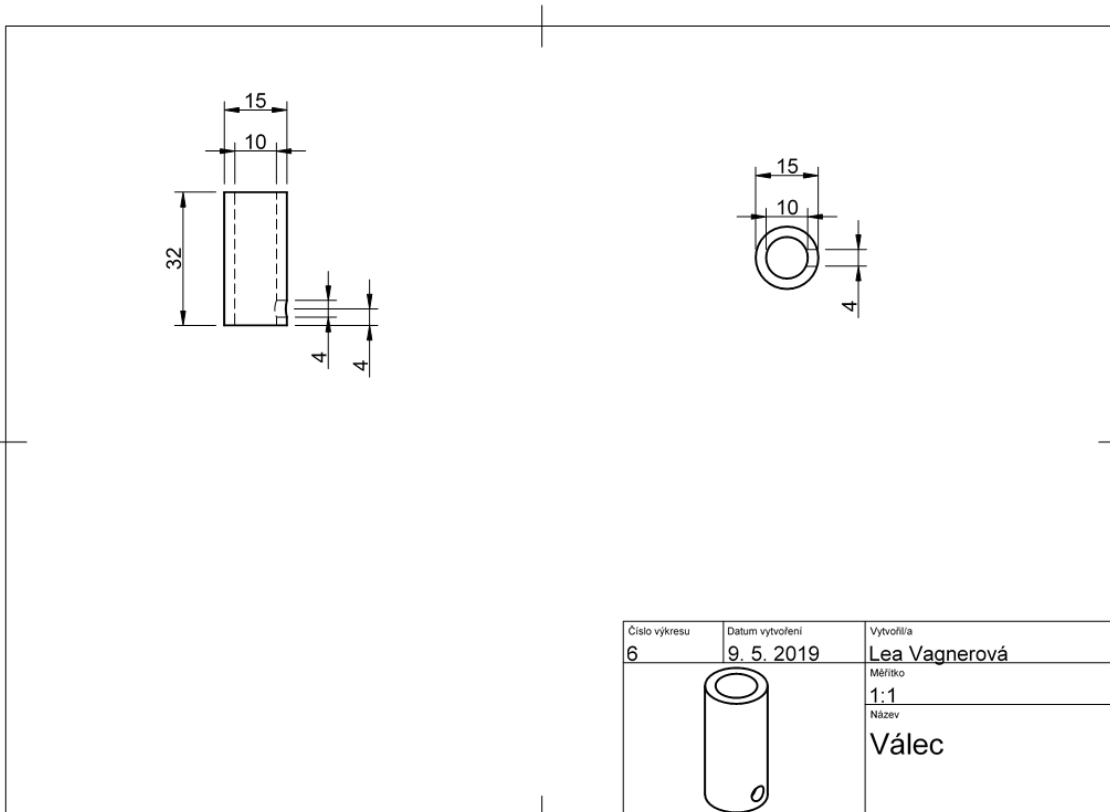
Obrázek 55 Výkres pístu šoupátka



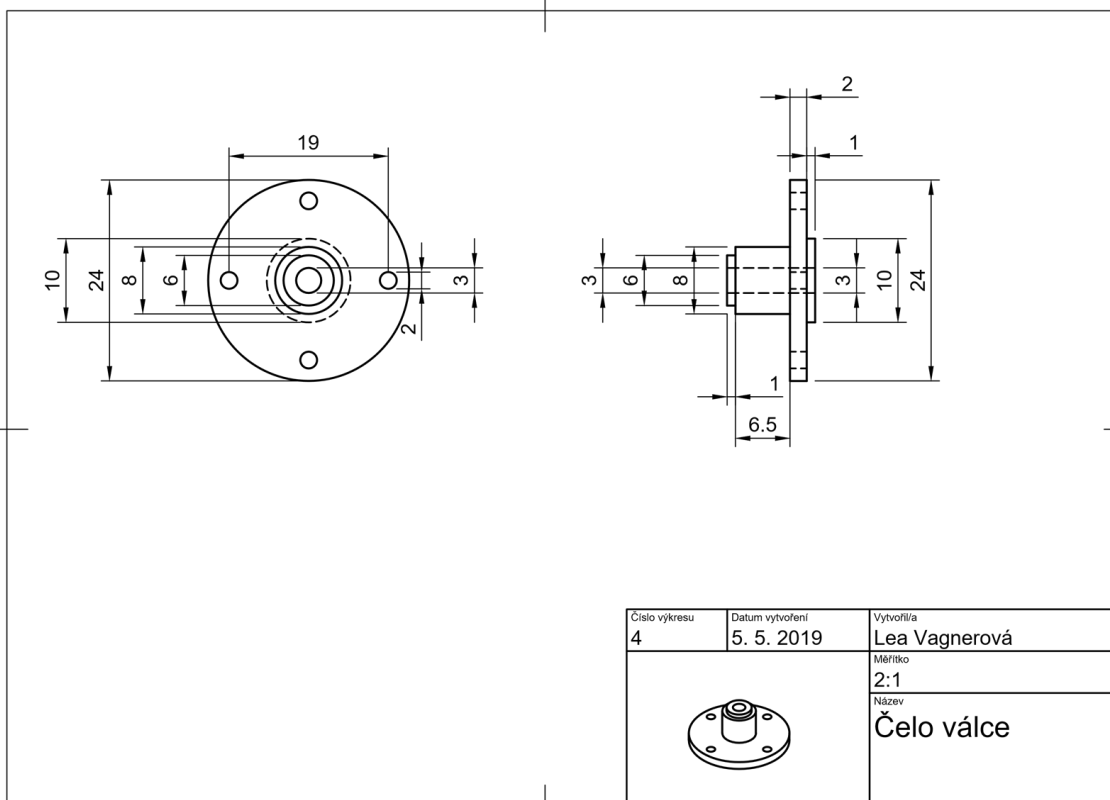
Obrázek 56 Výkres šoupátkové tyče

## Válec, píst a pístní tyč

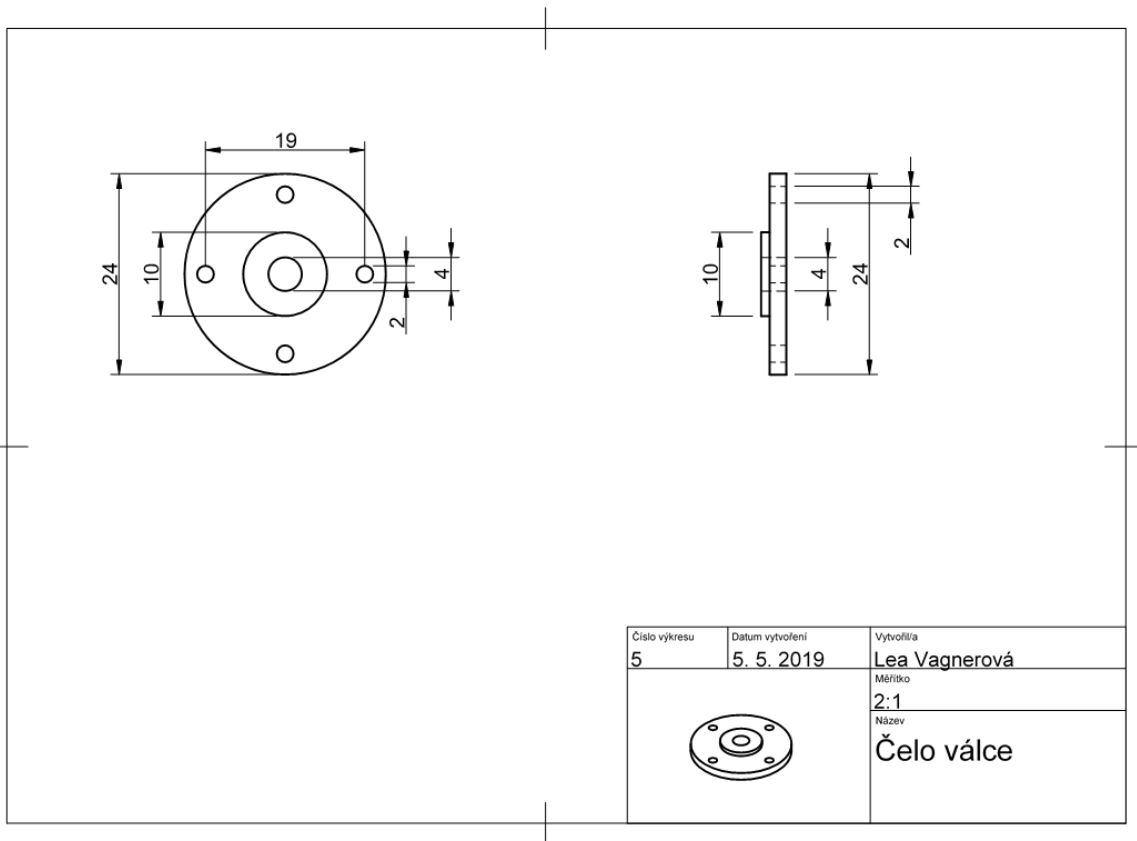
Válec jsem soustružila a poté stružila z oceli. Nejdříve jsem kulatinu s průměrem 15 mm zkrátila na stanovenou délku a srovnala čela. Do kulatiny jsem vyvrtala díru asi o 0,2 mm menší než stanovený průměr 10 mm, poté jsem výstružníkem stružila na přesný průměr. Mosazná dýnka (čela válce) jsem soustružila a následně do každého z nich vyvrtala čtyři otvory o průměru 2,1 pro svorníky, které stáhnou válec a dýnka k sobě pomocí maticek M2. Svorníky válce jsem vyrobila ze závitové tyče M2.



Obrázek 57 Výkres těla válce

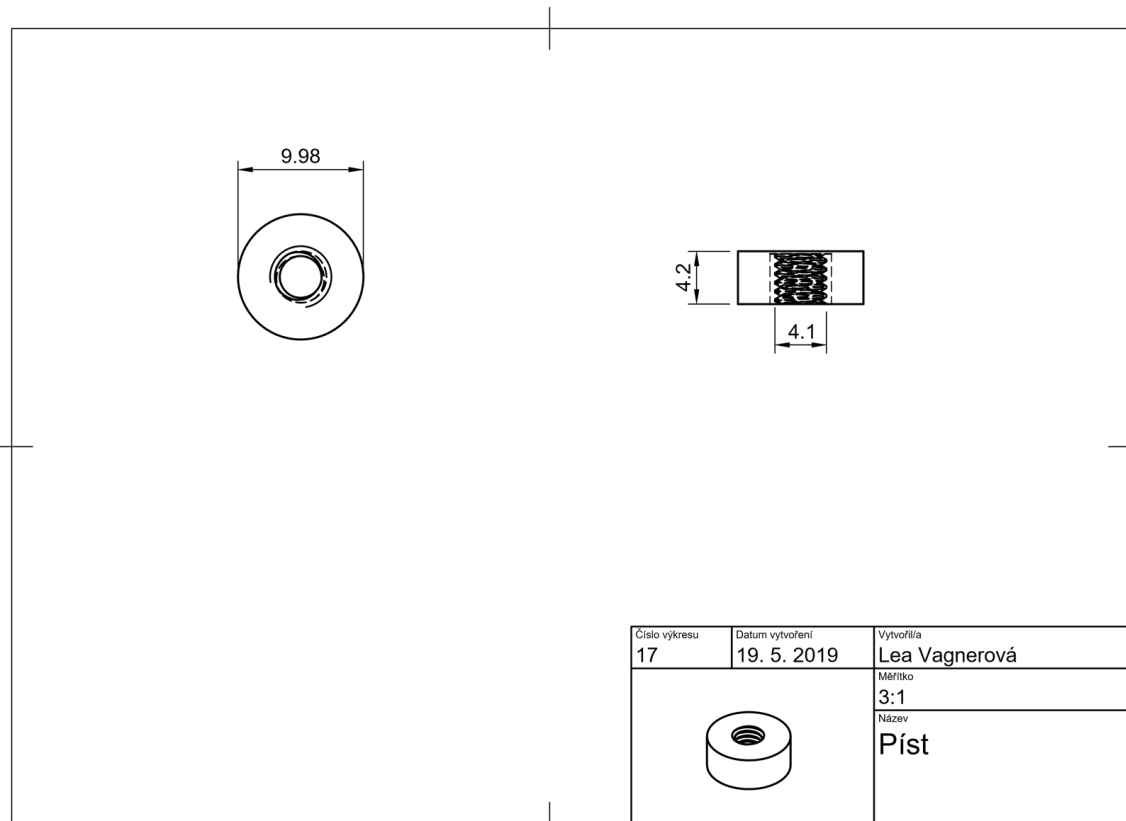


Obrázek 58 Výkres čela válce

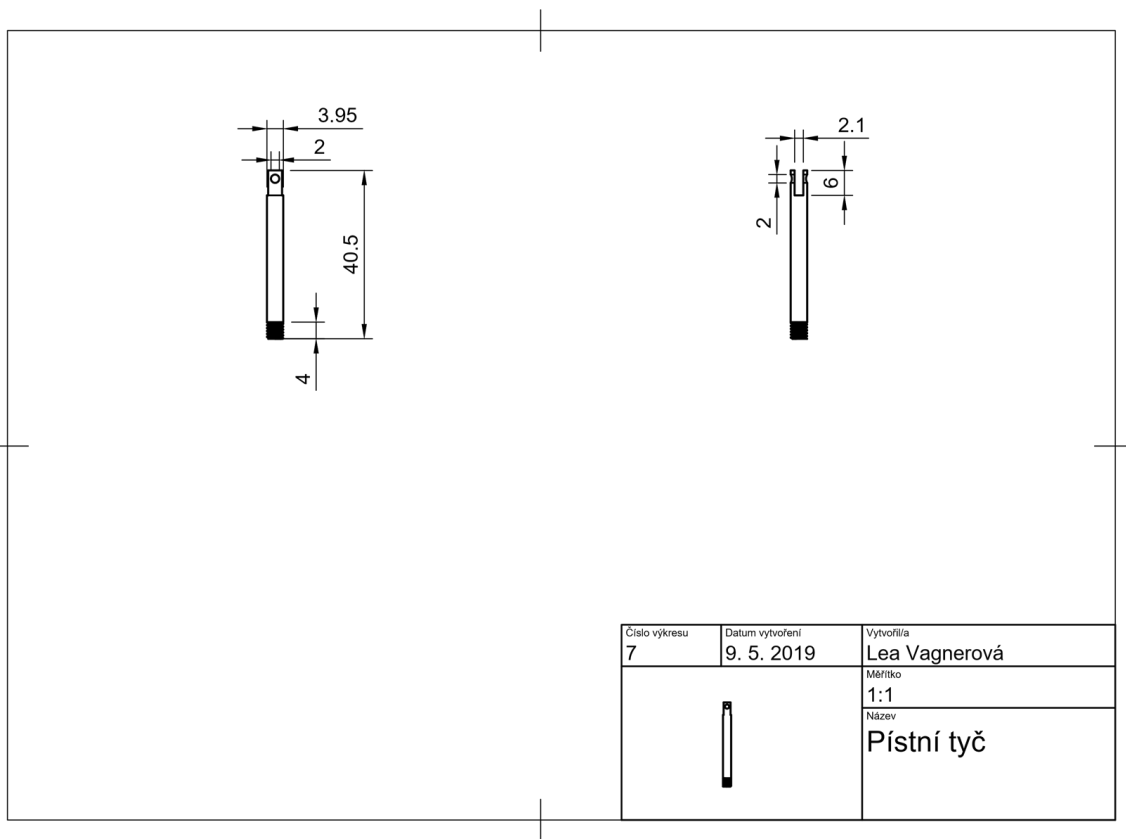


Obrázek 59 Výkres čela válce

Píst jsem vyrobila z mosazi soustružením a pístní tyč z mosazné kulatiny o průměru 4 mm. Na jednom konci jsem zhotovila závit M4 pro našroubování pístu, z druhé strany jsem vyřízla drážku pro připojení ojnice a vyvrtala otvor o průměru 2 mm pro čep ojnice.



Obrázek 60 Výkres pístu

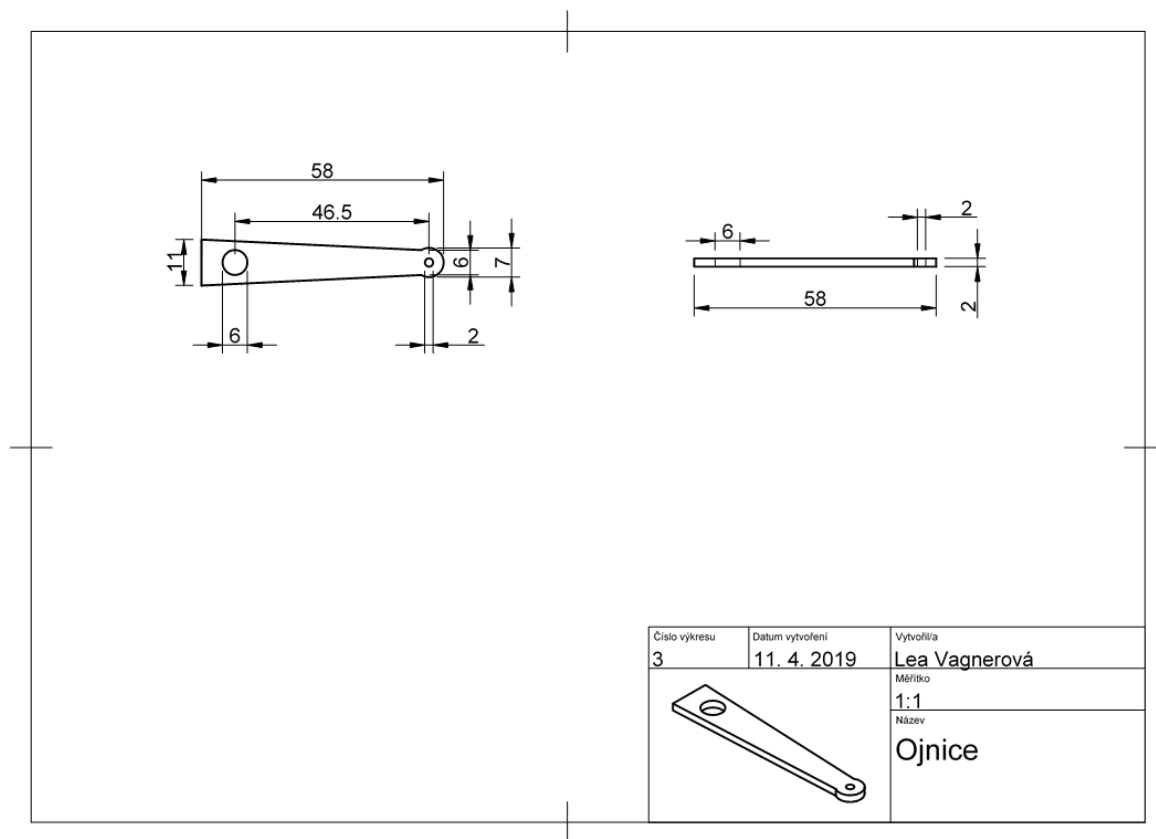


Obrázek 61 Výkres pístní tyče

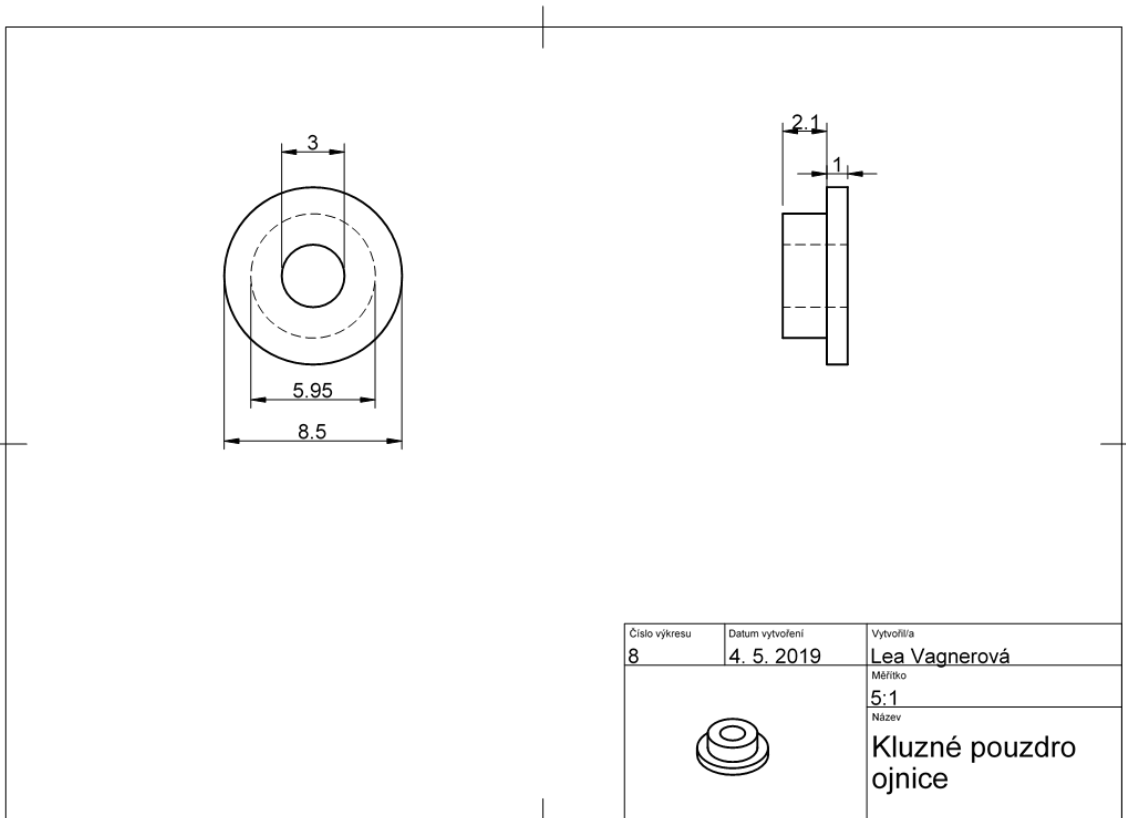


# Ojnice

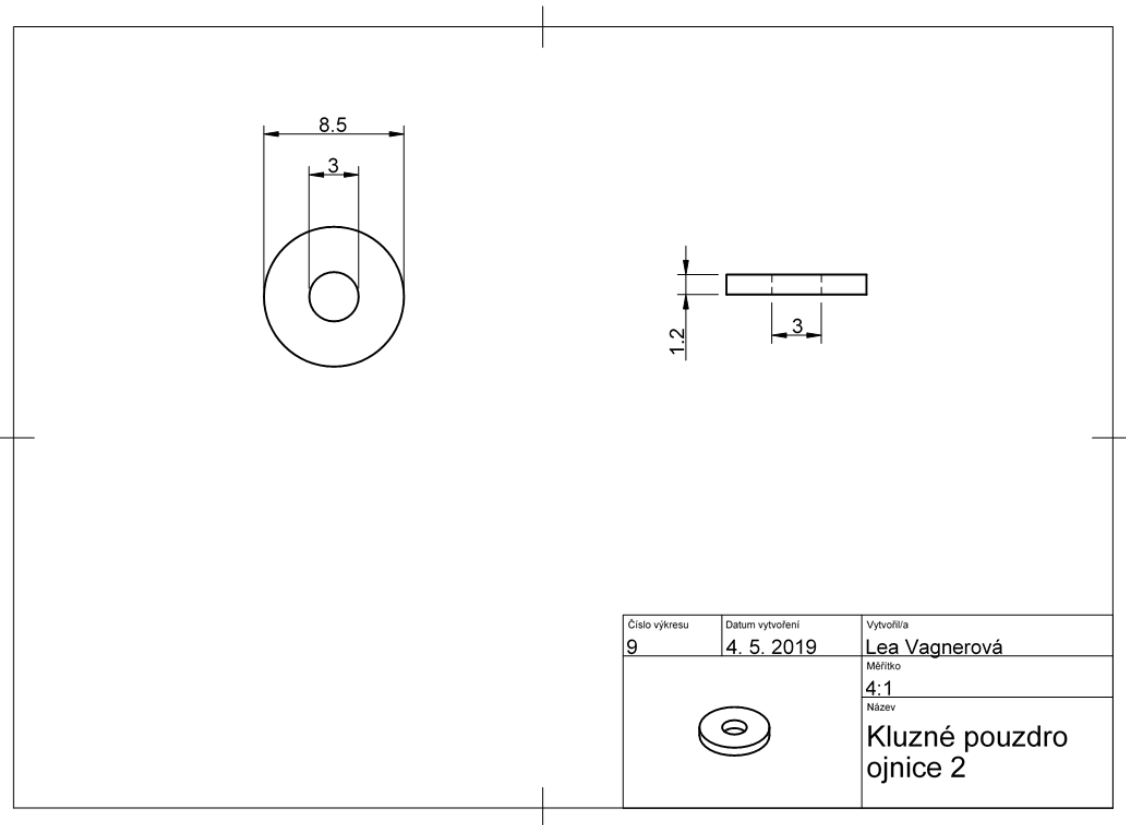
Ojnici jsem pilovala z kovového plechu o tloušťce 1,5 mm. Oka jsem vyvrtala stojanovou vrtačkou, jedno o průměru 6 mm a druhé o 2 mm. Kluzné ložisko jsem soustružila z mosazi, zhotovila jsem ho ze dvou částí, která do sebe zapadají. Ke klikové hřídeli jsem ojnici s ložiskem připojila šroubem M3 a k pístu ojničným čepem.



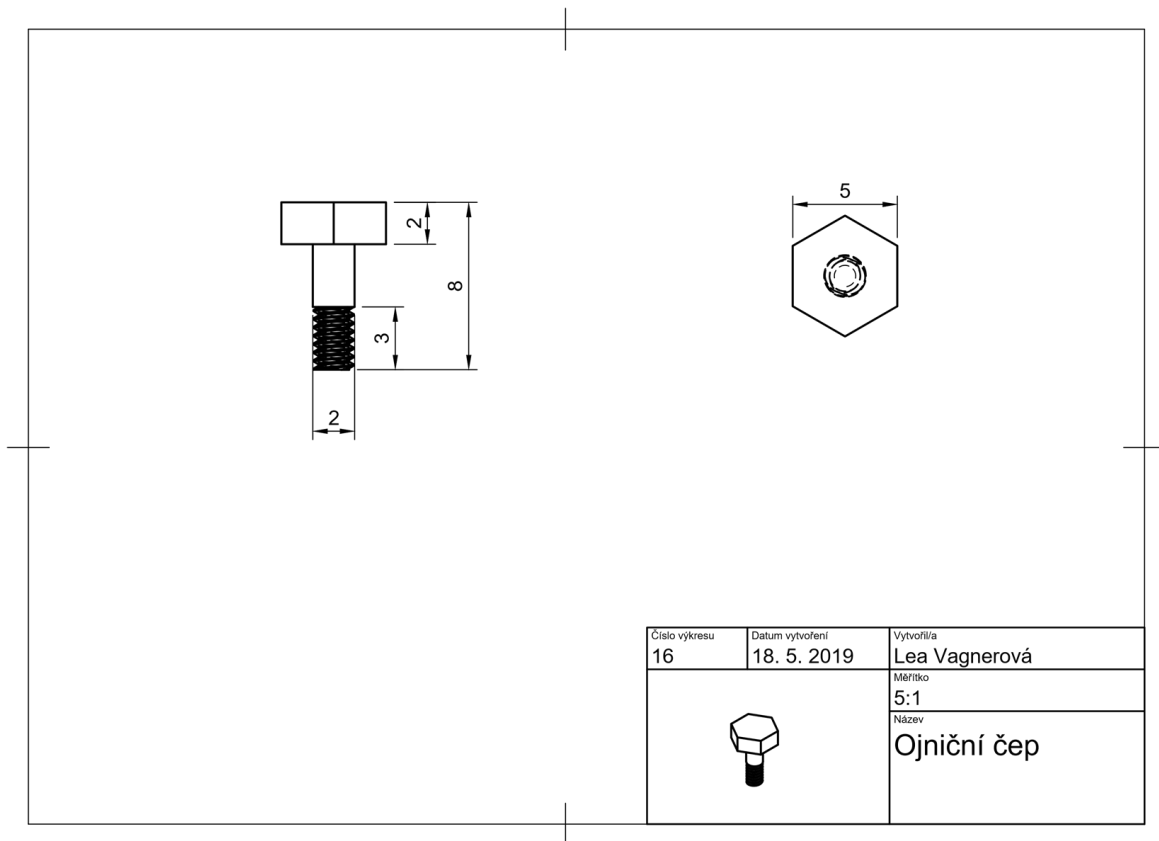
Obrázek 62 Výkres ojnice



Obrázek 63 Výkres kluzného pouzdra ojnice, část 1



Obrázek 64 Výkres kluzného pouzdra ojnice, část 2

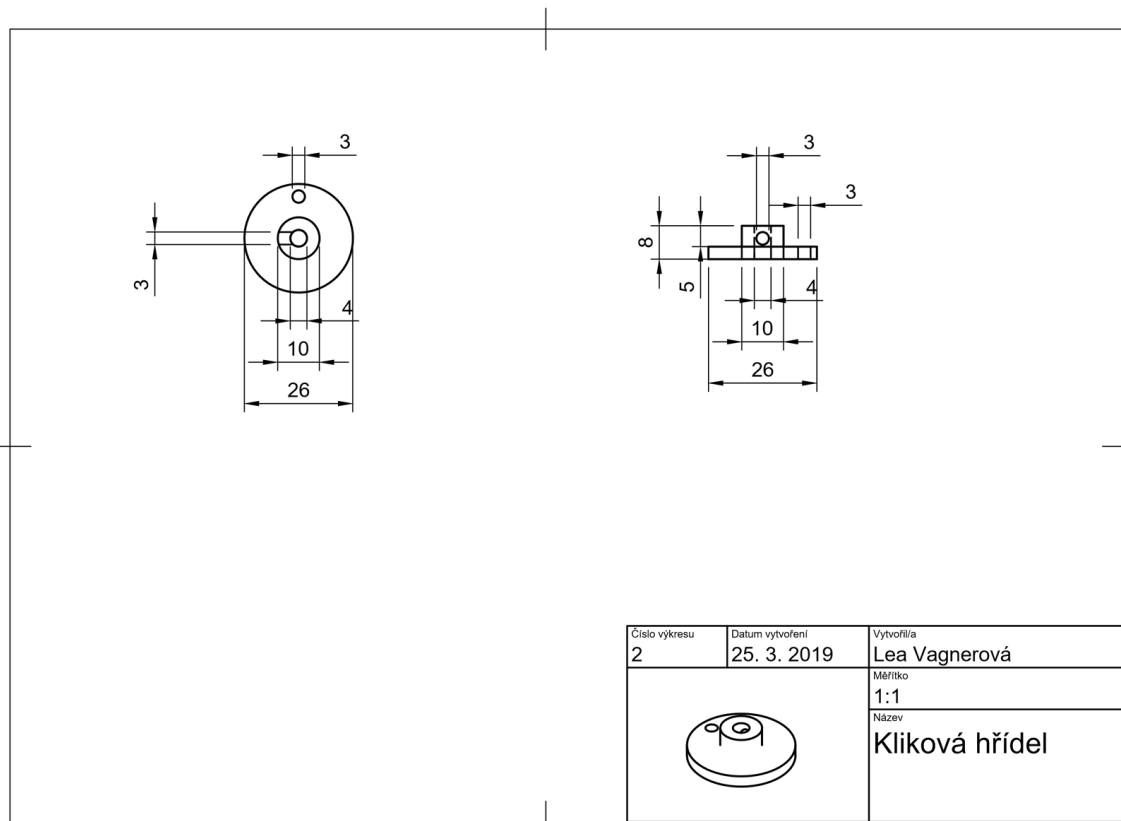


Obrázek 65 Výkres ojničního čepu

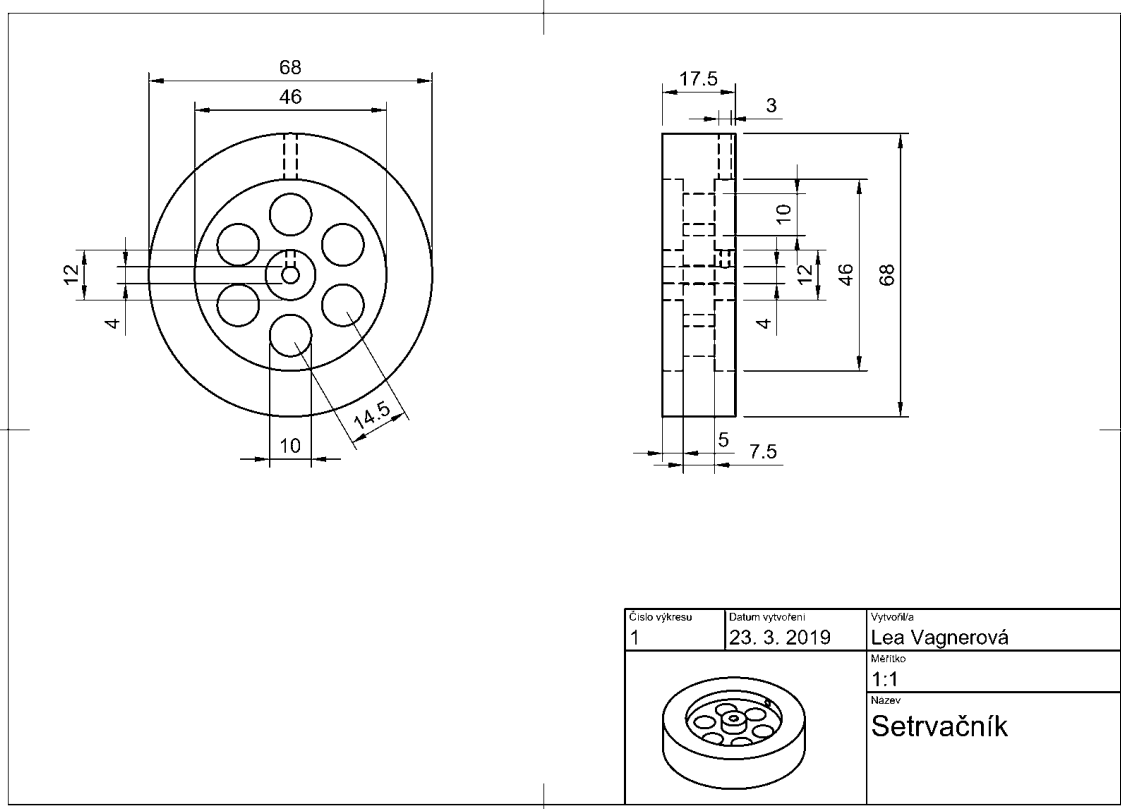
## Kliková hřídel a setrvačnick

Klikovou hřídel jsem vyhotovila soustružením z duralové kulatiny o průměru 26 mm. Osadila jsem ji na průměr 10 mm a v ose jsem vyvrtala otvor o průměru 4 mm pro hřídel. K osazení jsem kolmo vyvrtala otvor 2,4 mm pro závit M3, který slouží pro zajištění klikové hřídele. Dále jsem vyvrtala otvor M3 pro uchycení kluzného ložiska a ojnice.

Setrvačnick jsem soustružila z oceli. Z kulatiny o průměru 68 mm jsem na strojní pile uřízla polotovar o délce 17,5 mm, který jsem následně opracovala soustružením. Na stojanové vrtačce jsem udělala odlehčovací otvory a následně jsem vyvrtala ještě jeden otvor o průměru 2,4 mm kolmo k otvoru středovému pro závit na stavěcí šroub M3 k zajištění setrvačnicku na hřídeli.



Obrázek 66 Výkres klikové hřídele



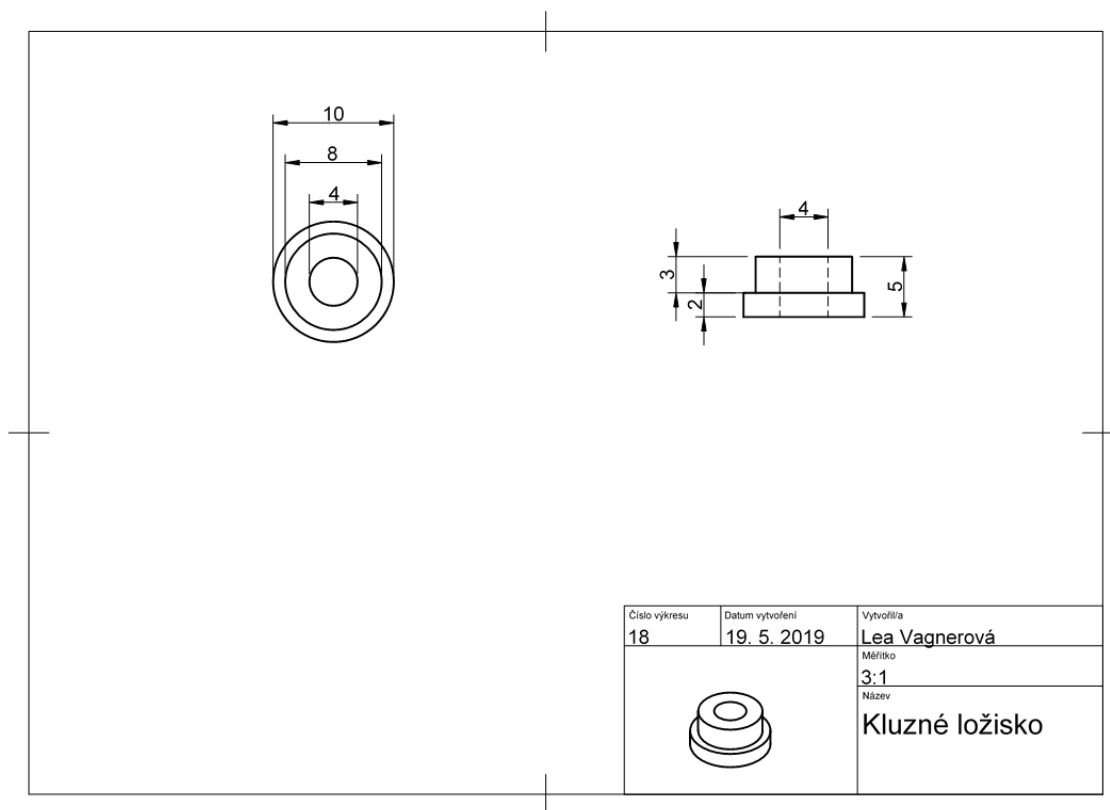
Obrázek 67 Výkres setrvačnicku

## Ložiska, držáky a přívod páry

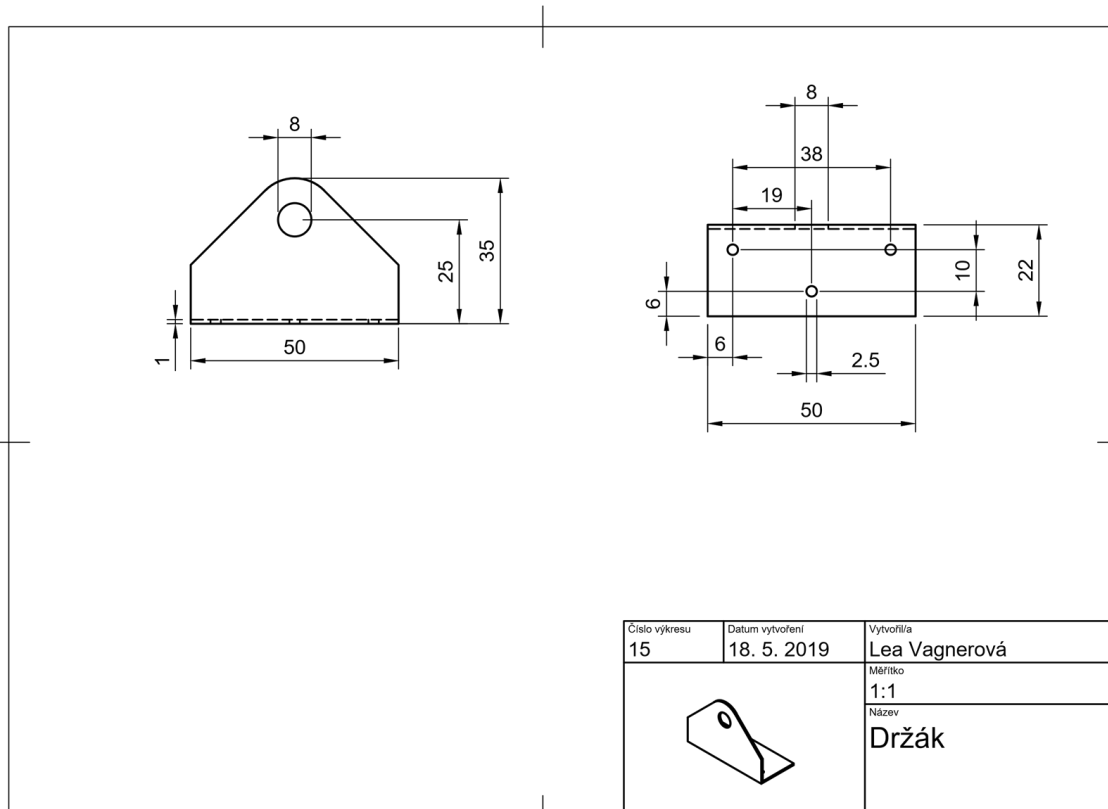
Ložiska jsem zvolila kluzná z mosazi a soustružila je. Osadila jsem je na průměr 8 mm a následně jsem do nich vystružila otvor 4 mm na přesný průměr. Ložiska jsem potřebovala dvě, do každého držáku klikové hřídele a setrvačnicku jedno.

Ložisko jsem sletovala cínovou pájkou k držáku z pozinkovaného plechu o tloušťce 1,2 mm, který jsem vystříhla nůžkami na plech a vyvrtala do něj otvory pro přichycení k základové desce a pro kluzné ložisko, následně jsem ho ohnula na 90°, aby se k desce dal přišroubovat.

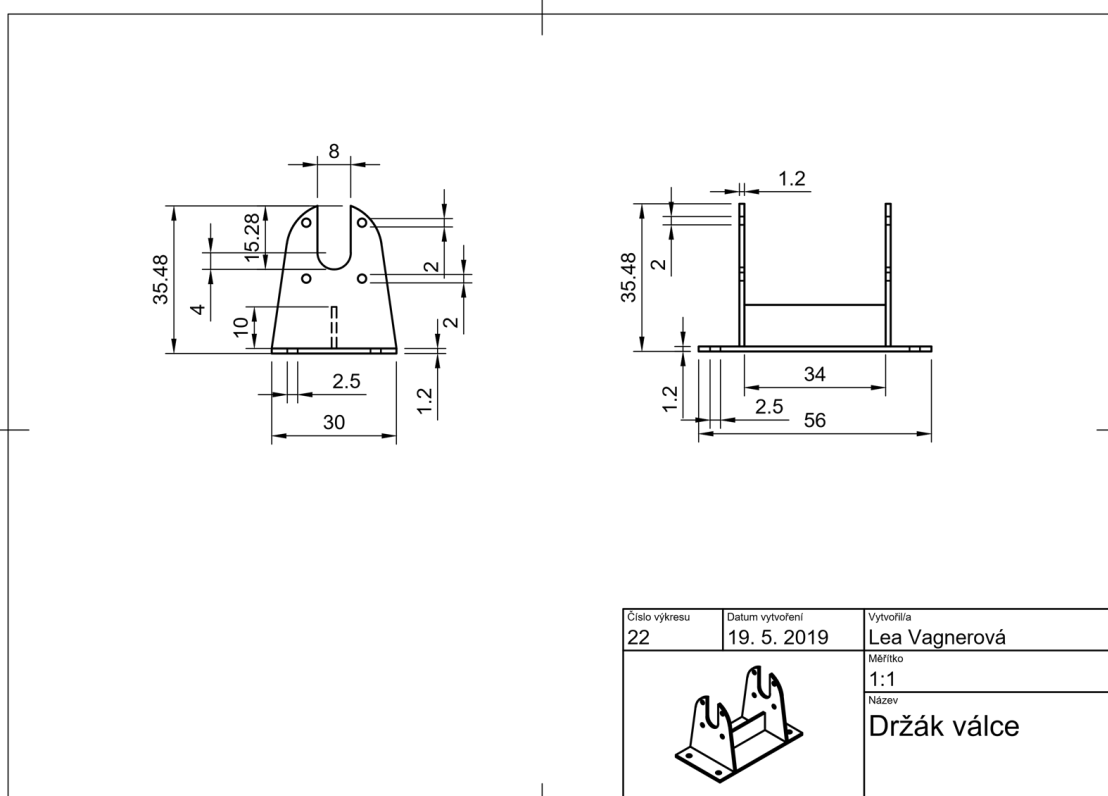
Držák pro válec jsem sletovala cínovou pájkou ze tří částí: podstavy a dvou čel. Všechny části jsem vystříhla nůžkami na plech z pozinkovaného plechu o tloušťce 1,2 mm. Do čel jsem vyvrtala čtyři otvory o průměru 2 mm pro uchycení válce.



Obrázek 68 Výkres kluzného ložiska

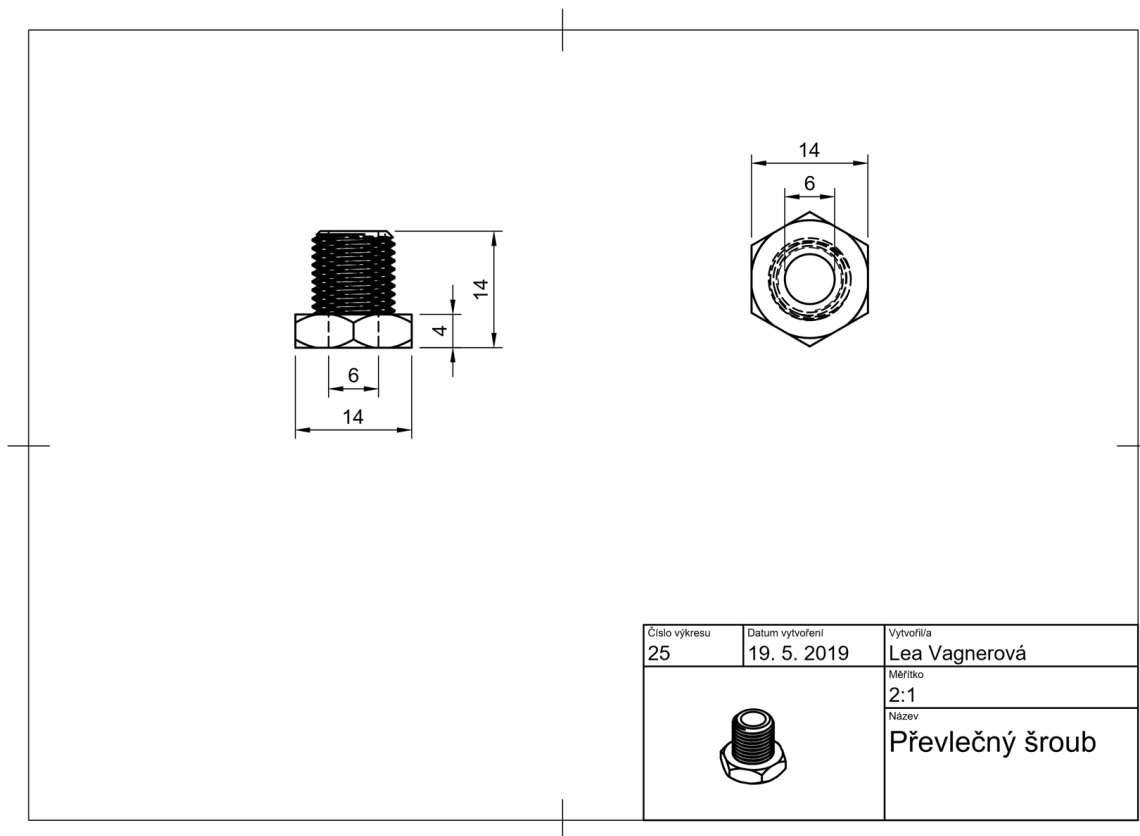


Obrázek 69 Výkres držáku klikové hřídele (bez ložiska)

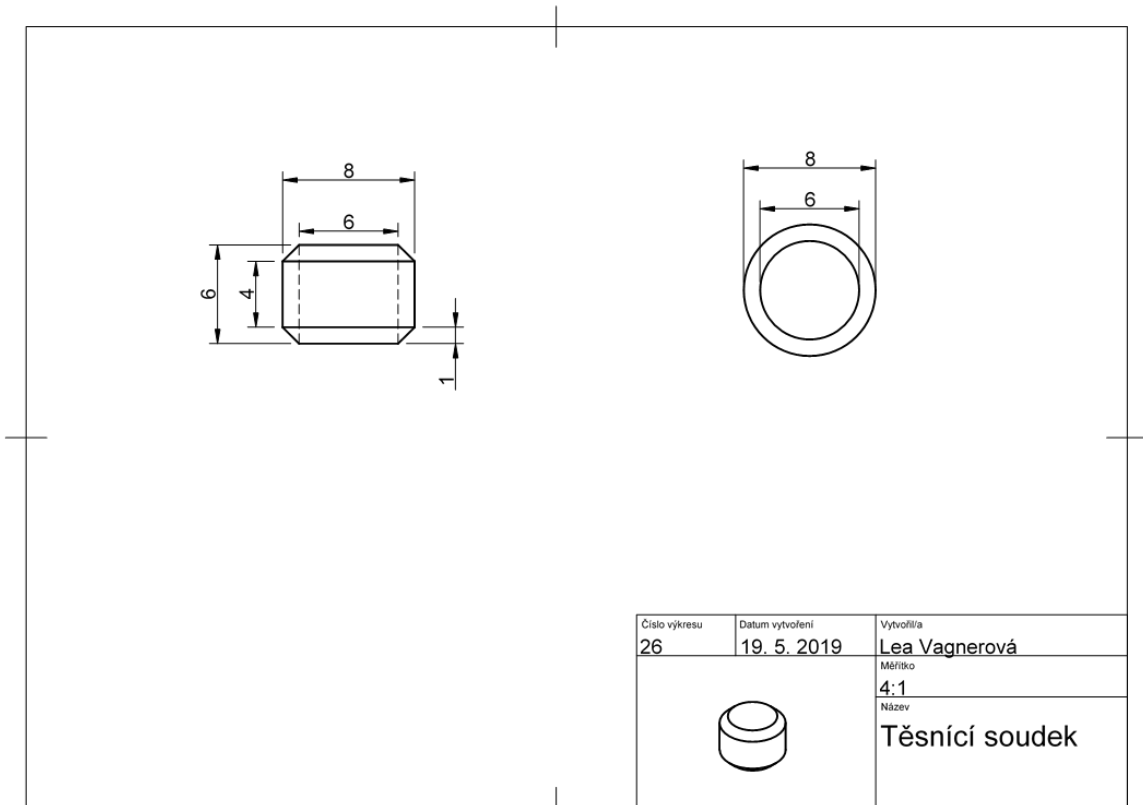


Obrázek 70 Výkres držáku válce

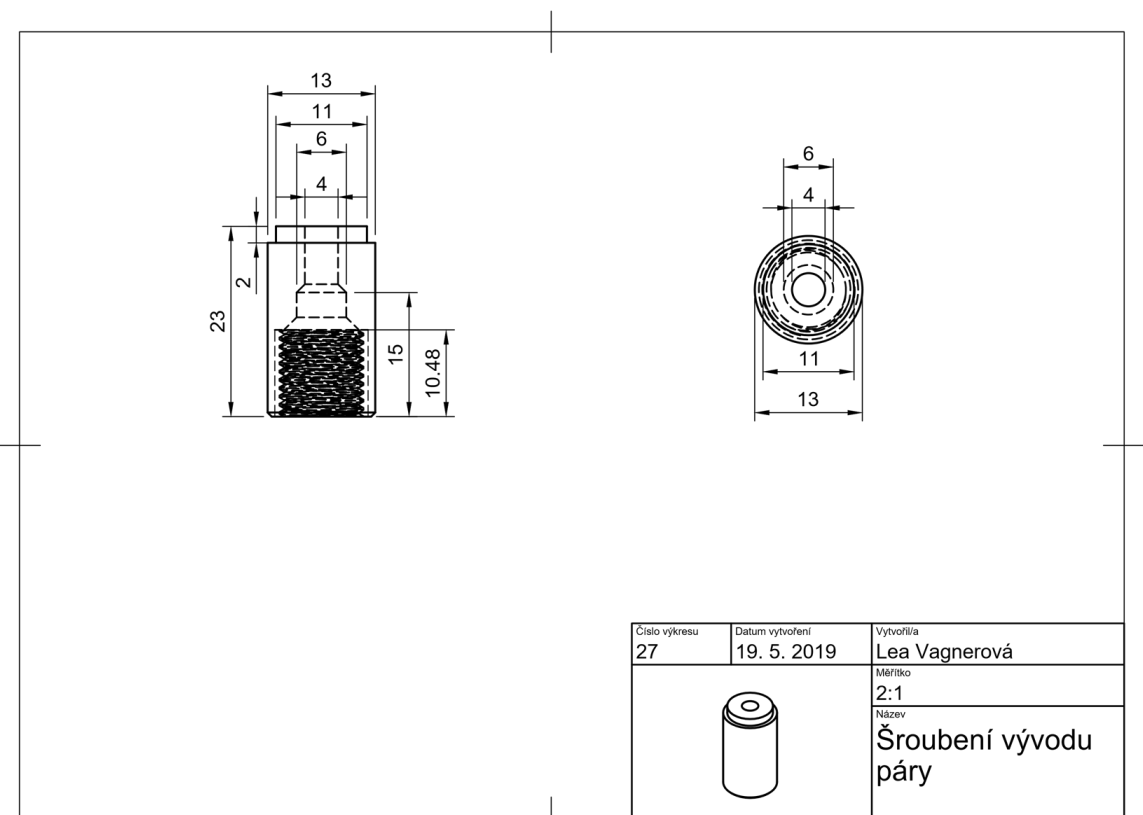
Šroubení, které složí k uchycení měděné trubky o průměru 6 mm ke kotli, jsem vyhotovila z mosazi soustružením ze 14 mm šestihřanné tyče. Vyvrtala jsem 6mm otvor a závit M10×1. Připojení ke kotli jsem zajistila převlečeným šroubem, kdy se mosazný soudeček zatáhne a vytvoří těsný spoj. Přívod páry z kotle do šoupátka jsem zajistila mosaznou přírubou, která je sletovaná k trubce cínovou pájkou. Převodní trubka je měděná o průměru 6 mm s tloušťkou stěny 1 mm. Přírubu jsem stružila z mosazi, následně do ní vyvrtala otvor o průměru 6 mm pro trubku a pomocí 6 šroubů se závitem M2 ji připojila k šoupátku.



Obrázek 71 Výkres převlečeného šroubu vývodu páry

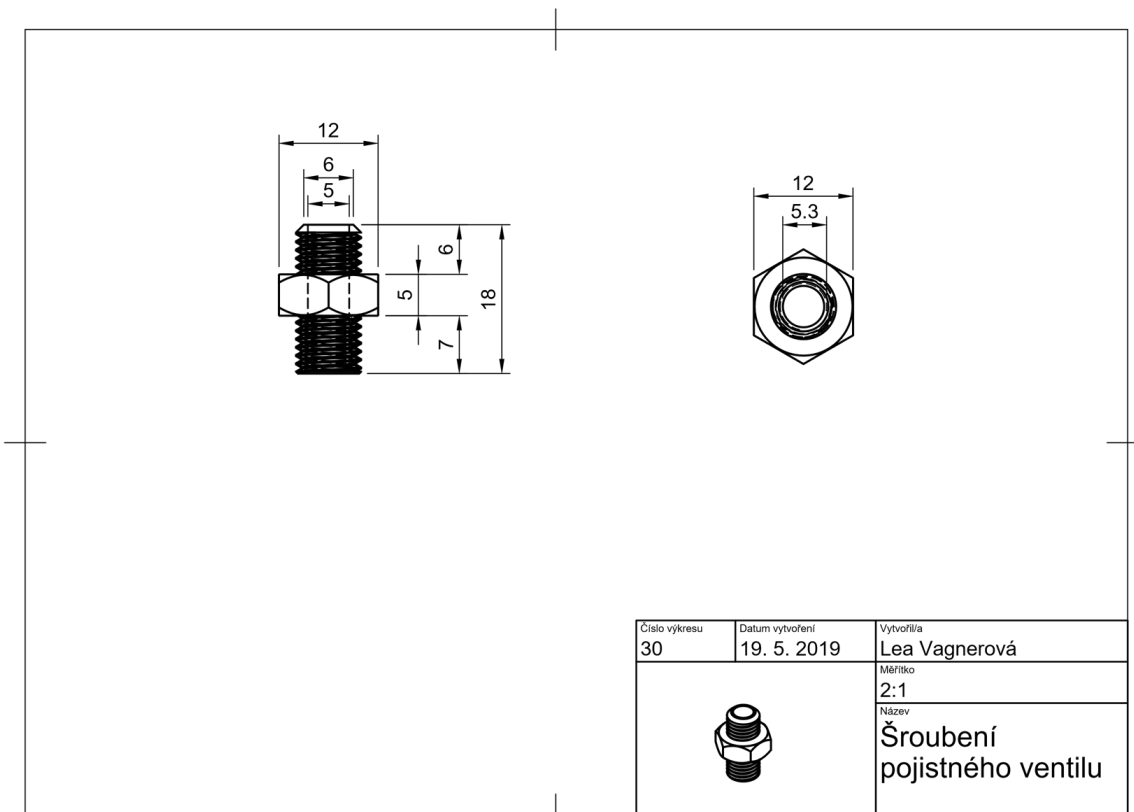


Obrázek 72 Výkres těsnícího soudku

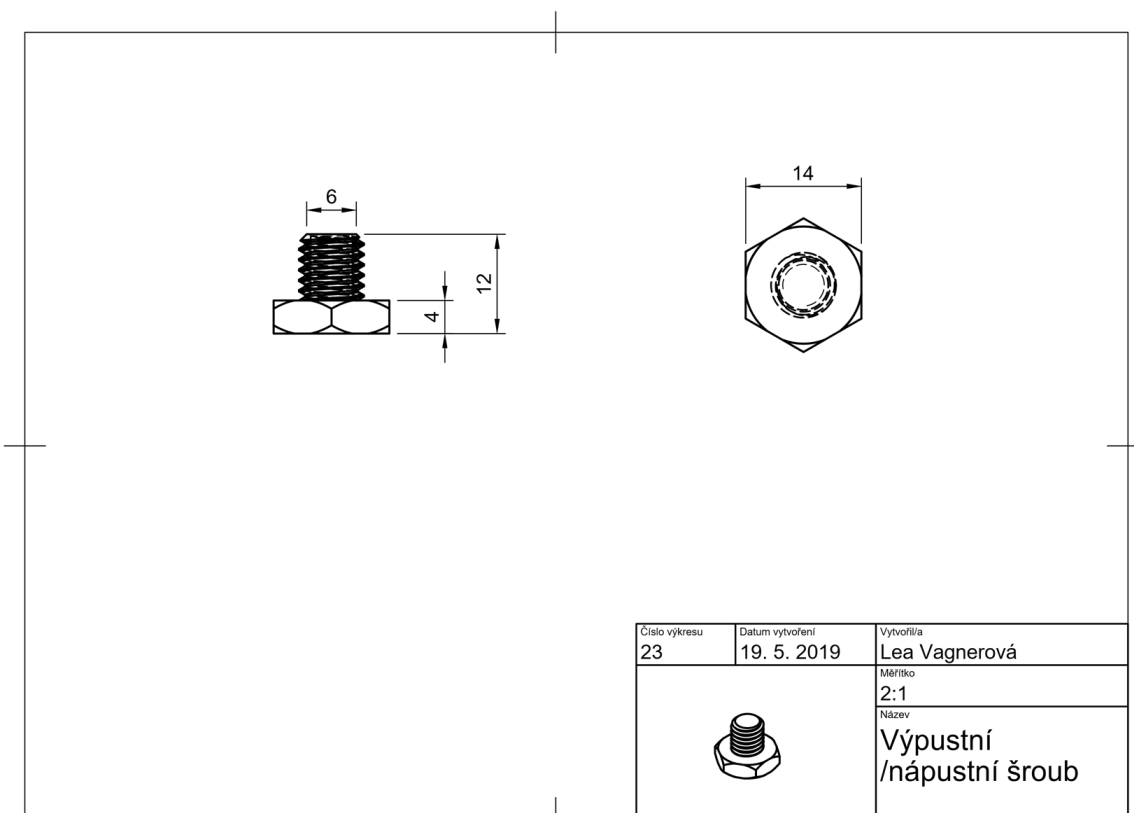


Obrázek 73 Výkres šroubení vývodu páry

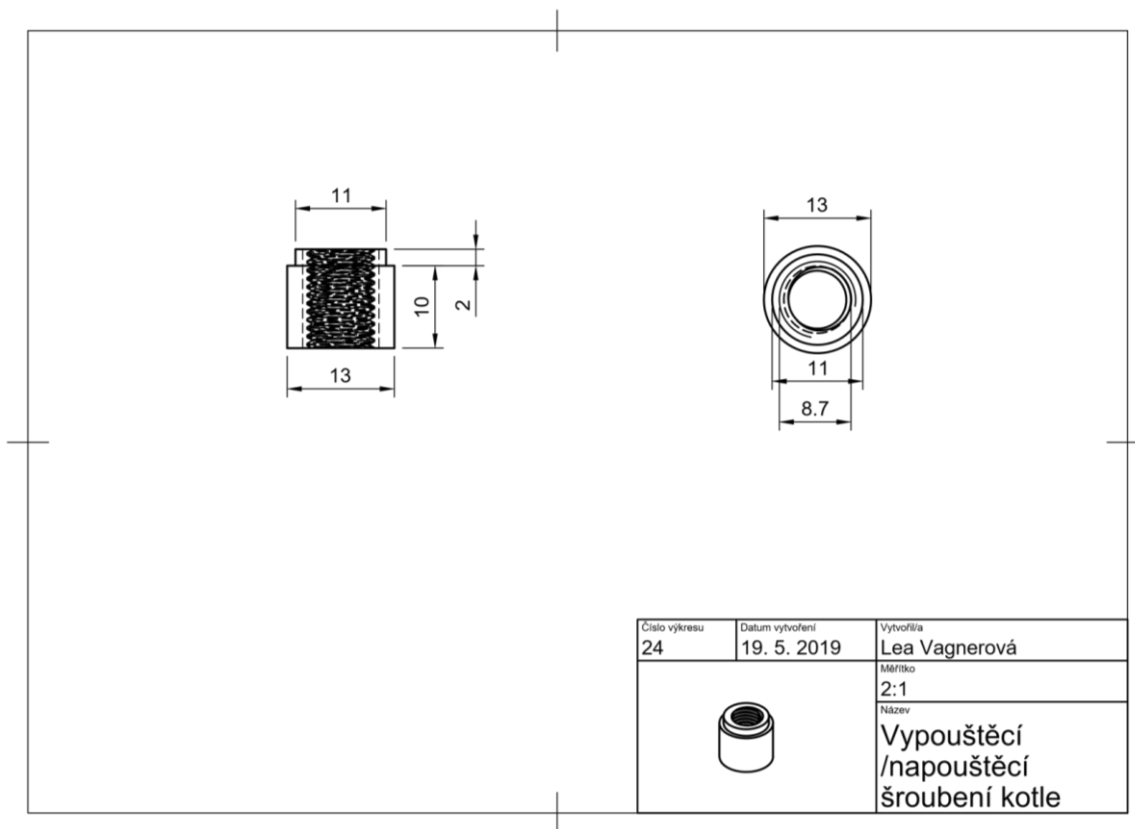




Obrázek 74 Výkres šroubení pojistného ventilu



Obrázek 75 Výkres výpustního a napouštěcího šroubu



Obrázek 76 Výkres šroubení výpustního a napouštěcího šroubu

Jednotlivé části jsem osadila na základovou desku ze dřeva o rozměrech 30×45×2, připojila plynový hořák a provedla funkční zkoušku zkompletovaného stroje.

# Závěr

Zkonstruovala jsem parní stroj a ověřila, že je schopen pohánět brusný kotouč. Funkční zkouška proběhla bez velkých obtíží, zpočátku byl rozběh stroje pomalejší, než jsem očekávala, ale během několika minut se rychlost zvýšila a zůstala konstantní.

Předpokládala jsem, že největším problémem bude nastavit stroj tak, aby se těsně za horní úvratí otevřel kanál, tlak páry tak dodal energii pístu a tlačil ho do spodní úvratí, pak se přívod uzavřel a vyfoukla se pára. Moje domněnka se částečně vyvrátila, protože i když bylo obtížnější takto stroj nastavit, nakonec jsem to úspěšně zvládla.

Zhotovila jsem model a okótovaný výkres ke každému dílu. Konstrukční program byl velmi intuitivní a rychle jsem se v něm naučila pracovat. Výkresovou dokumentaci obsahuje kapitola Výsledky a diskuse.

# Seznam literatury

1. BENSON, Tom. *Brief History of Rockets*. *www.grc.nasa.gov* [online]. Cleveland: NASA Glenn Research Center, 2014 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: [https://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/TRC/Rockets/history\\_of\\_rockets.html](https://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/TRC/Rockets/history_of_rockets.html)
2. NOVÁK, Jan. *Vynálezci a objevitelé v oblaku páry. 21. století* [online]. Praha: RF HOBBY, s. r. o. 19. 12. 2006 [cit. 2018-01-23]. Dostupné z: <https://21století.cz/2006/12/19/vynalezci-a-objevitele-v-oblaku-pary/>
3. POKORNÝ, Josef. *Parní stroje. Ottův slovník naučný* [online]. 27. 3. 2017 [citováno 23. 01. 2018] Dostupné z: [https://cs.wikisource.org/wiki/Ott%C5%AFv\\_slovn%C3%ADk\\_nau%C4%8Dn%C3%BD/Parn%C3%AD\\_stroj](https://cs.wikisource.org/wiki/Ott%C5%AFv_slovn%C3%ADk_nau%C4%8Dn%C3%BD/Parn%C3%AD_stroj)
4. Heron's fountain. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2019 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Heron%27s\\_fountain](https://en.wikipedia.org/wiki/Heron%27s_fountain)
5. ZVONÍČEK, Jan. *Parní stroje*. 2. vyd. Praha: Ústřední vydavatelská komise, 1927.
6. Machina vaporaria. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017, 5. 10. 2017 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: [https://la.wikipedia.org/wiki/Machina\\_vaporaria](https://la.wikipedia.org/wiki/Machina_vaporaria)
7. KLÁG, Josef. *Parní stroje*. 2. přepracované vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1959. Řada strojnické literatury.
8. JANOVSKEÝ, Julius. *Parní stroje, parní kotle, parní turbíny: Pro strojníky, montéry a majitele parních strojů*. 3. vyd. Praha: I. L. Kober knihkupec, 1940.
9. PELCÁK, Jan. *Parní kotle a stroje*. 2. dopl. vyd. Praha: Hokr, 1944. Hokrový technické a dílenské příručky.