



**FAKULTA STROJNÍ  
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY  
V PLZNI**

Studijní program: Strojní inženýrství

Číslo studijního programu: B0715A270013

Studijní specializace: Konstruování technických strojů a zařízení

# NÁVRH PRŮBĚŽNÝCH JEDNOTEK PRO INDUKČNÍ ZPRACOVÁNÍ DRÁTU

Bakalářská práce

Autor práce: Tomáš Blažek

Vedoucí práce: Doc. Ing. Václav Kubec Ph.D.

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Tomáš BLAŽEK**  
Osobní číslo: **S21B0066P**  
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**  
Specializace: **Konstruování strojů a technických zařízení**  
Téma práce: **Návrh průběžných jednotek pro indukční zpracování drátu**  
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

## Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Cílem práce je navrhnout průběžné jednotky pro podávání drátu. Navržené zařízení bude zajišťovat definovaný pohyb drátu při procesech indukčního zpracování. Průběžné jednotky budou navrženy pro specializované pracoviště ve společnosti COMTES FHT a.s.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova práce:

1. Analýza pracoviště indukčního zpracování
2. Návrh variant
3. Konstrukční návrh
4. Zpracování výkresové dokumentace

Konzultant: Ing. Jakub Kotous

Rozsah bakalářské práce: **30-40 stran**  
Rozsah grafických prací: **podle potřeby**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] HOSNEDL, Stanislav a Jaroslav KRÁTKÝ. *Příručka strojího inženýra: obecné strojí částí*. Praha: Computer Press, 1999. Edice strojaře. ISBN 80-7226-055-3.  
[2] GAŠPARÍK, Miroslav a Milan GAFF. *Manipulační a dopraovní technika I*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2016. ISBN 978-80-213-2619-4.  
[3] Podkladové materiály poskytnuté zadavatelem.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Václav Kubec, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **16. října 2023**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2024**

L.S.

---

**Doc. Ing. Vladimír Duchek, Ph.D.**  
děkan

---

**Ing. Zdeněk Chval, Ph.D.**  
vedoucí katedry

## Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni. Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v Seznamu použitých zdrojů, který je součástí této práce a na základě konzultací s vedoucím práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

V Plzni dne:

-----  
podpis autora

## Poděkování

Rád bych tímto poděkoval doc. Ing. Václavu Kubcovi Ph.D. za jeho odborné vedení, trpělivost, ochotu, cenné připomínky, a především jeho čas, který věnoval společným konzultacím. Dále bych rád poděkoval své partnerce a rodině, bez jejichž podpory bych práci nedokázal nikdy dokončit. V neposlední řadě děkuji specialistům ze společnosti COMTES FHT a.s. za jejich odborné a čas, který věnovali konzultacím.

## Abstrakt

Tato práce obsahuje popis konstrukčního návrhu podávacích průběžných jednotek pro indukční zpracování drátu. Primární funkcí tohoto zařízení je definovaně podávat vsázku cívkou indukčního ohřevu. V práci je popsán celý proces návrhu v chronologickém pořadí, v jakém byl tento proces skutečně realizován. V první části práce se nachází popis pracoviště indukčního ohřevu ve společnosti COMTES FHT a.s. a jsou zde také popsány obecné teoretické základy, nutné k pochopení účelu zařízení a technologických operací s tímto zařízením proveditelných. Následující část práce se věnuje zadání a konkrétním požadavkům, které zadavatel na začátku konstrukčního procesu definoval, a které poté posloužili jako důležitý podklad, při klíčových rozhodnutích. Po seznámení se zadáním následuje pojednání o současném stavu techniky a průzkumu trhu. Jsou zde popsány hlavní koncepční směry, jimiž se podobná zařízení na trhu vydávají a jaká tato pojetí přinášejí pozitiva, či negativa. Práce dále pokračuje řadou koncepčních úvah, na základě nichž, je v dalších kapitolách, popsán hrubý návrh zařízení. Jednou z posledních kapitol, je poté popis samotného konstrukčního řešení průběžných jednotek. V této části, jsem se zaměřil na detailní popis technických řešení, která jsem aplikoval na klíčové konstrukční uzly zařízení. Zařízení bylo následně postaveno a úspěšně otestováno pro provozní parametry.

## Klíčová slova

Vsázka, induktor, průběžná jednotka, hnací kolo, hnací hřídel, součinitel smykového tření, normálová síla, indukční ohřev, akční člen.

## Abstract

This paper contains a description of the structural design of feed-through units for induction wire processing. The primary function of this device is to feed the charge through the induction heating coil in a defined manner. The paper describes the entire design process in the chronological order in which the process was actually implemented. In the first part of the thesis there is a description of the workplace of induction heating in company COMTES FHT a.s. and there are also described general theoretical basics necessary to understand the purpose of the device and technological operations possible with this device. The following part of the thesis is devoted to the task and specific requirements defined by the client at the beginning of the design process, which then served as an important basis for key decisions. The introduction to the brief is followed by a discussion of the state of the art and market research. The main conceptual directions that similar devices are taking in the market are described and what the positives or negatives of these concepts are. The thesis continues with a number of conceptual considerations on the basis of which, in the following chapters, a rough design of the device is described. One of the last chapters, then, is a description of the actual design of the continuous units. In this section, I have focused on detailing the technical solutions that I have applied to the key design nodes of the device.

The device was subsequently built and successfully tested for certain operating parameters.

## Key words

Insertion, inductor, continuous unit, drive wheel, drive shaft, shear friction coefficient, normal force, induction heating, actuator.

## Obsah

1	Úvod.....	10
2	Pracoviště indukčního ohřevu.....	11
2.1	Technologie aplikované na pracovišti indukčního ohřevu.....	12
2.2	Konkrétní vybavení pracoviště indukčního ohřevu.....	12
3	Zadávací parametry.....	14
3.1	Požadavek na hlavní funkci zařízení.....	14
3.2	Závazné požadavky rozměrové a tvarové.....	14
3.3	Požadavky na rychlost a charakter podávání.....	15
4	Možnosti řešení podávání.....	16
4.1	Podávání s lineárním posouvacím elementem.....	17
4.2	Podávání s rotačními akčními elementy.....	18
4.2.1	Podávání s rotačními elementy využívající tvarový styk.....	18
4.2.2	Podávání s rotačními elementy využívající tření.....	19
4.3	Zvolený koncept podávání.....	20
5	Možnosti pojetí klíčových konstrukčních uzlů.....	21
5.1	Způsoby vyvození normálové síly.....	21
5.1.1	Vyvození normálové síly pneumatickým pohonem.....	21
5.1.2	Vyvození normálové síly pomocí šroubu.....	22
5.2	Volba akčního elementu z hlediska tření.....	25
5.2.1	Závislost koeficientu smykového tření na tvrdosti polyuretanu.....	26
5.2.2	Zhodnocení vlivu materiálu běhounu na návrh zařízení.....	27
6	Hrubý návrh konstrukce.....	28
6.1	Alternativní koncept.....	29
7	Popis konstrukčního řešení.....	30
7.1	Sytém stavitelných rolen.....	31
7.2	Hnaná část jednotky.....	32
7.3	Rám jednotky.....	34
7.4	Hnací hřídel.....	35
7.4.1	Funkce hnací hřídele.....	35
7.4.2	Výpočtový návrh hnací hřídele dle limitního zatěžovacího stavu.....	36
7.5	Hlavní pohon.....	44
8	Závěr.....	45



## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Uspořádání indukčního ohřevu[2] .....	11
Obrázek 2 - Středofrekvenční zdroj na pracovišti indukčního ohřevu .....	12
Obrázek 3 - Zjednodušený 3D model indukčního ohřevu .....	13
Obrázek 4 - Schématické znázornění možných profilů vsázky .....	14
Obrázek 5 - Schéma rozčlenění řešení na trhu .....	16
Obrázek 6 - Schéma řešení s lineárním pohybem akčního členu .....	17
Obrázek 7 - Příklad podávacích koleček z FDM 3D tiskárny [3] .....	18
Obrázek 8 - Schématické znázornění zvoleného konceptu řešení využívajícího tření.....	20
Obrázek 9 - Příklad pneumatického válce dle ISO 15552 [4] .....	21
Obrázek 10 - Příklady uložení pohybových šroubů [5] .....	22
Obrázek 11 - Příklad trapézového šroubu s maticí[6] .....	24
Obrázek 12 - Příklad kuličkového šroubu od společnosti KSK Precise Motion, a. s.[7] .....	24
Obrázek 13 - Hnací kolo od společnosti Blickele, a.s.[8] .....	25
Obrázek 14 - Závislost koeficientu tření polyuretanu s ocelí v souvislosti s tvrdostí polyuretanu [9] ....	26
Obrázek 15 - Schéma konceptu pojetí zařízení .....	28
Obrázek 16 - Schéma uspořádání jednotek při technologickém procesu kalení.....	28
Obrázek 17 - Schématické znázornění alternativního konceptu pojetí zařízení.....	29
Obrázek 18 - CAD model navrženého řešení jednotky.....	30
Obrázek 19 - Čelní pohled na jednotku s popisem sestavy stavitelných vodících rolen.....	31
Obrázek 20 - Čelní pohledy na jednotky demonstrující univerzálnost stavitelného systému rolen .....	31
Obrázek 21 - Řez jednotkou a popisem důležitých konstrukčních uzlů .....	32
Obrázek 22 – 3D řez zobrazující pohonnou soustavu .....	33
Obrázek 23 - Řez jednotkou s popisem pohonné soustavu .....	33
Obrázek 24 - 3D model sestavy rámu jednotky .....	34
Obrázek 25 - 3D model hnací hřídele jednotky.....	35
Obrázek 26 - Schématické znázornění toku výkonu jednotkou .....	35
Obrázek 27 - Schéma limitní situace zatížení.....	36
Obrázek 28 - Schéma nahrazení hnací hřídele nosníkem na dvou podporách .....	40
Obrázek 29 - Výňatek z dokumentace výrobce motoru [11] .....	44
Obrázek 30 - CAD model motoru ST8918M4508_A [11] .....	44
Obrázek 31 - Navržená a realizovaná průběžná jednotka .....	45
Obrázek 32 – Závěrečné vizuální srovnání návrhu jednotky (nahore) s její realizací (dole) .....	46

## Přehled použitých zkratk a symbolů

a. s.	akciová společnost
FDM	fused deposite modeling (jedna z metod 3D tisku)
s.r.o.	společnost s ručením omezením
mm	milimetr
kg	kilogram
S235JR	označení druhu konstrukční oceli
NEMA 34	označení velikosti a typu příruby krokového motoru
12 060	označení druhu konstrukční oceli
MPa	megapascal

## 1 Úvod

S rozvojem průmyslu je odnepaměti spojena snaha tepelně zpracovávat materiály. V průběhu historie se nacházely a vyvíjely různé způsoby, jak může být materiál upraven, tak aby změnil své klíčové vlastnosti, jako je například tvrdost, houževnatost a mnohé jiné. Modifikací těchto vlastností dokážeme součástí umožnit, déle a lépe odolávat vnějšímu mechanickému zatížení a s ním nedílně spojeným opotřebením, a tak prodloužit jejich životnost. Jindy lze použít tepelné zpracování například pro usnadnění opracování součástí. Technologie snižující houževnatost, ale zvyšující tvrdost a ořezavost materiálu se nazývá kalení. Po kalení, se obvykle provádí popouštění, aby daný materiál získal zpět houževnatost a nebyl příliš křehký. Pro změnu homogenity krystalografické struktury, snížení tvrdosti, zvýšení tvárnosti nebo zlepšení obrobiteľnosti se používá žíhání.[1]

Ať už se tedy jedná o jakoukoliv formu tepelného zpracování, nedá se provádět bez příslušného technologického vybavení. Stroje, nástroje či zařízení, která daný materiál ohřívají nebo s ním během zpracování manipulují, jsou nutnou podmínkou, pro realizaci každého technologického procesu. Mnoho takových zařízení a nástrojů, je dnes již komerčně velmi dostupným artiklem, ale stále se mohou vyskytnout případy, kdy pro zadané požadavky, není možno najít na trhu vhodné řešení. V těchto případech se často společnosti zabývající se technologií zpracování materiálů, musí obrátit na vlastní, popřípadě externí kapacity a přijít s řešením, které dokáže naplnit jejich požadavky.

V této práci se zabývám návrhem zařízení, které má za úkol podávat podlouhlý tyčový materiál skrze cívku indukčního ohřevu, a tak umožnit jeho tepelné zpracování. Práci jsem řešil pro společnost COMTES FHT a.s. Zadavatelem požadavků, bylo konkrétně její oddělení technologie. Oddělení technologie, je mimo své jiné části, vybaveno také pracovištěm indukčního ohřevu. Zde se využívají středofrekvenční a vysokofrekvenční zdroje k ohřevu materiálu v rámci jeho tepelného zpracování. Výzvou, již jsem řešil v této práci bylo, najít způsob, jak dokázat manipulovat s materiálem, jehož délka je značně větší než charakteristický rozměr průřezu. Součástí zadání byl i požadavek na variabilitu zpracovávaných průřezů. Očekávanými průřezy polotvarů pro podávání (vsázky) byly průřezy čtvercové, obdélníkové, kruhové či eliptické.

Zadání ze soukromé výzkumné organizace COMTES FHT a.s. z oddělení technologie, bylo velmi specifické a byl kladen velký důraz na rozsah použití zařízení, z důvodu jejich plánovaných výzkumných a vědeckých aktivit. Vzhledem ke specifičnosti požadavků, se nepovedlo na trhu najít žádné vhodné řešení, a tak společnost přistoupila k návrhu vlastního řešení, jímž jsem byl pověřen.

Přestože žádné řešení dostupné na trhu nebylo pro zadané požadavky vyhovující, posloužil mi prvotní průzkum trhu jako inspirace, neboť použité techniky manipulace s materiálem, se často opakovaly. Znalosti získané průzkumem trhu a požadavky na samotné zařízení posloužily jako výchozí podklady pro koncepční úvahy na základě nichž vznikl nejprve hrubý návrh zařízení a následně detailní konstrukční řešení.

## 2 Pracoviště indukčního ohřevu

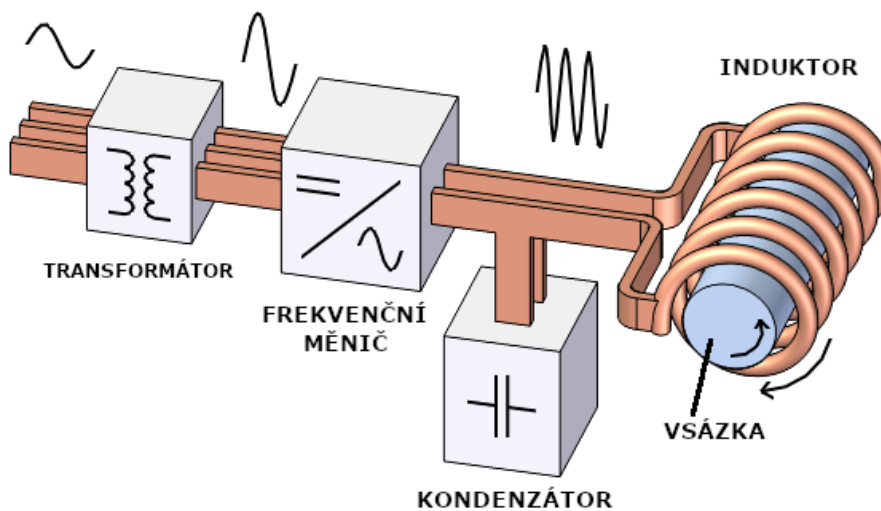
Indukční pracoviště ve společnosti COMTES FHT a.s. je vybaveno středofrekvenčními a vysokofrekvenčními zdroji, jinak také nazývanými indukční ohřivače nebo ohřevy. Jsou to zařízení, která umožňují provádět indukční ohřev zpracovávaného materiálu. Indukční ohřev je definován na stránkách jednoho z výrobců těchto zařízení následovně:

*„Indukční ohřev je elektrický ohřev využívající elektromagnetické indukce. Vložíme-li předmět z elektricky vodivého materiálu dovnitř cívky, jejímž vinutím protéká střídavý proud, indukují se střídavým magnetickým polem v dutině cívky ve vloženém předmětu vířivé proudy. V principu se jedná o transformátor, kde sekundárním vinutím je vsázka (závit nakrátko) a primárním vinutím je cívka, v indukčních ohřevěch zvaná induktor. Vířivé proudy vložený předmět (vsázku) zahřívají. Teplo se do vsázky dopravuje střídavým elektromagnetickým polem, tedy nikoli teplotním spádem jako u nepřímých ohřevů, a vzniká přímo v sázce.“[2]*

Jedná se tedy o jiný způsob ohřevu, nežli je použití konvenční pece. Metoda indukčního ohřevu má své výhody, díky nimž snadno nalezneme uplatnění v mnoha různých průmyslových aplikacích jako jsou například tváření, tavení, kalení, žihání a další. Příkladem jedné z výhod indukčního ohřevu může být schopnost lokálního ohřevu součásti, bez nutnosti teplotního ovlivnění jejího zbytku. Obzvláště účinný je indukční ohřev pro feromagnetické materiály. Touto metodou lze však ohřívát i nevodivé materiály za použití vodivých nádob.[2]

Indukční ohřev se dá snadno automatizovat, což může být velmi žádoucí v náročných strojírenských provozech, či při velkých objemech výroby, kdy je snaha snižovat potřebu lidské práce.[2]

Na obrázku níže je uvedeno schéma uspořádání indukčního ohřevu. Schéma popisuje, jaké funkční bloky má indukční ohřev a zavádí potřebnou terminologii, kdy označujeme ohříváný materiál jako vsázku a cívku zase pojmem induktor.



Obrázek 1 - Uspořádání indukčního ohřevu[2]

## 2.1 Technologie aplikované na pracovišti indukčního ohřevu

Příkladem jedné z technologií, která se běžně aplikuje na pracovišti indukčního ohřevu je kalení. Dle literatury jde o operaci, při níž se cíleně zvyšuje tvrdost materiálu. Zakalený materiál je po tomto zpracování velmi tvrdý, ale křehký. Proto se obvykle po kalení implementuje popouštění, které je další technologií, jíž se v rámci společnosti zabývá pracoviště indukčního ohřevu. Odborná literatura popisuje popouštění jako ohřev na popouštěcí teplotu a následné ochlazování.[1]

Jiným příkladem technologie, kterou lze provádět na pracovišti indukčního ohřevu je žihání. Obecně jde o ohřev na žihací teplotu, setrvání na této teplotě po určitou dobu a následné pomalé ochlazování. U žihání rozeznáváme různé druhy provedení, jejichž použití se liší dle toho, co má být výsledkem daného tepelného zpracování. Rozeznáváme žihání na měkko, jehož cílem může být zvýšení tvárnosti nebo snížení tvrdosti před obráběním. Jinou metodou je žihání ke snížení vnitřního pnutí, jímž se odstraňuje pnutí vzniklé v odlitcích, ve svařencích nebo po 3D tisku. Další metodou je žihání normalizační, jímž se odstraňuje nehomogenita struktury vzniklá v materiálu po předchozí technologické operaci jako je například válcování, kování, lisování apod.[1]

## 2.2 Konkrétní vybavení pracoviště indukčního ohřevu

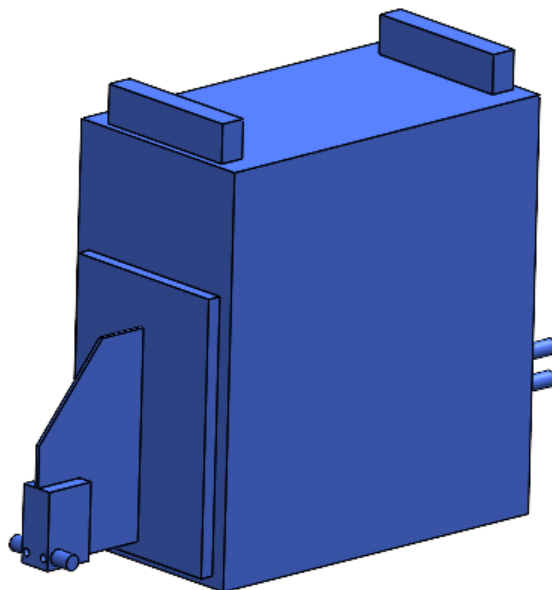
Pracoviště indukčního ohřevu je ve společnosti COMTES FHT a.s. vybaveno konkrétně indukčními ohřevy od společnosti Rajmont s.r.o. Za pomoci těchto ohřevů jsou na pracovišti prováděny operace tepelného zpracování jako je kalení a popouštění. Jak bylo již zmíněno v úvodu mé práce, provedení těchto operací vyžaduje různé vybavení, mimo samotného ohřevu, jsou to například zařízení manipulující se vsázkou, či prvky působící na vsázkou chladícím médiem.

V rámci specifikace zadání, bylo potřeba vytvořit 3D model středofrekvenčního ohřevu tak, abych k němu následně dokázal správně navrhnout podávací jednotku. Již od počátku svého návrhu, jsem chtěl totiž být důkladně seznámen se zástavbou pracoviště, s níž bude mnou navržená jednotka interagovat. Bylo tedy potřeba zaměřit zástavbové rozměry středofrekvenčního zdroje.



Obrázek 2 - Středofrekvenční zdroj na pracovišti indukčního ohřevu

Na základě mého měření a skici jsem si vyhotovil zjednodušený 3D model indukčního ohřevu. Zajímaly mě především základní rozměry zařízení, jako je výška, šířka a hloubka a dále pak alespoň přibližná podoba induktoru. Model ohřevu mi sloužil jako orientační základ pro definování zástavby pracoviště a poskytl mi představu, s jakým prostorem mohu pracovat. Model induktoru jsem se nakonec rozhodl nevytvářet, neboť se jeho podoba často přizpůsobuje konkrétní aplikaci, a tak je jeho přesnou podobu dopředu těžké přesně definovat.



Obrázek 3 - Zjednodušený 3D model indukčního ohřevu

Po seznámení se základy teorie indukčních ohřevů, současným vybavením pracoviště a hrubými dimenzemi okolní zástavby, mi bylo představeno konkrétní zadání. To bylo sestavené jako soubor různorodých požadavků, se kterými přišli specialisté z oddělení technologie. Mým úkolem, bylo pro tyto požadavky najít vhodné technické řešení, jež by dokázalo zvýšit aplikovatelnost stávajícího vybavení pracoviště indukčního zpracování. V první řadě šlo o zpracovávání podlouhlých tenkých polotovarů, kruhového průřezu. U takových polotovarů, jak již bylo řečeno, je charakteristický rozměr průřezu několikrát menší než jeho délka, a proto s nimi může být někdy špatně manipulováno bez příslušného vybavení. Je očekáváno, že polotovary tohoto typu budou tvořit až 90 % uplatnění zařízení. Zařízení však musí umožnit v případě potřeby podávat i polotovary s jiným než kruhovým, či čtvercovým průřezem a také byl požadován značný rozsah rozměrů průřezů, které budou zařízením podávány.

### 3 Zadávající parametry

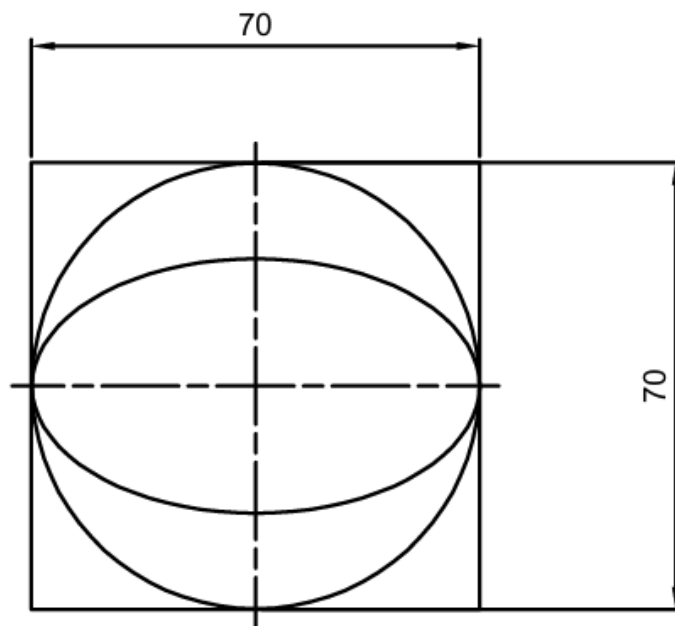
Zadání pro vytvoření podávacích jednotek, bylo formulováno jako soubor požadavků od specialistů z oddělení technologie. Po představení požadavku na hlavní funkci zařízení, bylo zadání doplněno upřesňujícími požadavky, které si kladly za cíl zvýšit aplikovatelnost zařízení i mimo předpokládané standardní pracovní vytížení a doplňovaly požadavek na snadnou přemístitelnost zařízení a poziční nezávislost.

#### 3.1 Požadavek na hlavní funkci zařízení

Hlavní požadavek byl definován takto: „Je potřeba navrhnout zařízení, které bude definovanou rychlostí podávat vsázku induktorem indukčního ohřevu. Podávání bude probíhat stále ve stejné ose, jejíž poloha se během podávání nesmí měnit. Spektrum rychlostí, kterými bude materiál podáván, bude regulovatelné v daném rozsahu a bude ho dle potřeby možno plynule měnit. Na zařízení se bude primárně provádět operace kalení, ale mělo by umožnit i popouštění.“

#### 3.2 Závazné požadavky rozměrové a tvarové

Zařízení musí být schopno podávat polotovary od 1 [mm] do 70 [mm] charakteristického rozměru. Maximální přípustná hmotnost podávaného kusu je 15 [kg]. Zařízení musí umožnit zpracování několika různých průřezů polotvarů, jako jsou například polotovary kruhové, čtvercové, obdélníkové, eliptické a další. Celkově je tedy kladen značný důraz na univerzálnost celého zařízení a jeho širokou aplikovatelnost. Zařízení se musí vejít do prostoru indukčního pracoviště a mělo by být snadné ho přemístit, například na paletě.



Obrázek 4 - Schématické znázornění možných profilů vsázky

### 3.3 Požadavky na rychlost a charakter podávání

Zařízení musí dokázat podávat vsázku induktorem v rozsahu rychlostí od 1 [mm/s] až do 300[mm/s]. Tato rychlost se bude lišit, dle aktuálně prováděné technologické operace. Rychlost podávání by neměla výrazně kolísat a výsledný pohyb vsázky induktorem musí být plynulý po celou dobu procesu. Pokud by tomu tak nebylo, hrozí že dojde k lokálnímu přehřátí materiálu a ke znehodnocení polotovaru vlivem špatně provedené technologie.

Proti požadavku na kontinuálnost podávání, jde ale požadavek na samotný charakter podávání. Je totiž vyžadováno, aby kontakt hnacího elementu navrženého řešení nenarušoval ani nedeformoval povrch vsázky. Jako protichůdný požadavek to lze chápat v kontextu možností, které jsou k dispozici pro realizaci kontaktu mezi hnacím prvkem podávacího zařízení a vsázkou (prvkem hnaným). Tento kontakt, lze konvenčně provést buď na principu tvarového přenosu síly, nebo na základě frikční dvojice.

Tvarový styk vyvodí při kontaktu tvarového elementu se vsázkou normálovou sílu, která následně uvede vsázku do pohybu.

V případě frikční dvojice mezi hnacím elementem a vsázkou, dojde rovněž k vyvození síly, tentokrát se ale jedná o sílu třecí vyvozenou normálou, v místě dotyku hnacího elementu a vsázky. Velikost této síly je závislá na velikosti síly vyvozené v normálovém směru a součiniteli smykového tření.

Použití bezkontaktního přenosu síly, jako je tomu například u magneticky poháněných lineárních pneumatických motorů nebylo uvažováno, vzhledem k tomu, že dle zadavatele, manipulovaný materiál nesmí být magneticky ovlivňován před ani během procesu indukčního ohřevu.



## 4 Možnosti řešení podávání

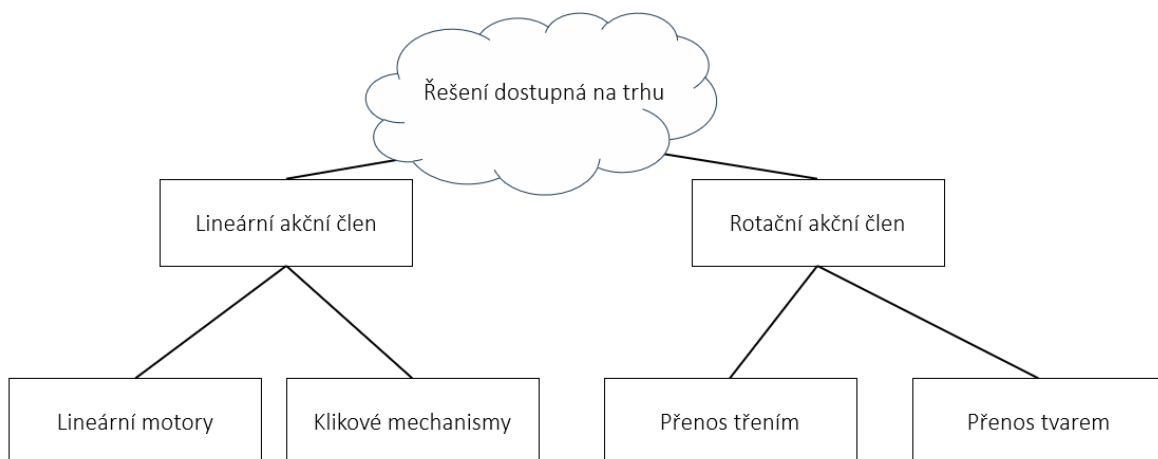
Podávání je jednou z typických manipulačních úloh. Cílem je dopravit manipulovaný objekt do místa, v němž proběhne daný technologický úkon. Na trhu existuje celá řada různých podávacích zařízení. Tato zařízení lze například rozlišit dle toho, jakým způsobem přichází do kontaktu s manipulovaným materiálem. Jednou skupinou jsou řešení, kdy dochází k tlačení materiálu lineárním elementem, který koná lineární posuvný pohyb, a tak tlačí na manipulovaný kus a urychluje jej. Druhou skupinou jsou řešení využívající rotační pohonný element, kterým mohou být například hnaná tvarová kola, hnaná hladká kola nebo poháněné rolny.

V rámci průzkumu trhu jsem analyzoval vlastnosti jednotlivých skupin dostupných řešení a zvážil, které řešení dokáže nejlépe vyhovět zadaným požadavkům. Hlavními sledovanými parametry pro mne při průzkumu stavu techniky byly: kontinuita podávání, rychlost podávání a univerzálnost podávaného profilu.

Během průzkumu trhu, se mi nepovedlo najít dostupné řešení, které by zcela naplňovalo výše specifikované požadavky, a tak jsem průzkum trhu využil především jako zdroj inspirace pro vlastní návrh. Hlavními rozhodnutími, které bylo v počáteční fázi návrhu nutno učinit, byla volba způsobu kontaktu akčního členu s manipulovaným materiálem a otázka, jakým způsobem vyřešit požadavek na variabilitu zpracovatelných průřezů.

Zvážil jsem, které ze dvou hlavních skupin pojetí podávání nejlépe vyhoví zadání. Musel jsem se rozhodnout, jaký zvolím hlavní způsob pohonu. Rozhodoval jsem se mezi lineárním posouváním a zařízeními s rotačními elementy. Ty se dále rozlišovaly dle toho, jaký konkrétní mechanismus využívají k vyvození pohybu vsázky.

Abych se v možných alternativách dokázal zorientovat, vypracoval jsem si jednoduché přehledové schéma. Podle tohoto schématu jsem následně detailněji analyzoval jednotlivé možnosti a pro každou skupinu, jsem si vypracoval jednoduchý rozbor silných a slabých stránek.



Obrázek 5 - Schéma rozčlenění řešení na trhu

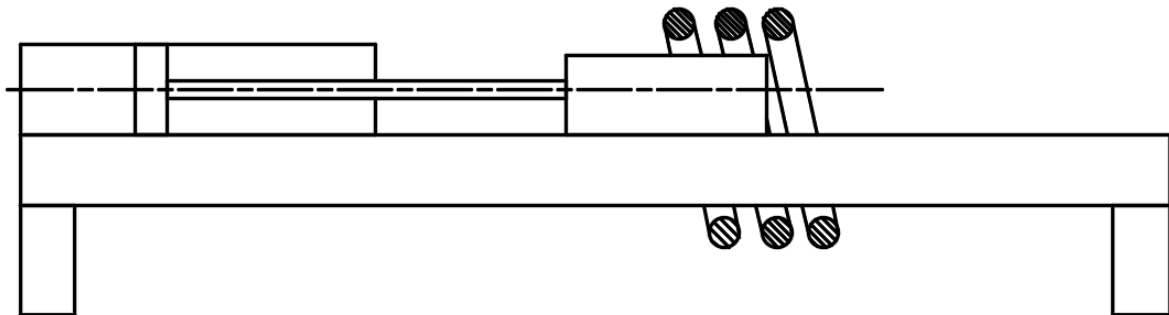
## 4.1 Podávání s lineárním posouvacím elementem

Řešení využívající lineární posouvací element, pracují na principu akčního členu, který se pohybuje po dané ose dopředu a dozadu. Síla, která manipulovaný kus rozpohybuje, je vyvozena působením akčního členu přímo na manipulovaný kus. Toto řešení představuje spolehlivý způsob, jak manipulovaný kus dopravit na relativně krátké vzdálenosti, a manipulovatelná délka kusu je omezena zdvihem tohoto zařízení. Zástavba takovéhoho zařízení, však dokáže velmi snadno zabrat velkou plochu ve výrobních prostorách.

Druhy pohonu uplatňované v těchto zařízeních mohou být pneumatické, hydraulické nebo elektromechanické. To nabízí dále různé výhody a nevýhody a každý z těchto pohonů je vhodný pro jinou aplikaci. Náročnost jejich implementace se také zásadně liší dle druhu pohonu.

Jednou z výhod tohoto řešení je zaručená spolehlivost podávání, nehrozí zde totiž žádný prokluz, který by narušil kontinuitu procesu. Další výhodou je schopnost generovat velké síly na akčním členu, a tak manipulovat i těžkými kusy.

Nevýhodami řešení jsou relativně omezený zdvih a velká prostorová náročnost řešení. Zdvih pohonu musí být u těchto zařízení větší než délka manipulované součásti. Nevýhodou použití řešení pro konkrétní aplikaci řešenou v rámci této práce je limitovaný prostor pracoviště indukčního ohřevu.



Obrázek 6 - Schéma řešení s lineárním pohybem akčního členu

## 4.2 Podávání s rotačními akčními elementy

Řešení využívající rotační akční elementy lze rozdělit do dvou skupin, a to konkrétně na skupinu využívající k přenosu síly tvarový styk akčního elementu s manipulovaným kusem a na zařízení využívající k přenosu síly na kus tření. Tyto alternativy sdílejí shodný hlavní princip převodu pohybu, kdy je rotační pohyb akčního elementu převeden na lineární posuvný pohyb manipulovaného kusu. Mechanismus převodu se však liší, stejně tak, jako se liší dopad, jaký má tato manipulace na manipulovaný kus.

### 4.2.1 Podávání s rotačními elementy využívající tvarový styk

Typickým příkladem tohoto typu podávání jsou extrudery u FDM 3D tiskáren. V tomto případě je filament vtahován mezi dvě kola, která mají na svém obvodu drobné zoubky a ty zajišťují stabilní kontakt s materiálem před jeho vstupem do plastifikační hlavičky. Podávání je v tomto případě kontinuální a spolehlivé. Nelze zde říct, jaká je maximální délka podávaného materiálu, neboť může být teoreticky nekonečná. K realizaci podávání stačí pouze hnací a opěrné kolo, pohon a minimalistická zástavba, což dává tomuto řešení výhodu kompaktnosti. Tvarové prvky na obvodu hnacího elementu ale zanechávají stopu v povrchu manipulovaného materiálu, což nemusí být vhodné pro všechny aplikace.

Výhodou tohoto řešení je tedy spolehlivost podávání, kontinuálnost podávání a kompaktnost řešení.

Na druhou stranu nepopiratelnou nevýhodou, která vyloučila toto řešení z mých úvah při návrhu, byl fakt, že dochází k poškození povrchu manipulované součásti. Což je v přímém rozporu s požadavky zadavatele.



Obrázek 7 - Příklad podávacích koleček z FDM 3D tiskárny [3]

#### 4.2.2 Podávání s rotačními elementy využívající tření

Řešení se v tomto případě opírají o třecí sílu, která je vyvozena v kontaktním místě akčního elementu a manipulované součásti. Tento princip využívají například třecí převody. Dané řešení lze navrhnout tak, že bude neinvazivní a nenaruší integritu manipulovaného kusu. Třecí síla je s normálovou silou svázána přes součinitel smykového tření následujícím vztahem:

$$F_t = F_N \cdot f [N] \quad (1)$$

Kde  $F_t$  značí třecí sílu,  $F_N$  představuje normálovou sílu a  $f$  reprezentuje součinitel smykového tření.

Součinitel smykového tření pro jednoduchost uvažuji pouze závislý na materiálech kontaktních ploch třecí dvojice. Dále také platí následující vztah mezi třecím úhlem a součinitelem smykového tření.

$$f = \operatorname{tg}(\varphi)[-] \quad (2)$$

Kde  $f$  reprezentuje součinitel smykového tření a  $\varphi$  je třecí úhel.

Hodnota součinitele samotného nebo alespoň třecího úhlu má pro správnou funkci popisovaného řešení stěžejní význam. Nejde však jen o frikční vlastnosti akčního členu, požadavky budou muset být jasně dány i na manipulovanou vsázku, jejíž povrch by měl být odmaštěn a zbaven nežádoucích nečistot.

Řešení založená na frikční dvojici se v oblasti manipulace s materiálem aplikují poměrně často, a to především protože, se jedná o velmi univerzální způsob, jak s materiálem manipulovat. Pokud je převod navržen s potřebnou bezpečností proti prokluzu, lze také prohlásit, že jde o převod konstantní a spolehlivý. Co se týká okolní zástavby, tak na tu jsou kladeny vyšší nároky z pohledu tuhosti a pevnosti, než je tomu například u řešení s tvarovým stykem, neboť zde je potřeba přenést reakce vygenerované normálovým přitlakem do rámu.

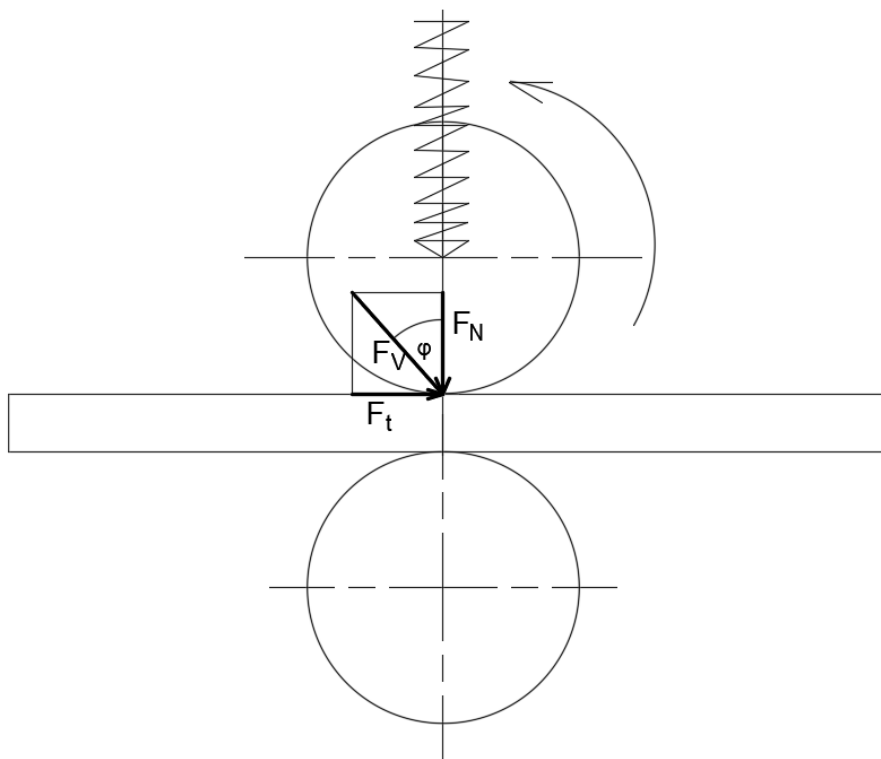
Výhodou tohoto řešení, při správném návrhu, je tedy spolehlivost podávání, kontinuálnost podávání a univerzálnost řešení. Ale především schopnost manipulovat vsázku bez toho, aniž by došlo k jejímu fyzickému narušení.

Nevýhodou je relativně velké zatížení rámu od reakcí, které vzniknou v důsledku vyvození potřebné normálové síly. Rám tedy musí být navrhnout tak, aby byl dostatečně tuhý a nepodléhal deformaci.

### 4.3 Zvolený koncept podávání

Řešení s rotačním akčním členem využívajícím tření, se nejlépe přiblížilo všem požadavkům zadavatele a bylo zvoleno jako hlavní koncepce zařízení. Celý koncept v sobě ale i nadále obsahuje technické otázky, na které si musím před samotným návrhem detailního technického řešení celého systému ještě odpovědět. K nalezení potřebných odpovědí, mi ale může pomoci postupné iterování konkrétnosti návrhu. Myslím tím postup, kdy budu zkoumat, jak k daným otázkám mohu přistoupit a následně jak tyto přístupy realizovat technickým návrhem.

Jednou z bližších technických otázek je například to, jakým způsobem navrhnu mechanismus vyvozování normálové síly, či jaký materiál zvolím pro kontaktní plochy akčních členů, abych zajistil potřebný součinitel smykového tření. Jakmile dospěji v těchto klíčových otázkách k relevantním závěrům, budu moci návrh ztotožnit ve formě hrubého návrhu, který následně dále rozpracuji v detailní technické řešení.



Obrázek 8 - Schématické znázornění zvoleného konceptu řešení využívajícího tření

## 5 Možnosti pojetí klíčových konstrukčních uzlů

Po získání představy o tom, jak budu dané zařízení koncipovat jako celek, jsem se pokusil si zodpovědět stěžejní otázky týkající se mnou uvažované koncepce. Z povahy zvoleného konceptu vyplývá, že klíčovými prvky zařízení budou mechanismus vyvozování síly a hnací kolo, respektive součinitel smykového tření materiálu jeho běhounu, díky němuž budu schopen definovat nutné silové poměry v kontaktu hnacího prvku a vsázky.

### 5.1 Způsoby vyvození normálové síly

Jelikož jsem se na základě předchozích úvah rozhodl pro koncepci s rotačním akčním elementem, který manipulovanou vsázkou rozpohybuje na principu frikční dvojice potřebuji zajistit vyvození potřebné normálové síly. Metody, jež jsem v rámci svého návrhu zvažoval a finální volbou jedné z nich se zabývá právě tato kapitola.

I při tomto rozhodování jsem musel mít na paměti požadavky zadavatele a výsledný návrh jim přizpůsobit tak, aby se našlo řešení, které by jim vyhovělo. Jedním z požadavků, který měl zásadní význam, co se týká způsobu vyvozování normálové síly byl požadavek na mobilitu zařízení.

#### 5.1.1 Vyvození normálové síly pneumatickým pohonem

Jednou z prvních alternativ, která mě při úvahách o způsobu vyvozování normálové síly napadla, bylo použití pneumatického pohonu. Použití pneumatických pohonů různých typů, je v průmyslu při manipulaci zcela obvyklé a umožňovalo by pohodlné a opakovatelné vyvozování síly bez nutnosti fyzického zapojení obsluhy. Princip takového zařízení spočívá v tom, že stlačený vzduch, jakožto pracovní médium, je dopravován do komor pneumatického pohonu, kde následně prostřednictvím svého tlaku působí na píst a vyvozuje tak vznik síly a pohyb pohonu.

Jednou z nevýhod takového řešení je potřeba mít neustále k dispozici přívod stlačeného vzduchu. To lze řešit přívodem z centrální sítě rozvodu vzduchu v podniku, nebo zařízení samotné vybavit potřebným generátorem, v tomto případě kompresorem a zásobníkem na stlačený vzduch. První řešení je bezpochyby v přímém rozporu s požadavkem na mobilitu zařízení jako takového. Druhá alternativa je realizovatelná, ale přidává do zařízení další technický okruh a zařízení jako celek značně komplikuje.

Bylo se tedy nutné podívat po jiných alternativách, pomocí nichž by dokázalo zařízení potřebnou normálovou sílu vyvozovat. Zároveň jsem se snažil okruh svého dalšího hledání možných řešení zúžit na základě závěrů, k nimž jsem dospěl již při zvažování použití pneumatického pohonu. První z těchto závěrů je, že způsob vyvozování normálové síly by neměl výrazně omezovat mobilitu zařízení. Druhý závěr byl fakt, že musím hledat takové řešení, které nebude zbytečně komplikované.



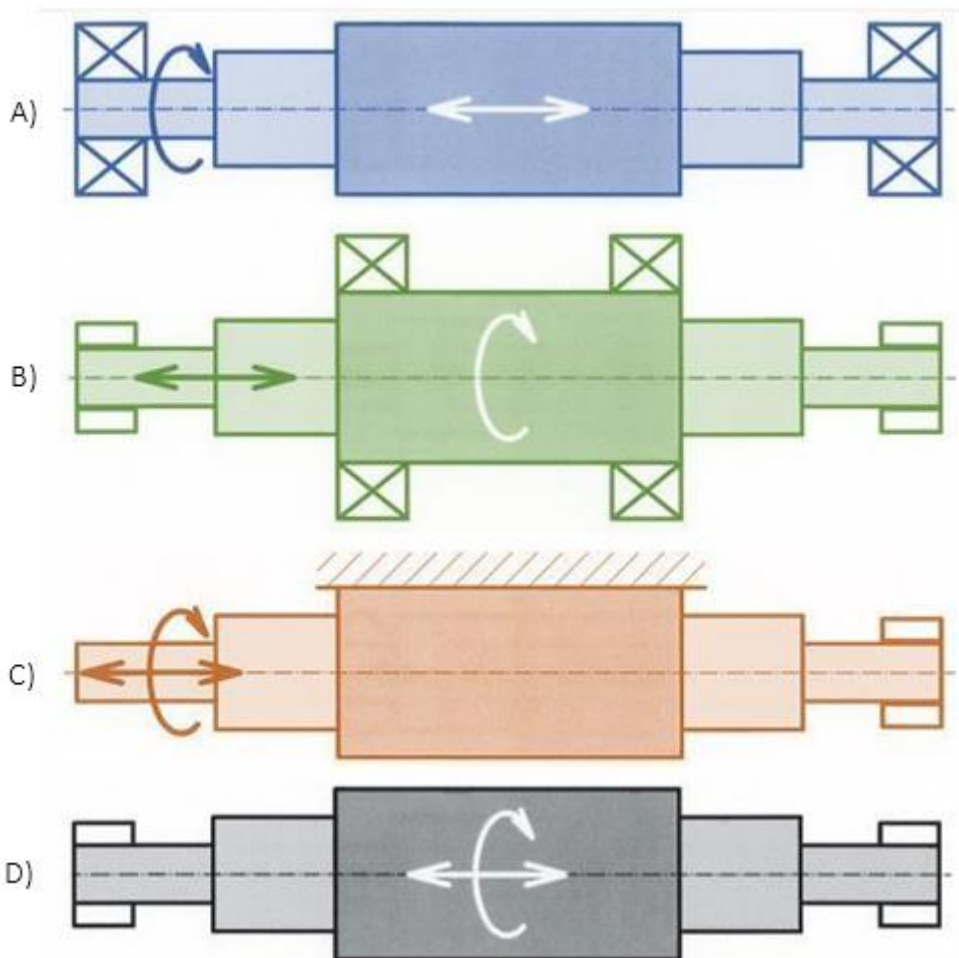
Obrázek 9 - Příklad pneumatického válce dle ISO 15552 [4]

### 5.1.2 Vyvození normálové síly pomocí šroubu

Na základě mých předchozích úvah jsem se začal zabývat alternativami, které neomezují mobilitu a jsou konstrukčně jednoduché. Mým dalším krokem tedy bylo zvážení použití šroubového převodu, jakožto hlavního mechanismu pro vyvození potřebné normálové síly.

#### 5.1.2.1 Možnosti uložení pohybového šroubu

Vyvozená síla ve šroubovém převodu se opírá o rozklad na nakloněné rovině a umožňuje výhodnou konverzi momentu, kterým působíme na páce matice (šroubu), na posuvnou sílu šroubu (matice). Šroub lze uložit v rámu několika způsoby.



Obrázek 10 - Příklady uložení pohybových šroubů [5]

Způsob označený na obrázku jako A) je příklad uložení, kdy se otáčí šroubem a je tak vyvozován posuvný pohyb matice, která se neotáčí. Šroub je v rámu uložen v ložiscích. Takovéto uspořádání je typické pro pohybové mechanismy různých strojů, kde často může být hnací element (motor) připojen přímo na šroub pomocí spojky.

Druhým příkladem tedy B) je myšlena situace, kdy je matice otočně uložena v rámu a je s ní otáčeno příslušným hnacím prvkem. Šroub je veden v uloženích umožňujících posuv a koná lineární pohyb v závislosti na smyslu otáčení hnacího elementu.

Řešení C) a D) jsou volnou kombinací předchozích řešení ale při návrhu nebyly vážněji uvažovány.

Pokud se podíváme na požadovanou funkci, kterou je v první řadě vyvození potřebné normálové síly, není mezi řešeními A) a řešeními B) patrný žádný rozhodující rozdíl. Pokud se ale podíváme na celý problém z širšího hlediska při respektování vstupních požadavků zjistíme, že konkrétní místo, v němž bude potřeba sílu vyvozovat bude proměnlivé dle charakteristického rozměru vsázky, a navíc je stěžejní najít takovou alternativu, jejíž zástavba bude co nejjednodušší.

Po základní rozměrové analýze obou možných provedení, jsem dospěl k závěru, že pro mnou zkoumaný případ vychází lépe varianta B). To znamená tedy matice uložená otočně v rámu stroje a šroub konající lineární posuvný pohyb.

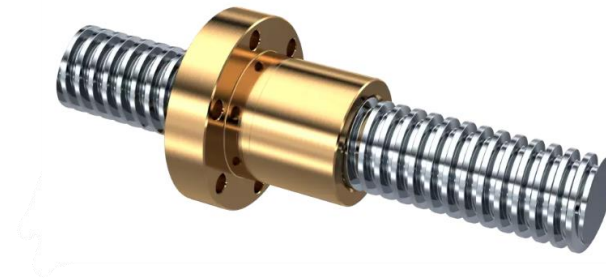
#### 5.1.2.2 Volba konkrétního typu šroubu

Šroubová dvojice sestává vždy ze šroubu a příslušné matice, dále v textu budu tento typ strojních částí pro jednoduchost označovat jen jako šrouby, kdy ale uvažuji, že danému šroubu musí vždy náležet příslušná matice. Šrouby lze tedy obecně dělit na spojovací a pohybové. Z nichž je každý navržen tak, aby plnil jinou funkci, i když jejich elementární princip fungování je podobný. Pro navrhované řešení jsou vhodnějším typem pohybové šrouby, proto se dále jimi budu dále zabývat.

Pohybové šrouby relativně efektivně zprostředkovávají převod mezi rotačním a posuvným pohybem, a to především díky svému většímu stoupání. Pohybové šrouby můžeme rozlišovat dle typu kontaktu matice a šroubu na šrouby s kluzným třením či s valivými elementy.

Zástupci první skupiny jsou typicky lichoběžníkové šrouby, a to ať už s rovnoramennými či nerovnoramennými profily. Ty s rovnoramenným profilem se také nazývají trapézové a ty s nerovnoramenným označujeme někdy také jako pilové.[5]





Obrázek 11 - Příklad trapézového šroubu s maticí[6]

Jako příklad skupiny pohybových šroubů, které využívají valivé elementy, bych uvedl kuličkové šrouby. V nich obíhají dokola valivé elementy, které zprostředkovávají kontakt mezi šroubem a maticí a zásadně tak ovlivňují tření vzniklé v tomto převodu. Kuličkové šrouby jsou také typické ještě větším stoupáním, a tedy i větší realizovatelnou rychlostí, jíž lze pomocí tohoto převodu dosáhnout. Jsou také velmi přesné a díky možnosti matici vůči šroubu přesně předepnout a vymežit vůle tak nalézají uplatnění například v obráběcích strojích. Jsou však znatelně dražší než šroubové dvojice s kluzným stykem.



Obrázek 12 - Příklad kuličkového šroubu od společnosti KSK Precise Motion, a. s.[7]

Pro mnou uvažovanou aplikaci by použití kuličkového šroubu bylo neefektivní, neboť bych nedokázal plně těžit z jeho předností, jimiž jsou především přesnost a vysoká rychlost pohybu. Naopak pokud zavedu předpoklad, že ustavování akčního elementu zařízení a následné vyvození normálové síly na povrchu vsázky bude probíhat při nižších rychlostech posuvu, mohu prohlásit, že za daných předpokladů jsou lichoběžníkové šrouby cenově efektivním a jednoduchým řešením.

Pro mnou řešenou aplikaci, jsem se tedy rozhodl použít trapézové šrouby, neboť jsou levné spolehlivé, a navíc mi při použití jednochodého závitu přinášejí benefit v podobě samosvornosti, díky němuž nemusím řešit fixaci pozice šroubu.

## 5.2 Volba akčního elementu z hlediska tření

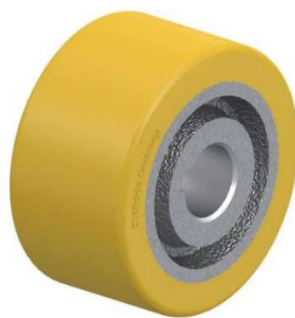
Koncepce zařízení, pro níž jsem se v závěru kapitoly 4 rozhodl, potřebuje pro zajištění své správné funkce, mimo mechanismu vyvození přítlačné síly, také spolehlivou frikční dvojici mezi akčním elementem a manipulovanou vsázkou. Jestliže zavedu předpoklad, že nejčastěji manipulovaným materiálem bude ocel a budu uvažovat tření za téměř konstantních podmínek, neboť povaha používání zařízení mi tento předpoklad umožní, jedinou neznámou je poté ve frikční dvojici materiál akčního elementu. Jelikož ve svém pojetí koncepce uvažuji, že se bude jednat o rotační akční element, budu na trhu hledat řešení, která této koncepci odpovídají.

Důležitým omezujícím faktorem je povrchová tvrdost akčního elementu samotného, neboť bude-li akční element tvrdší než manipulovaná vsázka, může dojít k jejímu poškození a tím i následně k jejímu znehodnocení. Tato úvaha mé pátrání po volbě vhodného materiálu pro akční člen intuitivně nasměrovala k polymerům a kaučukům, které jsou obecně měkčí než ocel.

Na trhu výrobci nabízeli různé alternativy, některé z nich měly disk kola i jeho běhoun vyroben z polymeru, ale tyto možnosti jsem ze svého výběru vyloučil, neboť diskem kola bude přenášen moment z hlavního hnacího pohonu zařízení na vsázku a bude tedy potřeba, aby střed kola byl tuhý a umožnil spolehlivé připojení například k hnací hřídeli nebo jinému způsobu uložení.

Variantou, která takovéto slabiny nevykazovala, byla kombinovaná stavba pohonného kola s kovovým středem a polyuretanovým běhounem. Ukázkou tohoto řešení mohou být například pohonná kola od společnosti Blickle, a.s., která dodává kola v normalizovaných řadách a s již předpřipravenou drážkou pro pero, díky čemuž je implementace samotného kola rychlá a snadná.[8]

Nezanedbatelným faktorem, který rovněž vstoupil do výběru materiálu běhounu kola byla mechanická odolnost běhounu samotného. Ten bude v neustálém kontaktu se vsázkou a pokud by byl materiál špatně zvolen, mohlo by například při zavádění materiálu, dojít k závažnému poškození hnacího prvku. Z tohoto důvodu jsem při výběru materiálu běhounu zvažoval i schopnost daného materiálu, odolávat mechanickému poškození otěrem, či ostrými hranami.



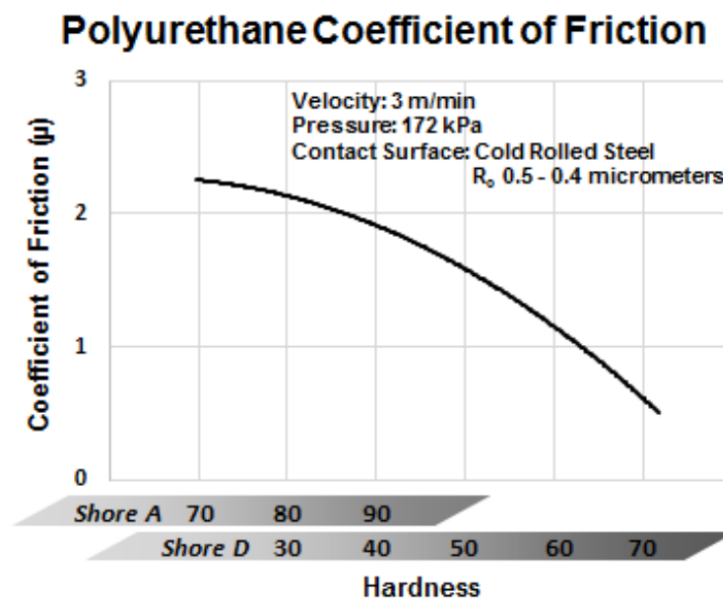
Obrázek 13 - Hnací kolo od společnosti Blickle, a.s.[8]

Na základě výše popsaného průzkumu trhu jsem hlouběji začal zkoumat katalog společnosti Blickle, a.s. Běhouny jejich pohonných koleček jsou vyhotoveny z polyuretanu s označením Blickle Extrathane®. Ten disponuje pro můj případ zajímavými vlastnostmi, jako jsou vysoká otěruvzdornost, vysoká odolnost proti proříznutí a tvrdost 92 Shore A. Dále materiál běhounu nebarví povrchy, s nimiž je v kontaktu a je odolný i vůči působení agresivních látek.

### 5.2.1 Závislost koeficientu smykového tření na tvrdosti polyuretanu

Na základě dalšího studia dostupných zdrojů jsem dospěl k závěru, že mechanická odolnost a současně vysoká frikce jsou protichůdné požadavky. Musel jsem tedy bilancovat mezi těmito dvěma faktory a rozhodnout se, kterému z nich přiřadím větší váhu a který se rozhodnu kompenzovat jinou cestou.

Vysoká mechanická odolnost polyuretanového hnacího elementu přímo souvisí s jeho tvrdostí. Tvrdosti hnacích elementů, se kterými jsem se setkal během svého průzkumu trhu, byly převážně dvě následující hodnoty 75 Shore A nebo 92 Shore A.



Obrázek 14 - Závislost koeficientu tření polyuretanu s ocelí v souvislosti s tvrdostí polyuretanu [9]

Následně jsem se zamyslel nad otázkou, jestli existuje nějaká závislost tvrdosti polyuretanu na součiniteli smykového tření. Jak ukazuje diagram výše, který je převzatý ze stránek jednoho ze zahraničních výrobců tohoto polymeru, součinitel smykového tření závisí na tvrdosti polyuretanu nepřímo. Lze tedy konstatovat, že čím tvrdší polyuretan zvolím, tím horší budou frikční vlastnosti. Naopak, čím měkčí materiál zvolím, tím více se bude daný materiál mechanicky opotřebovávat, ale dosáhnu snazšího vyvození třecí síly.

Pro potřeby dalších úvah a návrhů jsem se rozhodl pro tvrdší pohonný element. Konkrétně šlo o kolo s označením GTHN 70 20H7 G15 s tvrdostí 92 Shore A od společnosti Blickle a.s.[8]. Toto rozhodnutí jsem učinil na základě mých předchozích úvah, kdy jsem usoudil, že zvolené kolo pravděpodobně vykáže ve výsledku větší životnost a tím pozitivně ovlivní potřebu do zařízení servisně zasahovat. Ovšem ztracené třecí schopnosti na úkor vyšší odolnosti během času, budu muset nějakým způsobem kompenzovat. Dle vztahu (1) ze stránky 20 této práce, je zvýšení velikosti třecí síly v kontaktu dvou povrchů možné realizovat, při zachování konstantního součinitele tření, pouze navýšením přitlačné (normálové) síly.

## 5.2.2 Zhodnocení vlivu materiálu běhounu na návrh zařízení

Pro výpočet potřebného výkonu pohonu a samotné přítláčné síly bylo potřeba stanovit, jaké hodnoty součinitele smykového tření dokáže frikční dvojice, tedy vsázka a pohonný element, dosáhnout. Vsázku, jak již bylo výše popsáno, můžeme pro toto zařízení, ve většině případů a za zavedení potřebných předpokladů aproximovat jako ocelovou tyč. Pohonný element uvažujeme, jako kolo s polyuretanovým běhounem s tvrdostí 92 Shore A. Z výše uvedeného digramu ze stránek výrobce polyuretanu, vyplývá, že koeficient tření, by se měl pohybovat zhruba kolem hodnoty  $f_{obecné} = 1,6[-]$ . Po zavedení součinitele bezpečnosti proti prokluzu  $b_k = 2 [-]$ . Platí následující vztah:

$$f_{min} = \frac{f_{obecné}}{b_k} [-] \quad (3)$$

Kde po dosazení známých hodnot dostanu velikost minimálního součinitele smykového tření:

$$f_{min} = \frac{1,6}{2} \quad (4)$$

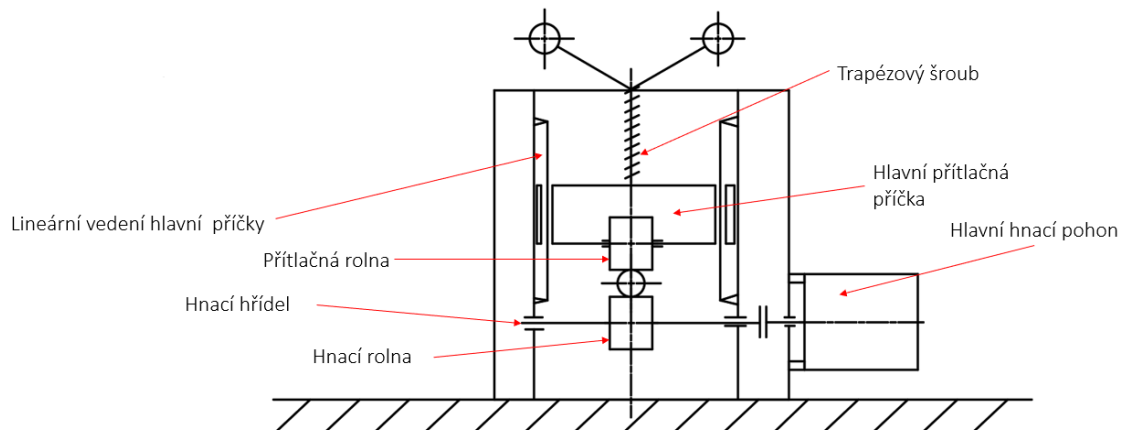
Výsledkem je vyčíslená hodnota součinitele smykového tření:

$$f_{min} = 0,8 [-] \quad (5)$$

Zjištěnou hodnotu jsem tedy dále používal při návrhu pohonu zařízení, výpočtu potřebné přítláčné síly a od toho odvinutému dimenzování celé konstrukce. Hodnotu  $f_{min} = 0,8 [-]$  a úroveň bezpečnosti proti prokluzu jsem diskutoval se zadavatelem a došli jsme k vzájemné shodě.

## 6 Hrubý návrh konstrukce

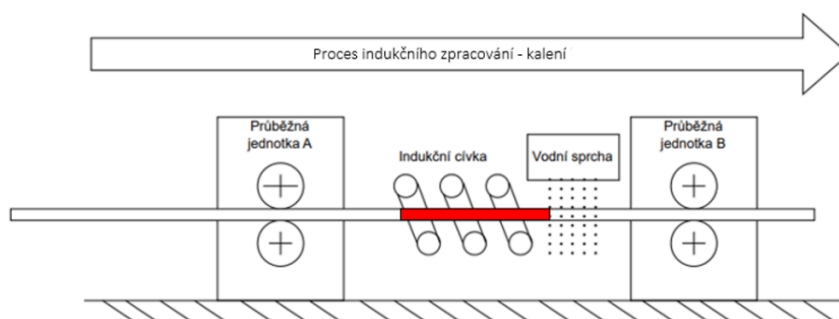
Dalším krokem bylo navržení hrubého řešení zařízení. V této fázi návrhu jsem se mohl opřít jen o znalosti získané na základě průzkumu trhu, při koncepčních úvahách a prvotních výpočtech. Svou ideu pojetí zařízení, jsem zpracoval do jednoduchého schématu, které jsem následně prezentoval zadavateli a po jehož odsouhlasení jsem mohl začít pracovat na samotném detailním konstrukčním návrhu celého zařízení.



Obrázek 15 - Schéma konceptu pojetí zařízení

Zadavateli jsem vysvětlil, s jakými technickými otázkami jsem se při návrhu tohoto konceptu potýkal a jaké předpoklady jsem zavedl. Dále jsem s ním prokonzultoval, jak dobře bude tento koncept aplikovatelný na požadovanou technologickou operaci. Po vzájemné diskuzi jsme dospěli k závěru, že aby bylo možné tímto způsobem vsázku podávat plynule po celou dobu procesu, budou muset zařízení pracovat v páru. Jedno zařízení bude v tomto uspořádání označeno jako zaváděcí jednotka a druhé zařízení bude označeno jako vyváděcí jednotka. Jiné zavedené označení, je také „A jednotka“ pro zaváděcí jednotku a „B jednotka“ pro vyváděcí jednotku. Přesto je možné konstatovat, že se jedná o dvě shodné jednotky. Názorné schéma tohoto uspořádání je na obrázku níže.

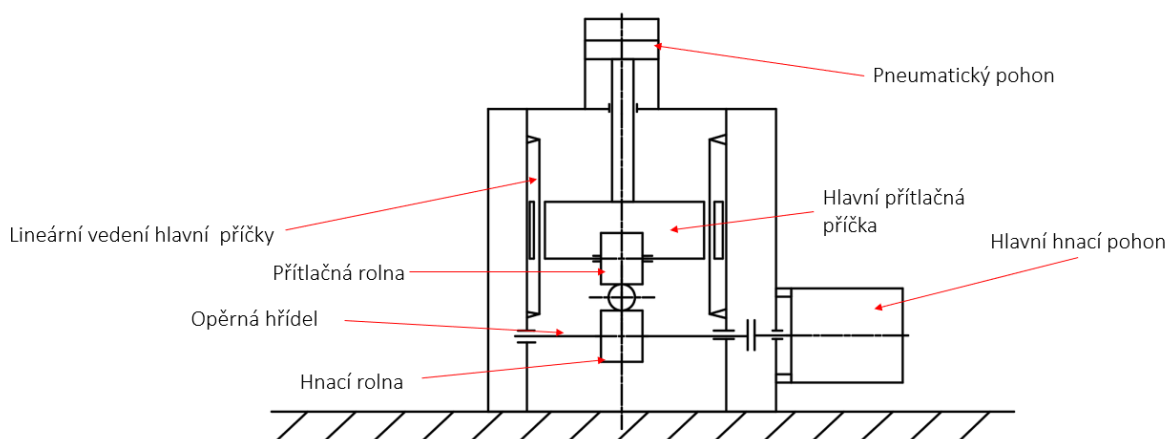
Schéma ukazuje, jakým způsobem lze za použití dvou průběžných jednotek provádět technologickou operaci kalení s využitím středofrekvenčního zdroje, který ve schématu reprezentuje indukční cívka. Vsázka je zavedena do jednotky A, která ji následně začne podávat indukční cívkou. Poté co vsázka projde indukční cívkou vstoupí do druhé jednotky a ta si ji začne pomalu přebírat až dokud neprojde induktorem vsázka celá a technologická operace není dokončena.



Obrázek 16 - Schéma uspořádání jednotek při technologickém procesu kalení

## 6.1 Alternativní koncept

Po konzultaci se zadavatelem byl zpracován i koncepční návrh alternativního řešení s použitím pneumatického pohonu, jakožto hlavního mechanismu vyvozování přitlačné síly. Tento koncept byl zpracován pro situaci, že by došlo k přehodnocení požadavků na zařízení neboli mobilita a prostorová nezávislost by ustoupily do pozadí. K realizaci tohoto konceptu nakonec nebylo přistoupeno, ale do budoucna o něm lze uvažovat jako o jednom z možných způsobů modernizace zařízení a jeho dalšího vývoje.

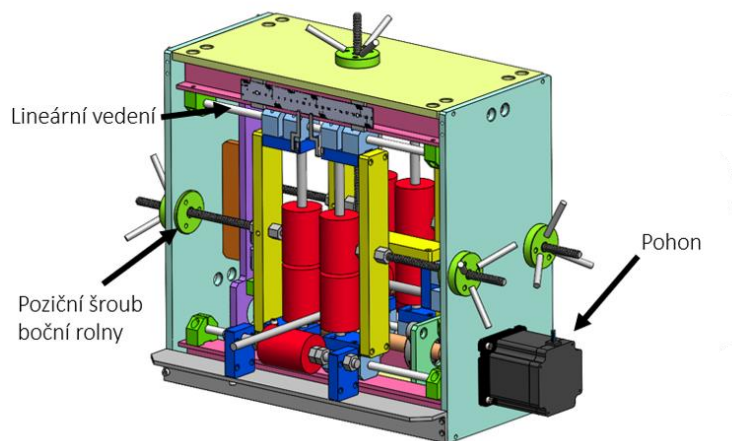


Obrázek 17 - Schématické znázornění alternativního konceptu pojetí zařízení

Pro budoucí přebudování na tento koncept, jak je ze schématu vidět, budou zásahy do zástavby zařízení jen nepatrné, a proto lze o tomto konceptu hovořit jako o jednom ze způsobů snadné modernizace již stávajícího zařízení. Nevýhodou by však bylo, že by k zařízení musely být připojeny prvky pro práci se stlačeným vzduchem jako jsou například elektromagnetické ventily, hadice spojky a různé přechodky.

## 7 Popis konstrukčního řešení

Navržený koncept se skládal z několika klíčových konstrukčních uzlů, které byly schematicky naznačeny a popsány na obrázku 14. Konkrétně šlo o hlavní pohon, rám zařízení, hlavní hnací rolnu, hlavní přítlačnou rolnu, hlavní přítlačnou příčku, centrální trapézový šroub, lineární vedení pohybu hlavní příčky a hnací hřídel. Tyto hlavní konstrukční uzly se staraly především o to, aby zařízení dokázalo plnit svou funkci, podávat vsázku induktorem cívky. Jak se ale následně ukázalo, pro správné fungování zařízení jako celku, bylo potřeba původní koncept rozšířit o doprovodné vodící systémy. Po implementaci těchto doplňkových systémů vznikl návrh komplexního zařízení, které dokáže splnit požadavky zadavatele.

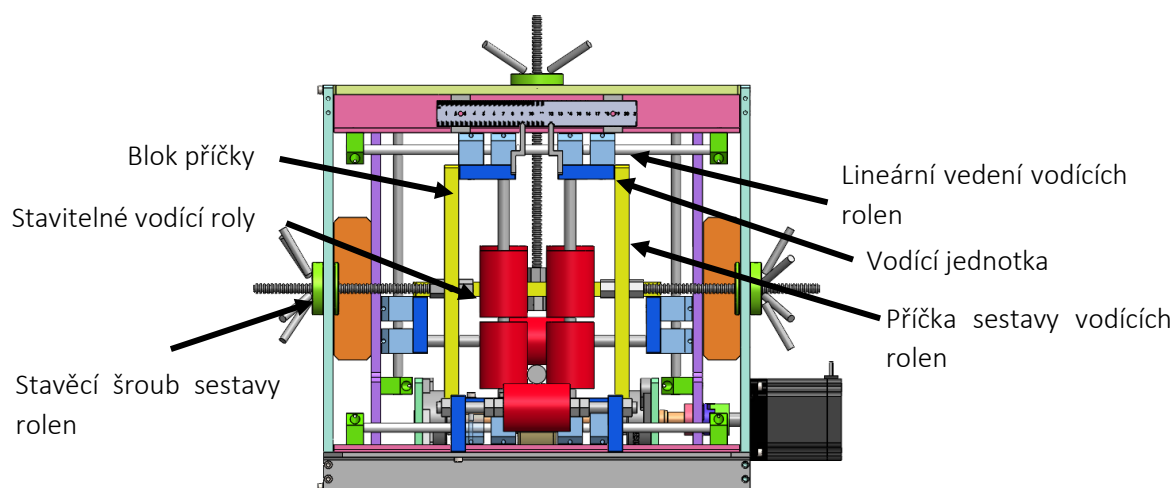


Obrázek 18 - CAD model navrženého řešení jednotky

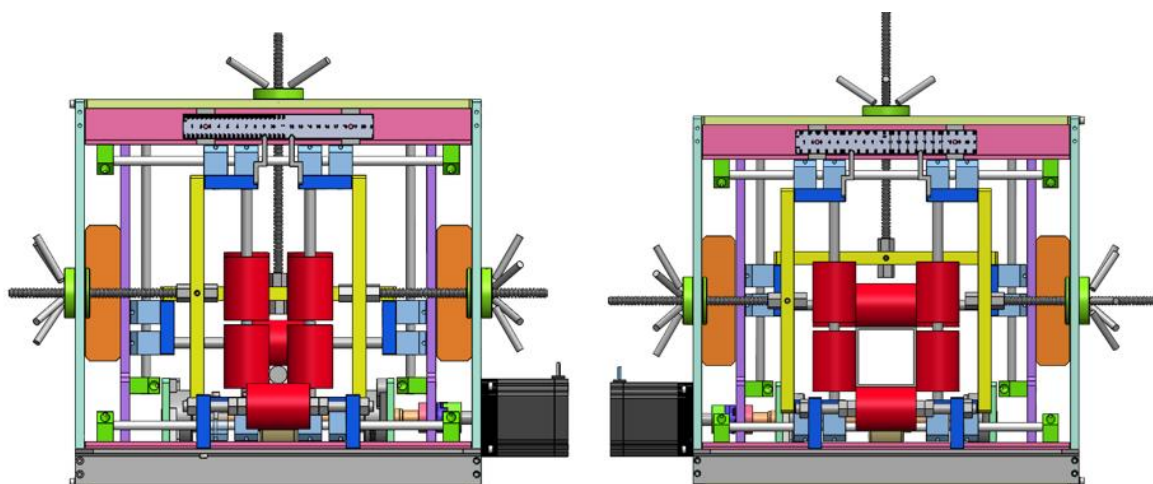
K primárním konstrukčním uzlům jsem tedy musel přidat ještě sekundární konstrukční uzly, které podpoří funkci těch primárních a které se postarají o zavedení materiálu do jednotky, jeho vedení v ní a jeho následné vyvedení. Jelikož byl součástí zadání požadavek na možnost zpracovávat vsázky různých průřezů, bylo nutné v rámci konstrukčního návrhu také vymyslet způsob, jak tento požadavek technicky realizovat a zkombinovat tak potřebu vést materiál jednotkou a zároveň mít možnost toto vedení libovolně přizpůsobit zpracovávanému typu vsázky. Řešením, jak se s touto výzvou popasovat, s nímž jsem přišel, bylo udělat stavitelnou jak přítlačnou příčku, tak i vodící rolny, aby si je obsluha dokázala přizpůsobit dle aktuálně zpracovávané vsázky.

## 7.1 Systém stavitelných rolen

Řešením tohoto požadavku, bylo implementování stavitelných vstupních a výstupních sestav rolen. Ty se skládají z lineárního vedení uloženého v rámu, vodících jednotek, jedné příčky, dvou bloků příčky a rolen, které jsou uloženy mezi bloky na hřídeli příčky. Celá sestava se tedy dokáže pohybovat po lineárních vedeních a její pozici lze nastavit pohybovým šroubem. Toto pojetí mi umožní pokaždé zajistit spolehlivé vedení všech průřezů specifikovaných v zadání. Po zavedení vstupními rolnami pokračuje vsázka hnanou částí jednotky, za níž následuje další sestava rolen, která pokračuje ve vedení vsázky dál směrem z jednotky.



Obrázek 19 - Čelní pohled na jednotku s popisem sestavy stavitelných vodících rolen



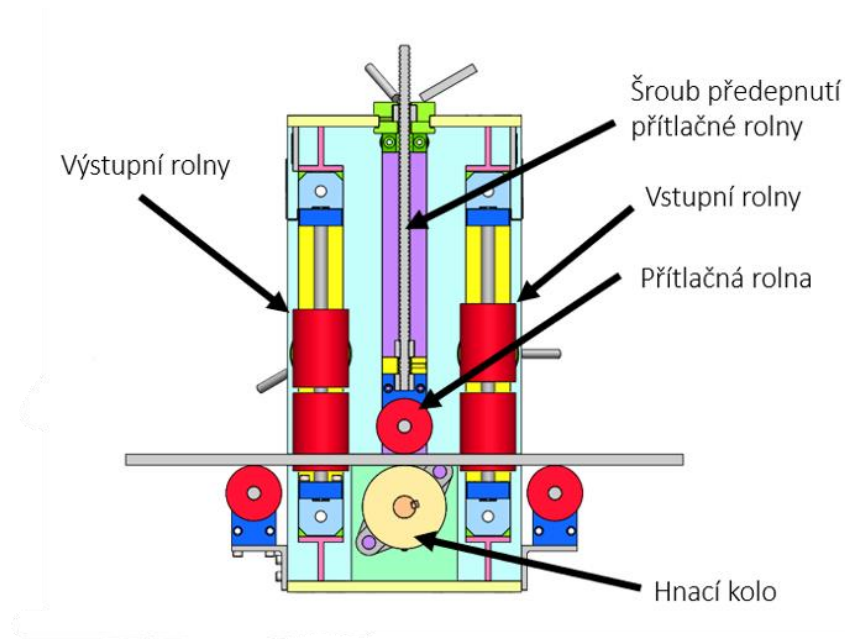
Obrázek 20 - Čelní pohledy na jednotky demonstrující univerzálnost stavitelného systému rolen

Na levé části obrázku je vyobrazen příklad zpracování vsázky malého kruhovitého průřezu a v pravé části obrázku je zase tenkostěnná vsázka obdélníkového průřezu větších rozměrů.



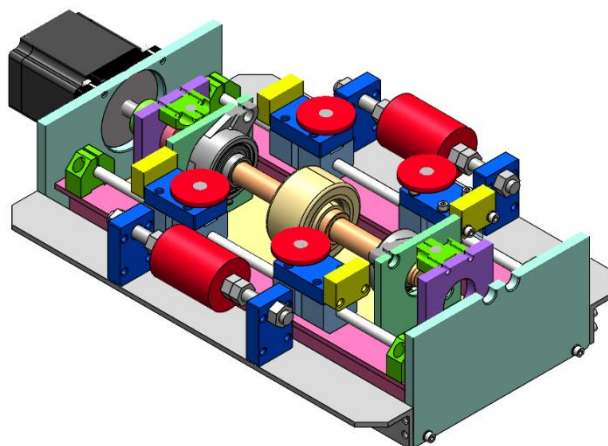
## 7.2 Hnaná část jednotky

Hnanou částí jednotky je myšlena část, kde dochází ke kontaktu vsázky a akčního elementu, tedy hnacího kola. Tato část má jediný úkol, uvést vsázku do pohybu požadovanou rychlostí. Aby toho mohlo být dosaženo, je potřeba vyvodit mezi vsázkou a hnacím kolem dostatečnou přitlačnou sílu a dopravit do tohoto místa potřebný výkon. O to první se stará přitlačná hrazda s přitlačnou rolnou, které díky síle vyvozené v pohybovém šroubu působí na vsázku a přitlačují ji tak k povrchu hnacího kola. Přitlačný šroub se i s hrazdou posouvá a matice je otočně uložena v rámu. Matice je vybavena madly pro vyvození většího momentu při nastavování potřebného přitlaku.

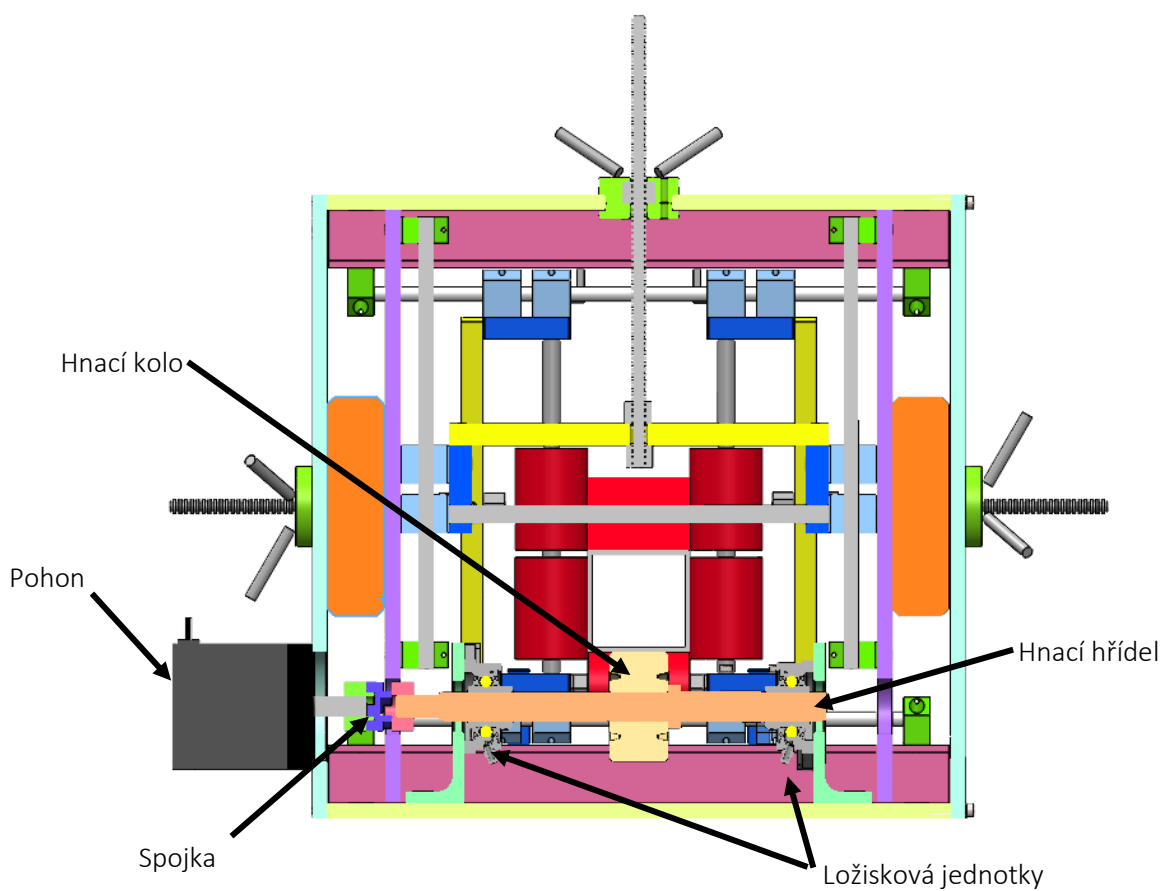


Obrázek 21 - Řez jednotkou a popisem důležitých konstrukčních uzlů

Výkon je na hnací kolo dopravován skrze hnací hřídel, ta je s pohonem spojena Oldhamovou spojkou a sama je uložena v ložiskových jednotkách v rámu zařízení. Hnací kolo je na hřídeli opřeno o osazený průměr a proti axiálnímu posuvu zajištěno pojistným kroužkem. Přenos kroutícího momentu mezi hřídeli a hnacím kolem je zajištěn pomocí spojení perem.



Obrázek 22 – 3D řez zobrazující pohonnou soustavu



Obrázek 23 - Řez jednotkou s popisem pohonné soustavu

### 7.3 Rám jednotky

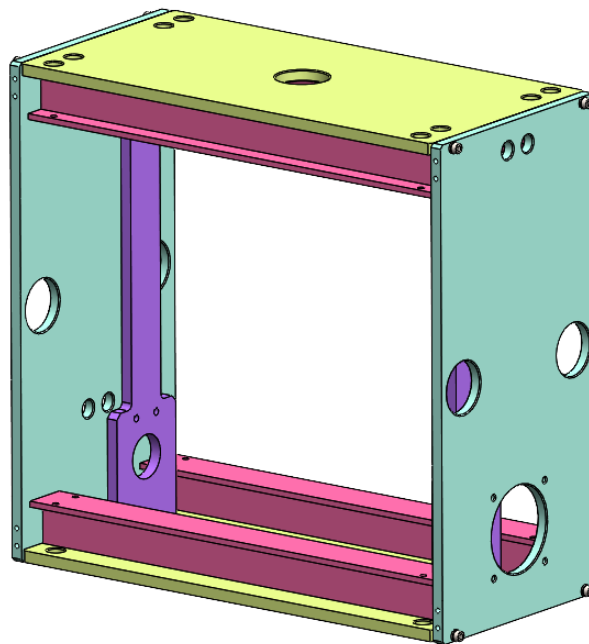
Rám představuje nosnou konstrukci zařízení, k níž jsou připojeny dílčí celky, které následně společně s rámem vytvářejí technické zařízení. Rám má zásadní vliv na tuhost celého zařízení, a proto je důležité, aby byl navrhnut tak, aby odolával zatížením, která na něj působí, a aby deformace v něm vznikající byly nevyšší pružné nikoliv trvalé.

V případě mého návrhu průběžné jednotky je rám koncipován jako rám uzavřený, s vnitřními výztuhami, které jednak vytvářejí prostor pro připojení dílčích celků a za druhé dále zvyšují jeho tuhost. Dílčí celky připojené k rámu nebo jeho výztuhám jsou například vodící systémy rolen, ložiskové jednotky a další.

Rám byl navrhnut z plechu tloušťky 10 mm a oceli S235JR. Polotovary pro jednotlivé dílce rámu byly výpalky, které se následně třískovým obráběním opracovaly do požadovaných rozměrů a geometrie. Rám je sestaven z několika desek a výztuh pro jejichž spojení jsem využil šroubových nebo svarových spojů.

Při návrhu rámu bylo důležité mít na paměti montáž rámu samotného, ale i zařízení jako celku. Jednotlivé otvory v deskách, tedy v některých případech, mimo své hlavní funkce musely umožnit i průchod jiné součásti tak, aby bylo možné zařízení zkompletovat.

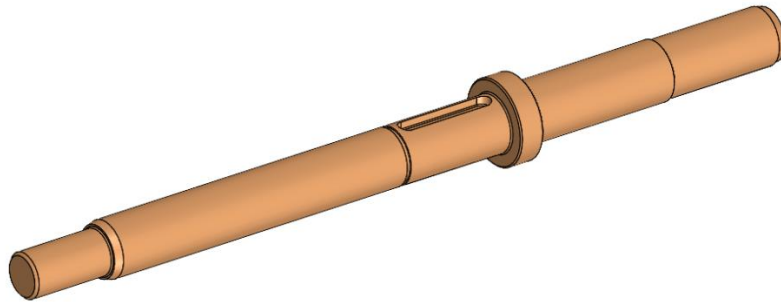
Hmotnost jednotky, nebyla dle konzultace se zadavatelem a povahy jednotky samotné, zásadně omezujícím faktorem a větší důraz byl tedy kladen na požadavek, aby bylo zařízení dostatečně tuhé. Navíc vyšší hmotnost jednotky pomáhá, protože má nepopíratelně kladný dopad na stabilitu jednotky při fungování. Mohla by se nabízet otázka, zdali větší hmotnost jednotky nebude mít negativní vliv na mobilitu zařízení. Tento faktor byl také konzultován se zadavatelem, který si horní limit hmotnosti nastavil tak aby bylo s jednotkou možno manipulovat za použití manipulačních zařízení, jimiž je již pracoviště indukčního ohřevu vybaveno. Horní limit hmotnosti byl omezen na 90 [kg] čisté váhy jednotky.



Obrázek 24 - 3D model sestavy rámu jednotky

## 7.4 Hnací hřídel

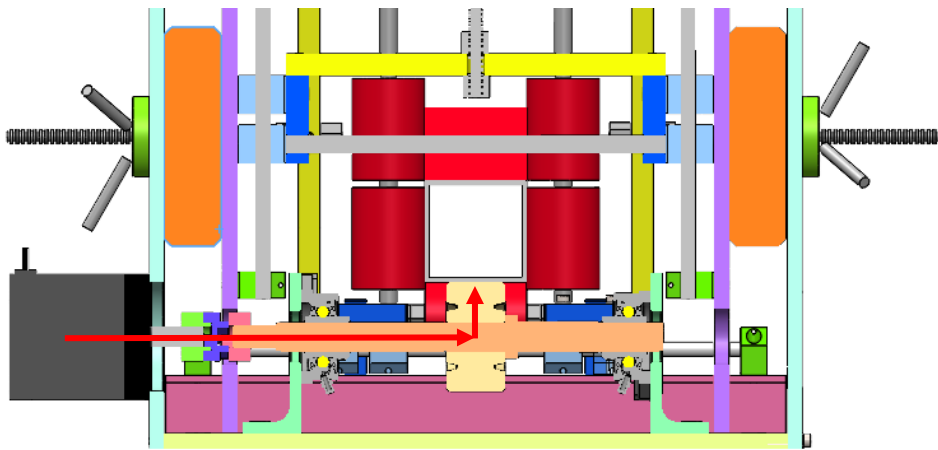
Hnací hřídel je jednou z klíčových komponent celé jednotky. Má několik důležitých funkcí a je zatěžována jak kroutícím, tak ohybovým momentem. Jelikož je hřídel zatěžována jak ohybem, tak krutem, bylo nutné před zvolením jejího materiálu, hřídel zkontrolovat oproti mezi kluzu. Její tuhost je také důležitá pro správné fungování zařízení a byla ověřena vůči požadavku zadavatele.



Obrázek 25 - 3D model hnací hřídele jednotky

### 7.4.1 Funkce hnací hřídele

Jednou z funkcí hnací hřídele je přenos výkonu od pohonu do místa kontaktu hnacího kola a vsázky. Výkon prochází z pohonu, kde je generován působením elektrické energie, skrze spojku přes hřídel a kolo až do místa kontaktu, kde je měněn na pohyb vsázky. Spojení hřídele a hnacího kola, zajišťující přenos kroutícího momentu mezi těmito dvěma komponentami, je realizováno prostřednictvím pera. Jelikož nejsou v axiálním směru očekávána žádná zatížení, je hnací kolo na hřídeli v tomto směru ustaveno pouze za pomoci pojistného kroužku a osazení.



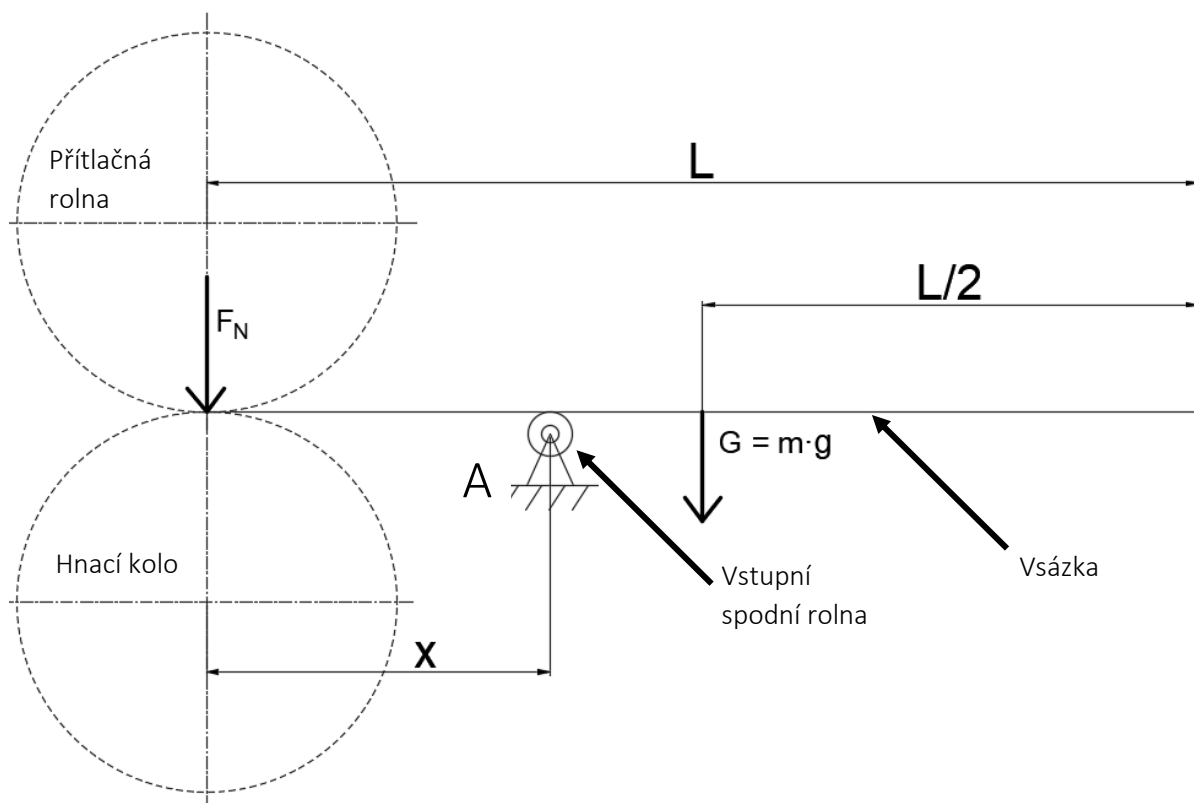
Obrázek 26 - Schématické znázornění toku výkonu jednotkou

Dalším pohledem na funkci hnací hřídele je fakt, že hřídel musí odolávat ohybu, který vyvodí přítlačná síla. Hřídel je podepřena na dvou podporách, z nichž jedna současně zachytává radiální zatížení a prostřednictvím stavěcího šroubu zajišťuje hřídel i v axiálním směru. V druhé podpoře je následně hřídel uložena tak, že tato podpora zachytává pouze radiální zatížení. Jde tedy o staticky určitý případ nosníku na dvou podporách. Při návrhovém výpočtu hřídele jsem z tohoto modelu vycházel. Cílem návrhového výpočtu bylo zvolit pro hřídel vhodný materiál, který by dokázal vyhovět stanoveným požadavkům.

### 7.4.2 Výpočtový návrh hnací hřídele dle limitního zatěžovacího stavu

Hnací hřídel je v jednotce namáhána ohybem i krutem. Ohyb je způsoben především přítláčnou silou a vlastní tíhou vsázky. Namáhání krutem je zase způsobeno přenosem kroutícího momentu z pohonu do místa kontaktu vsázky a akčního členu. Cílem výpočtu bylo navrhnout vhodný materiál hnací hřídele tak, abych dokázal vyhovět požadované bezpečnosti a hřídel byla kompatibilní se zvoleným hnacím kolem.

Prvním krokem, návrhového výpočtu hnací hřídele, bylo definování zátěžného stavu pro stanovení minimální nutné přítláčné síly „ $F_p$ “. Limitní zátěžný stav jsem popsal jako situaci, kdy maximální vsázka popsaná v zadání, bude vložena do jednotky a bude podepřena pouze vstupní spodní rolnou (bod A). V tuto chvíli je přítláčná rolna zatížena silou, která je závislá na váze vsázky, její délce a pozici opěrné vstupní rolny. Vzdálenost vstupní rolny od přítláčné rolny jsem si označil jako „ $x$ “, délku vsázky jako „ $L$ “ a váhu vsázky jako „ $m$ “. Situace je schematicky zobrazena na obrázku 27 níže.



Obrázek 27 - Schéma limitní situace zatížení

Konkrétní hodnoty ze zadání jsou maximální hmotnost vsázky  $m = 15$  [kg], maximální délka vsázky  $L = 2$  [m], vzdálenost  $x = 0,135$  [m], součinitel smykového tření  $f_{min} = 0,8[-]$ , průměr hnacího kola  $D = 0,075$  [m], vzdálenost ložisek  $L_1 = 0,2$  [m] a gravitační zrychlení uvažuji jako  $g = 9,81$  [ $m \cdot s^{-2}$ ].

Při výpočtu vyjdu z rovnováhy sil k bodu A. V těžišti vsázky působí síla  $G$ , která reprezentuje vlastní tíhu vsázky. Vypočítá se takto:

$$G = m \cdot g \text{ [N]} \quad (6)$$

Po dosazení známých hodnot:

$$G = 15 \cdot 9,81 \quad (7)$$

Výsledná číselná hodnota síly  $G$  je:

$$G = 147,15 \text{ [N]} \quad (8)$$

Nyní vyjádřím obecnou podmínku rovnováhy momentů k bodu A:

$$\sum M_{iA} = 0 \quad (9)$$

Pro mou konkrétní situaci lze tuto rovnici rozepsat jako:

$$G \cdot (L - x - 0,5 \cdot L) - F_N \cdot x = 0 \quad (10)$$

Odkud si vyjádřím normálovou sílu  $F_N$  jako:

$$F_N = \frac{G \cdot (L - x - 0,5 \cdot L)}{x} \text{ [N]} \quad (11)$$

Po dosazení hodnot vypadá rovnice takto:

$$F_N = \frac{147,15 \cdot (2 - 0,135 - 0,5 \cdot 2)}{0,135} \quad (12)$$

Výsledná hodnota normálové síly je:

$$F_N = 942,85 \text{ [N]} \quad (13)$$

Proto, aby došlo k rozpohybování vsázky při zavádění, je v rovnovážném stavu tíhy vsázky a přítlaku rolny ještě potřeba, vyvodit určitou sílu, již označím jako sílu  $F_y$ , a která vyvodí na povrchu vsázky potřebnou třecí sílu. Hodnotu síly  $F_y$  následně přičtu, k již vypočítané normálové síle, a jejich součtem získám výslednou přítlačnou sílu.

$$F_P = F_N + F_y [N] \quad (14)$$

Kde  $F_y$  spočítám jako:

$$F_y = m \cdot g [N] \quad (15)$$

Po dosazení:

$$F_y = 15 \cdot 9,81 \quad (16)$$

A dostanu hodnotu síly  $F_y$ :

$$F_y = 147,15 [N] \quad (17)$$

Dosazením této hodnoty a hodnoty síly  $F_N$  do vztahu 14 dostanu:

$$F_P = 982,85 + 147,15 \quad (18)$$

Odkud hodnota síly  $F_P$  vyjde:

$$F_P = 1090 [N] \quad (19)$$

Když znám sílu  $F_P$ , jsem schopný si ze vztahu pro třecí sílu vyjádřit velikost třecí síly  $F_T$  vzniklé na povrchu vsázky působení přítlačné síly  $F_P$ .

Vyjdu ze vztahu pro třecí sílu:

$$F_T = F_N \cdot f_{min} [N] \quad (20)$$

Po dosazení:

$$F_T = 1090 \cdot 0,8 \quad (21)$$

Což vychází následovně:

$$F_T = 872 [N] \quad (22)$$

Nyní si musím vypočítat, jaký kroutící moment, bude muset motor dodávat, aby se vsázkou dokázal pohybovat pod přítlakem. Vyjdu z rovnováhy sil na obvodu hnacího kola a řeknu, že motor bude muset na obvodu kola vyvodit obvodovou sílu stejnou nebo větší než  $F_T$ . Pokud budu uvažovat, že  $F_o$ , tedy síla vyvozená na obvodu kola, je totožná se silou  $F_T$  a působí rovněž na obvodu hnacího kola mohu psát toto:

$$M_k = F_T \cdot \frac{D}{2} [N \cdot m] \quad (23)$$

Kde  $M_k$  je kroutící moment potřebný k pohybu vsázky, dále  $F_T$  je již spočítaná třecí síla na povrchu vsázky a  $D$  představuje průměr hnacího kola v metrech.

Pokud do výše uvedeného vztahu dosadím dostanu následující rovnici:

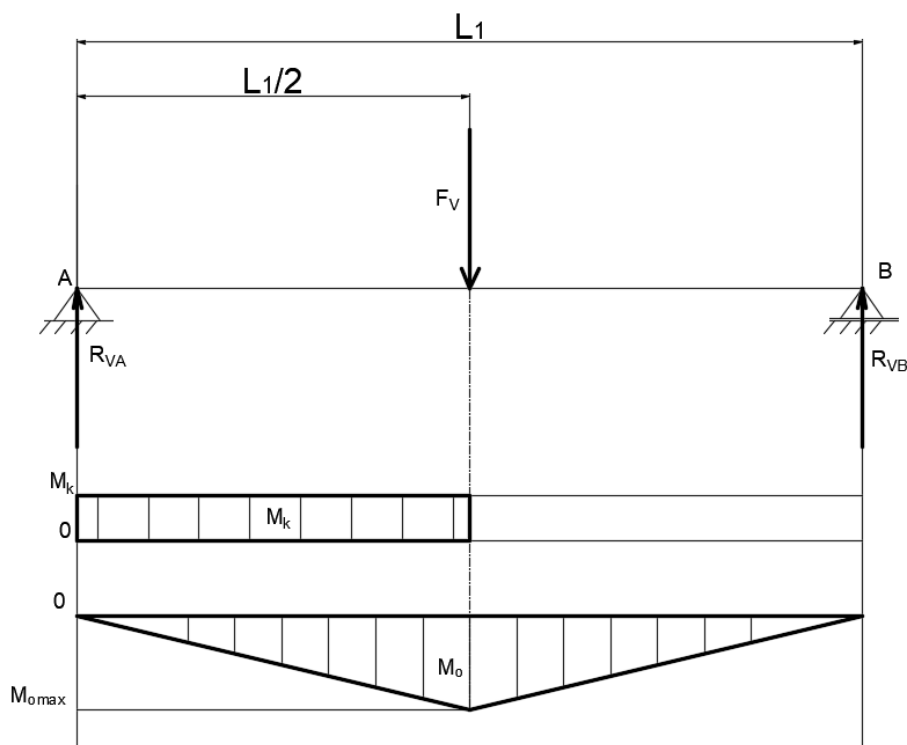
$$M_k = 872 \cdot \frac{0,075}{2} \quad (24)$$

Čímž dostávám hodnotu  $M_k$  rovnu:

$$M_k = 32,7 [N \cdot m] \quad (25)$$



Po výpočtu hodnoty přenášeného kroutícího momentu  $M_k$ , jsem následně začal řešit maximální ohybový moment, který na hřídeli generuje výslednice přítláčné síly  $F_p$  a třecí síly  $F_T$  kterou jsem si označil jako  $F_V$ . Úlohu jsem koncipoval jako staticky určitý nosník na dvou podporách, na který působí výše popsaná výslednice. Situace je schematicky zobrazena na obrázku níže.



Obrázek 28 - Schéma nahrazení hnací hřídele nosníkem na dvou podporách

Sílu  $F_V$  vypočítám jako výslednici sil  $F_T$  a  $F_p$ :

$$F_V = \sqrt{F_T^2 \cdot F_p^2} [N] \quad (26)$$

Po dosazení:

$$F_V = \sqrt{872 \cdot 1090} \quad (27)$$

Hodnota síly  $F_V$  je tedy rovna:

$$F_V = 1395,88 [N] \quad (28)$$

Nyní hledám reakce v podporách A a B. Vyjdu z rovnováhy sil ve směru síly  $F_V$ , který si označím jako směry:

$$\sum F_{iy} = 0 \quad (29)$$

Po rozepsání dostanu:

$$F_V - R_{VA} - R_{VB} = 0 \quad (30)$$

Odkud si vyjádřím  $R_{VA}$  jako:

$$R_{VA} = F_V - R_{VB} [N] \quad (31)$$

Pokračuji momentovou podmínkou k bodu A:

$$\sum M_{iA} = 0 \quad (32)$$

Tu rozepíšu takto:

$$F_V \cdot L_1 - R_{VB} \cdot 2 \cdot L_1 = 0 \quad (33)$$

Vyjádřím  $R_{VB}$ :

$$R_{VB} = \frac{F_V \cdot L_1}{2 \cdot L_1} [N] \quad (34)$$

Dosadím hodnoty:

$$R_{VB} = \frac{1395,8 \cdot 0,2}{2 \cdot 0,2} \quad (35)$$

A dostanu výsledek, že reakce  $R_{VB}$  se rovná:

$$R_{VB} = 697,94 [N] \quad (36)$$

Pokud toto dosadím do vztahu 31 zjistím, že  $R_{VB}$  se rovná  $R_{VA}$ . Dále pokračuji výpočtem maximálního ohybového momentu.

Pro maximální ohybový moment platí v této situaci následující vztah:

$$M_{omax} = R_{VB} \cdot \frac{L_1}{2} [N \cdot m] \quad (37)$$

Když do tohoto vztahu dosadím:

$$M_{omax} = 697,94 \cdot \frac{0,2}{2} \quad (38)$$

Dostanu výslednou hodnotu maximálního ohybového momentu:

$$M_{omax} = 69,794 [N \cdot m] \quad (39)$$

Když znám kroutící moment i ohybový moment, které zatěžují hřídel mohu si vyčíslit dílčí napětí. Nejprve si vyčísím napětí v ohybu. Pro to platí následující obecný vztah:

$$\sigma_0 = \frac{M_{omax}}{W_0} [MPa] \quad (40)$$

Kde  $W_0$  je kvadratický moment průřezu hřídele. Pokud vztah dále upravím dostanu:

$$\sigma_0 = \frac{M_{omax}}{\frac{\pi \cdot d_k^3}{32}} \quad (41)$$

Kde  $d_k$  uvažuji kritický průměr hřídele, který si definuji na základě následující úvahy: Díky vybranému hnacímu kolu vím, jaký průměr hřídele musím volit v místě pod hnacím kolem, dále také vím, že v tomto místě bude hřídel zeslabena drážkou pro pero. Jelikož jsou drážky pro pero normalizovány dokážu si snadno dopočítat kritický průměr. Představím si kružnici vetknutou do průřezu hřídele pod perem a její průměr je právě kritickým průměrem. Tento průměr si označím jako  $d_k$  a jeho hodnotu si na základě informací ze strojnických tabulek spočítám z průměru hřídele a hloubky drážky v hřídeli. Výsledná hodnota je  $d_k = 16,5$  [mm].

Pokud dosadím do vztahu (41) dostanu tento vztah:

$$\sigma_0 = \frac{69\,794}{\frac{\pi \cdot 16,5^3}{32}} \quad (42)$$

Jehož výsledkem je hodnota ohybového napětí:

$$\sigma_0 = 158,258 [MPa] \quad (43)$$

Ve výpočtu mě dále zajímá hodnota  $\tau_k$ , což je napětí v krutu způsobené kroutícím momentem  $M_k$ . Toto napětí lze obecně vyjádřit jako:

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} [MPa] \quad (44)$$

Kde  $W_k$  je kvadratický moment průřezu v krutu. Po dalším rozepsání předchozího vztahu dostanu:

$$\tau_k = \frac{M_k}{\frac{\pi \cdot d_k^3}{16}} \quad (45)$$

Pokud do tohoto vztahu dosadím dostanu:

$$\tau_k = \frac{32,7}{\frac{\pi \cdot 16,5^3}{16}} \quad (46)$$

Což vychází:

$$\tau_k = 37,07 [MPa] \quad (47)$$

Nyní, když znám obě napětí, mohu vypočítat napětí redukované:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 4 \cdot \tau_k^2} \quad (48)$$

Pokud do tohoto vztahu dosadím:

$$\sigma_{red} = \sqrt{158,258^2 + 4 \cdot 37,07^2} \quad (49)$$

Dostanu hodnotu výsledného redukovaného napětí:

$$\sigma_{red} = 174,76 [MPa] \quad (50)$$

Když znám hodnotu redukovaného napětí dokážu stanovit i minimální mez kluzu vhodného materiálu.

$$Re_{min} = \sigma_{red} \cdot s [MPa] \quad (51)$$

Kde  $s$  představuje součinitel bezpečnosti vůči mezi kluzu zadaný zadavatelem. Hodnota tohoto součinitele byla stanovena jako  $s = 2[-]$ .

$$Re_{min} = 174,76 \cdot 2 \quad (52)$$

Výsledek tedy je:

$$Re_{min} = 349,2 [MPa] \quad (53)$$

Pro hledaný materiál musí platit následující vztah:

$$Re_{min} \leq Re_{skut} \quad (54)$$

Dle hodnot ve strojnických tabulkách volím ocel s označením ČSN 12 060, jejíž mez kluzu, dosahuje hodnoty 380 [MPa]. [10]

## 7.5 Hlavní pohon

Potřebný kroutící moment, k němuž jsem došel ve svých výpočtech, byl uvažován pro limitní situaci, která by na skutečném zařízení, za normálních podmínek neměla nastat, přesto byl požadavek zadavatele takový, že zařízení musí tuto limitní situaci ustát a musí být z hlediska svých dimenzí na tuto situaci připraveno.

Po konzultaci se zadavatelem, kdy jsme se dohodli, že nechtěnému klopení vlivem převisu vsázky bude zabráněno implementací delší podpůrné tratě, před i za jednotkami. Při uvažování těchto předpokladů jsem jako hlavní pohon zvolil krokový motor s označením ST8918M4508\_A.

Jedná se o standartní krokový motor od výrobce Nanotec Electronic GmbH & Co. KG. Tento motor má přírubu velikosti NEMA 34 a podporuje jak unipolární, tak bipolární zapojení. Z důležitých parametrů motoru bych vyzvedl přídržný moment 3,6 [N·m]. [11]

SPECIFICATION	CONNECTION	UNIPOLAR OR		BIPOLAR		PERMISSIBLE RADIAL+AXIAL FORCE ROTOR SPRING-MOUNTED IN AXIAL DIRECTION	
		BIPOLAR-1 WINDING	SERIAL	PARALLEL			
VOLTAGE (VDC)		2.7					
AMPS/PHASE		4.5	3.18	6.36			
RESISTANCE/PHASE (Ohms)@25°C		0.6±15%	1.2±15%	0.3±15%			
INDUCTANCE/PHASE (mH) @1KHz		1.9±20%	7.6±20%	1.9±20%			
HOLDING TORQUE (Nm) [lb-in]		2.5 [22.12]	3.6 [31.86]	3.6 [31.86]			
DETECT TORQUE (Nm) [lb-in]		0.12 [1.062]					
STEP ANGLE (°)		1.8					
STEP ACCURACY (NON-ACCUM)		± 5%					
ROTOR INERTIA (Kg-m²) [lb-in²]		1.0x10⁻⁴ [0.342]					
WEIGHT (Kg) [lb]		1.7 [3.75]					
TEMPERATURE RISE: MAX.80°C (MOTOR STANDSTILL; FOR 2 PHASE ENERGIZED)						AXIAL-FORCE Fa (N)	Fa=65
AMBIENT TEMPERATURE -20°~ 50°C [-4°F ~ 122°F]						DISTANCE a (mm)	5 10 15 20
INSULATION RESISTANCE 100 MOhm (UNDER NORMAL TEMPERATURE AND HUMIDITY)						RADIAL-FORCE Fr (N)	535 355 256 200
INSULATION CLASS B 130° [266°F]							AXIAL RADIAL
DIELECTRIC STRENGTH 500VAC FOR 1 MIN. (BETWEEN THE MOTOR COILS AND THE MOTOR CASE)						SHAFT PLAY (mm)	0.075 0.025
AMBIENT HUMIDITY MAX. 85% (NO CONDENSATION)						AT LOAD MAX: (N)	10 5.0

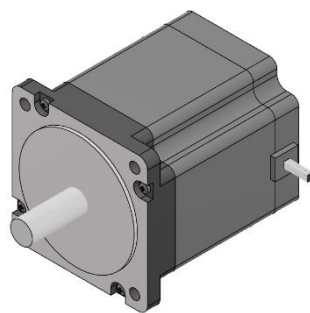
  

TYPE OF CONNECTION (EXTERN)				MOTOR	
UNIPOLAR	BIPOLAR	SERIAL	PARALLEL	LEADS	WINDING
A	A	A	A	RED	A
COM				RED/WHIT	
A\		A\	A\	BLK/WHIT	A\
B	B	B	B	GRN	B
COM				GRN/WHIT	
B\		B\	B\	YEL/WHIT	B\
				YEL	

FULL STEP 2 PHASE-Ex., WHEN FACING MOUNTING END (X)					
STEP	A	B	A\	B\	CCW
1	+	+	-	-	
2	-	+	+	-	
3	-	-	+	+	
4	+	-	-	+	

Obrázek 29 - Výňatek z dokumentace výrobce motoru [11]

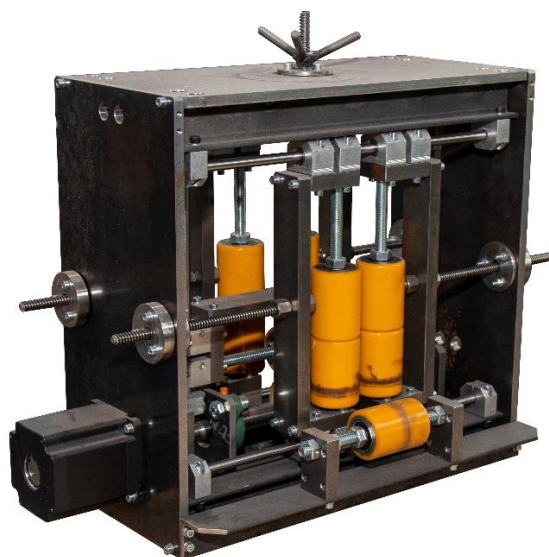


Obrázek 30 - CAD model motoru ST8918M4508\_A [11]

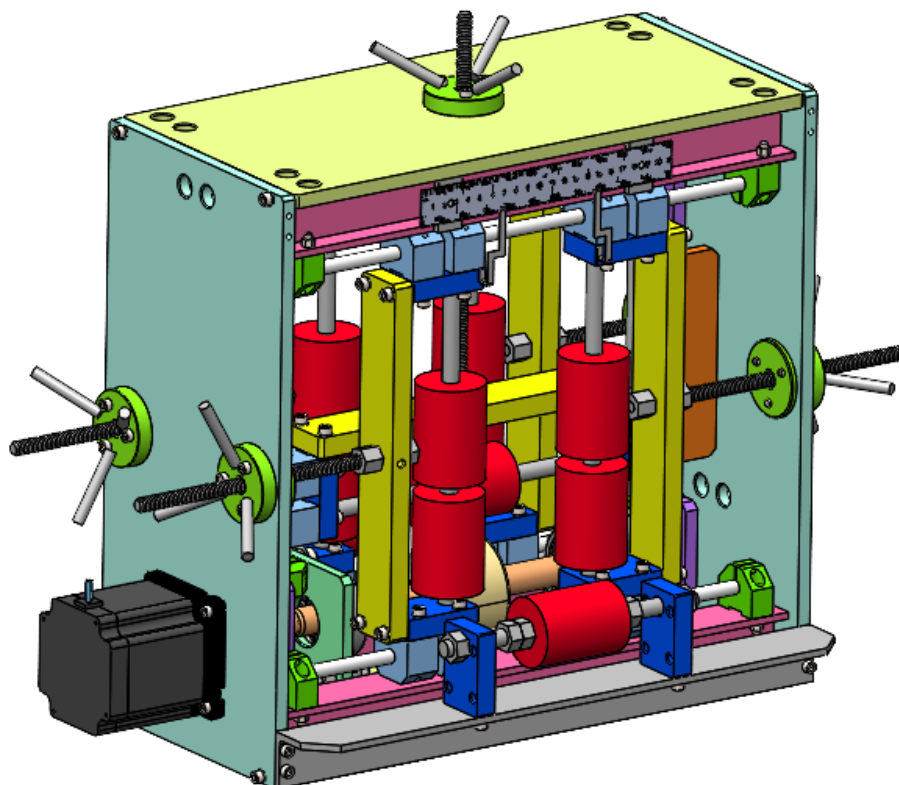
## 8 Závěr

V průběhu psaní své práce jsem se pokusil chronologicky zachytit a popsat svůj konstrukční postup při návrhu průběžné jednotky. V práci popisuji proces od úplného počátku, kdy jsem se seznamoval s, pro mě tehdy neznámou, metodou ohřevu a studoval řešenou problematiku tepelného zpracování a připravoval si podklady. Následně jsem dokázal úspěšně provést další krok konstrukčního procesu, jímž byla vlastní interpretace zadání. Zadání bylo definováno jako komplexní soubor požadavků a ty jsem musel v průběhu celého návrhu respektovat a snažit se jim vyhovět. Když jsem se dostatečně seznámil s požadavky, následovala fáze průzkumu stavu techniky. Hned z počátku jsem zjistil, že kvůli specifčnosti požadavků na dané zařízení, neexistuje na trhu vhodné dostupné řešení. Průzkum trhu jsem tedy využil alespoň jako zdroj informací, kdy jsem se podíval, jaká podobná řešení se již na trhu nacházejí a udělal si tak organizovaný přehled o tom, jaké jsou mé možnosti. Jelikož mým cílem bylo navrhnout řešení, jakým způsobem manipulovat se vsázkou skrze induktor, zabýval jsem se konkrétními metodami manipulace s materiálem, které by mi to mohly umožnit realizovat. U jednotlivých metod jsem zvážil jejich silné i slabé stránky a z možných konceptů jsem zvolil ten, který nejlépe reflektoval požadavky stanovené zadavatelem. Konkrétně jsem zvolil řešení využívající k rozpohybování vsázky tření. Definoval jsem si, co jsou klíčové aspekty pro správné fungování tohoto konceptu a zamyslel se nad tím, jak tyto aspekty mohu realizovat. Když jsem si toto ujasnil, mohl jsem postoupit k hrubému návrhu zařízení. Formou jednoduchého schématu jsem si vizualizoval a ztotožnil zvolený koncept a odhalil některé jeho nedostatky. Pro tyto nedostatky jsem se následně pokusil najít vhodné technické řešení, a tak jsem se dopracoval postupným zpřesňováním návrhu až k závěrečnému konstrukčnímu řešení. Toto řešení jsem se nejdříve pokusil představit obecně a následně provést detailní rozbor jeho jednotlivých klíčových konstrukčních uzlů a prezentovat tak i postup, jaký jsem aplikoval při návrhu těchto uzlů.

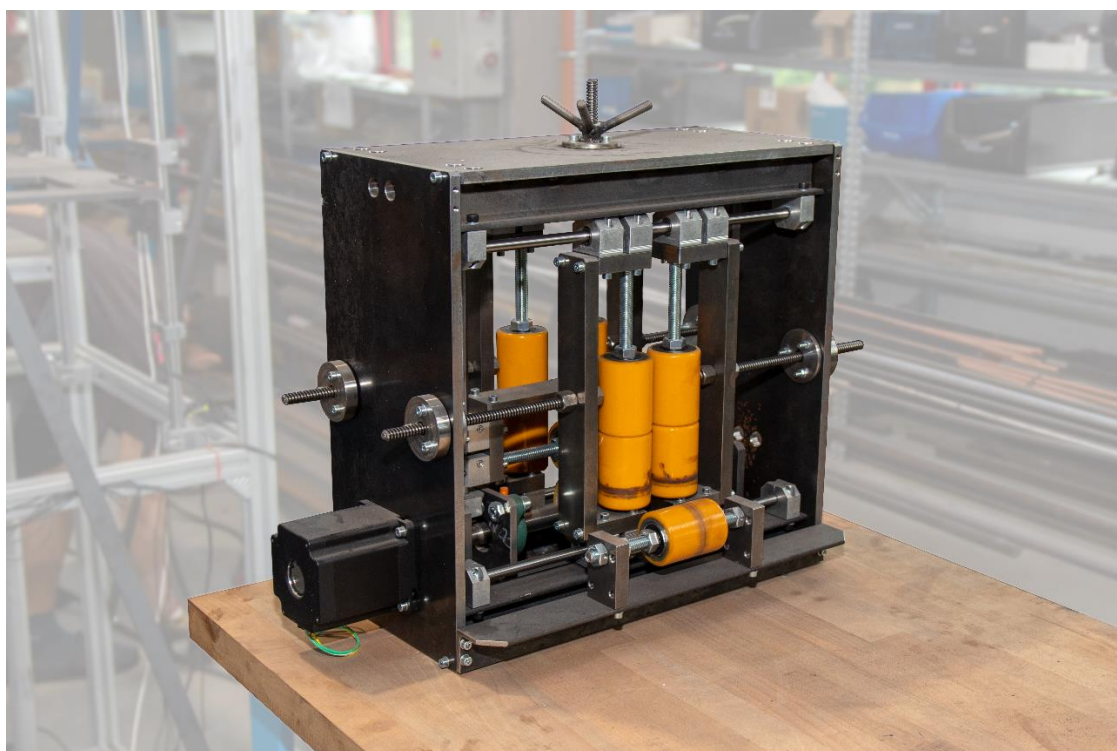
K zařízení byla vyhotovena technická dokumentace, na základě, které bylo zařízení nejprve vyrobeno a následně i sestaveno. Zařízení bylo otestováno provozním režimem a splnilo očekávání zadavatele. Tato práce byla pro mě skvělou zkušeností a díky postřehům a zkušenostem získaným během jejího vypracování jsem se zdokonalil ve schopnosti čelit novým technickým problémům.



Obrázek 31 - Navržená a realizovaná průběžná jednotka



Obrázek 32 – Závěrečné vizuální srovnání návrhu jednotky (nahore) s její realizací (dole)



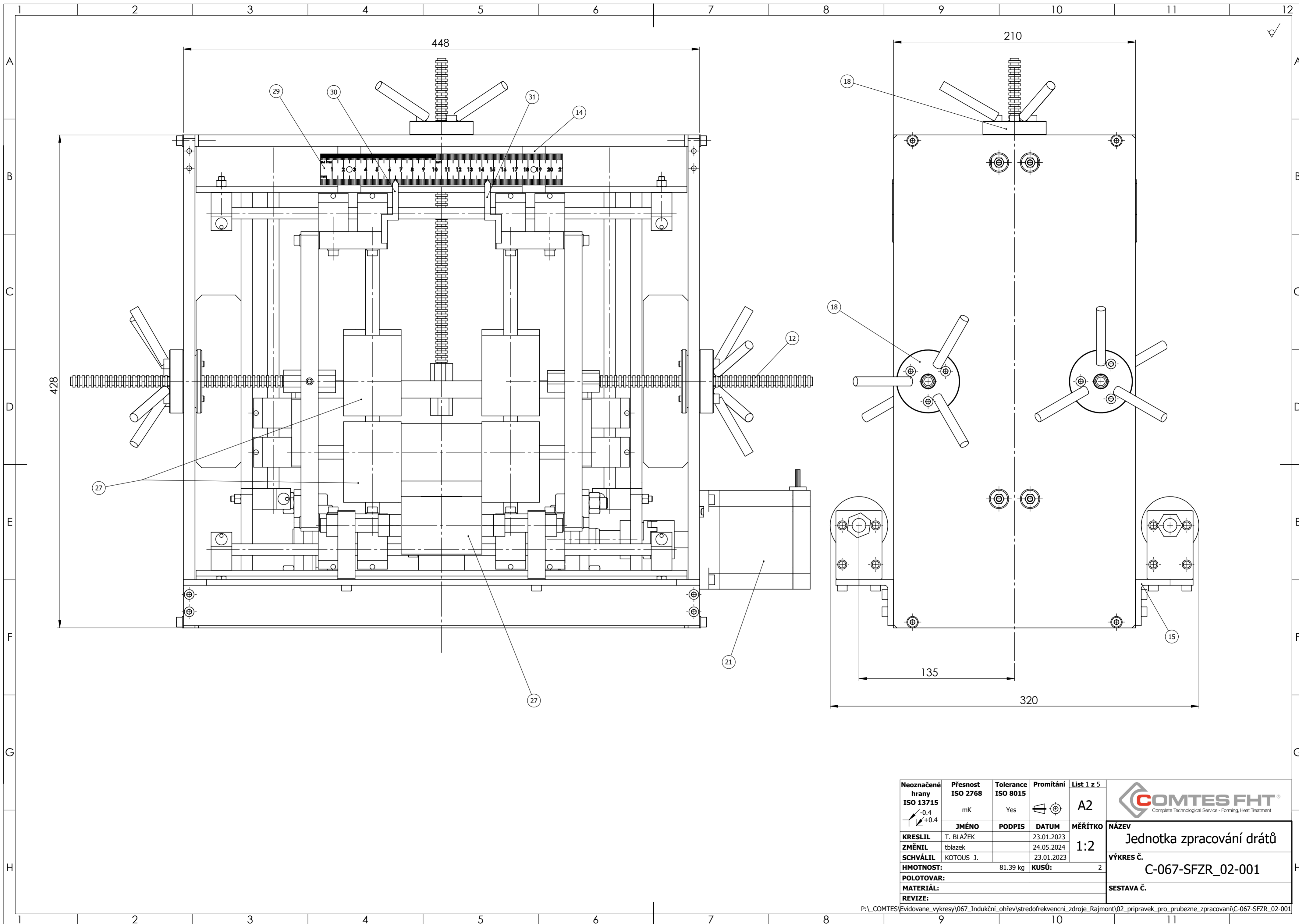
## Reference

- [1] HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. *Strojírenská technologie 1*. 1. díl, Nauka o materiálu. 4., rev. vyd. Praha: Scientia, 2007. ISBN 978-80-86960-26-5.
- [2] ROBOTERM. Indukční ohříváče. *ROBOTERM* [online]. 2022 [cit. 2024-04-11]. Dostupné z: <https://www.roboterm.cz/cz/indukce/produkty/indukcni-ohrivace/>
- [3] NA3D S.R.O. *Souprava Bondtech podávací kolečka* [online]. 2024 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.na3d.cz/p/11512/souprava-bondtech-podavaci-kolecka-285-30-mm-8-mm>
- [4] NETTECHNIK V.O.S. *Pneumatický profilový válec dvojitý 63x50* [online]. 2024 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: [https://www.nettechnik.cz/pneumaticky-profilovy-valec-dvojitny-63x50/?gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjwLgYBhCYARI-sAPqTz18oB9ECv6X7wxrb2N1Maenf8UHR\\_VL-V9Dndp82xgQecwKRzNdW6CcaAspfEALw\\_wcB](https://www.nettechnik.cz/pneumaticky-profilovy-valec-dvojitny-63x50/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwLgYBhCYARI-sAPqTz18oB9ECv6X7wxrb2N1Maenf8UHR_VL-V9Dndp82xgQecwKRzNdW6CcaAspfEALw_wcB)
- [5] KRÁTKÝ, Jaroslav, Eva KUBEC KRÓNEROVÁ a Stanislav HOSNEDL. *Obecné strojní části 2: základní a složené převodové mechanismy*. V Plzni: Západočeská univerzita, 2011. ISBN 978-80-261-0066-9.
- [6] MN – SYSTEMS, S.R.O. *TRAPÉZOVÉ ŠROUBY* [online]. 2024 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://mnsystems.cz/pohybove-srouby/trapezove-srouby>
- [7] KSK PRECISE MOTION, A. S. *Kuličkové šrouby: Precise Screw* [online]. 2024 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://www.ksk-pm.cz/produkty/precise-screw>
- [8] BLICKLE, A.S. *GTHN 75/20H7* [online]. 2024 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://www.blickle.cz/vyrobek/GTHN-75-20H7-459792>
- [9] GALLAGHER CORPORATION. *Polyurethane's Coefficient of Friction* [online]. 2024 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://gallaghercorp.com/polyurethane-coefficient-of-friction/>
- [10] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření*. Sedmé vydání. Úvaly: Albra, 2021. ISBN 978-80-7361-124-8.
- [11] NANOTEC ELECTRONIC GMBH & CO. KG, . *ST8918M4508-A – STEPPER MOTOR – NEMA 34* [online]. 2024 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://www.nanotec.com/eu/en/products/571-st8918m4508-a>

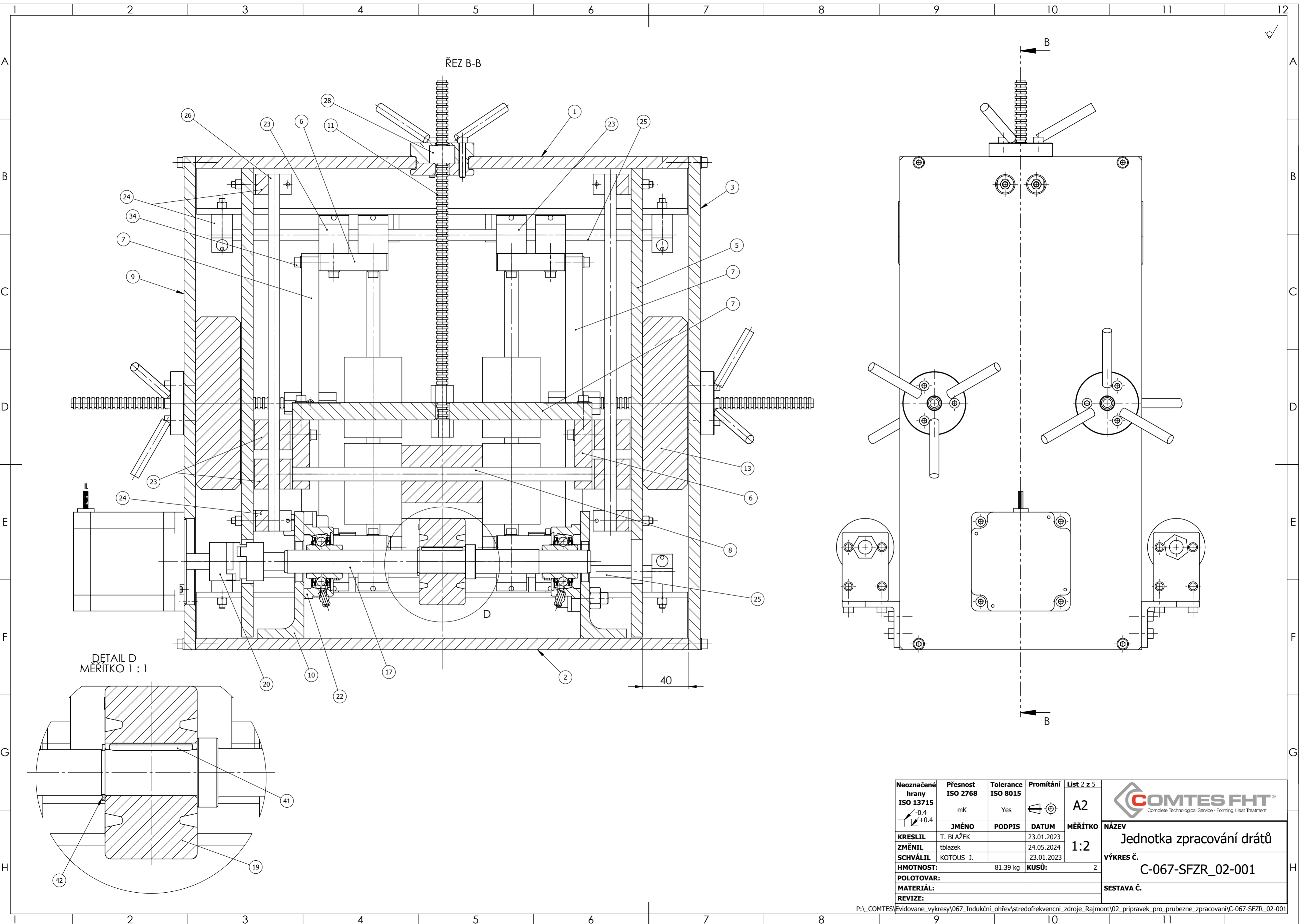


Příloha A Výkres sestavy zařízení s kusovníkem

Příloha B Výrobní výkres hnací hřídele



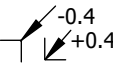
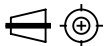
Neoznačené hrany <b>ISO 13715</b> $\begin{matrix} \swarrow -0.4 \\ \searrow +0.4 \end{matrix}$	<b>Přesnost ISO 2768</b> mK	<b>Tolerance ISO 8015</b> Yes	<b>Promítání</b> 	<b>List 1 z 5</b> A2	 Complete Technological Service - Forming, Heat Treatment
	<b>JMÉNO</b> T. BLÁŽEK	<b>PODPIS</b> 	<b>DATUM</b> 23.01.2023	<b>MĚŘÍTKO</b> 1:2	
<b>KRESLIL</b> T. BLÁŽEK	<b>ZMĚNIL</b> tblazek	<b>SCHVÁLIL</b> KOTOUS J.	<b>DATUM</b> 24.05.2024	<b>DATUM</b> 23.01.2023	<b>VÝKRES Č.</b> C-067-SFZR_02-001
<b>HMOTNOST:</b>	81.39 kg	<b>KUSŮ:</b>	2	<b>SESTAVA Č.</b>	
<b>POLOTOVAR:</b>					
<b>MATERIÁL:</b>					
<b>REVIZE:</b>					


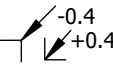
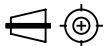


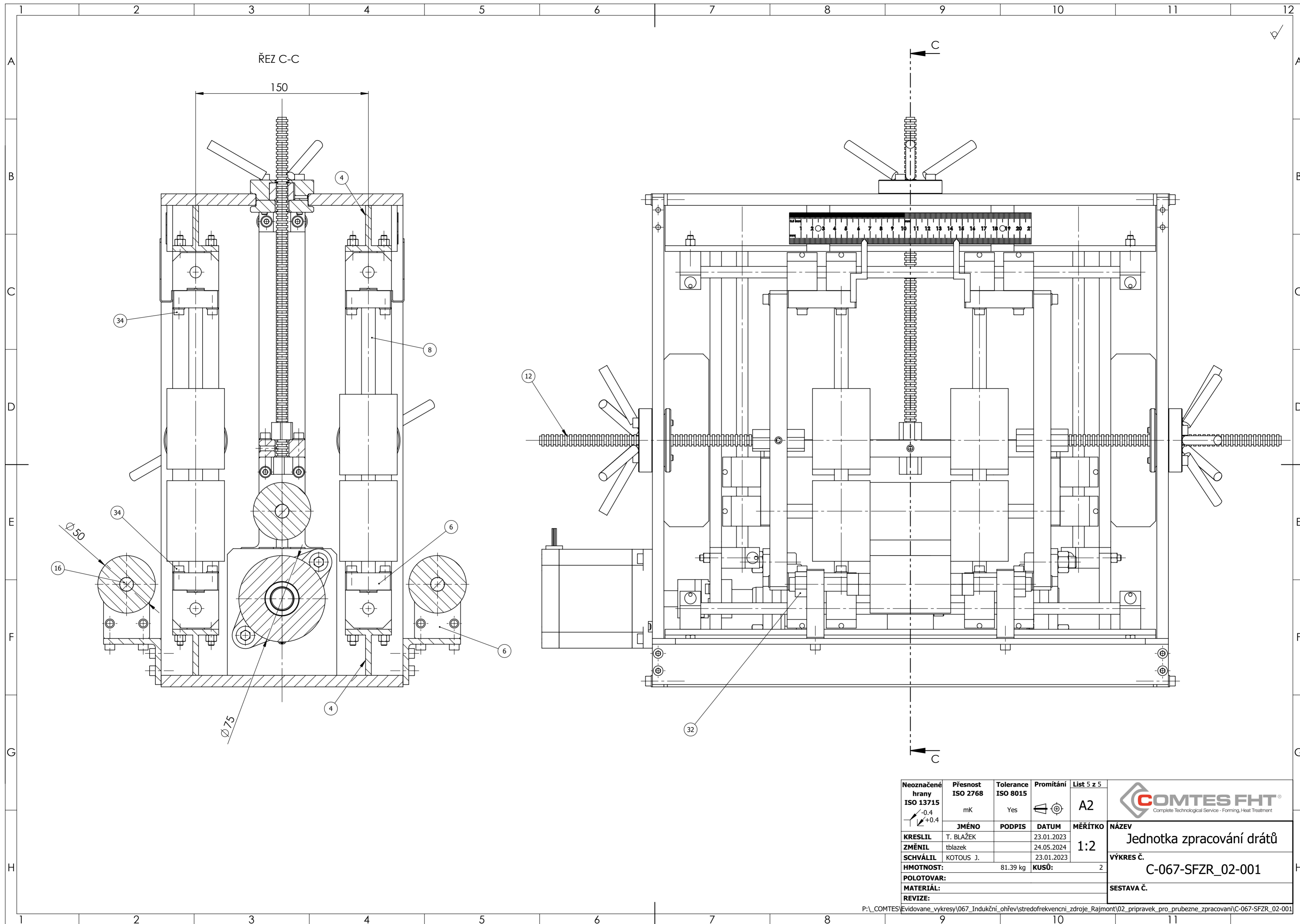
ŘEZ B-B

DETAIL D  
MĚŘITKO 1:1

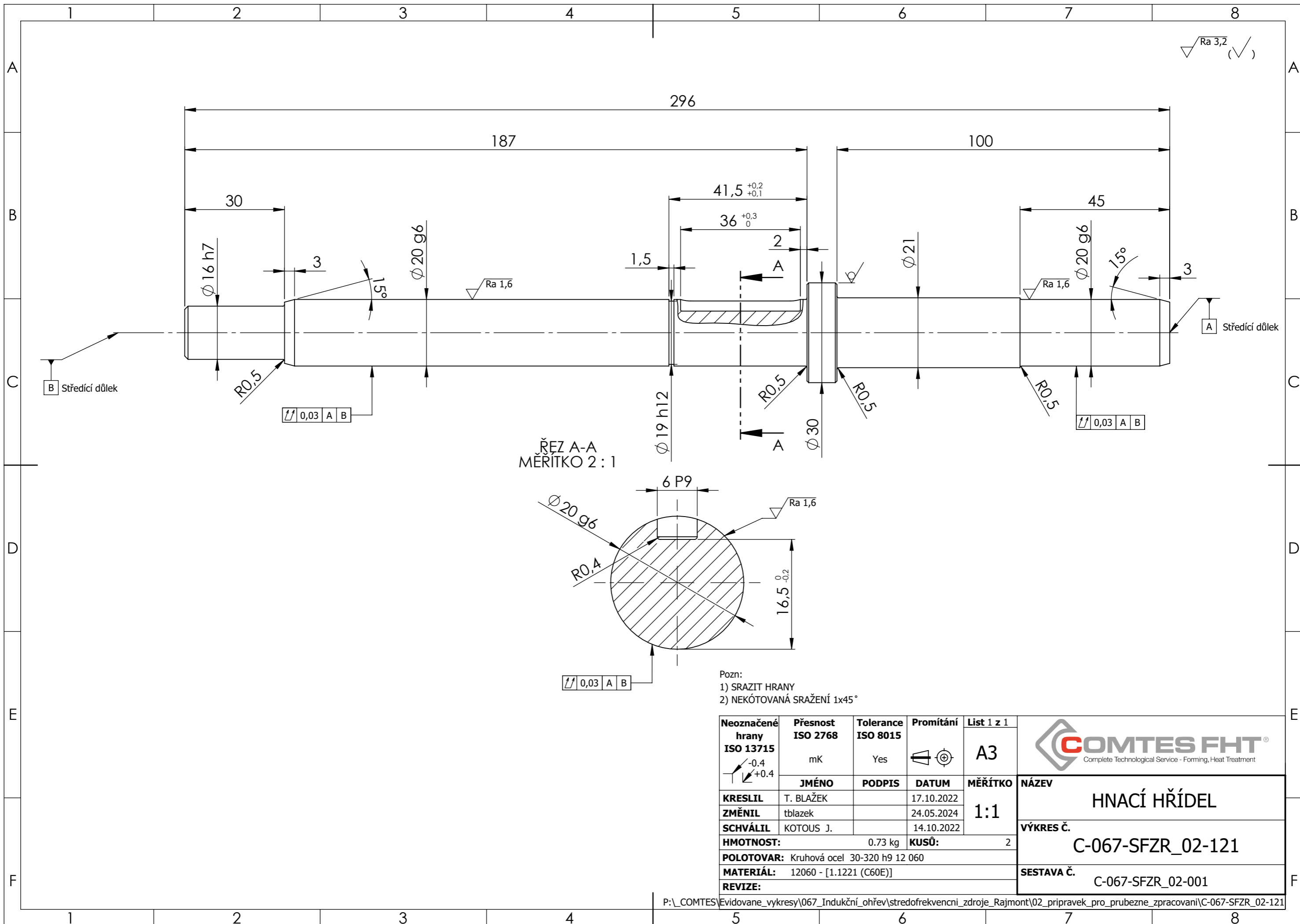
Neoznačené hrany ISO 13715 -0.4 +0.4	Přesnost ISO 2768 mK	Tolerance ISO 8015 Yes	Promitání	List 2 z 5 A2	 Complete Technological Service - Forming, Heat Treatment
	JMÉNO T. BLÁŽEK	PODPIS	DATUM 23.01.2023	MĚŘITKO 1:2	
KRESLIL	tbłazek		24.05.2024		VÝKRES Č. C-067-SFZR_02-001
SCHVÁLIL	KOTOUS J.		23.01.2023		SESTAVA Č.
HMOTNOST:		81.39 kg	KUSŮ:		2
POLOTOVAR:					
MATERIÁL:					
REVIZE:					

1		2		3		4	
A	28	MATICE TRAPÉZOVÁ T10X2		matice_trapezova_T10x2		10	0.02
	27	ROLNA		valecek_75-95		11	1.01
	26	VODÍČÍ TYČ 10x310		W10-0310		2	0.19
	25	VODÍČÍ TYČ 10x400		W10-0400		4	0.25
B	24	KONZOLA VODÍČÍ TYČE		FGWN-10		12	0.13
	23	LINEÁRNÍ JEDNOTKA		SAKH-egc		20	0.23
	22	LOŽISKOVÁ JEDNOTKA		SKF_UCFL 204		2	0.47
	21	KROKOVÝ MOTOR		ST8918M4508_A		1	5.08
	20	OLDHAMOVA SPOJKA		OX33G-14-16_spojka_oldham		1	0.22
	19	HNACÍ KOLO		GTHN_75_20H7_459792-203		1	1.20
	18	SESTAVA OVLÁDACÍ MATICE		C-067-SFZR_02-006		5	0.48
C	17	HNACÍ HŘÍDEL		C-067-SFZR_02-121		1	0.73
	16	ZÁVITOVÁ TYČ M12		C-067-SFZR_02-119		2	0.19
	15	L-PROFIL 50x40x5		C-067-SFZR_02-108		2	1.47
	14	KONZOLA PRAVÍTKA		C-067-SFZR_02-104		4	0.03
	13	PODPĚRA		C-067-SFZR_02-115		2	0.45
	12	TRAPÉZOVÝ ŠROUB TR10x2-230		C-067-SFZR_02-118		4	0.11
	11	CENTRÁLNÍ ŠROUB TR10x2-310		C-067-SFZR_02-117		1	0.15
D	10	KONZOLA		C-067-SFZR_02-107		2	0.77
	9	DESKA BOČNÍ		C-067-SFZR_02-102		1	6.35
	8	OSA ROLNY		C-067-SFZR_02-120		5	0.23
	7	HRAZDA		C-067-SFZR_02-111		5	1.19
	6	KÁMEN		C-067-SFZR_02-106		14	0.25
	5	VÝZTUHA		C-067-SFZR_02-113		2	1.51
	4	T-PROFIL		C-067-SFZR_02-112		4	1.24
E	3	DESKA BOKU		C-067-SFZR_02-101		1	6.68
	2	DESKA SPODNÍ		C-067-SFZR_02-103		1	6.87
	1	DESKA VRCHNÍ		C-067-SFZR_02-116		1	6.76
<b>Číslo položky</b>		<b>Název - označení (norma)</b>		<b>Číslo výkresu (norma)</b>		<b>Množství</b>	<b>Hmotnost [kg]</b>
<b>Neoznačené hrany ISO 13715</b> 		<b>Přesnost ISO 2768</b> mK	<b>Tolerance ISO 8015</b> Yes	<b>Promítání</b> 	<b>List 3 z 5</b> A4		
<b>KRESLIL</b> T. BLAŽEK <b>ZMĚNIL</b> tblazek <b>SCHVÁLIL</b> KOTOUS J.		<b>JMÉNO</b>	<b>PODPIS</b>	<b>DATUM</b>	<b>MĚŘÍTKO</b> 1:2	<b>NÁZEV</b> <b>Jednotka zpracování drátů</b>	
<b>HMOTNOST:</b>		81.39 kg		<b>KUSŮ:</b>		2	
<b>POLOTOVAR:</b>							
<b>MATERIÁL:</b>							
<b>REVIZE:</b>							
						<b>VÝKRES Č.</b> <b>C-067-SFZR_02-001</b>	
						<b>SESTAVA Č.</b>	

1	2		3		4			
A								
B								
C								
42	POJISTNÝ KROUŽEK 20		pojistny_krouzek_20		1	0.00		
41	PERO 6x30		pero_tesne_6x30		1	0.01		
40	MATICE M10		matice_M10		4	0.002		
39	ŠROUB M10x35		sroub_M10x35		4	0.004		
38	ŠROUB M5x35		sroub_M5x35		8	0.001		
37	MATICE M5		matice_M5		24	0.000		
36	ŠROUB M5x30		sroub_M5x30		16	0.001		
35	ŠROUB M5-16		sroub_m5-16		4	0.001		
34	ŠROUB M5-16		sroub_m5-12		16	0.000		
33	SESTAVA ŠROUBOVÉHO SPPOJE 1		sroubovy_spoj1		68	0.00		
32	MATICE M12		matice_m12		12	0.02		
31	ODMĚŘOVACÍ ŠÍPKA PRAVÁ		sipka_prava		2	0.00		
30	ODMĚŘOVACÍ ŠÍPKA		sipka		2	0.00		
29	ODMĚŘOVACÍ PRAVÍTKO		Ruler		2	0.00		
E	Číslo položky	Název - označení (norma)		Číslo výkresu (norma)		Množství	Hmotnost [kg]	
F	Neoznačené hrany ISO 13715	Přesnost ISO 2768	Tolerance ISO 8015	Promítání	List 4 z 5	 Complete Technological Service - Forming, Heat Treatment	<b>NÁZEV</b> <b>Jednotka zpracování drátů</b>	
	 -0.4 +0.4	mK	Yes		A4			<b>VÝKRES Č.</b> <b>C-067-SFZR_02-001</b>
	KRESLIL	T. BLAŽEK		23.01.2023	MĚŘÍTKO 1:2		<b>SESTAVA Č.</b>	
	ZMĚNIL	tblazek		24.05.2024				
	SCHVÁLIL	KOTOUS J.		23.01.2023				
	HMOTNOST:	81.39 kg		KUSŮ:	2			
	POLOTOVAR:							
	MATERIÁL:							
	REVIZE:							
P:\_COMTES\								
1	2		3		4			



Neoznačené hrany <b>ISO 13715</b> $\begin{matrix} -0.4 \\ / \\ +0.4 \end{matrix}$	<b>Přesnost ISO 2768</b> mK	<b>Tolerance ISO 8015</b> Yes	<b>Promitání</b> 	<b>List 5 z 5</b> A2	 Complete Technological Service - Forming, Heat Treatment
	<b>JMÉNO</b> T. BLÁŽEK	<b>PODPIS</b> 	<b>DATUM</b> 23.01.2023	<b>MĚŘÍTKO</b> 1:2	
<b>ZMĚNIL</b> tblazek	<b>SCHVÁLIL</b> KOTOUS J.	<b>DATUM</b> 24.05.2024	<b>DATUM</b> 23.01.2023	<b>KUSŮ:</b> 2	<b>VÝKRES Č.</b> C-067-SFZR_02-001
<b>HMOTNOST:</b> POLOTOVAR: MATERIÁL: REVIZE:	81.39 kg				<b>SESTAVA Č.</b>



Neoznačené hrany ISO 13715 -0.4 +0.4	Přesnost ISO 2768 mK	Tolerance ISO 8015 Yes	Promítání A3	List 1 z 1
	JMÉNO	PODPIS	DATUM	MĚŘÍTKO
KRESLIL	T. BLAŽEK		17.10.2022	1:1
ZMĚNIL	tblazek		24.05.2024	
SCHVÁLIL	KOTOUS J.		14.10.2022	
HMOTNOST:		0.73 kg	KUSŮ: 2	
POLOTOVAR: Kruhová ocel 30-320 h9 12 060				
MATERIÁL: 12060 - [1.1221 (C60E)]				
REVIZE:				

 Complete Technological Service - Forming, Heat Treatment		NÁZEV
		HNACÍ HŘÍDEL
VÝKRES Č.		C-067-SFZR_02-121
SESTAVA Č.		C-067-SFZR_02-001