



## **Středoškolská technika 2015**

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

# **ROBOTICKÁ RUKA**

**Tomáš Andris**

Sřední průmyslová škola strojnická Vsetín  
Pod Strání 1776, Vsetín

# PWO



## Poděkování :

Tímto bych chtěl poděkovat firmě **PWO Czech Republic a.s.** která mi poskytla software **CATIA V5 R20** pro nakreslení všech částí převodovky.

# Obsah

Úvod.....	4
Určení základních parametrů robotické ruky.....	5
Cykloidní převodovka.....	6-12
Epicykloida.....	6
Činné části.....	7
Cykloidní kolo.....	7
Rotační pohyb cykloidních kol.....	8
Mnou navržené cykloidní převodovky.....	9-11
Materiál cykloidní převodovky.....	12
Kalicí pec.....	13-33
Kalení.....	13
Popouštění.....	13
Kalicí prostředí.....	14
Návrh kalicí pece.....	15-16
Plynový hořák.....	17-19
Šneková převodovka.....	20
Stavba rámu pece.....	21-23
Broušení radiálních tvarovek.....	24
Zdění pece.....	25-27
Otočný mechanismus.....	28
Kalení zkušebních vzorků.....	31-32
Kalení prstence.....	33
Závěr, seznam použité literatury.....	34

## **Anotace :**

Tato práce se zabývá návrhem robotické ruky a výrobou jednotlivých částí tohoto manipulačního zařízení. Momentálně řeším problematiku cykloidních převodovek a kalení jednotlivých dílů cykloidní převodovky.

Cykloidní převodovka je momentálně ve stavu výroby, poslední úspěch kterého jsem dosáhl bylo zakalení vnějšího obalu převodovky.

## **Klíčová slova :**

Robotická ruka; cykloidní převodovka; kalící pec; Catia; kalení;

## **Úvod :**

Hlavní funkcí robotické ruky je přemístování předmětů z přesně definovaného bodu do dalšího přesně definovaného bodu. Dále se robotická ruka může v průmyslu použít například jako CNC frézka nebo jako svařovací automat.

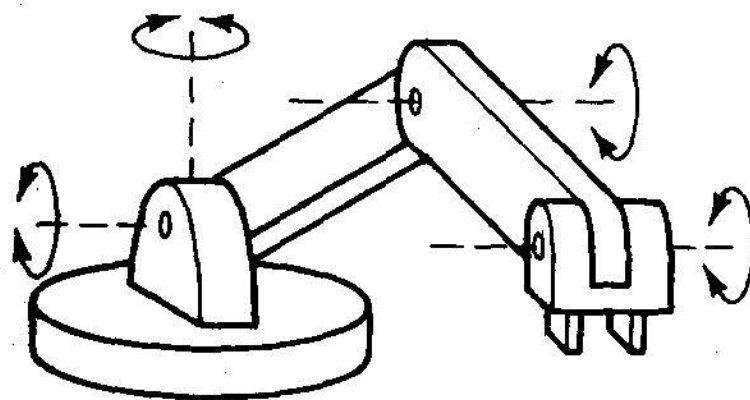
Projekt robotické ruky je rozdělen na několik částí. Vývoj a výrobu cykloidní převodovky a kalící pece pro kalení jednotlivých funkčních částí cykloidní převodovky a v neposlední řadě také výrobu ramen robotické ruky. Vývoj a stavbu pece také doprovázela výroba různých přípravků. Další samostatnou částí je vytvoření řídicího programu servomotorů.

Pro návrh a výrobu robotické ruky jsem se rozhodl kvůli zájmu v oblasti strojírenství, CAD navrhování a mechatroniky.

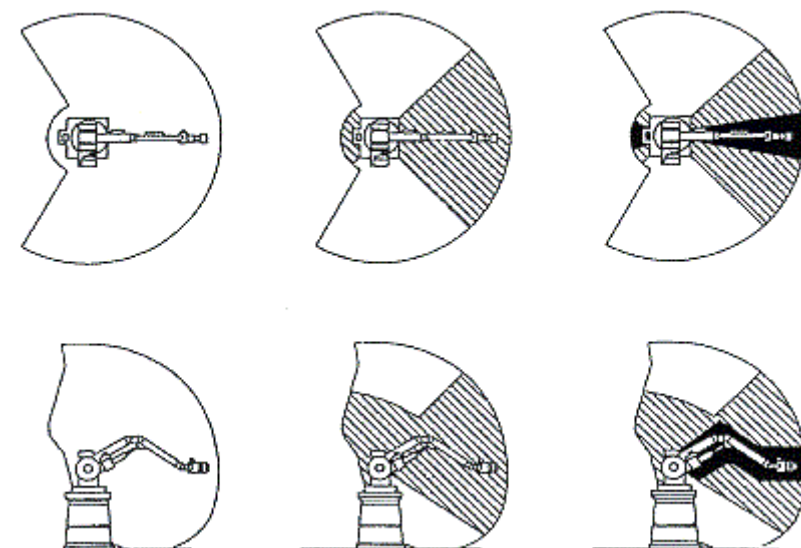
Všechny návrhy převodovek, které zde demonstruji, nejsou jakkoliv okopírované či poupravené komerční verze. Návrh všech převodovek byl realizován v programu CATIA V5 který není součástí školních osnov a používá jej mnoho významných strojírenských firem. Také návrh kalící pece nevychází z žádného vzoru ale je můj vlastní.

## 1) Určení základních parametrů robotické ruky :

Jelikož bych robotickou ruku chtěl v budoucnosti nabídnout firmám, jako například podávací zařízení u lisu musel jsem si vhodně určit rádius dosahu robotické ruky. Rozhodl jsem se pro akční rádius o poloměru 1,5 m a maximální nosnosti ruky 30kg. Díky této nosnosti již budou muset být cykloidní převodovky, které umožňují celé ruce pohyb, dostatečně dimenzované na takovou zátěž. Zvolil jsem nejrozšířenější a nejuniverzálnější variantu stupňů volnosti. To znamená v podstavě otočný mechanismus + dva stupně volnosti v ramenech + natáčení uchopovacího mechanismu.



Obr. 1: Schéma stupňů volnosti



Obr. 2: Schéma dosahu robotické ruky<sup>[5]</sup>

## 2) Cykloidní převodovka :

Princip byl v roce 1930 patentován inženýrem Lorenzem Brarenem. Tento mechanismus je ovšem velice náročný na přesnost výroby a proto se nemohl dříve vyrábět.

Tyto převodovky jsou sice oproti konvenčním převodovým mechanismům podstatně dražší, ale svými výhodami se začínají v praxi stále více uplatňovat.

### Výhody :

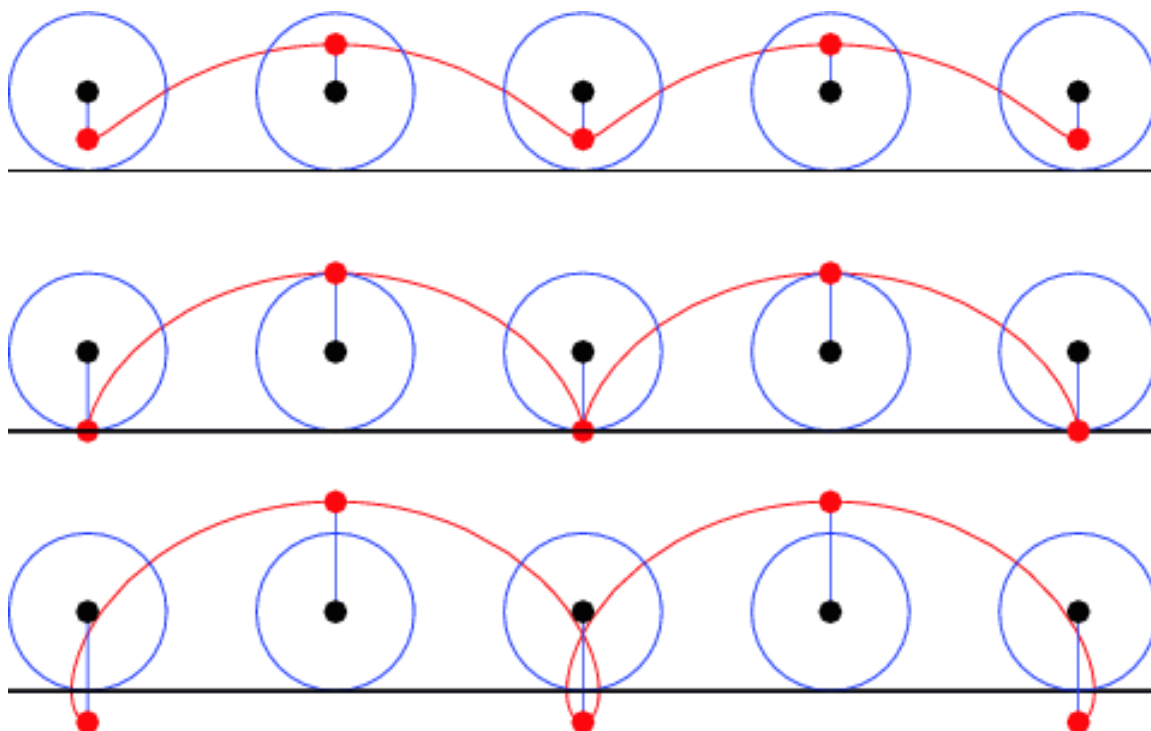
- vysoká přesnost  $< 1$  arcimin
- vysoká torzní tuhost
- kompaktní rozměry
- vysoká účinnost
- vysoká vnější zatížitelnost

### Nevýhody :

- dražší a komplikovanější výroba kol
- pořizovací cena

### 2.1 Epicykloida :

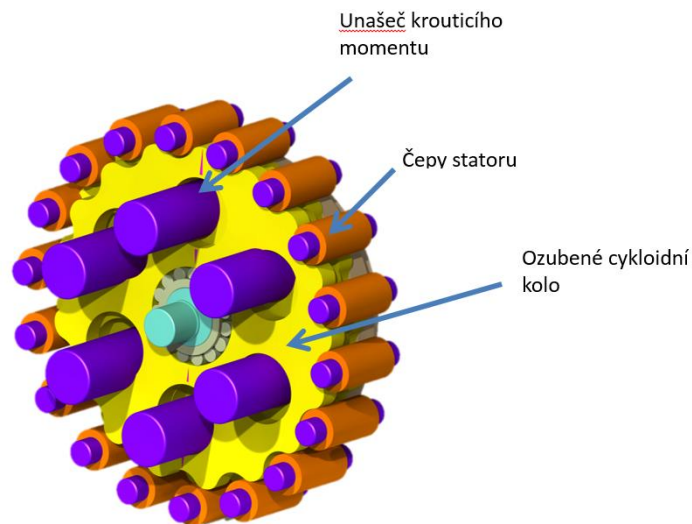
Epicykloida je křivka, kterou vytvoří bod pevně spojený s kružnicí, která se kotálí po přímce, v našem případě po kružnici. Epicykloida má tvar donekonečna se opakujících oblouků. Existují 3 druhy epicykloidních křivek. To jaká epicykloida vznikne, ovlivňuje pozice umístěného bodu.



Obr. 3: Zkrácená, prostá a prodloužená cykloidní křivka

## 2.2 Činné části :

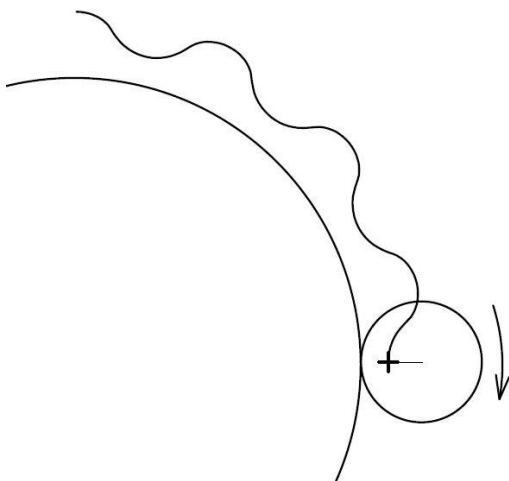
Rotor se skládá z unášců krouticího momentu, čepů statorů a cykloidních kol. Ozubené cykloidní kola jsou uložena na excentru díky kterému se otáčí nesoustředně vůči čepům statoru. Díky tomuto otáčivému excentrickému pohybu se cykloidní kola svými zuby zaklesávají do čepů statoru a unášejí unášče. Tuhost převodovky určuje kontaktní plocha zubů cykloidního kola a čepů statoru.



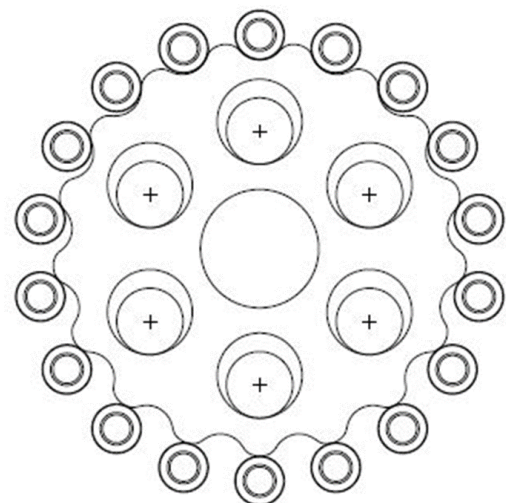
Obr. 4: Pohled na rotor a čepy statoru

## 2.3 Cykloidní kolo :

Cykloidní ozubené kolo vzniklo tak, že jsem nakreslil cykloidní křivku na kružnici a z té následně tažením vytvořil 3D model cykloidního kola.

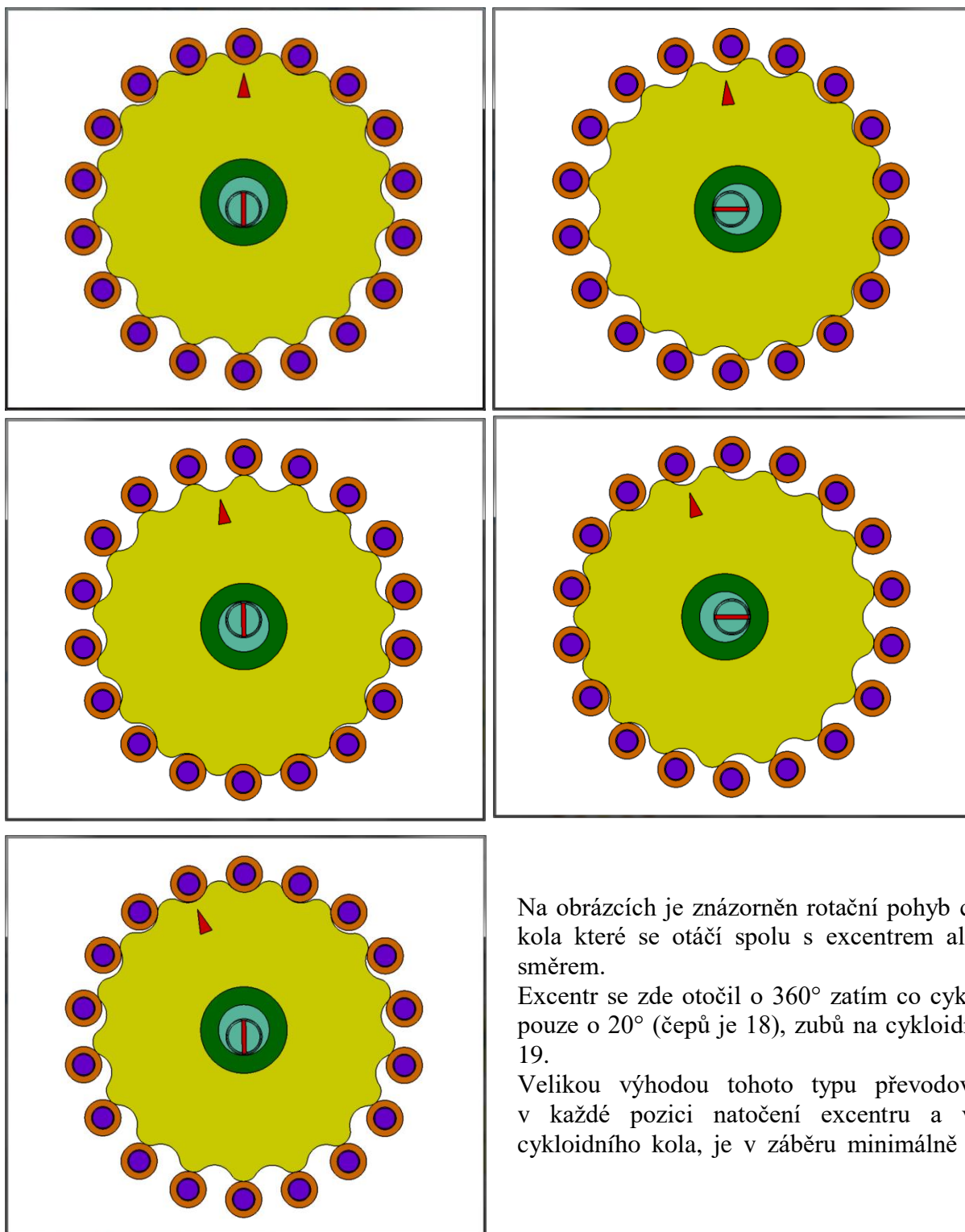


Obr. 5: Princip vzniku cykloidní křivky na kružnici



Obr. 6: Cykloidní kolo s unášecími čepy a válečky statoru

## 2.4 Rotační pohyb cykloidních kol :



Na obrázcích je znázorněn rotační pohyb cykloidního kola které se otáčí spolu s excentrem ale opačným směrem.

Excentr se zde otočil o  $360^\circ$  zatím co cykloidní kolo pouze o  $20^\circ$  (čepů je 18), zubů na cykloidním kole je 19.

Velikou výhodou tohoto typu převodovky je ,že v každé pozici natočení excentru a vůči němu cykloidního kola, je v záběru minimálně 40% zubů.

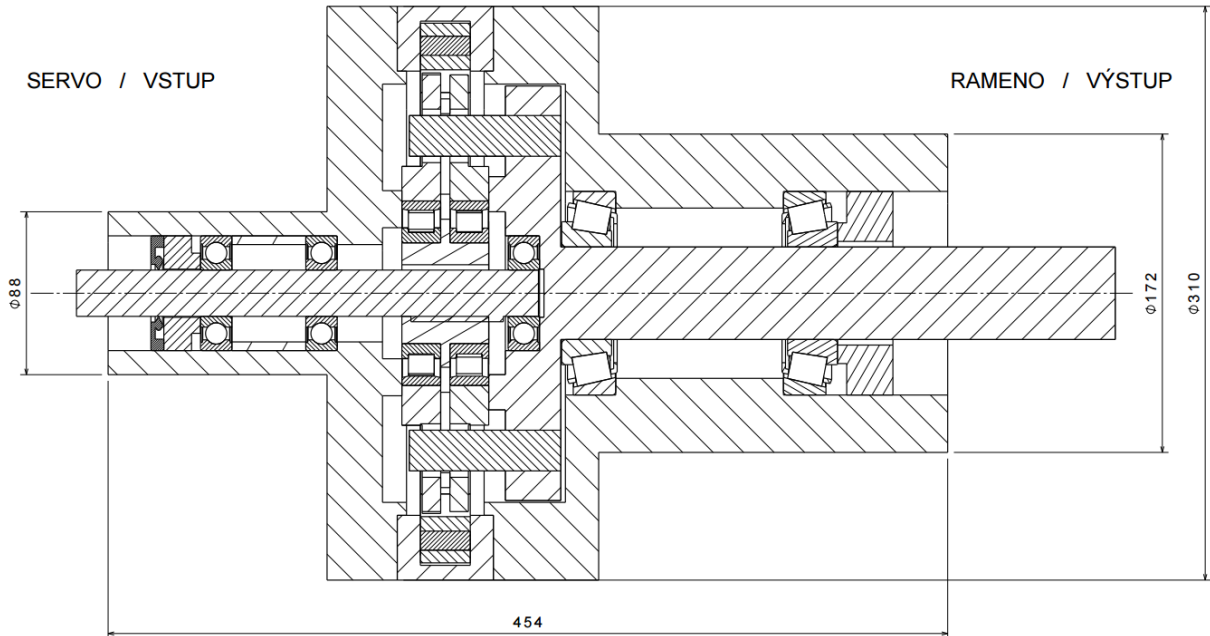
Obr. 7: Pohyb cykloidního kola



c

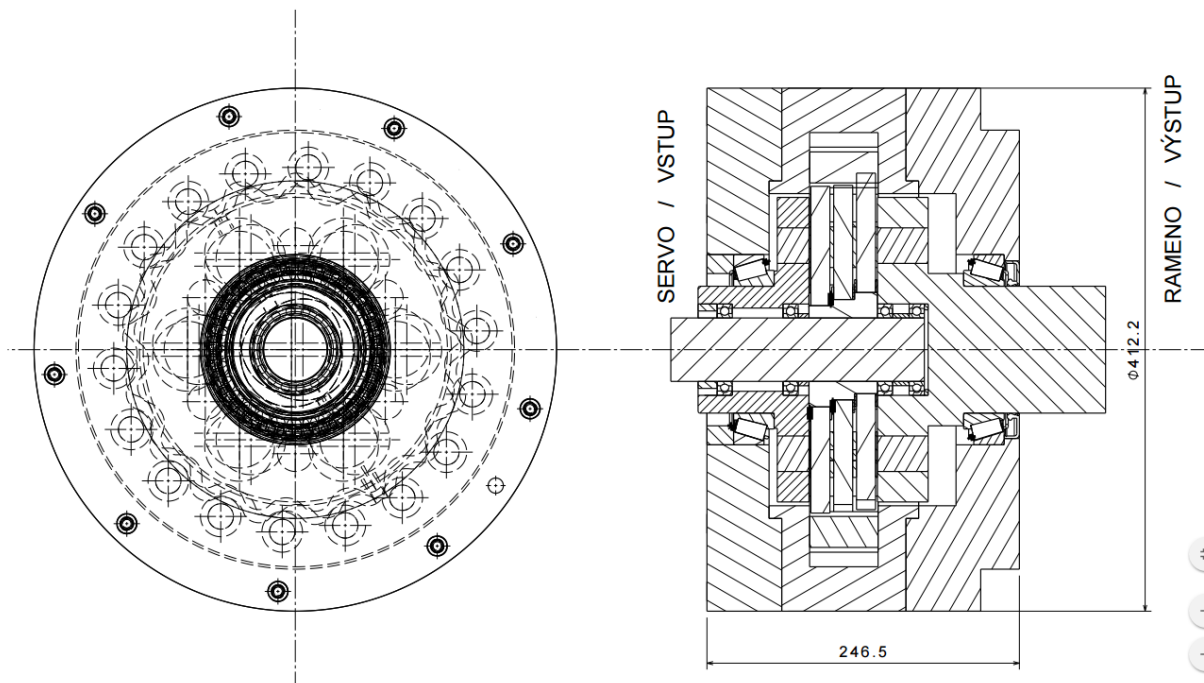
## 2.5 Mnou navržené cykloidní převodovky :

První varianty mnou navržených cykloidních převodovek byly nevyhovující z důvodu malého převodového poměru a velikého zástavbového prostoru.



Obr. 8: První varianta cykloidní převodovky

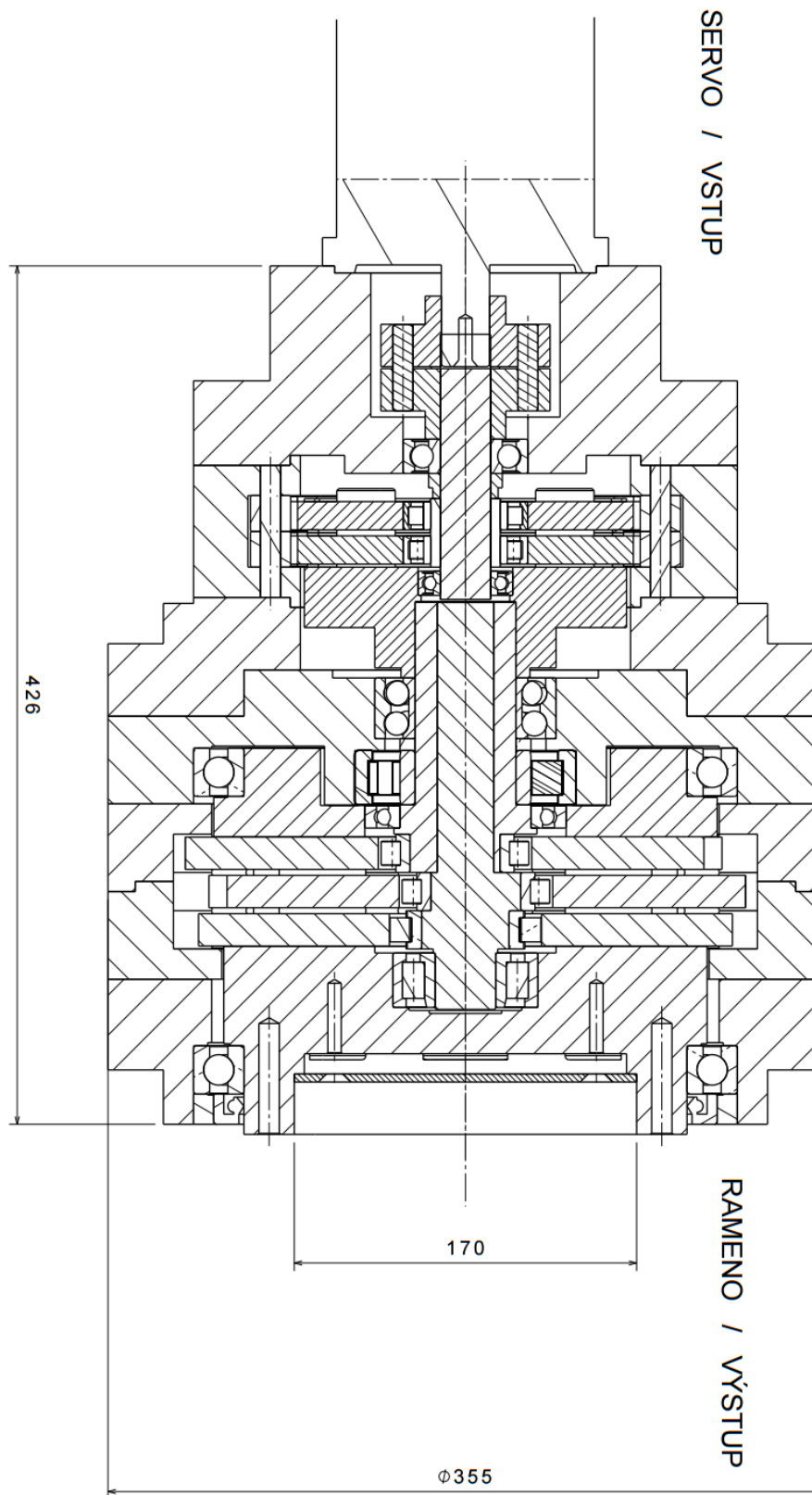
**Převodový poměr převodovky 1:24**



Obr. 9: Druhá varianta cykloidní převodovky

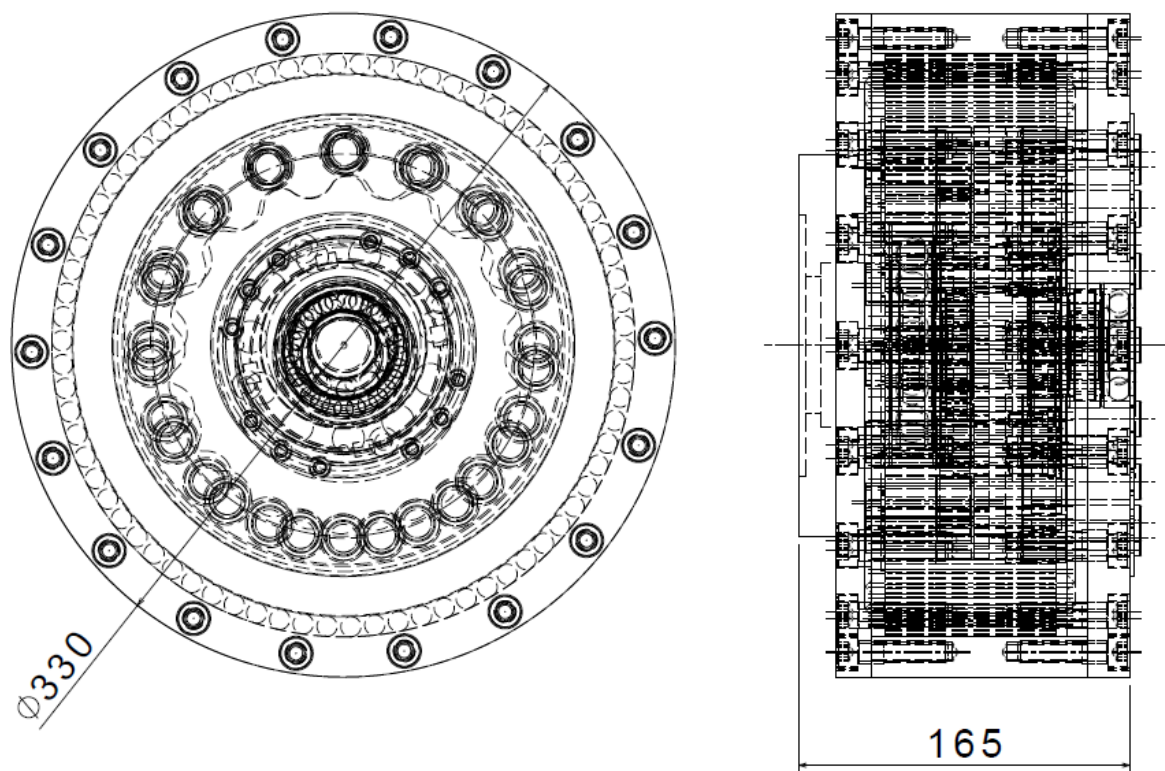
### Převodový poměr převodovky 1:24

Další varianta, kterou jsem navrhl, spočívala ve spojení dvou samostatných cykloidních převodovek v jeden celek. Tímto jsem dosáhl obrovského převodového poměru 1:391, ovšem stále přetrvával problém velikých zástavbových rozměrů. Další nevýhodou tohoto řešení bylo velké množství složité výrobitelných součástí a velká spotřeba materiálu.



Obr. 10: Dvě převodovky spojeny v jednu

Současně mám rozpracovaný další návrh cykloidní převodovky, kterou pracovně nazývám násobná cykloidní převodovka. Zmenšil jsem zástavbový rozměr na 3/5 původního rozměru.



Obr. 11: Nákres násobné převodovky

## 2.6 Materiál cykloidní převodovky :

Pro stavbu cykloidní převodovky jsem zvolil uhlíkovou ocel 1.1191 (C 45, 12050) vhodná k zušlechťování a povrchovému kalení je dodávána v žíhaném stavu s vysokou houževnatostí. Materiál 1.1191 (C 45, 12050) je velmi dobře obrobiteľný, s dobrou tvarovou stabilitou po tepelném zpracování. Materiál má malou prokalitelnost, což pro mě není překážkou protože prokalitelnost do hloubky 2-3mm plně pro mé čely dostačuje. Zakalenou plochu použiju jako styčnou plochu pro valivé elementy. Zakoupil jsem polotovar o vnějším průměru 330mm který jsem nahrubo opracoval a následně rozpíchl. Poptával jsem zakalení vzniklého prstence o vnějším průměru 330mm a tloušťce stěny 20mm. Při obesílání firem, které nabízejí kalení, přicházely vždy stejné odpovědi. Cena kalení 180-250 Kč+DPH za 1kg kaleného materiálu a navíc bez garance deformace po kalení, kdy firmy odhadovaly deformaci na více než 2 mm na průměru 330 mm. Proto jsem se rozhodnul, že tepelné zpracování udělám sám a začal jsem s návrhem své vlastní kalící pece.



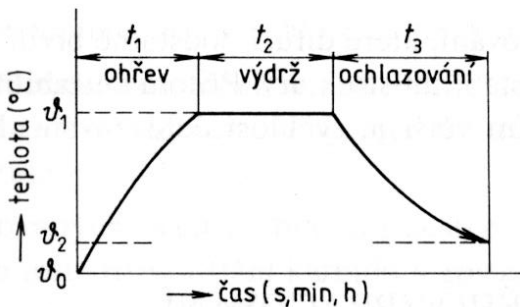
Obr. 12: Materiál 12 050

### 3) Kalicí pec :

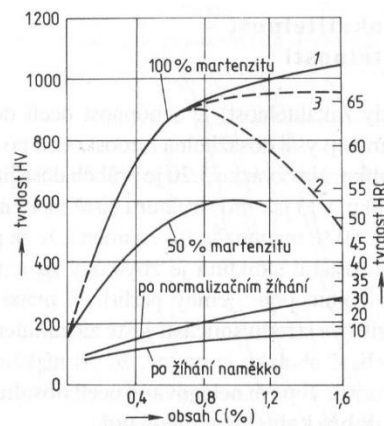
#### 3.1 Kalení :

Kalení je druh tepelného zpracování kdy se kalitelná ocel ohřeje na tzv. kalicí teplotu a poté se buď prudce, nebo pozvolna ochlazuje v kalícím médiu. Kalicí teplota leží nad překrystalizačními teplotami oceli. Tímto získá ocel lepší vlastnosti jak mechanické tak fyzikální. Kalíme pro dosažení vyšší tvrdosti dané součásti či pouze jeho části.

Po zakalení součást má vyšší tvrdost ovšem zároveň se zvyšuje i její křehkost. Negativním jevem při kalení je deformace, křivost, velké vnitřní pnutí, nebezpečí prasknutí součásti. <sup>[1][2][3]</sup>



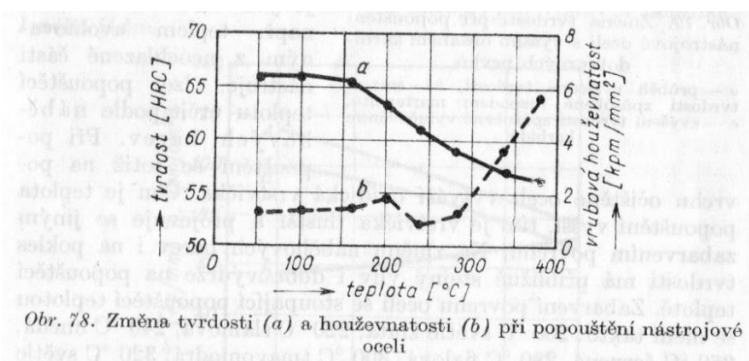
Obr. 13: Schéma průběhu tepelného zpracování <sup>[3]</sup>



Obr. 14: Tvrdost nelegovaných ocelí ve stavu kaleném a žíhaném v závislosti na obsahu uhlíku  
1 – maximální teoretické hodnoty tvrdosti po kalení, 2 – po kalení z teploty nad  $A_{cm}$  (martenzit a zbytkový austenit), 3 – po kalení z teploty nad  $A_{c1}$  <sup>[3]</sup>

#### 3.2 Popouštění :

Popouštění je ohřev kaleného předmětu na teplotu vyšší než je obvyklá teplota místnosti, nejvýše však na teplotu těsně pod bodem  $A_{c1}$ , výdrž na této teplotě a následující ochlazení vhodnou rychlostí. Účelem je snížení tvrdosti za současného zvýšení plastických vlastností. Popouštění má odstranit vnitřní pnutí, zvýšit houževnatost a v některých případech i tvrdost. Změny struktury a z nich vyplývající změny mechanických vlastností závisí především na výši popouštěcí teploty. Doba popouštění má již méně výrazný vliv. <sup>[4]</sup>



Obr. 78. Změna tvrdosti (a) a houževnatosti (b) při popouštění nástrojové oceli

Obr. 15: Schéma průběhu tepelného zpracování <sup>[3]</sup>

### 3.3 Kalicí prostředí :

**Voda :** nenáročné a levné kalicí prostředí, nejintenzivnější kalicí prostředí, dosahuje se zde nadkritických rychlostí ochlazování, které jsou nutné pro vznik martenzitické struktury. Nevýhodou tohoto kalicího prostředí je vznik velkých pnutí v zakalené součásti. Pokud součást při kalení do vody praskne, znamená to, že ochlazování je příliš rychlé a kalíme pak do oleje.

**Olej :** mírnější kalicí prostředí ochlazování, 10x menší než voda, minerální oleje teplota 50 °C, za provozu olej stárne, proto se filtruje či vyměňuje

**Roztavené solné lázně :** plynulé ochlazování, dosáhne se nejmenšího vnitřního pnutí.

**Vzduch :** vzduchem se kalí pouze samokalitelné oceli tř. 19, pro zvýšení účinku se vzduch dmýchá pod tlakem 10kPa

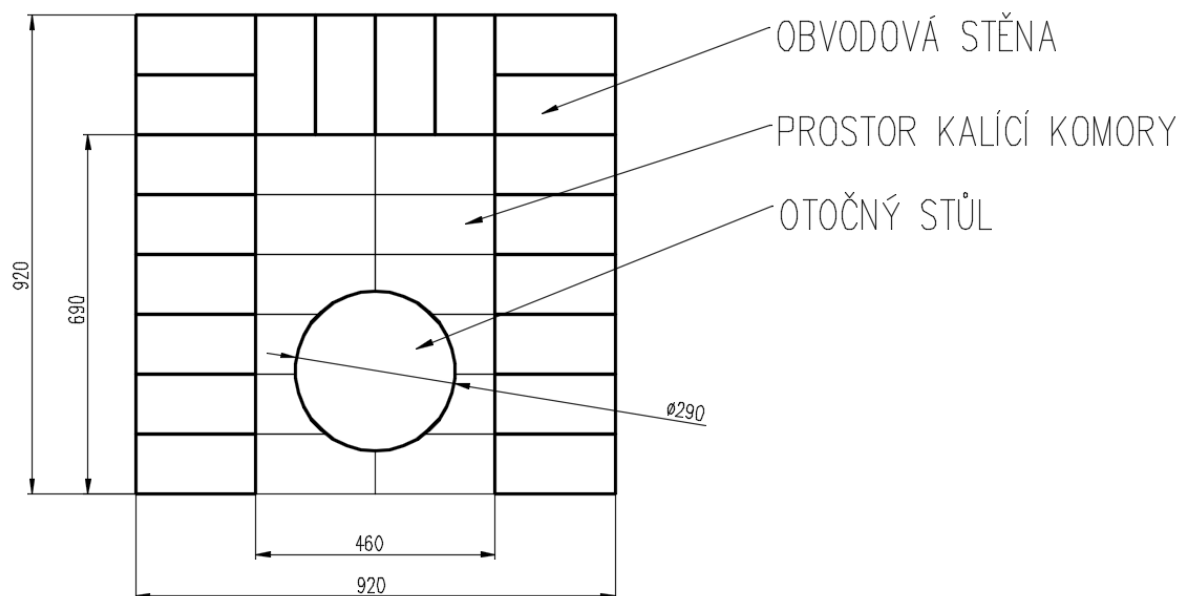
**Roztavené kovové lázně :** používáme jen v některých případech, podobné vlastnosti jako solné lázně. <sup>[4]</sup>

Kalicí prostředí	Rychlost ochlazování, °C/s v intervalu teplot, °C	
	650 až 550	300 až 200
Voda při 18° C	600	270
Voda při 26° C	500	270
Voda při 50° C	100	270
Voda při 74° C	30	200
10% roztok NaOH při 18° C	1200	300
10% roztok H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> při 18° C	750	300
Destilovaná voda	250	200
Mýdlová voda	30	200
Strojní olej minerální	150	30
Transformátorový olej	120	25
Slitina: 75% Sn + 25% Cd (tavicí teplota 175° C)	450	50
Rtuť	500	130
Měděné desky	60	30
Železné desky	35	15

Obr. 16: Ochlazovací účinnost různých kalicího prostředí <sup>[4]</sup>

### 3.4 Návrh kalicí pece :

Jako první jsem si určil půdorysovou rozvahu díky rozměrům lisovaných šamotových cihel. Dále jsem musel vyřešit stejnoměrné rozložení teploty ve vnitřním vyhřívaném prostoru pece. Hlavně z důvodu stejnoměrného ohřívání vsázky. Můj nápad byl udělat otáčecí dno. Na otáčecí dno se vloží vsázka a ta se při ohřevu bude otáčet cca 2,5 ot/min a tím bude dosaženo rovnoměrného rozložení teploty při ohřívání vsázky.



Obr. 17: Rozvaha půdorysu a vnitřních rozměrů pece

Dále jsem musel vyřešit strop pece. V případě, že bych použil velké šamotové bloky tak musel bych z nich vyřezat klenbu. Nebo sehnat šamotové tvarovky nabízené pod názvem klíny viz. obrázky č. 18 a 19.



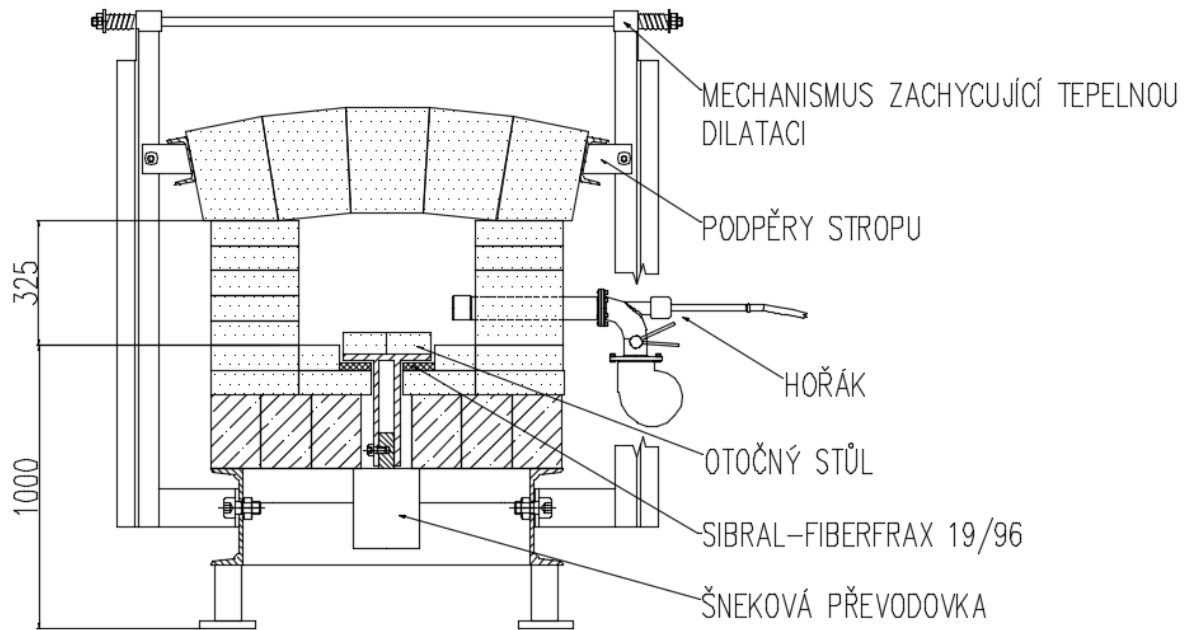
Obr. 18: Klenba z klínů



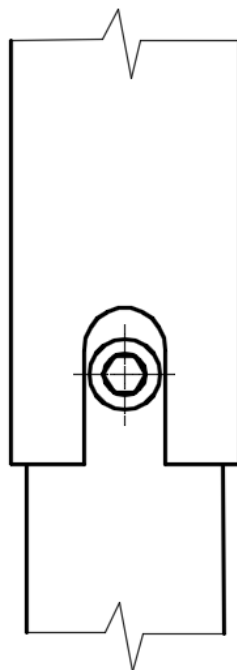
Obr. 19: Klenba z klínů a vazáků

Strop je z radiálních cihel bez krajních vazáků. Tyto jsou nahrazeny mechanismem zároveň i zachycujícím tepelnou dilataci, která u šamotu činí cca 1,5%. Což při navýšení teploty z běžných 20 °C na provozních 800-1100 °C už vyjde velká hodnota délkového roztažení.

Pro mě bylo důležité určit si výšku dna pro pohodlné vložení vsázky do pece. Ostatní rozměry z toho vyplynuly viz. rozvaha obr. č. 20.



Obr. 20: Rozvaha výškových rozměrů pece



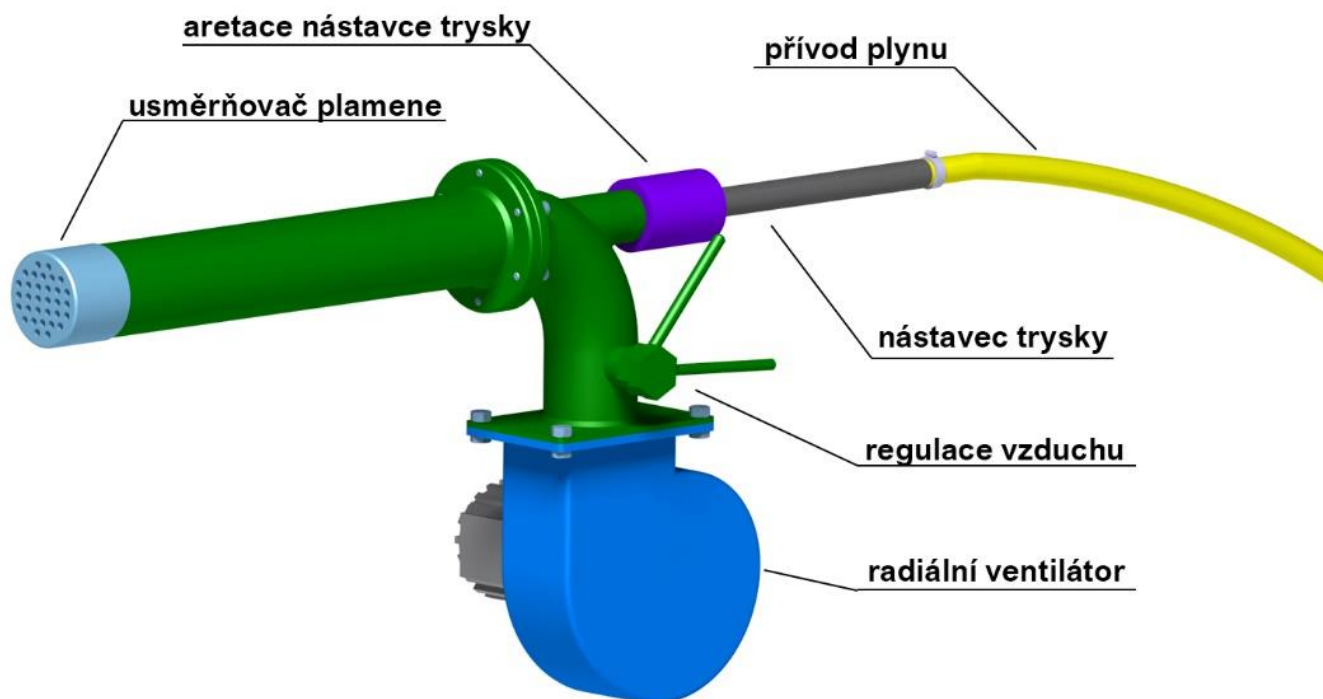
Obr. 21: Unašec otočného stolu



### 3.5 Plynový hořák :

Existují hlavní dva zdroje tepla pro kalicí pece. První z nich je ohřev pomocí elektrické energie a druhý pomocí plynu. Já jsem omezen příkonem elektrické přípojky kterou mám k dispozici. Pro požadovaný výkon pece, kdy kalicí komora má rozměry 460x690x325 by bylo potřeba trvalého příkonu až 25 kW. Rozhodl jsem se tedy pro vytápění pomocí plynu.

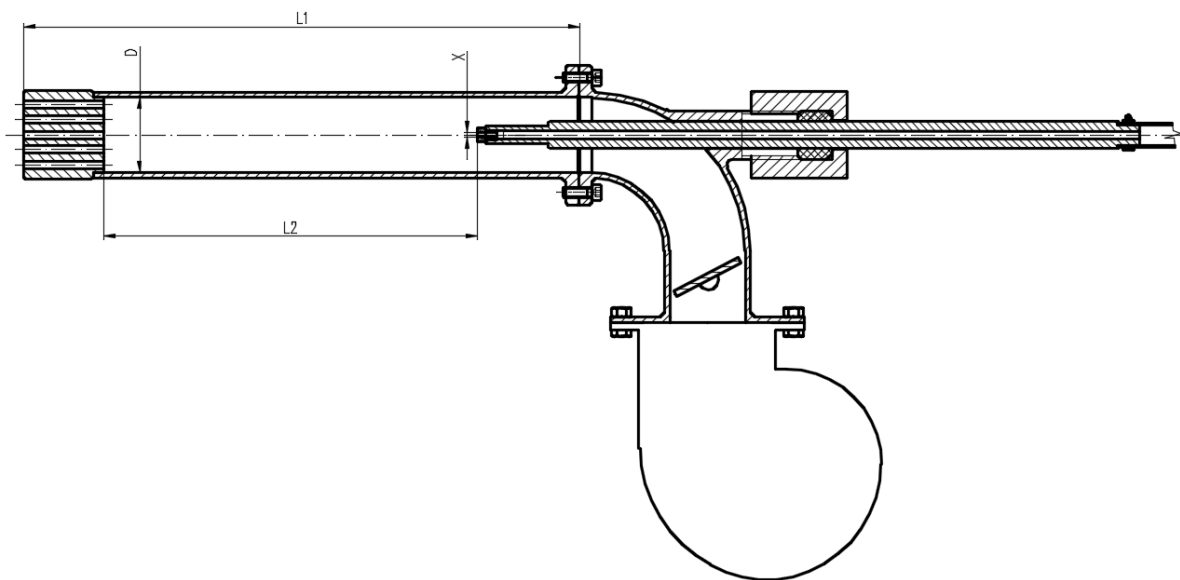
Sestrojil jsem plynový hořák o výkonu 45 kW, který jako topný plyn používá propan-butan. Výkon hořáku mám vypočítaný podle hodinové spotřeby plynu ve vztahu k vyráběným hořákům. Průměrům jejich trysek a tlaku vstupního plynu. Také používám tlak 0,28 bar. K přívodu vzduchu jsem použil ventilátor z nákladního automobilu Tatra 813. Bez ventilátoru hořák také funguje, je ovšem velmi citlivý na atmosferické změny tlaku. Stačí sebemenší poryv větru a mění se složení plamene. Při použití ventilátoru vznikne přetlak, který škrtící klapkou upravím a dodávaný tlak vzduchu do hořáku je stabilní. Tím je naprosto odstraněna jakákoliv závislost na povětrnostních podmínkách, hořák pracuje stabilně i za silného větru. Pro regulaci množství přiváděného propan-butanu využívám regulačního ventilu PB P2. Při prvotní zkoušce hořáku byl ovšem plamen těžce ovladatelný. Na třetí pokus se mi podařilo vyrobít usměrňovač plamene správného provedení a tvaru, se kterým mám skvělé výsledky.



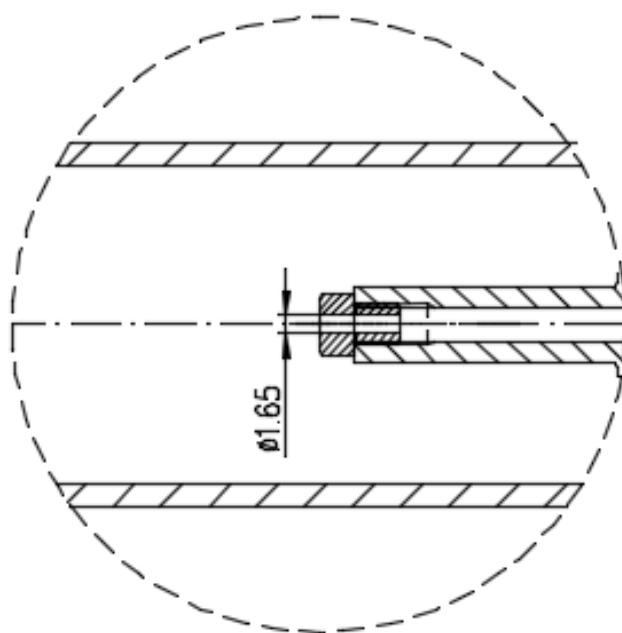
Obr. 22: Schéma vyrobeného hořáku

**Na funkci hořáku má zásadní vliv :**

- světlost  $D$  průměru hořákové trubky
- vzdálenost  $L_2$  trysky od usměrňovače plamene
- průměr trysky  $X$  viz. tabulka č. 8.
- tlak vstupního plynu z regulátoru (nahřívací hořáky používají tlak 0,28 bar)
- provedení a tvar usměrňovače plamene
- stabilita tlaku přiváděného vzduchu
- složení prodávávaného propan-butanu viz. tabulka č. 9.  
(letní a zimní typ plynu Kralupol a.s.)



Obr. 23: Nákres konstrukce mého hořáku



Obr. 24: Detail trysky



Obr. 25: Redukční plamen



Obr. 26: Oxidační plamen

### 3.6 Šneková převodovka :

Pro otáčení s vsázkou jsem použil šnekové kolo a šnek. Skříň šnekové převodovky jsem vyrobil. Vyráběná hlavní šneková převodovka má převodový poměr 1:40. Na elektromotoru je další menší šneková převodovka s převodovým poměrem 1:50. Otáčky elektromotoru 920 ot/min. Řetězový převod má převodový poměr 1 : 1,8. Celkový převodový poměr je 1 : 360. Výsledné otáčky za minutu  $920:360 = 2,56$  ot/min.



Obr. 27: Použitý šnek a šnekové kolo



Obr. 28: Vyrobená šneková převodovka

### 3.7 Stavba rámu pece :

Jako první jsem začal svařovat podstavu pece, která je tvořena profily I, T a U. Na této podstavě také budou přichyceny podpěry stropu, dveře pece a šneková převodovka zajišťující otáčení vsázky.



Obr. 29: Svařenec podstavu pece



Obr. 30: Přivařování noh a držáku převodovky



Obr. 31: Pohled na podstavu a rameno s panty pro dveře



Obr. 32: Zkušební sestavení

Strop je postaven z radiálních šamotových tvarovek, tvarovky jsou zaklesnuty mezi profily. Tyto profily jsou připevněny na tyčích zachycující dilataci. Jelikž šamot má asi 1,5% tepelnou roztažnost bylo třeba navrhnout a vyrobit mechanismus který by tuto tepelnou dilataci zachytával. Použil jsem na to profily tvaru T které jsou jedním koncem pevně spojeny s podstavným rámem pece. Druhý konec má očko ve kterém vede tyč s oboustranným závitem. Na konci každé tyče je pružina s matkou. Jakmile se šamot začne roztahovat, pružiny se budou stláčet a takto předejdu popraskání radiálních šamotových tvarovek, spojů, destrukce pece.



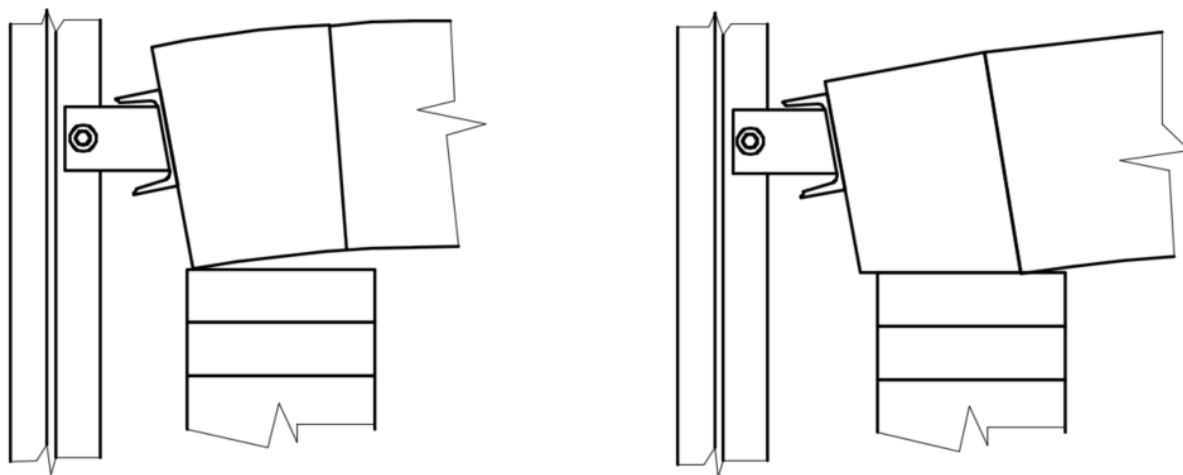
Obr. 33: Zkušební sestavení stropu



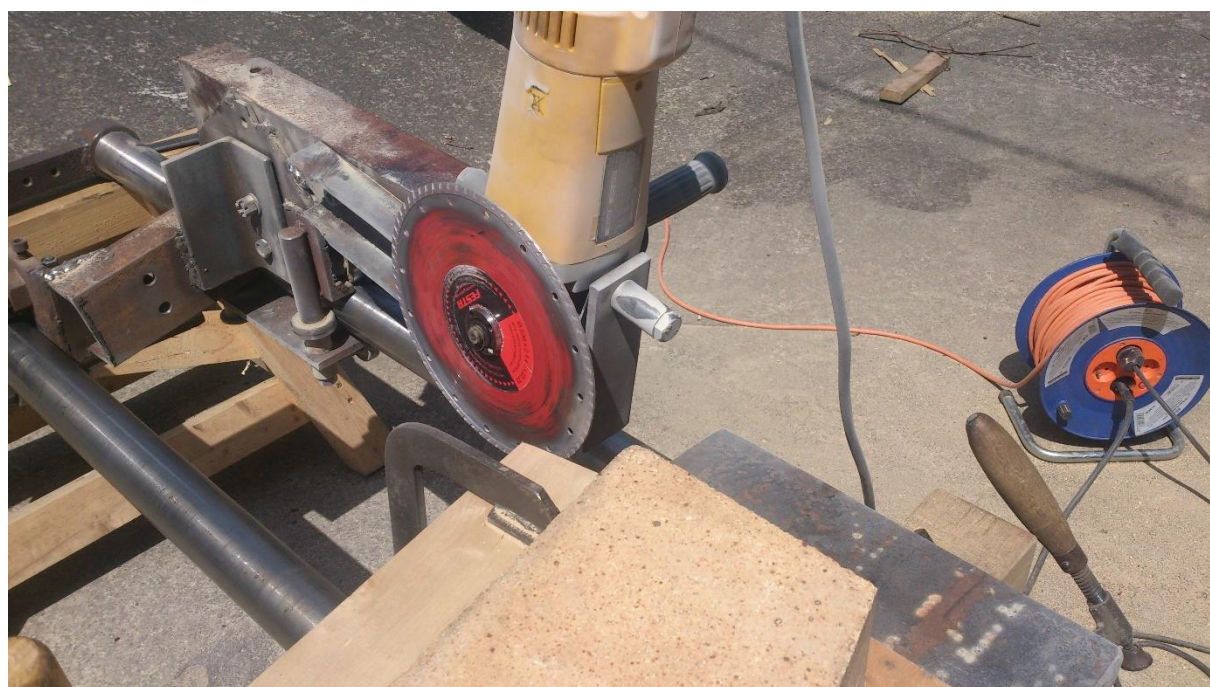
Obr. 34: Detail na mechanismus zachytávající roztažnost

### 3.8 Broušení radiálních tvarovek :

Při zkoušce sestavení stropu jsem narazil na problém s vnitřním rádiusem, který šamotové radiální tvarovky mají. Kdybych neprovedl zbroušení, opíraly by se pouze svou hranou viz. obr. 35. Nevýhodou tohoto sestavení by byla malá izolační plocha a nižší stabilita celého klenutého stropu. Zhotovil jsem si tedy jednoduchý přípravek pro úhlovou brusku s diamantovým kotoučem BOSH, díky kterému jsem zbrousil podstavu krajních šamotových tvarovek, abych využil co nejvíce plochy obvodové stěny.



Obr. 35: Schéma účelu zarovnání šamotových radiálních tvarovek



Obr. 36: Brousící přípravek



### 3.9 Zdění pece :

Po zatvrdnutí nivelační vrstvy jsem na ni začal zdít obvodové stěny kalící komory. Jako doraz pro zarovnávání cihel jsem použil dřevotřískovou desku připevněnou na zavřené dveře kalící pece. Jako spojovací hmotu jsem použil žáruvzdorný tmel od výrobce SEEIF Ceramic a.s. REGNALIT 1350 s dokladovanou odolností v žáru 1650°C. Na obrázcích níže jsou vidět otvory ve stěně pece pro propan-butanový hořák, uprostřed kalící komory je již umístěna šneková převodovka.



Obr. 37: Nanášení samonivelační vrstvy



Obr. 38: Zdění kalící komory



Obr. 39: Pohled na kalící komoru



Obr. 40: Stavba stropu kalící pece



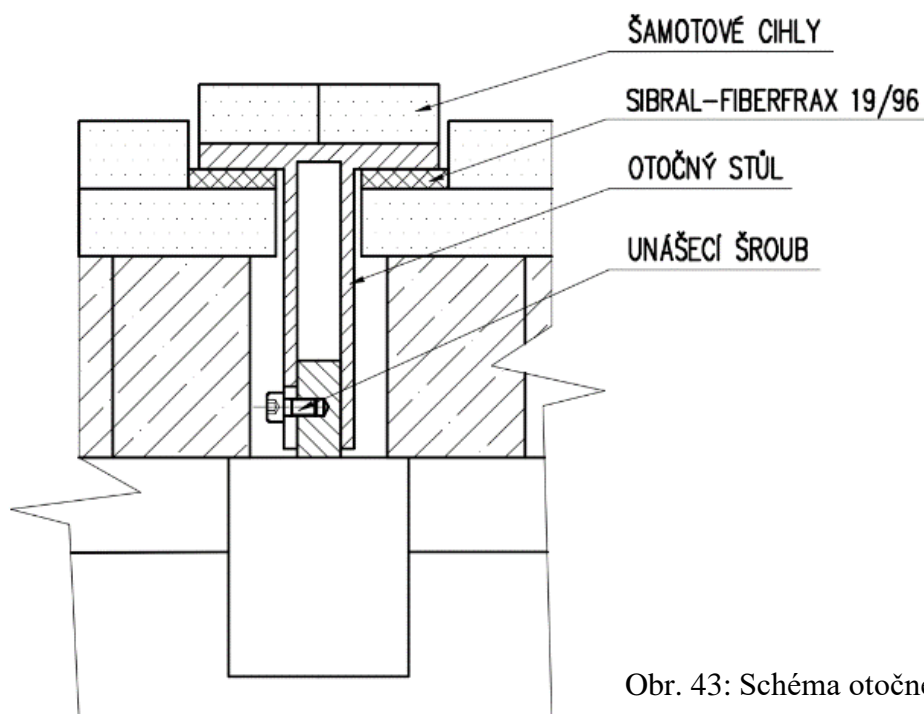
Obr. 41: Zdění dveří kalící komory



Obr. 42: Pohled na výfukovou soustavu

### 3.10 Otočný mechanismus :

Při kalení bude v peci teplota v rozpětí 800-1200 °C. Kdyby se na tuto teplotu nahřál i kovový „stůl“ otočného mechanismu a ten předal tuto teplotu do šnekové převodovky, hrozilo by poničení převodovky. Také by tímto vznikl tepelný most, který je nežádoucí. Vyrobil jsem na dně pece kruhové vybrání, které kopíruje tvar otočného stolu plus přídatky na těsnění viz. nákres. Pro těsnění jsem použil rohož SIBRAL - FIBERFRAX 19/96 která je odolná do teploty 1250 °C. Zmíněnou rohož jsem také použil na veškeré další těsnění (kolem dveří, hořáku...).



Obr. 43: Schéma otočného mechanismu



Obr. 44: Finální pohled na kalící komoru

#### 4) Zkouška funkčnosti pece :

Při prvotním spuštění pece jsem zahřál pec na 400°C s výdrží na této teplotě 4h aby došlo k řádnému vysušení jak fyzicky vázané vody tak chemicky vázané vody. Pak jsem nechal pec znovu zchladnout na běžnou teplotu. Následovalo opět nahřátí na 1100 °C. Prohřátí pece na teplotu 850 °C trvalo 2h15min. Pak jsem pokračoval v nahřívání na teplotu 1100 °C. Při dosažení této teploty a výdrží na této teplotě vznikla v žáruvzdorném tmelu REGNALIT 1350 keramická vazba.

Funkčnost pece jsem otestoval na žihání prstence o vnějším průměru 330mm a tloušťce stěny 25mm vyrobeného z materiálu 12 050. Zvolil jsem žihání základní, kdy jsem ohřál součást na teplotu 50 °C nad teplotu Ac3 a to sice 830 °C. Při žihacím procesu jsem kontroloval teplotu otočného mechanismu, šnekové převodovky a pece.

Díky izolační rohoži SIBRAL - FIBERFRAX 19/96 kterou jsem utěsnil otočný mechanismus se nepřenášela teplota do převodovky. Převodovka byla na dotyk vlažná po celou dobu ohřevu. Také dosedací plocha dveří, která byla utěsněna pomocí rohože SIBRAL - FIBERFRAX 19/96. Perfektně utěsnila dveřní spáru kalící komory. Po nahřátí součásti na teplotu 830°C jsem v peci tuto teplotu držel po dobu 30 minut a následně zastavil hořák a utěsnil po něm otvor, komínový vývod. Součást jsem nechal chladnout v takto utěsněné peci po dobu 26 hodin. Vyžihání součásti proběhlo zcela dle předpokladu, také se osvědčil systém zachytávající tepelnou dilataci. Pružiny při nahřání šamotu byly viditelně stlačeny.





Obr. 45, 46, 47: Žihání prstence

## 5) Kalení zkušebních vzorků :

Ještě před tím než jsem se pustil do kalení prstence tak jsem si potřeboval vyzkoušet v jakém chladícím prostředí dosáhnou co nejlepších výsledků. Použil jsem tedy jako vzorky válečky o průměru 40mm ze stejného materiálu 12 050.

Jako kalící prostředí jsem testoval olej, vodu a 18 procentní roztok NaCl+H<sub>2</sub>O.

Do každého kalícího prostředí bylo určeno 5 válečků. Pro kalení válečků jsem zvolil kalení nepřetržité.

### Kalání do oleje :

Materiál jsem nahřál na teplotu 850-860 °C, následovalo setrvání na této teplotě po dobu 17 minut aby se vytvořil homogenní austenit a poté následovalo ochlazení v olejové lázni.

Použitý kalící olej PARAMO TK 22.

### Kalání do sladké vody :

Materiál jsme nahřál na teplotu 790-830°C, následovalo setrvání na této teplotě po dobu 17 minut, aby se vytvořil homogenní austenit a poté následovalo ochlazení ve sladké vodě.

### Kalání do 18% roztoku NaCl+H<sub>2</sub>O :

Materiál jsme nahřál na teplotu 790-830°C, následovalo setrvání na této teplotě po dobu 17 minut, aby se vytvořil homogenní austenit a poté následovalo ochlazení v 18% roztoku NaCl+H<sub>2</sub>O.

Každý váleček jsem po kalení popustil při teplotě 150°C v klasické kuchyňské troubě po dobu 45 minut. V níže uvedené tabulce můžete vidět výsledky kalení a průměrnou tvrdost v jednotlivých kalících prostředích. Každý vzorek byl změřen 7x a do tabulky uvádím průměrnou naměřenou tvrdost. Odchyly v měření vůči průměrným hodnotám nepřesáhly 1 HRC.

Číslo vzorku	Voda	18% roztok NaCl+H <sub>2</sub> O	Kalící olej PARAMO TK 22
1.	52,3 HRC	58,14 HRC	24,7 HRC
2.	51,94 HRC	59,9 HRC	23,11 HRC
3.	53,72 HRC	57,23 HRC	25,27 HRC
4.	52,38 HRC	57,9 HRC	25,1 HRC
5.	53,06 HRC	59,78 HRC	24,3 HRC

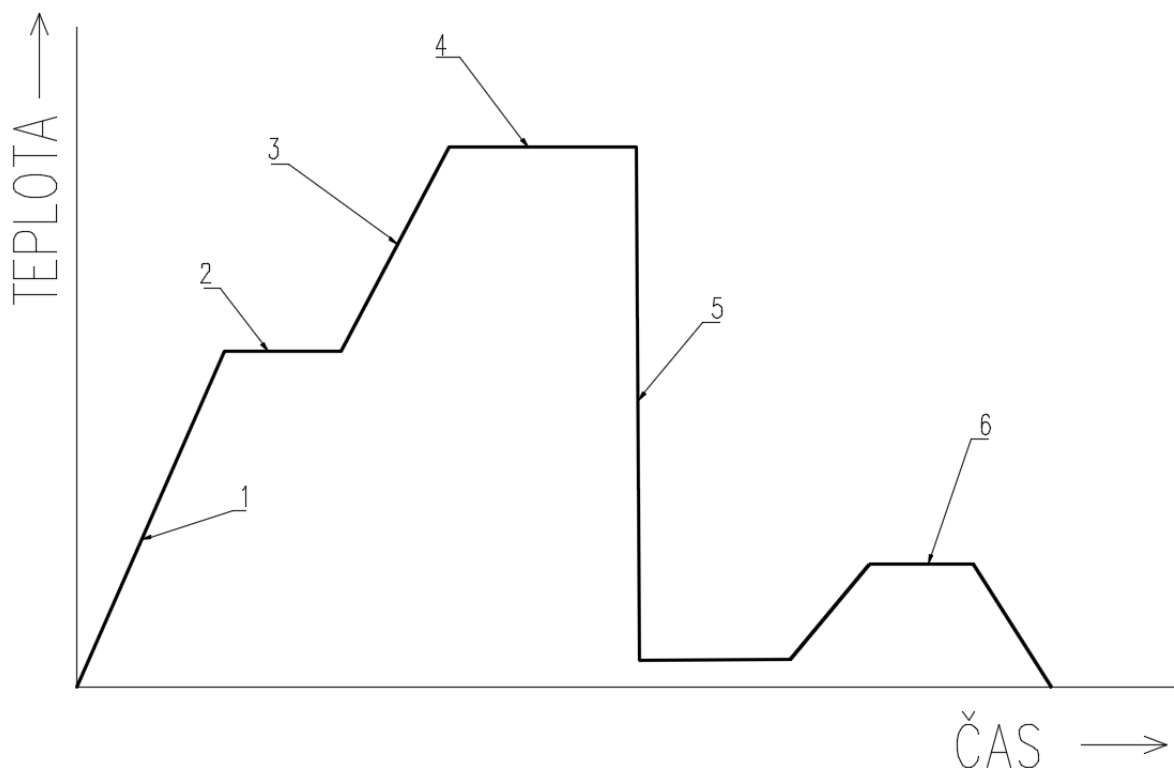


Obr. 48: Zkušební vzorky



## 6) Kalení prstence

Po nabitých zkušenostech s kalením materiálu 12 050 jsem mohl přistoupit k zakalení vnějšího prstence cykloidní převodovky. Jako kalicí prostředí jsem použil 18% roztok NaCl+H<sub>2</sub>O v celkovém objemu 190 l. Prstavec se nahříval v několika fázích dle přiloženého schématu. Dosažená tvrdost po zakalení a popuštění byla 54 HRC a deformace na vnějším průměru 330mm - 0,4mm.



Obr. 49: Průběh tepelného zpracování

1. První předehřev 0,5 min/mm do 400 °C
2. Výdrž na této teplotě po dobu 8 min.
3. Druhý předehřev 1min/mm do teploty 790-830°C
4. Výdrž na této teplotě po dobu 18 min.
5. Ochlazení v 18% roztoku NaCl+H<sub>2</sub>O
6. Popuštění při teplotě 150 °C po dobu 45 min.

## 7) Závěr

Dále pracuji na návrhu násobné cykloidní převodovky. Mým dalším nejbližším cílem je použít pec pro tavbu hliníku a jeho následné odlévání do podoby ramen robotické ruky.

1. WIKIPEDIA. *Kalení*. Dostupné na : <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kalení>
2. JECH, Jaroslav. *Tepelné zpracování oceli, metalografická příručka*. Praha : SNTL, 1969.
3. HLUCHÝ, MODRÁČEK, PAŇÁK. *Strojírenská technologie 1, metalografie a tepelné zpracování*. Praha : Scientia, 2002.
4. KONTOROVÍČ, I.E. *Tepelné zpracování oceli a litiny*. Praha : Průmyslové vydavatelství, 1952.
5. Dne 29.04.2016 dostupné na : [https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm\\_iv/otm\\_iv\\_4.html](https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iv/otm_iv_4.html)