

PARNI STROJ

STROJNIŠTVO

RAZISKOVALNA NALOGA

MARTIN FURLAN

3. LETNIK

MENTOR

MARTIN KAVŠEK

ŠOLSKI CENTER LJUBLJANA

KAZALO VSEBINE

1. UVOD.....	4
1.1 CILJI.....	4
2. TEORETIČNI DEL.....	5
2.1 BOJLER	6
2.1.1 VENTILI	7
2.2 CILINDER.....	8
2.3 VZTRAJNIK.....	9
2.3.1 DODATNO KOLO	9
2.4 NOSILEC CILNIDRA.....	10
2.5 BATNICA IN BAT	10
2.6 NOSILEC VZTRAJNIKA.....	12
2.7 OSTALO.....	12
3. PRAKTIČNI DEL.....	14
3.1 TABELE MATERIALA.....	14
3.2 POPRAVKI MED IZDELAVO	15
3.3 MEHKO LOTANJE	16
3.3.1 BAKRENE CEVI.....	18
3.4 TLAČI PREIZKUS BOJLERJA	18
3.5 PREIZKUS DELOVANJA CILINDRA	19
3.6 PREIZKUS DELOVANJA NA PARO	20
4. REZULTATI	21
4.1 IZRAČUN MOČI	21
5. RAZPRAVA.....	23
6. ZAKLJUČEK.....	24
6. LITERATURA.....	24

SEZNAM SLIK

Slika 1: Poz. 0.....	5
Slika 2: Poz. 1.....	5
Slika 3: Poz. 2.....	5
Slika 4: Poz. 3.....	5
Slika 5: 3D model bojlerja	6
Slika 6: 3D model varnostnega ventila	7
Slika 7: 3D model regulacijskega ventila	7
Slika 8: 3D model vijaka ventila	7
Slika 9: 3D model cilindra	8
Slika 10: 3D model vztrajnika	9
Slika 11: 3D model kolesa	9
Slika 12: Končni izgled nosilca cilindra v 3D.....	10
Slika 13: 3D model bata.....	11
Slika 14: 3D model batnice	11
Slika 15: 3D model nastavka na vztrajniku	11
Slika 16: 3D model nosilca vztrajnika	12
Slika 17: Podstavek za manometer	13
Slika 18: Izgled sestavljenega podstavka za bojler.....	13
Slika 19: Plošča podstavka modela	13
Slika 20: Zalotana kroglica in nov ventil.....	15
Slika 21: 3D model novega ventila	15
Slika 22: Izgled nameščenega čepa	16
Slika 23: Uporabljena tesnilna vrvica	16
Slika 24: Oprema za mehko lotanje	17
Slika 25: Model pred lotanjem	17
Slika 26: Bojler po lotanju	17
Slika 27: Slike priključkov	18
Slika 28: Nastavitev na zračni pumpi ter bojlerju	19
Slika 29: Tlačni preizkus	19
Slika 30: Model v delovanju	20
Slika 31: Končni izgled modela.....	21

1. UVOD

Za to projektno nalogo sem se odločil, saj me fascinirajo parni stroji oz. vse kar deluje na paro (lokomotive, parniki itd.). Zaradi najbolj enostavnega principa izdelave pa tudi zato, ker res prikazuje osnovne delovanja pogona na paro sem se odločil za izdelavo eno cilindričnega oscilacijskega parnega stroja.

1.1 CILJI

Moj glavni cilji te naloge so bili:

1. narediti delajoč model, ki dela na zrak in paro
2. manjša možnost regulacije lastnega dizajna, ki je tlačno tesna
3. zagotoviti dober spoj med materiali, ki tesni in je odporen na temperaturo

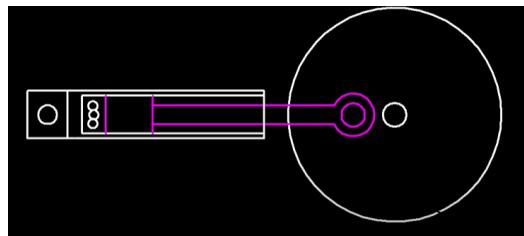
Poleg obstoječih ciljev sem imel še nekaj stranskih ciljev:

1. doseči lepo, kvalitetno zvitje bakrenih cev brez opaznih deformacij na zunanjosti
2. ali zmorem vse dele narediti doma
3. ali znam dele pravilno zmodelirati
4. ali lahko dele naredim znotraj toleranc
5. ali lahko stroj doseže 1500 obratov na minuto
6. ali znam izračunati njegovo moč
7. lahko dosežem da se bo varnostni ventil odprl pri 2 bara

2. TEORETIČNI DEL

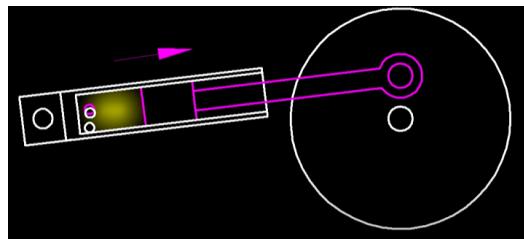
Najprej sem rabil razumeti princip delovanja, ki pa je preprost: gibajoč se cilinder ima 4 položaje:

1. Začetna pozicija



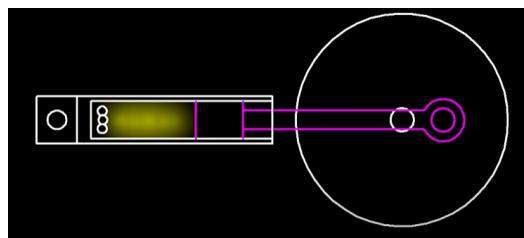
Slika 1: Poz. 0

2. Vstop pare v cilinder, bat se premakne



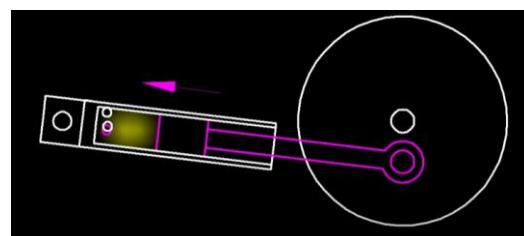
Slika 2: Poz. 1

3. Para ne vstopa več v cilinder



Slika 3: Poz. 2

4. Končna pozicija, bat se vrne v začetno pozicijo in izpusti paro skozi drugo luknjo



Slika 4: Poz. 3

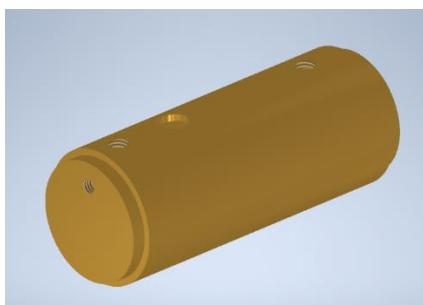
Ta vrsta zasnove parnega stroja ima zelo slabo moč, saj potrebuje zadosten moment, da se vrne v začetno pozicijo, zato potrebuje dovolj težek vztrajnik, da ima čim večji masni moment.

Na začetku sem se rabil odločiti za razmerje velikosti modela. Vedno se začne izdelava z bojlerjem, kar pomeni da je bila velikost modela odvisna od velikosti bojlerja. Od velikosti bojlerja je odvisno ali bo stroj deloval.

Deli v teoretičnem delu si sledijo po vrstnem redu izdelave. Vsi 3D modeli so narejeni v Autodesk Inventorju.

2.1 BOJLER

Glede na razpoložljiv material je bil lahko maksimalni premer bojlerja 30mm. Odločil sem se, da bo narejen iz medenine, saj jo lahko mehko lotam. Nato sem se moral odločiti za orientacijo bojlerja, torej ali bo pokončen ali ležeč. Zaradi večje izparevalne površine sem se odločil za ležeč bojler, saj bo v takem položaju proizvedel večjo količino pare, s tem pa bo tlak v bojlerju hitreje rastel. Nato sem začel z izdelavo načrtov bojlerja.



Slika 5: 3D model bojlerja

Potrebno je bilo tudi izračunati največjo količino polnjenja, da se bojler ne napolni preveč, saj nisem v bojler vgradil kazalca nivoja vode.

Izračun prostornine bojlerja:

$$l_0 = 64\text{mm}$$

$$d_1 = 26,5\text{mm}$$

$$d_2 = 24\text{mm}$$

$$\alpha_0 - faktor polnjenja = 0,8$$

$$V_{bojlerja} = l_0 \cdot \frac{4}{5} \cdot \frac{\pi d_1^2}{4} + l_0 \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{\pi d_2^2}{4} = \frac{64 \pi 26,5^2}{5} + \frac{64 \pi 24^2}{20} = 28239 + 5791 = 34030\text{mm}^3$$

$$V_{polnjenja\ max} = V_{bojlerja} \cdot \alpha_0 = 34030 \cdot 0.8 = 27224 \text{ mm}^3 = 0.0272 \text{ dm}^3 = 0.0272l = 2,72cl$$

2.1.1 VENTILI

Poleg varnostnega ventila, ki je bil na bojlerju obvezen zaradi varnosti se odločil da bom še dodal regulacijski ventil, da bom lahko določal količino pare namenjene za cilinder pa tudi, da lahko pritisk v bojlerju narašča, ko je zaprt. Sledila je še izdelava načrtov za oba ventila.



Slika 6: 3D model varnostnega ventila



Slika 7: 3D model regulacijskega ventila

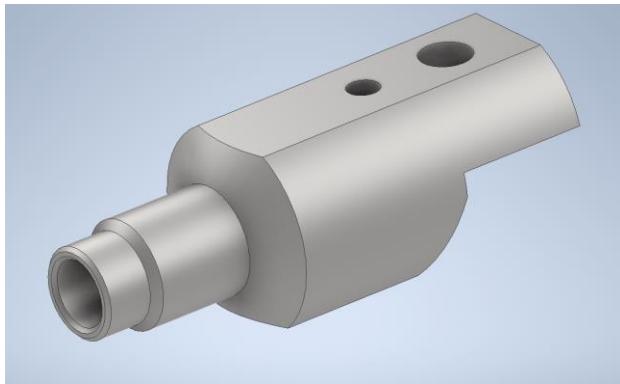


Slika 8: 3D model vijaka ventila

2.2 CILINDER

Po končanem bojlerju je sledila izdelava cilindra. Naredil sem ga iz nerjavečega jekla 1.4301 zaradi dobre odpornosti proti koroziji.

Glede na volumsko razmerje sem se odločil za cilinder notranjega premera 5,1mm in globine 25mm, saj bo s tem volumsko razmerje med bojlerjem in cilindrom okoli 1 : 67 , kar bi v teoriji pomenilo da bi stroj lahko deloval. Sledila je izdelava načrtov.



Slika 9: 3D model cilindra

Izračun največje prostornine cilindra v poziciji 2:

$$l_{max} = 20mm$$

$$d = 5,1mm$$

$$V_{cilindra\ max} = l_{max} \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 20 \cdot \frac{\pi \cdot 5,1^2}{4} = 408,6mm^3$$

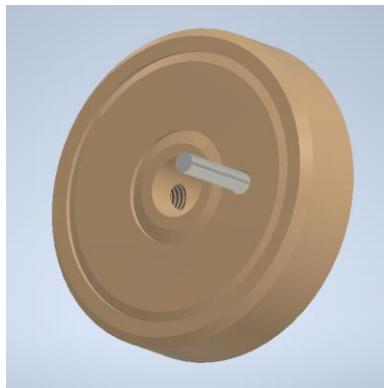
Izračun razmerja med bojlerjem in cilindrom:

$$V_{polnjenja\ max} : V_{cilindra\ max} = \frac{27224}{408,6} \approx 1 : 67$$

2.3 VZTRAJNIK

Potreboval sem tudi vztrajnik (ang. flywheel). Odločil sem se da ga bom naredil iz brona zaradi malo večje gostote od medenine in korozijske odpornosti, saj mora vztrajnik biti dovolj težak, da lahko stroj učinkovito deluje. Kot je bilo omenjeno že prej mora biti vztrajnik dovolj težak, da ima zadosten masni moment ter da s tem omogoči vračanje cilindra v začetno pozicijo.

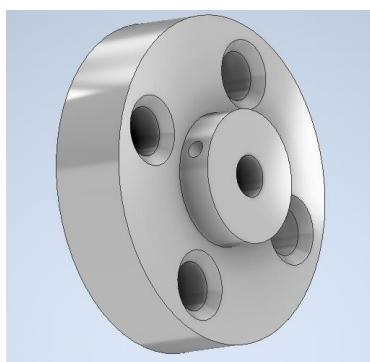
Najpomembnejše pri izdelavi vztrajnika je bila določitev območja premika cilindra. Bolje je da je območje čim manjše, da na cilinder preveč ne vpliva trenje ter sile, ki bi delovale na batnico. Ne sme pa biti premajhno, saj bi vplivalo na velikost lukenj na nosilcu cilindra. Torej nekje optimalen premer premika je bil od 14-18mm. Odločil sem se za 16mm. Sledila je izdelava načrta.



Slika 10: 3D model vztrajnika

2.3.1 DODATNO KOLO

Poleg vztrajnika pa sem se odločil da bom še naredil kolo iz aluminija za lepši izgled, poleg tega pa bi kolo lahko s pomočjo jermenja povezal kolo z elektromotorjem. S tem bi lahko proizvajal električno energijo. Možni bi bili številni nastavki (zobniki, itd.)



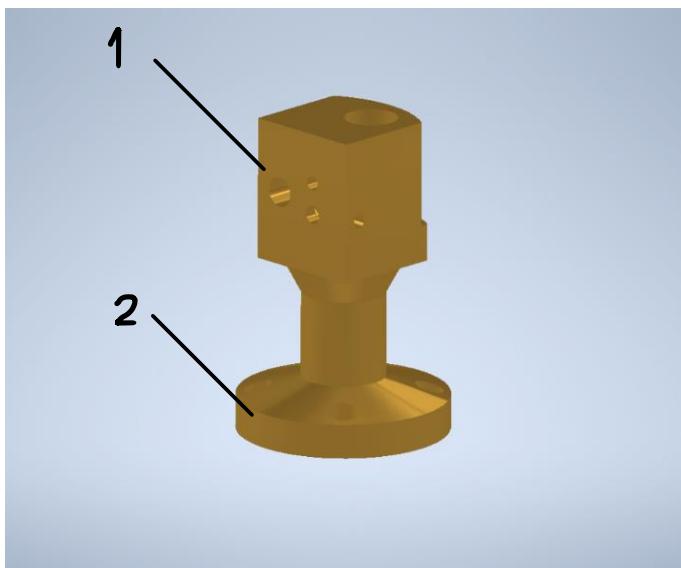
Slika 11: 3D model kolesa

2.4 NOSILEC CILNIDRA

Kot sem omenil je cilinder potreboval nosilec na katerem bo nameščen. Odločil sem se za nekakšno optimalno višino nosilca skozi katero bo določena celotna višina modela.

Glede na velikost luknje za vstop pare na cilindru sem se odločil da bosta vhodna in izstopna velikost luknje v razmerju 0,8 : 1. Za večjo luknjo namesto enako sem se odločil zato, ko se bo cilinder vračal v začetni položaj, da bat ne bo izgubljal na hitrosti, saj se bo s tem pritisk v cilindru zmanjšal hitreje.

Sledila je izdelava načrta. Zaradi omejitev pri dostopnosti materiala sem se odločil da bo nosilec iz dveh delov, saj s tem drastično zmanjšam potrebno velikost neobdelanega materiala. Sestavljen je iz podstavka (2) in ventila (1) (na katerem se giba cilinder), saj sta lahko skupaj mehko lotana.



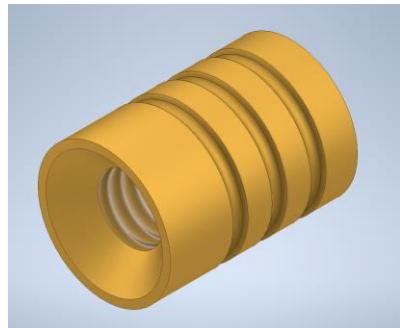
Slika 12: Končni izgled nosilca cilindra v 3D

2.5 BATNICA IN BAT

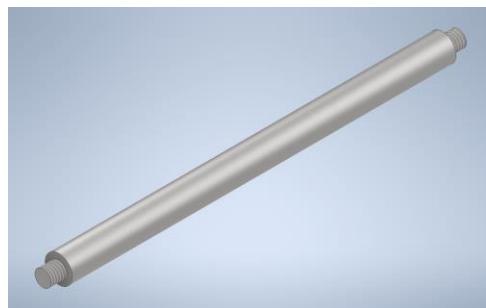
Odločiti sem se rabil za dolžino batnice in kako bo na njej nameščen bat. Za bat sem se odločil da, bo narejen iz medenine, da čim bolj zmanjšam koeficient trenja in s tem potrebno velikost sile za premik. Poleg tega sem v bat naredil 3 zareze, v katerih se bo nahajalo olje in bo mazalo površino po kateri se bat premika. Po tabelah, ki sem jih našel, bi moral biti koeficient trenja med medenino in jeklom, če je mazano med 0.11 - 0.19 kar je izredno nizko.

Glede namestitve na batnico pa sem imel več opcij. Lahko bi bat pritrdir trajno z lotom, začasno z zatičem ali pa z navojem. Odločil sem se za navoj zaradi preprostosti izdelave. Najbolj optimalen je bil navoj M2, vendar ker ga nisem imel na razpolago sem se odločil za navoj M3. Nato pa sem se moral odločiti še za način namestitve batnice na vztrajnik.

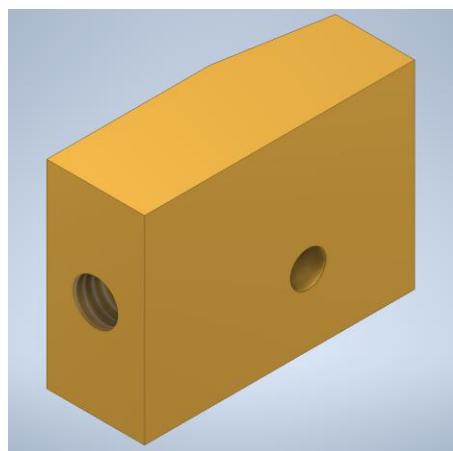
Sprva sem mislil da bom izvrtal luknjo premora 2mm skozi batnico, vendar sem se zaradi namena zmanjšanja trenja (batnica iz nerjavečega jekla) in možnosti obrabe odločil, da bom naredil isto kot za bat nastavek iz medenine, ki ga lahko zamenjam ko se obrabi. Potreboval sem še določiti dolžino batnice, ki je 70,5mm. V to dolžino ni upoštevana dolžina navojev na katere se navijeta bat in medeninasti nastavek.



Slika 13: 3D model bata



Slika 14: 3D model batnice



Slika 15: 3D model nastavka na vztrajniku

2.6 NOSILEC VZTRAJNIKA

Na koncu je sledil še zadnji pomembnejši del; izdelava nosilca vztrajnika. Želel sem da bi vztrajnik ležal na ležajih. Višina je bila najpomembnejši faktor, saj bi ob nepravilni višini povzročila nepravilno delovanje cilindra, saj se luknje ne bi pravilo prekrivale. Višino pa sem pridobil z metodo preizkušanja – poizkusil sem prekriti luknje cilindra z ventilom na določenih pozicijah bata. S tem sem določil primerno višino, ki je 42,5mm od centra luknje navzdol.

Pri izdelavi načrtov sem moral računati tudi na velikost ležajev. Odločil sem se za dva različna ležaja. Eden naj bi bil z manjšim robom ter premera 12mm, drugi pa bi bil klasičen ležaj premera 13mm, oba ležaja pa bi bila notranjega premera 6mm. Nosilec vztrajnika sem se tudi kot pri nosilcu cilindra odločil, da bom naredil iz dveh delov zaradi lažje izdelave: nosilec ležajev ter stojalo za nosilec.



Slika 16: 3D model nosilca vztrajnika

2.7 OSTALO

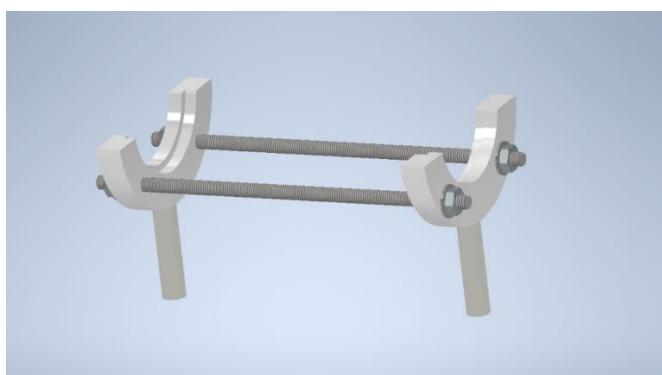
Na koncu pa je ostala le še izdelava malenkosti.

Izdelava podstavka bojlerja in podstavka modela ter nastavek za manometer. Edina pomembnejša stvar pri tem je bila odločitev za vrsto manometra, torej ali bo ta radialen ali aksialen.

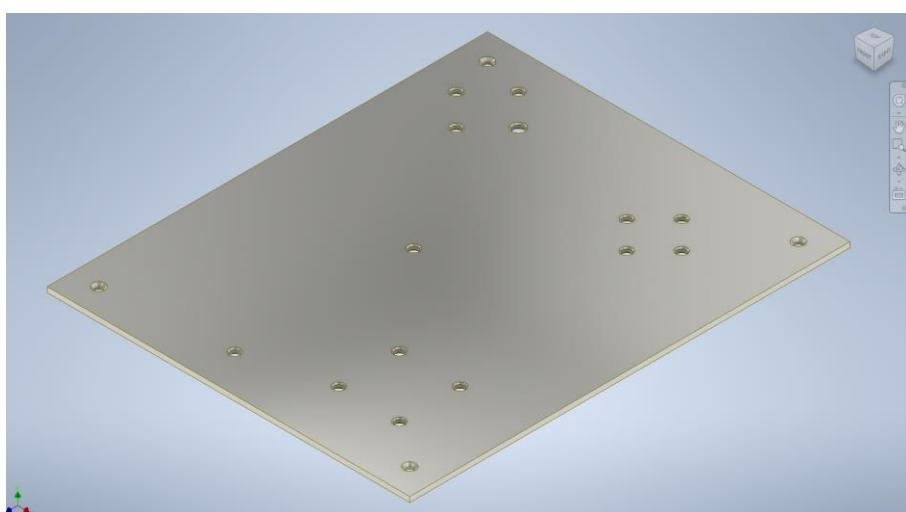
Odločil sem se za radialnega zaradi lažje izdelave. Najmanjšega, ki sem ga lahko dobil je bil premera 40mm in je imel navoj 1/8 G.



Slika 17: Podstavek za manometer



Slika 18: Izgled sestavljenega podstavka za bojler



Slika 19: Plošča podstavka modela

3. PRAKTIČNI DEL

Cilj praktičnega dela je bil izdelati dele po načrtih, tako da se bodo prilegali in da bodo imeli lepo končno površino. Kar je vezano na postopek izdelave in dela nimam veliko slik. Večina modela je narejena iz medenine, ostalo pa je iz aluminija, jekla, nerjavečega jekla ter cevi iz bakra.

Postopki uporabljeni pri izdelavi:

- struženje,
- rezkanje,
- piljenje,
- žaganje,
- mehko lotanje,
- brušenje,
- poliranje,
- vrtanje,
- povrtavanje,
- rezanje navojev

3.1 TABELE MATERIALA

MATERIAL	PREMER	DOLŽINA
Medenina	30mm	180mm
	12mm	160mm
Nerjaveče jeklo 1.4303	16mm	40mm
Nerjaveče jeklo L316	5mm	150mm
Jeklo	8mm	70mm
Aluminij	50mm	40mm

VIJAK	MATERIAL	KOLIČINA
Vijak M3 – 6g x 16.5	Jeklo - pocinkano	4
Vijak M3 – 6g x 7	Jeklo - pocinkano	5
Vijak M3 – 6g x 10	Medenina	6
Navojna palica M3 – 6g x 84.5	Jeklo - pocinkano	2
Navojna palica M3 – 6g x 8	Medenina	1
Spax vijak 2 x 8	Jeklo – kromirano	4

OSTALO	MATERIAL	KOLIČINA
Matica M3 – 6H	Jeklo - pocinkano	12
Podložka M3	Jeklo - pocinkano	16
Podložka M3 - vzmetna	Jeklo - pocinkano	2
Tesnilna vrvica		
O-Ring		2

3.2 POPRAVKI MED IZDELAVO

Pri izdelavi regulacijskega ventila sem opazil, da bo na navoj zelo slabo tesnil, zato sem se odločil da ga bom naredil tako da bo tesnil na kovinsko kroglico.

Bolj kot bom odvil ventil višje bo šla kroglica in s tem se bo ventil bolj odprl, a tudi tukaj sem naletel na težavo. Po tem ko se je kroglica stisnila ob zaprtju ventila, se je le malo dvignila ali pa se sploh ni, ko sem ga začel odpirati. Kroglica se je zataknila v luknji, zato sem se odločil, da bom kroglico mehko zalotal na navojno palico, ki se bo odvijala, ko bom odpiral ventil.



Slika 20: Zalotana kroglica in nov ventil



Slika 21: 3D model novega ventila

Na bojlerju sem tudi še dodal luknjo, skozi katero lahko izpraznim bojler po delovanju. Zaradi bolj tesnega koraka navoja sem se odločil za ameriški navoj UNF, ki se razlikuje od metrskih večinoma le po koraku malo pa tudi po premeru.

Vrezal sem navoj 1/4" 28G ter izdelal čep z ujemajočim se navojem, ki ga lahko z ključem zategnem na bojler. Na navoj čepa sem navil teflon trak ter zategnil čep na bojler.



Slika 22: Izgled nameščenega čepa



Slika 23: Uporabljena tesnilna vrvica

3.3 MEHKO LOTANJE

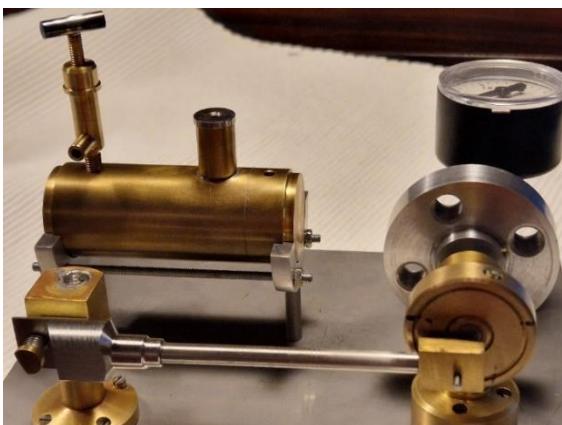
Za mehko lotanje sem mogel kupiti poseben lot, takšen kot ga uporabljajo vodovodarji.

Potreboval sem visoko temperaturno odpornost ter odpornost proti tlaku. Temperaturna odpornost je bila potrebna vsaj $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, saj je največji tlak pare 0.8 bara s tem pa se temperatura pare zviša na $120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zaradi varnosti je moral biti faktor varnosti vsaj 1.5 oz. je je največja dovoljena temperatura do največ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ pod talilno temperaturo mehkega lota, saj potem spoj začne postajati šibek.

Torej sem vzel lot, ki ima talilno temperaturo $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ ter je odporen do tlaka 2bar; tj. lot za fitinge.



Slika 24: Oprema za mehko lotanje



Slika 25: Model pred lotanjem



Slika 26: Bojler po lotanju

3.3.1 BAKRENE CEVI

Po lotanju bojlerja sem dele modela pritrdil na stojalo ter pravilno zvili bakrene cevi premera 6mm, tako da so se prilegale luknjam, ki so bile namenjene za njih.

Izdelal sem se nekaj priključkov, ki luknjo premera 2.5mm - 4mm povežejo z bakreno cevjo, hkrati pa so namenjeni temu, da če je potrebno popravilo lahko cev odlotam na teh priključkih.



Slika 27: Slike priključkov

3.4 TLAČI PREIZKUS BOJLERJA

Po končani izdelavi sem moral opraviti tlačni preizkus. Na bojler sem privijačil adapter za stisnjeni zrak. V adapter sem dal cev premera 4mm, na koncu cevi pa sem dal še adapter s cevi 4mm na cev 8mm. To cev sem nato pritrdil na ročno zračno pumpo.

S pomočjo ročne zračne pumpe sem v bojlerju ustvaril tlak 2 bara. Ko je bil tlak presežen čez 2 bara, se je odprl varnostni ventil, tako sem vedel, da sem za varnosti ventil izbral pravilno vzmet. Tlak je zelo počasi padal, kar je normalno, saj regulacijski ventil in adapter na pumpo ni 100% tesnil. Nato sem v bojler do vrha nalil destilirano vodo (ni vodnega kamna) in jo spravil na tlak 1,5 bara.

Po modelu sem na spojih bojlerja gledal za kakršne koli znake puščanja. Pod tlakom sem ga pustil za 6min. Po 6 minutah sem spet pogledal spoje in vsi so bili suhi, kar je pomenilo, da so bili spoji dobro mehko lotani. Pripravljen je bil na preizkus s paro.



Slika 28: Nastavitev na zračni pumpi ter bojlerju



Slika 29: Tlačni preizkus

3.5 PREIZKUS DELOVANJA CILINDRA

Po opravljenem tlačnem preizkusu, sem cel model pobrisal z razredčilom, da sem z njega odstranil vso maščobo, komponente na katerih je delovalo trenje namazal z Castrol motornim oljem, saj z njim dobim najmanjši koeficient trenja glede na tabele (0.11). Gred, ki je bila na ležajih sem namazal z grafitno mastjo. Začel sem pumpati zrak v bojler, hkrati pa sem počasi začel odpirati regulacijski ventil. Na začetku je bilo potrebno dati vztrajniku malo momenta, zato sem ga zavrtel. Stroj je začel delovati. Največjo hitrost je dosegel pri 1,5 bara, najmanjšo možno pa pri 0,3 – 0,4 bara.



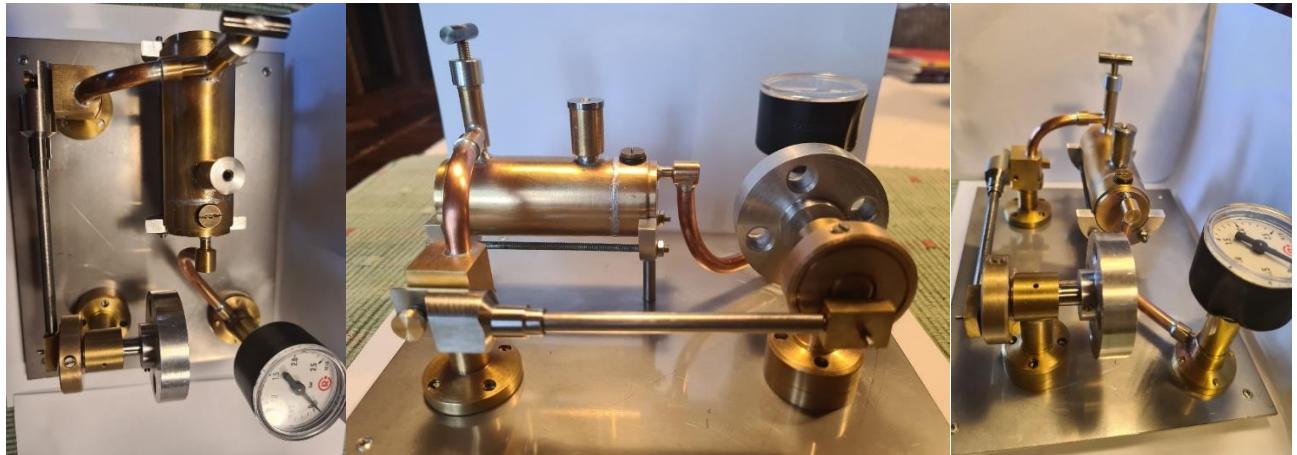
Slika 30: Model v delovanju

3.6 PREIZKUS DELOVANJA NA PARO

Počasi sem bojler začel segrevati s plinskim gorilnikom na butan. Ko je dosegel tlak 0,5 bara sem začel odpirati regulacijski ventil. Na začetku je na izpustu iz cilindra prihajalo veliko tekočine, saj je para kondenzirala, a ko se je material segrel na delovno temperaturo ni bilo več kondenzata. Poskušal sem pomagati cilindru z dodajanjem momenta vztrajniku. Opazil sem da se cilinder zelo muči, zato sem povečal temperaturo na gorilniku. Para v bojlerju ob najbolj možnem odprttem regulacijskem ventili je bila na okoli 0,5 – 0,6 bara. Počasi se je začel parni stroj poganjati, a je kmalu za tem, nekaj sekund po tem nehal vrteti in je spet rabil pomoč pri momentu, torej je deloval le za par sekund. Takrat sem preizkus rabil ustaviti, saj je v bojlerju bilo le še okoli 40% tekočine in se je že občutno segreval. Da bi preprečil pregrevanje sem nehal greti bojler. Tlak je počasi padel in počakal sem, da se je model počasi ohladil. Iz bojlerja sem nato izpraznil tekočino, kar je od nje še ostalo. Poizkusil sem še nekajkrat z istimi rezultati.

4. REZULTATI

Rezultati so vizualno lepi. Res sem se ga potrudil narediti čim lepšega, možno bi ga bilo še prebarvati in izolirati cevi.



Slika 31: Končni izgled modela

4.1 IZRAČUN MOČI

Glede na rezultate sem lahko izračunal le moč, ki jo proizvede na stisnjeni zrak. Ker nisem imel tahometra (naprava za merjenje obratov) sem obrate pridobil z eksperimentalno metodo - svetilka je utripala v vztrajnik, in ko se je vztrajnik sinhroniziral z svetlobo (ob vrtenju viden le eden obrat, ki ga naredi batnica) sem pridobil obrate na minuto s pomočjo aplikacije, na kateri sem reguliral utripe svetlobe, ta pa je glede na utripe imela že vnaprej določene obrate.

Ta metoda je srednje natančna, odstopki so lahko od nekaj obratov pa tudi do 200 obratov, zato izračuni ne bodo povsem natančni. V teoriji bi moral biti koeficient trenja 0,11 ampak zaradi neidealnosti pogojev sem se odločil, da bo približno 0,14.

Podatki:

$$r = 8 \text{ mm} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$m_{\text{batnica}} \approx 13 \text{ g} = 13 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$p_{\max \text{ izmerjeni}} \approx 1,5 \text{ bar} = 150000 \text{ Pa}$$

$$RPM_{\max \text{ izmerjeni}} \approx 2500$$

$$n = 2500 \text{ min}^{-1}$$

$$d = 5,1 \text{ mm}$$

$$\mu \approx 0,11 - 0,19$$

Osnovna formula:

$$P = T \cdot \omega$$

Izračun kotne hitrost:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \cdot 2500}{60} = 261.8 \text{ rads}^{-1}$$

Izračun sile brez trenja:

$$p = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 5,1^2}{4} = 20,43 \text{ mm}^2 = 20,43 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$F = p \cdot A = 150000 \cdot 20,43 \cdot 10^{-6} = 3,07 \text{ N}$$

Izračun sile z upoštevanjem trenja:

$$F_{brez trenja} = 3,07 \text{ N}$$

$$F_{tr} = F_n \cdot \mu = 3,63 \cdot 0,14 = 0,47 \text{ N}$$

$$v_{max} = 2\pi n \cdot r = \omega \cdot r = 261,8 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 2,094 \text{ m/s}$$

$$F_n = F_g + F_{centripetalna} = \frac{m_{batnica}}{2} \cdot g + \frac{\frac{m_{batnica} \cdot v_{max}^2}{2}}{r} = \frac{13 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot 9,81 + \frac{\frac{13 \cdot 10^{-3} \cdot 2,094^2}{2}}{8 \cdot 10^{-3}} = \\ \frac{13 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81}{2} + \frac{13 \cdot 2,094^2}{2 \cdot 8} = 3,63 \text{ N}$$

$$F_{brez trenja} = F - F_{tr} = 3,07 + 0,47 = 3,54 \text{ N}$$

Izračun momenta:

$$T_{brez trenja} = F_{brez trenja} \cdot r = 3,54 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 28,32 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}$$

$$T = F \cdot r = 3,07 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 24,56 \cdot 10^{-3} \text{ Nm}$$

Končni izračun moči z brez in z upoštevanjem trenja:

$$P_{brez trenja max} = T_{brez trenja} \cdot \omega_{max} = 28,32 \cdot 10^{-3} \cdot 261,8 = 7,41 \text{ W}$$

$$P_{max} = T \cdot \omega_{max} = 20,8 \cdot 10^{-3} \cdot 261,8 = 6,43 \text{ W}$$

5. RAZPRAVA

Očitno je bilo, da sem se zaračunal oziroma uštel pri prostornini bojlerja, razmerje cilindra in bojlerja napoljenega do 80% bi moral biti vsaj od okoli 1 : 100 naprej.

Lahko bi ga naredil delujočega, tako da bi zmanjšal diameter cilindra ter zmanjšal težo vztrajnika. Možno bi bilo tudi poleg obstoječega bojlerja naredil še nekoliko manjšega, lahko tudi pokončnega, saj pri volumskem razmerju ni manjkalo veliko. Obstaja pa tudi možnost, da bi bojler modela preko cevi (lahko tudi plastične – cevi namenjene za komprimiran zrak z adapterji) povezal z ekonom loncem, ki bi bojlerju še dodatno pomagal proizvajati tlak, saj tlak v ekonom loncu ne presega 1 bara. Deloval bi lahko tudi z obstoječo nastavitvijo, vendar bi moral tlak v bojlerju občutno povečati, kar pa ne bi bilo več varno, saj bi ob tem zaradi temperaturne obremenitve mehki loti popustili in bi lahko prišlo do resnejših opeklin ali poškodbe, saj bi me mokra para pod tlakom poškropila. Tako da, menim da je bil cilj le deloma dosežen, saj stroj deluje na komprimiran zrak in le deloma na paro.

Sprva originalen načrt za regulacijski ventil ni deloval saj ni pravilno tesnil, saj je bil narejen na način da navoj zatesni luknjo. Nov dizajn je veliko boljši, zagotavlja zelo dobro tesnost. Poleg jeklene kroglice mu je bil dodan še o-ring, ki še poveča tesnjenje. Menim da je mi je cilj v celoti uspelo izpopolniti.

Uspelo pa mi je doseči cilj tesnjenja bojlerja, saj med večkratnimi testi loti niso popustili. Tudi ko sem poskusil delovanje na paro, ob visoki temperaturi in tlaku niso popustili. Ob teh rezultatih menim, da mi je cilj, ki sem si ga zadal bil uresničen.

Cevi mi je uspelo lepo zviti, z minimalnimi deformacijami, kot so izbokline. Če so že nastale sem jih uspel popraviti z manjšim kladivcem. Glede na to, da sem uspel zviti cevi v kot 90 stopinj brez pomoči orodja, ki je namenjeno prav za zvijanje cevi, menim da sem dosegel zadan cilj.

Vsi deli so bili narejeni doma, saj imam doma stružnico in vrtalnik. Edini del, ki mi ga ni uspelo narediti doma je cilinder, saj nimam rezkalnega stroja. Delno sem ga izdelal doma, ravne površine pa sem porezkal v delavnicah v šoli. Glede na to menim, da mi je cilj v večini uspelo uresničiti.

Vse dele sem v večini zmodeliral brez večjih zapletov. Ni mi uspelo zmodelirati le nekaj vijakov in delov povezanimi s temi vijaki, pa tudi bakrenih cevi nisem zmodeliral. Cilj sem deloma uresničil.

Vsi deli so narejeni znotraj toleranc, med najpomembnejšimi pa sta cilinder ter bat, ki pa odlično tesnita.

Stroj je dosegel okoli 2500 obratov na minuto, kar me je izredno presenetilo, saj tega nisem nikoli pričakoval.

Moč mi je uspelo izračunati po enačbah, ki so meni do sedaj znane. V svoje izračune zaupam.

Kupil sem pol kilograma manjših vzmeti in z metodo preizkušanja dosegel svoj cilj.

6. ZAKLJUČEK

Za parne stroje ni več prihodnosti zaradi razvoja novih tehnologij in razvoja novih vrst pogonov. Sicer ima slabe izkoristke lahko dosega velike moči tudi do 1600 konjskih moči, kar je približno 1193 kW.

Takšni majhni modeli kot je moj imajo izkoristek nekje od približno 5 - 10%, saj večina energije shranjene v pari gre v ozračje, v material (prevod toplotne) ter trenje.

Parni stroji so še zmeraj in vedno bodo simbol prve industrijske revolucije, hkrati pa nam predstavijo zanimiv vpogled razvoja tehnologije od začetkov industrije pa do prve masovne proizvodnje in tekočih trakov, ki so bili poganjani na parne stroje.

6. LITERATURA

- Tabela koeficientov trenja:

[Friction - Friction Coefficients and Calculator \(engineeringtoolbox.com\)](#)

- KSP (metrski navoji, tabela)

- Ameriški navoji tabela (UNF):

[UNC and UNF - Unified Coarse and Unified Fine Inch Threads \(engineeringtoolbox.com\)](#)

- Model engineering forum:

[Home | Model Engineer & Model Engineers Workshop \(model-engineer.co.uk\)](#)

- Wikipedia:

[Oscillating cylinder steam engine - Wikipedia](#)