

Návrh laboratorního zařízení pro rotační tváření (technologie rotomolding)

Martin Pindřák

Bakalářská práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin PINĎÁK**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Návrh laboratorního zařízení pro rotační tváření
(technologie rotomolding).**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Vypracujte návrhy řešení laboratorního zařízení.
3. Vypracujte výkresovou dokumentaci.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle uvážení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **19. února 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2010**

Ve Zlíně dne 19. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

ABSTRAKT

Cílem práce je konstrukční řešení zařízení pro rotační tváření plastů v laboratorním měřítku. Teoretická část tvoří literární studii. Obsahuje podrobný popis technologie rotomolding včetně výhod a omezení, přehled základních konstrukcí strojů a přehled materiálů vhodných k tváření. Praktická část práce se zabývá konkrétním návrhem laboratorního zařízení. Návrh je podložen výkresovou dokumentací, která je obsažena v příloze.

Klíčová slova: rotomolding, zařízení, konstrukce, návrh

ABSTRACT

The aim of my bachelor work is solution of construction rotational molding machine for laboratory conditions. Theoretical part consists of literature study. It contains detailed description of rotomolding technology, included its advantages and limitations, overview of basic constructions rotomolding machines and overview of the materials can be used for this technology. The practical part is focused on specific design of laboratory device. This work contains drawing documentation of the design, placed in supplement.

Keywords: rotomolding, machine, construction, design

Tímto děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Miroslavu Maňasovi, Csc. za inspirující vedení. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Leoši J. Jandovi za jeho užitečné rady a ukázkou výrobního procesu ve firmě CZ PLAST.

Příjmení a jméno:

Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ROTAČNÍ TVÁŘENÍ PLASTŮ	12
1.1 POPIS TECHNOLOGIE.....	13
1.1.1 Výhody.....	15
1.1.2 Omezení a nevýhody.....	17
1.1.3 Aplikace	19
1.2 PŘEHLED ZÁKLADNÍCH KONSTRUKCÍ STROJŮ PRO ROTAČNÍ TVÁŘENÍ	21
1.2.1 Typ kyvadlový („Shuttle“, „Swing-arm“).....	22
1.2.2 Typ „Clamshell“	22
1.2.3 Typ („Rock „N“ Roll“)	23
1.2.4 Typ karusel.....	23
1.2.5 Ostatní	24
1.3 PŘEHLED MATERIÁLŮ VHODNÝCH PRO ROTAČNÍ TVÁŘENÍ	24
1.3.1 Ostatní, méně používané materiály	25
1.3.2 Polyetylen.....	25
1.3.2.1 Nízkohustotní polyetylen (LDPE)	26
1.3.2.2 Vysokohustotní polyetylen (HDPE)	26
1.3.2.3 Středněhustotní polyetylen (MDPE).....	26
1.3.2.4 Lineární nízkohustotní polyetylen (LLDPE)	26
1.3.2.5 Zesíťovaný polyetylen (XLPE).....	27
II PRAKTICKÁ ČÁST	28
2 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	29
3 NÁVRH ZAŘÍZENÍ PRO LABORATORNÍ ÚČELY	30
3.1 KONKRÉTNÍ NÁVRH STROJE.....	32
3.1.1 Návrh pohonu.....	34
3.1.2 Řetězový převod.....	36
3.1.3 Návrh primární, sekundární a kolmé hřídele.....	44
3.1.3.1 Sekundární (vnitřní) hřídel.....	44
3.1.3.2 Primární (vnější) hřídel	50
3.1.3.3 Kolmá hřídel	54
3.1.4 Návrh uspořádání a uložení stroje.....	56
3.1.4.1 Nosná konstrukce.....	56
3.1.4.2 Pozice elektromotorů	56
3.1.5 Návrh upínacího systému pro formu	57
3.2 DALŠÍ PRVKY ZAŘÍZENÍ	58
3.2.1 Zahřívací komora a systém chlazení formy a polymeru	58
3.3 TECHNOLOGICKÝ PROCES PRO LABORATORNÍ ZAŘÍZENÍ.....	59
ZÁVĚR	60
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	61
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	62
SEZNAM OBRÁZKŮ	64
SEZNAM TABULEK	65

SEZNAM PŘÍLOH.....	66
---------------------------	-----------

ÚVOD

Rotační tváření plastů ve své moderní podobě je známo již od počátku druhé poloviny dvacátého století, kdy se začaly vyvíjet i ostatní, více známé a užívanější technologie pro zpracování plastů. Tato technologie poskytuje možnost vyrábět duté výrobky rozmanitých tvarů. Od malých tvarů s vnitřními závity, žebrováním a osazeními, až po velké nádrže o objemu několika tisíc litrů.

Technologický proces technologie rotomolding je rozdělen do čtyř fází, kde významnou roli hraje ohřev formy na vysokou teplotu a následné ochlazení. Proto je potřeba při konstrukci zařízení splňovat kritéria, která omezují konstruktéra jak v uspořádání funkčních prvků a pohonů zařízení, tak i ve volbě materiálů. Dále hraje roli omezení celkové velikosti zařízení, neboť bude využíváno v laboratoři ke zkoumání vlastností různých materiálů zpracovávaných technologií rotomolding. Do teoretické části budu přispívat i poznatky nabitými exkurzí ve firmě, která používá tuto technologii. Během teoretické části bakalářské práce se budu seznamovat s různými druhy konstrukcí strojů. Na základě jejich výhod, nevýhod a dostupnosti strojních částí se rozhodnu pro konkrétní návrh zařízení, použitelného pro laboratorní účely na Ústavu Výrobního Inženýrství Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ROTAČNÍ TVÁŘENÍ PLASTŮ

Rotomolding je vysokoteplotní, nízkotlaké tváření polymerních materiálů ve formě, které používá teplo a pomalý, dvouosý, otočný pohyb k výrobě dutých, jednodílných dílů. Jako základní materiál pro úspěšný průběh procesu se používá plastový prášek. Výběr vhodného materiálu je zatížen mnoha kritérii. (1)

Rotační tváření plastů ve své moderní podobě je známo již od počátku druhé poloviny dvacátého století, kdy se začaly vyvíjet i ostatní, více známé a užívanější technologie pro zpracování plastů. Do širšího povědomí se však rotomolding dostal až nedávno, díky omezením, která jsou spjata s materiály, vhodnými ke tváření a poměrně složité výrobě forem pro náročné výrobky. Dnes je ale rotomolding nedílnou součástí zpracovatelského průmyslu, neboť neustálý vývoj polymerních materiálů, dovoluje využívat tuto technologii s nejlepšími možnostmi a výhodami, které je schopna poskytnout. Na počátku historie této unikátní technologie se zpracovával pouze nízkohustotní a středněhustotní polyethylen. Průmyslové odvětví rotomoldingu zaznamenalo působivé vlastnosti polyethylenu. Nicméně tento materiál byl komerčně dostupný pouze ve formě granulí. Tyto velké granule nebyly vhodné pro spékací fázi procesu. Řešení tohoto problému se našlo v drtících mlýnech. Jako následek absence jiných vhodných plastů, se však aplikace technologie rotomolding dále nevyvíjela. (1)

Největší rozkvět nastal až s příchodem modifikací polyethylenu (lineární nízkohustotní polyethylen) a vývojem dalších materiálů jako například polykarbonát, polyamid a polypropylen. S rostoucí nutností nahrazovat výrobky levnějšími a lehčími materiály s co nejlepšími vlastnostmi, roste i poptávka po produktech plastikářského průmyslu. Tato situace se týká i rotačního tváření jako zástupce výroby dutých, jednodílných dílů. (1)

Základní charakteristika procesu se skládá ze čtyř hlavních fází. První fáze je naplnění dutiny formy materiálem ve formě prášku nebo v tekuté formě. Množstvím materiálu kterým se plní forma se zabývá až samotný návrh dílu. Závisí na vlastnostech tvářeného materiálu, tvaru a rozměrech formy a požadované tloušťce stěny výrobku. Po naplnění formy materiálem se forma za stálého otáčení kolem dvou os zahřívá na vysokou teplotu po dobu několika desítek minut – v závislosti na tvářeném materiálu. Ve třetí – ochlazovací – fázi se forma chladí buď proudícím vzduchem nebo kropením vodou. Chlazení je velice důležitá součást procesu, neboť na něm závisí bezproblémové odformování výrobku z dutiny formy. Praxí proto bývá pomalá rychlost současně s co největším objemem chladícího mé-

dia. V poslední fázi se výrobek oddělí z dutiny formy a forma je připravena k použití pro novou dávku materiálu. (1)

Při procesu se využívá vysokých teplot a následného ochlazování za současného otáčení formy kolem dvou os. Vlivem gravitačních sil se materiál pohybuje a připěká se k dutině formy, čímž vytváří jedolitou vrstvu, která musí obklopovat všechny tvary v dutině formy. Není výjimkou že dutina obsahuje vložené nátrubky, matice nebo závity. Při volbě materiálu se pak konstruktér soustředí na jeho vhodné vlastnosti, pro zajištění stoprocentního pokrytí těchto složitých tvarů polymerním materiálem. (1)

Při výběru vhodného materiálu s požadovanými zpracovatelskými vlastnostmi (jeho adheze k dutině formy, teplota tání, a další) a fyzikálními vlastnostmi, lze dosáhnout vysoce kvalitního produktu, který bude funkční po desítky let. Navíc vzhledem k předpokládanému použití produktů v externím prostředí se přidávají do zpracovávaných směsí UV stabilizátory, které životnost ještě více prodlužují. (1)

Tato technologie je schopna zajistit jednotnou tloušťku stěny, úkosy, osazení, vložené vnitřní závity a žebrování. Do výrobku se přímo v pracovním procesu dají zalít matice, šrouby nebo tvarové upínky, které následně slouží k připevnění výrobku ke konstrukci nebo montáži dalších zařízení. Výrobky nemají vnitřní pnutí a švy. Mají novou, pravidelnou vnitřní strukturu a tvarovou paměť. Používaný materiál je čistý, a nezatěžuje proto životní prostředí. (1)

1.1 Popis technologie

Proces rotačního tváření plastů se skládá ze čtyř základních fází (Obr. 1). Jako první z těchto čtyř částí technologického procesu je umístění předdefinovaného množství plastického materiálu, ve formě kapaliny nebo prášku, do dutiny formy (Obr. 1.A).

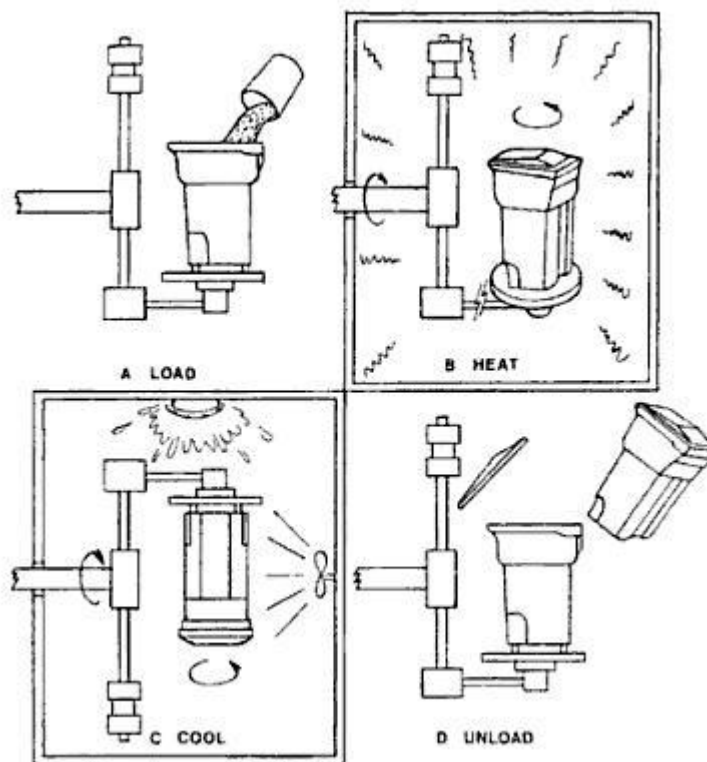
Stroj pak současně otáčí formu ve dvou osách a pohybuje s formou do zahřívací komory nebo pece (Obr.1.B). V peci se forma zahřívá a všechny plastický materiál přilne a připěká se na dutinu formy. (1)

Teplota uvnitř zahřívací komory (pece) bývá regulovatelná – podle druhu materiálu kolem 250-300°C. Průběh teploty nejdříve narůstá rychle s velkým objemem tepla přeneseného na formu, dále se s postupem času udržuje na nižších hodnotách. Hodnoty nastavení teplot v komoře závisí hlavně na vlastnostech tvářeného materiálu. (2)

Zatímco se forma stále otáčí, stroj ji přesune ven ze zahřívací komory a dopravuje ji do komory chladicí, kde je plast ochlazen na teplotu, při níž lze vytvářený díl odebrat z formy bez změny tvaru, tzn. na takovou teplotu, aby si výrobek zachoval tvar dutiny formy (Obr. 1.C). (1)

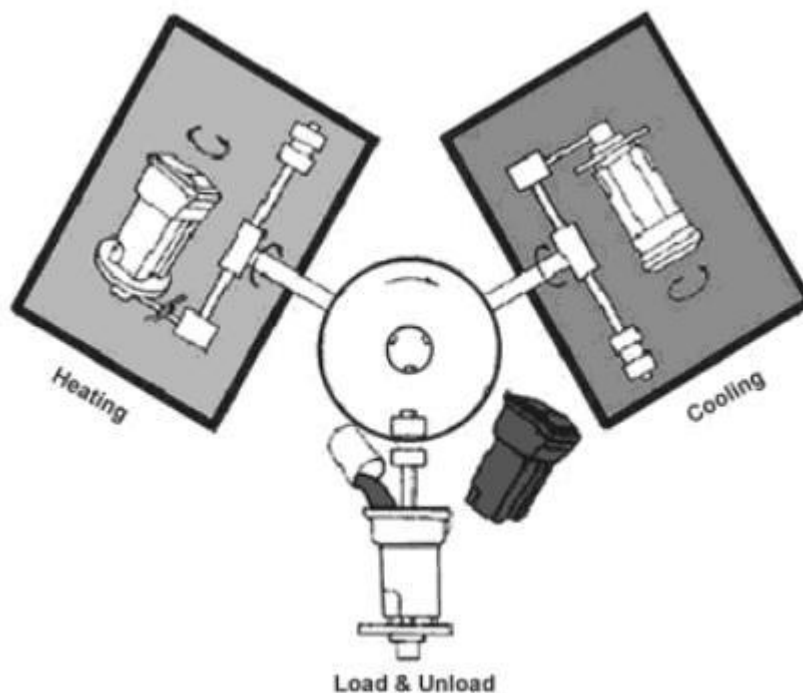
Při chlazení je důležité dbát na správný čas, po který se forma chladí. Při nedostatečném čase v chladicí komoře se výrobek při vyjmutí z formy může deformovat a stává se nepoužitelným. Chlazení formy se může dít pomocí proudícího vzduchu v komoře nebo kropením formy studenou vodou nebo chladicí kapalinou. Chlazení je neúčinnější s minimální rychlostí a maximálním objemem. Je-li forma dostatečně ochlazená, je připravena na další krok procesu. (3)

Stroj poté přesune formu do plochy vyhrazené k otevření a vyjmutí výrobku a forma se přestane otáčet. Forma může být otevřena a výrobek vyjmut (Obr. 1.D).



Obr. 1 Čtyři kroky procesu rotačního tváření. A) naplnění materiálu do formy, B) zahřátí formy a materiálu, C) ochlazení formy a materiálu, D) vyjmutí výrobku (1)

Nyní se používá hodně rozdílných typů jedno, nebo víceramenných strojů pro rotační tváření. Víceramenný typ stroje je ale nejpoužívanější (Obr.2). Jedinou metodou, jak zvýšit počet výrobků na výstupu tvářecího stroje, je současně provádět různé tvářecí funkce. Nutnost této potřebné metody vedla k vývoji víceramenného otočného typu stroje pro rotační tváření (Obr. 2). Tříramenné zařízení tohoto typu umožňuje, aby jedna forma byla ohřívána v komoře, zatímco druhá je chlazená a třetí forma je vyprazdňována nebo plněna. (1)



Obr. 2 Tří-ramenný otočný tvářecí stroj, který spojuje čtyři kroky procesu rotačního tváření. (1)

1.1.1 Výhody

➤ Seznam hlavních výhod: (1)

1. Dutý díl může být vyroben jako jednolitý – bez švů, svarů, nebo spojů.
2. Současné tváření dílu různých tvarů.
3. Výrobek je bez vnitřního pnutí a napětí.

4. Formy jsou relativně levné.
 5. Doba výroby formy je relativně krátká.
 6. Tloušťka stěny je jednotná
 7. Změna tloušťky stěny výrobku může být provedena bez modifikování formy.
 8. Vložky (matice, závity, šrouby) jsou relativně snadno zabudovatelné.
 9. Provoz krátké produkce může být ekonomicky výnosný.
 10. Možnost vytvářet vícevrstvé výrobky, např. zpěnovatelné díly.
 11. Malý poměr odpadu.
 12. Nízká počáteční kapitálová investice.
- Největší výhodou rotačního tváření je schopnost vytvářet velké i malé, bežešvé, jednolitě, duté díly extrémně složitých tvarů. Hodně z těchto složitých výrobků nelze vyrobit tak, aby byl jednolitý tzn. bežešvý, žádnou jinou technologií pro zpracování plastů. Je to nízko-tlaký proces, který dovoluje použití forem a strojů pro lehké provozní zatížení. Tomu odpovídá nižší cena forem a strojů, umožňující výrobu nízkosériových, velmi velkých nebo složitých výrobků, které by nemusely být ekonomicky uskutečnitelné při použití jiné technologie. Tento postup vyžaduje minimální nebo žádný tlak, ve srovnání s jinými procesy s uzavřenými formami, kde je vyžadován vyšší pracovní tlak, aby byl materiál přinucen téci nebo se formovat uvnitř dutiny formy. (1)
- Při rotačním tváření uvnitř formy není žádný tlak, který nutí kapalinu nebo prášek téci. Horká forma se otáčí a dutina formy se pokrývá tvářeným materiálem. Výsledkem je velmi malý nebo žádný tok materiálu v průběhu spékacího procesu. To umožňuje tváření dílů se stěnami, které mohou být výrazně tenčí v poměru s jejich celkovou velikostí. Tyto tenké stěny snižují množství požadovaného materiálu a minimalizují tvářecí čas. Konečný důsledek je nižší cena vyráběného dílu. (1)
- Rotační tváření je ideální plastikářskou zpracovatelskou technologií pro provoz více různých forem. Velmi odlišné tvary velkých a malých dílců, v jedno- či více-násobných formách, mohou být současně a efektivně provozovány na jednom stroji. Možnost rychlé výměny forem je vhodná pro produkci výrobků v malých množ-

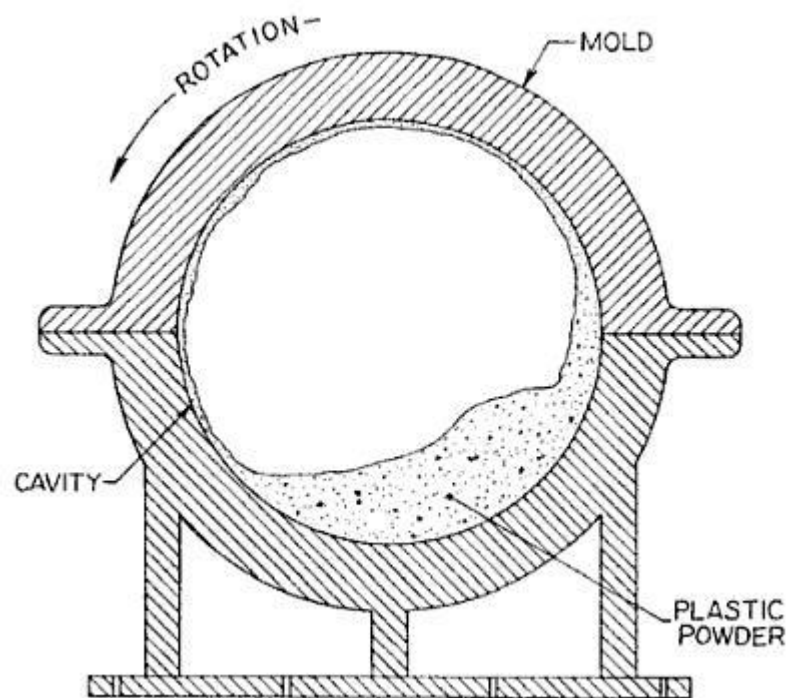
stvích, požadovanou k dodání ve velmi krátké době. Při výměně forem nebo materiálů se neztrácí čas čištěním dutiny formy, která je jedinou součástí zařízení, jež přichází do styku s tvářeným materiálem. (1)

- Rotomolding skýtá možnost dodávat výrobky dvou barev nebo dvou materiálů, a to bez užití více-násobných forem. (1)
- Velmi výhodné je zde použití „zaformovaných vložek“. Kovové, plastové, gumové a dřevěné vložky o délkách až jeden metr mohou být úspěšně zality do jednodílného kompozitního dílu. (1)
- Díly produkované touto technologií jsou bez švů, svarů, vtokových zbytků a deformací zanechaných od vyhazovacího systému. Je tou nejlepší plastikářskou technologií pro produkci hlubokých, dutých dílů. Produkuje minimální množství odpadového materiálu. Nejsou zde žádné vtokové kanály jako u vstřikování. Dokončené díly nejsou odřezávány od větších kusů materiálu, jak je tomu u lisovacích procesů. Použitý polyethylen může být recyklován s minimálními ztrátami fyzikálních vlastností materiálu. (1)

1.1.2 Omezení a nevýhody

- Seznam hlavních omezení: (3)
 1. Jednotlivé časy výrobních cyklů jsou dlouhé.
 2. Výběr materiálů k tváření je relativně omezený.
 3. Cena materiálů je poměrně vysoká v důsledku potřeby speciálních přísad a faktu, že materiál musí být rozmělněn na jemný prášek.
 4. Některé geometrické vlastnosti jsou složitě vyrobitelné (například masivní žebro nebo klenba).
 5. Prudká změna tloušťky nemůže být jednoduše vytvořena, nejlepším řešením je postupný přechod.
 6. Těžké zachování pevných tolerancí (v závislosti na rozměrech a tvarech výrobku).
 7. Změna tloušťky stěny okolo $\pm 10\%$.

- Jako všechny ostatní plastikářské technologie, má rotační tváření také svůj podíl omezení. Dvě největší nevýhody jsou především ty, že uvnitř dutiny formy nemohou být jádra. Rozměry a detaily povrchu výrobku mohou být zajišťovány a kontrolovány pouze ze strany, kde je materiál v přímém kontaktu s dutinou výrobku. Za druhou největší nevýhodu je považováno následující, a sice, že proces vyžaduje zahřívání a ochlazování nejen plastického materiálu uvnitř formy, ale logicky se tyto technologické kroky týkají i celé formy. U většiny jiných procesů zpracovávajících termoplasty se zahřívá a ochlazuje pouze zpracováváný materiál. Zahřívání a ochlazování materiálu i formy má za následek vyšší cenu energie potřebné k těmto krokům a také delší cyklus zpracování. (1)
- Dlouhý zahřívací cyklus a vysoké teploty v zahřívací komoře nebo v peci zvyšují možnost tepelné degradace zpracovávaného materiálu v dutině formy. Hlavní omezení rotačního tváření je poměrně malý počet materiálů s požadovanými vlastnostmi na tepelnou odolnost, aby vydržely tyto dlouhé zahřívací cykly. Další omezení související s materiálem je důležitý požadavek na formu materiálu, který je vkládán do dutiny. Materiál musí být v kapalné formě, nebo musí mít možnost být rozmělněn na jemný prášek, který teče jako kapalina. Drcení plastických granulí do formy prášku zvyšuje cenu materiálu. (1)
- Přinucení materiálu přilepit se a spékat se na povrchu dutiny, a poté uvolnění od dutiny formy během chladicího kroku procesu vyžaduje opatrné zacházení s materiálem při uvolňování z formy (Obr.3). To je přidaná zpracovatelská procedura, která není vyžadována u ostatních plastikářských technologií, a tudíž je vůči nim nevýhodná z hlediska využití času. (1)



Obr. 3 Během procesu rotačního tváření se forma otáčí zatímco materiál zůstává vlivem gravitačních sil na dně dutiny. Prášek materiálu přilne k povrchu horké dutiny. (1)

1.1.3 Aplikace

Jak již bylo řečeno, rotomolding se užívá hlavně pro produkci velkoobjemových, jednokusových, bezešvých nádrží, kde se nejlépe uplatňují obrovské výhody této unikátní technologie. Ovšem také malé produkty jsou předmětem výroby. Mnohdy jde o výrobky vyrobitelné i jinými procesy (například vstřikováním), ale opět, díky přednostem rotačního tváření hraje velkou roli schopnost levnější výroby formy složitých výrobků, možnost zabudování vložek (matic, vnitřních závitů) do formy tak, že vznikne jednolitý kompozitní výrobek bez vnitřního pnutí a beze švů, nebo stop po demontáži hotového výrobku z dutiny formy, což jsou výhody, jaké jinými technologiemi za danou cenu zajistit nelze. Při výběru vhodného materiálu tedy může zákazník využít všech výše zmíněných výhod ve svůj prospěch. (1)

- Průzkum z roku 1996 zaznamenal hlavní úseky průmyslu s aplikacemi technologie rotomolding: (Tab. 1)

Tab. 1 Hlavní úseky průmyslu s aplikací technologie rotomolding. (1)

Hračky	41,0%	Manipulace s materiály	3,6%
Nádrže	19,1%	Domácí a spotřební zboží	2,6%
Kontejnery	9,0%	Sportovní náčiní	2,3%
Automobilový průmysl	8,7%	Různé, ostatní	13,7%

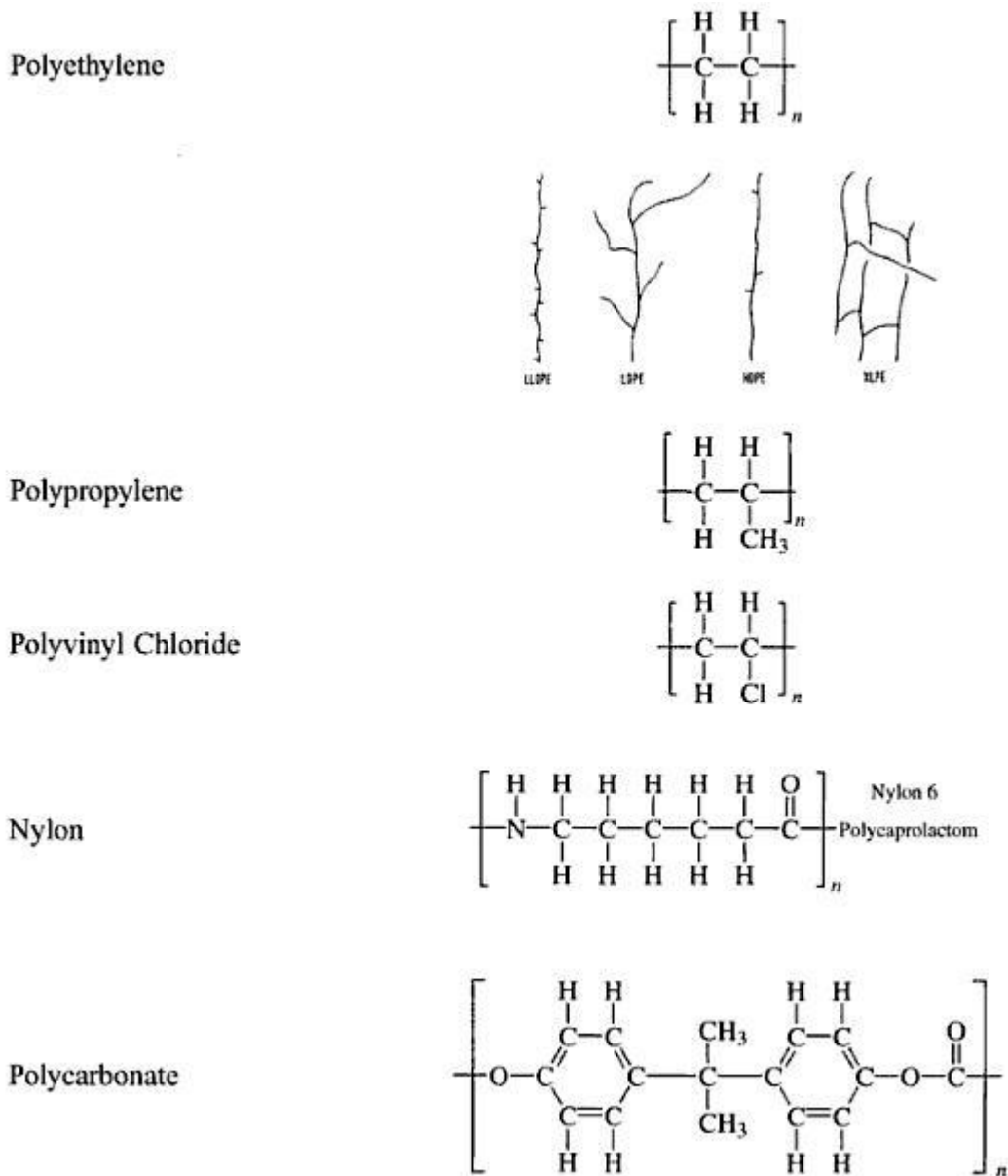
- Oblast použití hodně omezuje výběr materiálů. Tři nejdůležitější z mnoha kritérií souvisejících s výběrem materiálu jsou: (1)
 - a) Dostupnost v tekuté nebo práškové formě.
 - b) Teplotní stabilita.
 - c) Dobrý tok.

Spojení těchto tří kritérií vyřazuje mnoho polymerů z úvahy o použití pro rotační tváření. Pět z polymerních materiálů, které překonaly vypsání omezení a jsou tedy použitelné, jsou vypsány v tabulce (Tab.2) v sestupném pořadí podle použití. (1)

Jak je vidět nejběžněji používaným materiálem je polyethylen. Aplikace rotačně tvářeného polyethylenu jsou rozmanité. (1)

- **Průmyslové produkty:** nádrže, sudy, kontejnery, odpadkové koše, komponenty a nádrže do vysavačů podlah, sportovní náčiní a herní nástroje, lodní skelety a pouzdra, odpadkové popelnice, komponenty a nádrže travních sekaček, nádrže a kontejnery pro kompost a septik.
- **Přepravní produkty:** benzínové nádrže, těla motokár, bedny postelí do kamionů, těla lodí, kajaky, kanoe, dálniční značky, barikády a zábrany, ochranné nárazníky.
- **Spotřebitelské produkty:** nábytek, utěsněné nádoby na jídlo a nápoje, vázy, psí boudy, poštovní schránky.
- **Rekreační produkty:** hračky, bazény, nádoby na písek, veslové, motorové a plachtové lodi, kajaky, kánoe, náčiní pro bowling, bóje.
- **Zemědělské produkty:** vodní nádrže, nádoby pro krmení a napájení zvířat, kabiny traktorů, panely pro sklizňové stroje, koše na obilí a zrna, benzínové, hnojivové a pesticidové nádrže cisterny. (1)

Tab. 2 Nejběžněji používané polymery pro rotační tváření včetně chemických struktur. (1)



1.2 Přehled základních konstrukcí strojů pro rotační tváření

Všechny systémy rotačního tváření (spékání) plastů mají určitý počet částí zahrnující formu, pec (zahřívací komoru), ochlazovací komoru a počet vřeten.

Formy dávají tvar hotovému výrobku, jsou používány pro vytváření dílce a jsou vyráběny obvykle z hliníku různými technologiemi. Zejména pak odléváním, dílenským zpracováním kovových plátů (kombinace více procesů - ohýbání, svařování), elektroforming (nejčastěji používanými materiály jsou nikl, měď a jejich kombinace), strojním obráběním. (1) Drsnost povrchu dutiny formy závisí na požadavcích pro povrch výrobku. Lze použít dutinu zvláště neopracovanou, např. pro velkoobjemové nádrže a kontejnery. Pro vysokou kvalitu povrchu výrobku lze také použít dutinu z teflonu. Kvalita výsledného produktu je tedy přímo závislá na kvalitě použité formy. (2)

Pec je používána pro zahřátí formy a materiálu v dutině formy. Vlivem tepla, kterému je forma vystavena po dobu v řádech desítek minut, se materiál připéká na povrch dutiny formy. Forma se zároveň otáčí kolem dvou os, a tak dojde k pokrytí dutiny formy plastickým materiálem. (1)

V chladicí komoře se nachází forma po dobu předposledního kroku procesu – chlazení. Ochlazení formy a materiálu v její dutině lze realizovat dvojím způsobem. Pomocí proudícího vzduchu, nebo sprchováním formy vodou. Je-li chlazení realizováno pomocí kapek chladicí kapaliny na formu, musí být komora vybavena rozprašovačem, nebo „sprchou“. Chlazení proudem vzduchu se děje za použití ventilátorů. (2)

Vřetena jsou používána k rotaci formy, a tím i k zajištění celistvého pokrytí dutiny formy.

1.2.1 Typ kyvadlový („Shuttle“, „Swing-arm“)

Jsou to jednoramenné otočné stroje. Jejich název vyplývá z pohybu, který vykonávají během procesu. Hlavní vřeteno s formou jednoduše houpe (swing) z pece do chladicí komory. Forma je tedy umístěna na hlavním vřetenu a otáčí se ve dvou osách. Zatímco se děje otáčivý pohyb, hlavní vřeteno celou formu umístí do pece a následně do chladicí komory. Tyto jednoramenné typy strojů jsou relativně levné a používají se pro produkci výrobků velkých rozměrů. Největší nevýhodou těchto typů je možnost použití pouze jedné formy, tím i menší efektivita pracovního času stroje. (1)

1.2.2 Typ „Clamshell“

Je to jednoramenný typ stroje. Forma je upevněna v rámu, který je držěn na obou stranách dalšími dvěma rameny. Celý rám se otáčí s formou (rám se ovšem otáčí pouze v jedné ose). Zahřívání a ochlazování probíhá v jedné komoře, a tak celý systém zabere méně místa než jeho ekvivalent – kyvadlový typ. Je to relativně levná varianta, když vezmeme do

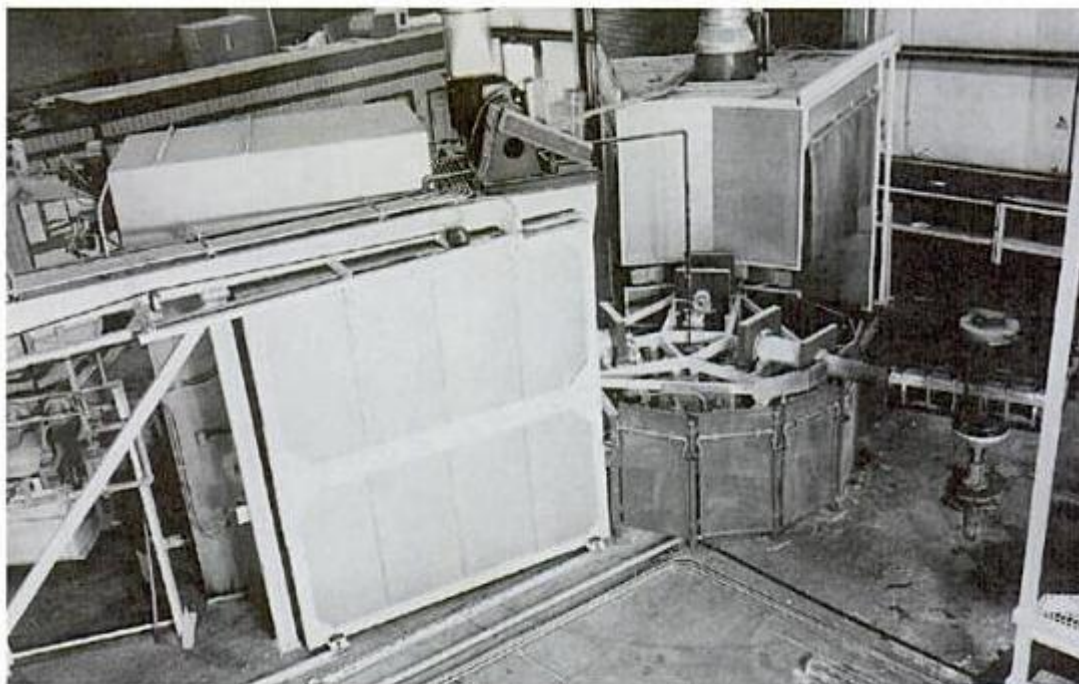
úvahy velikost vyráběného produktu. Aplikace této varianty jsou nacházeny ve výrobě velkoobjemových kontejnerů a nádrží. K dostání jsou ovšem také v mnohem menších rozměrech, např. pro školy, k výrobě prototypů nebo vysoce kvalitních modelů. Může zde být použito více než jedné formy. (1)

1.2.3 Typ („Rock „N“ Roll“)

Jde o jednoramenný systém. Hlavní odlišnost oproti ostatním typům je v úhlech pohybu v obou osách. Otáčí a válí s formou o 360° v jedné, hlavní ose, a zároveň naklání a válí s formou o 45° nahoru, nebo dolů v ose druhé, vedlejší. K zahřívání zde dochází otevřeným plamenem. Tyto typy patřily k prvním strojům v technologii rotomolding, vyvinutých pro výrobu velkých dílů. Novější typy zahřívají formu stlačeným horkým vzduchem. Tyto stroje jsou výhodné pro výrobu velkých dílů s velkým poměrem délky a šířky. Pro velké výrobky s vhodným poměrem délka/šířka jsou tyto stroje cenově výhodnější než víceramenné otočné stroje. Mají stejné výhody i nevýhody jako ostatní jednoramenné typy. (1)

1.2.4 Typ karusel

V dnešní době nejběžněji používaný typ stroje pro rotační tváření. Jsou to víceramenné otočné věže a jsou k dostání až se šesti rameny pro upevnění forem. Nejčastější jsou však varianty se třemi, nebo čtyřmi rameny. Vůbec nejpoužívanější od roku 1997 je tříramenný stroj s pevnou, otočnou věží (Obr.4). S pevnou otočnou věží se musí všechny tři ramena pohybovat společně. Obvykle bývá jedno rameno v zahřívací komoře, druhé rameno v chladicí komoře a třetí v naplňovacím, nebo vyprazdňovacím prostoru. To jsou ideální podmínky k umístění stejné formy na každé rameno. Problém nastává jestliže je jedno rameno, oproti druhému, zatíženo formou rozdílného tvaru. Pak nastává situace, kdy větší díly s delším potřebným ohřívacím časem mají rozdílnou tloušťku stěny než ostatní, rozměrově rozdílné díly. Řešení tohoto problému přišlo s vyvinutím stroje s nezávislými rameny, které se pohybují nezávisle na sobě. Možnost vzájemně nezávislého pohybu ramen, dovoluje ponechávat jednotlivá ramena s formami v různých fázích procesu po rozdílné časové úseky, což je výhodné pro produkci dílů odlišných tvarů, velikostí a tloušťek stěn. (1)



Obr. 4 Tříramenný stroj s pevnou, otočnou věží. (1)

1.2.5 Ostatní

Mezi méně používaný typ patří:

- Typ vertikální („Up & over“):

Víceramenný stroj, který se pohybuje svisle. Plnicí a vyprazdňovací plocha je umístěna naproti stroji mezi zahřívací a chladicí komorou. Tyto stroje mají stejné možnosti jako systémy horizontální víceramenné, avšak zaberou méně místa. (1)

- Vývoj:

Ve vývoji jsou nyní dva nové typy strojů pro rotační tváření (spékání) plastů. Tyto slibují mnoho nových změn. Například v oblasti zahřívání formy a materiálu se počítá s pokrokem díky infračervenému záření. Takto ohřívaná forma by zkrátila dobu zahřívání z třiceti minut na dvacet dva a půl minuty. Stroje využívající tento způsob zahřívání jsou v provozu v jednom kuse v USA a v pěti kusech ve Francii. (1)

1.3 Přehled materiálů vhodných pro rotační tváření

Rotační tváření je technologie, která je značně omezena výběrem materiálů vhodných ke tváření. Oblast použití hodně omezuje výběr materiálů. Tři nejdůležitější z mnoha kritérií souvisejících s výběrem materiálu jsou:

- d) Dostupnost v tekuté nebo práškové formě.
- e) Teplotní stabilita.
- f) Dobrý tok.

Seznam nejpoužívanějších materiálů s jejich chemickými strukturami jsou uvedeny v tabulce (Tab. 1). Jak je vidět nejpoužívanější polymer pro rotační spékání je polyetylen. Více než 80% rotačně tvářených plastů je z rodiny polyetylenů – nízkohustotní (LDPE), lineární nízkohustotní (LLDPE), středněhustotní (MDPE), vysokohustotní (HDPE) a zesíťovaný polyetylen (XLPE). Velmi používaný je také etyl vinyl acetát. (1)

1.3.1 Ostatní, méně používané materiály

Tyto ostatní materiály uvedené níže jsou ve většině případů limitovány použitelností pro rotační tváření. Použitelnost těchto materiálů je také brzděna omezeným množstvím zpracovatelů, kteří se je naučili tvářet. S časem, některé z těchto materiálů přestaly vyhovovat pro užívání v technologii rotomolding. Například akrylonitril butadien styren (ABS) byl rotačně tvářen v polovině sedmdesátých let dvacátého století. Dnes není na trhu komerčně dostupný ABS materiál ve formě vhodné pro rotační tváření. (1)

- Seznam méně používaných materiálů: (1)

1. ABS
2. Acetal
3. Epoxidová pryskyřice
4. Polyester
5. Polystyren
6. Polyuretan
7. Silikon

1.3.2 Polyetylen

Protože je z více než 80% nejpoužívanějším rotačně spékaným materiálem, bude se tato kapitola o materiálech věnovat zejména PE. (1)

1.3.2.1 Nízkohustotní polyetylen (LDPE)

Nejstarší rotačně spěkaný člen rodiny PE. LDPE je jako všechny ostatní termoplasty vytvořen z dlouhého molekulárního řetězce. Tyto dlouhé řetězce jsou složeny z opakujících se skupin molekul, které jsou k sobě vzájemně vázány a tvoří polymer. LDPE obsahuje pouze atomy uhlíku a vodíku. Molekula LDPE je charakterizována zejména tím, že má hodně postranních větví. Jakýkoliv polyetylen (PE) s hustotou v rozmezí 0,91 – 0,925 g/cm³ je nízkohustotní polyetylen – LDPE. (1)

1.3.2.2 Vysokohustotní polyetylen (HDPE)

Polyetylen s hustotou v rozmezí 0,941 – 0,959 g/cm³ je považován za vysokohustotní polyetylen. HDPE je také složen z atomů uhlíku a vodíku, ale je přibližně 50x větší než molekula LDPE. Jednotlivé molekuly v polymeru k sobě nepoutá žádná chemická nebo fyzická vazba, avšak mezi molekulami působí elektrostatická vazba, známá jako Van der Waalsova síla. Mezimolekulární Van der Waalsovi síly jsou vzájemně uspořádány blízko sebe.

Běžné rotačně tvářené materiály, známé pro jejich krystalinitu, jsou polypropylen (PP), HDPE a PA 6.6 (Nylon). Vhodně tvářený HDPE díl bude ze 70 až 90% krystalický. Stupeň krystalinity polymeru má významný vliv na fyzické vlastnosti materiálu. Tato hodnota může být měněna způsobem, jakým je materiál zpracováván. Všechny PE jsou v tekutém stavu amorfni. Pokud je polymeru umožněno chladnout pomalu, krystaly se můžou zreformovat. Pokud dojde k ochlazení rychle, polymer nemá dostatečný čas na tuto změnu a stává se více amorfni. Obecně řečeno, se zvětšujícím se stupněm krystalinity roste hustota, koeficient smrštění, tepelná a chemická odolnost materiálu. (1)

1.3.2.3 Středněhustotní polyetylen (MDPE)

Polyetylen s hustotou v rozmezí 0,925 – 0,941 g/cm³ je považován za MDPE. Tvar, stupeň krystalinity a fyzické vlastnosti tohoto polymeru jsou mezi LDPE a HDPE. V minulosti to byl důležitý rotačně tvářený materiál. (1)

1.3.2.4 Lineární nízkohustotní polyetylen (LLDPE)

Molekula LLDPE je podobná jako LDPE, s výjimkou kratších postranních větví a jejich jednotnějšího uspořádání po délce řetězce. To umožňuje molekulám zachovat si jejich nízkou hustotu. Jeho zlepšené fyzické vlastnosti oproti LDPE dovolují použití LLDPE v aplikacích, kde mohli vyhovovat jen HDPE nebo XLPE. Tento materiál byl rotačně tvá-

řen ve velkých množstvích okamžitě, jakmile byly rozpoznány jeho výhody oproti LDPE. (1)

1.3.2.5 Zesíťovaný polyetylen (XLPE)

K rozvětveným a nerozvětveným materiálům byl navíc průmyslem vyvinut XLPE. Molekuly jsou uzavřeny v neohebném trojrozměrném tvaru. Zahříváním tohoto materiálu svazky mezi molekulami nezeslábnou. Zesíťované materiály si tedy uchovají své fyzikální vlastnosti navzdory zvyšující se teplotě. (1)

Hlavní výhody dosahované díky zesíťování jsou zlepšený index toku materiálu, vyšší teplotní a chemická odolnost. Vzhledem k takovým zlepšením ve vlastnostech XLPE je tento materiál používán pro benzínové nádrže a těla chemicky odolných čerpadel. XLPE může být použit při 182°C. (1)

Nevýhodou je fakt, že se XLPE nesmí opakovaně tavit, to znamená, že nesmí být ani opakovaně zpracován rotačním tvářením. (1)

II. PRAKTICKÁ ČÁST

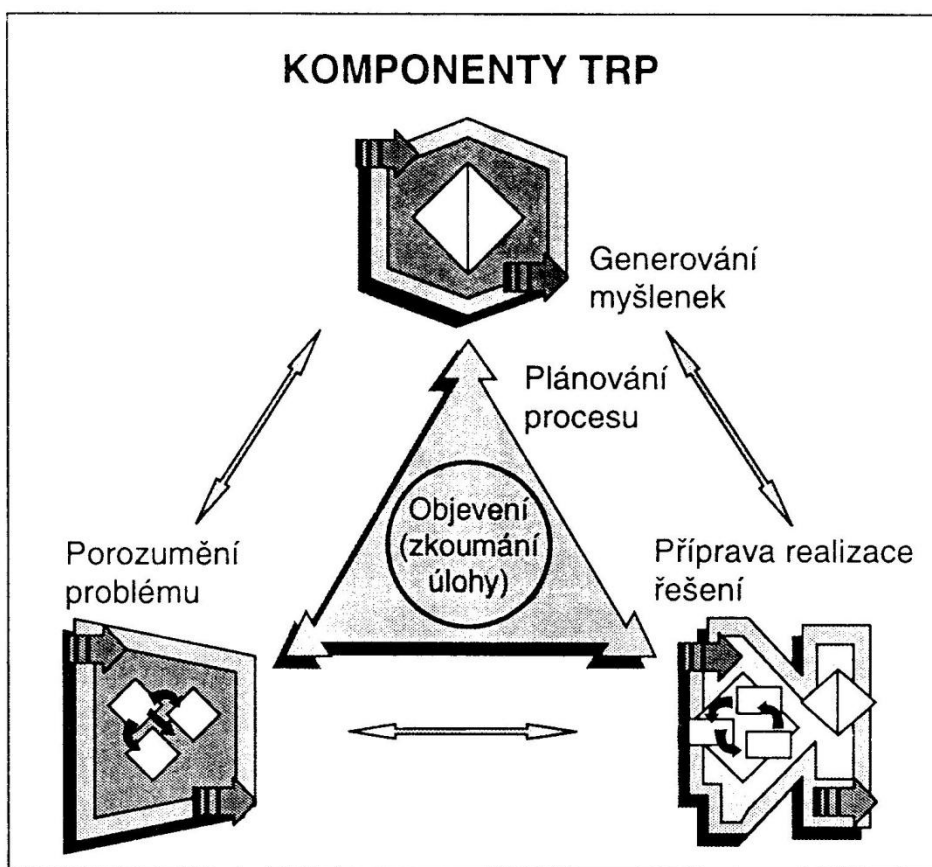
2 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské práce je:

- Analyzovat současný stav techniky v daném odvětví
- Navrhnout laboratorní zařízení pro rotační tváření plastů
- Vypracovat výkresovou dokumentaci jako podklad pro výrobu zařízení

3 NÁVRH ZAŘÍZENÍ PRO LABORATORNÍ ÚČELY

Po obeznámení s různými typy strojů pro rotační spékání plastů je nutné zvolit ten, který je pro účely Ústavu výrobního inženýrství nejvhodnější. Je potřeba si uvědomit, že pro rozdílné tvary a velikosti výrobku jsou nutné změny otáček, a to v rychlosti nebo jejich vzájemném poměru a také změny technologického procesu, jako je doba a teplota ohřevu či doba chládnutí formy. S těmito faktory musí být počítáno při výběru stroje. Dále je vhodné vzít v úvahu maximální rozměry celého zařízení, dostupnost strojních součástí a materiálů potřebných pro výrobu. Návrh konkrétního zařízení se všemi náležitostmi pro správnou funkčnost je tvůrčí proces, který podle Isaksenova, Dorvalova a Treffingerova modelu tvůrčího řešení problémů (obr.5) obsahuje tři hlavní komponenty: 1. porozumění problému, 2. generování myšlenek, 3. příprava realizace řešení.



Obr.5 Model tvořivého řešení problémů. (4)

Správná funkce celého zařízení má několik specifických požadavků, z nichž pro konstrukci stroje jsou důležité zejména tyto:

- Pro různé tvary a velikosti výrobků je důležitý poměr otáček, a tak první otáčky nesmí ovlivňovat druhé. Řešením jsou dva nezávislé motory, každý pro pohon jedné osy. (2)
- Pro dosažení rovnoměrných stěn výrobku, resp. jejich požadované tloušťky, by neměl být poměr otáček na jednotlivých osách celé číslo. Běžný poměr pro jednoduché tvary výrobků je 4:1, řešením je tedy poměr otáček např. 3,8:1. Toho lze dosáhnout vhodně zvolenými velikostmi řetězových kol. (2)

Podle požadavku ÚVI bude forma pro první použití (test) stroje, čtvercového nebo obdélníkového tvaru s maximálním rozměrem 300mm. Podle tohoto požadavku bylo třeba zvolit rychlost otáčení a poměr otáček vůči sobě. Podle následující tabulky (Obr.6) a doporučení firmy CZ PLAST jsem zvolil poměr otáček 4:1.

Table 1: Rotation Ratios and Speeds for Typical Part Shapes

Shape	Rotation Ratio	Typical Speed (rpm)	
		Major Axis	Minor Axis
Oblongs and straight tubes ^a	8 to 1	8	9
Defroster ducts	5 to 1	5	6
Balls and gloves	4.5 to 1	8	9.75
Cubes, balls, odd shapes	4 to 1	8	10
Rectangular boxes, horses with bent legs	4 to 1	10	12.5
Shapes that have overlapping lines of rotation at 4 to 1	3.3 to 1	10 - 12	12.25 - 14.5
Rings, tires, balls	2 to 1	6	9
Rectangles that show two or more thin sides at 4 to 1	2 to 1	8	12
Picture frames, mannequins, round flat shapes	2 to 1	10	15
Horses with straight legs, auto crash pads ^b	1 to 3	12	18
Parts that have thin walls at 2 to 1	1 to 2	5 - 7	15 - 21
Flat rectangles, gas tanks, suit cases, tote bin covers	1 to 3	4	15
		6	22.5
		9.5	36
Tires, curved air ducts	1 to 4	4	20
Pipe angles, flat rectangles	1 to 4	5	25
Cylinders ^b , balls that have thin walls at 4 to 1	1 to 4	6	30
Cylinders ^b	1 to 5	4	24

^a Horizontally mounted, parallel to the major axis.

^b Vertically mounted, perpendicular to the major axis.

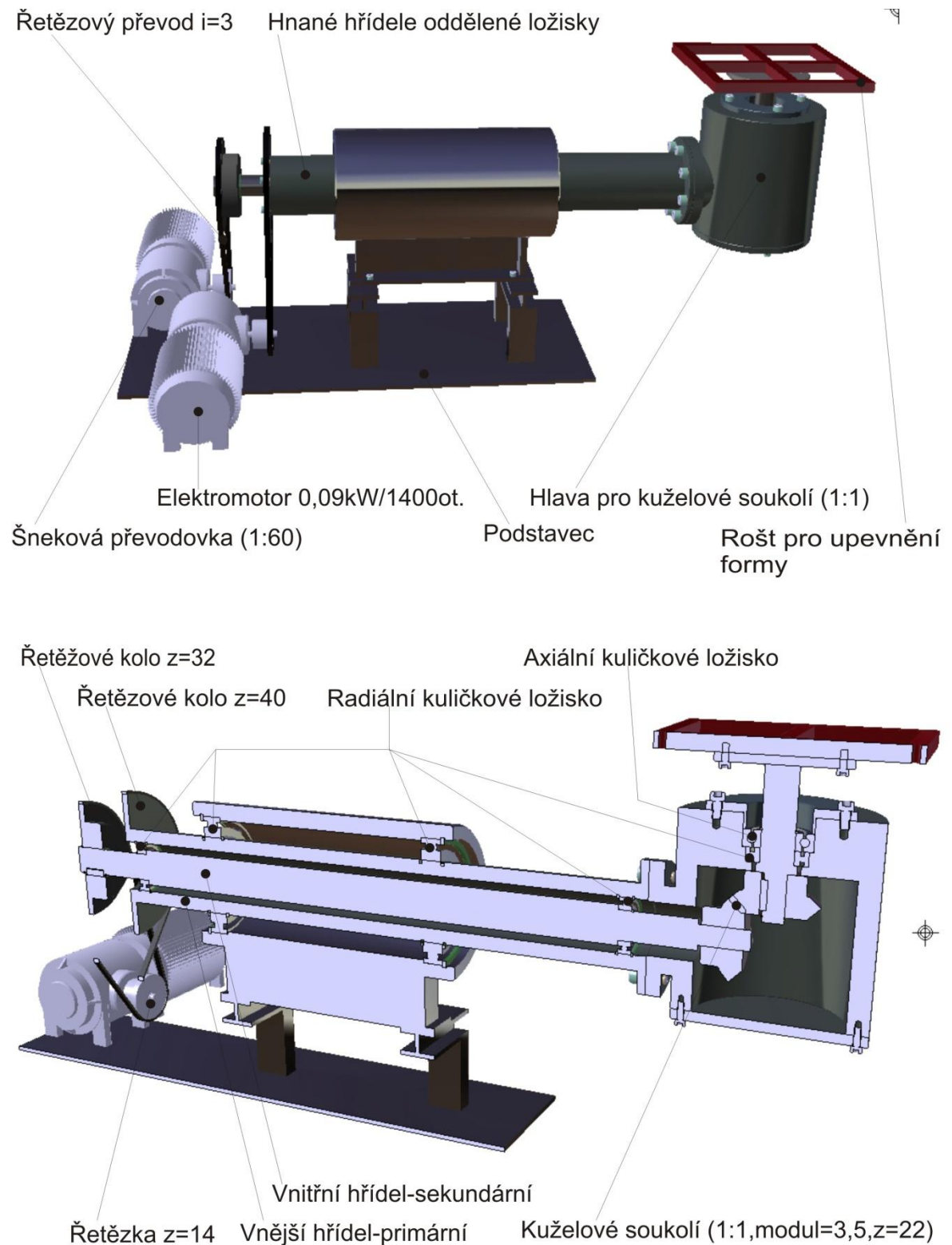
Obr. 6 Poměr otáček pro typické tvary výrobků. (5)

Výpočet poměru otáček jednotlivých os pro rotační tváření: (1)

Poměr = Hlavní osa [ot/min] / (Vedlejší osa [ot/min]) - (Hlavní osa [ot/min])

Poměr = 8 [ot/min] / (10 [ot/min] - 8 [ot/min]) = 8/2 = 4/1

3.1 Konkrétní návrh stroje



Obr.7 Popis částí stroje pro rotační tváření plastů.

- **Typ:** Podle požadavků Ústavu výrobního inženýrství jsem navrhl konstrukční řešení stroje (Obr.7), které je nejjednodušeji realizovatelné pro laboratorní podmínky. Jedná se o typ s jedním – primárním ramenem, který se používá v praxi. (2)
- **Pohon:** Nejdříve byla provedena volba elektromotoru – podle potřebných otáček a výkonu. Jelikož stroj bude využíván v laboratoři, bude osazován malými formami (jejichž největší rozměr by neměl přesáhnout 300mm). Nejvhodnější otáčky pro takové rozměry jsou 2 – 10 ot./min. (2) Není tedy třeba vysokého výkonu motoru.
Byl vybrán elektromotor Siemens s výkonem 0,09kW při otáčkách 1400min^{-1} , osazen šnekovou převodovkou s převodovým poměrem 1:60 a výstpními otáčkami $23,3\text{min}^{-1}$.
- **Převod krouťícího momentu:** Pro převod M_k na hlavní osu stroje – vnitřní (sekundární) a vnější (primární) hřídel, byl zvolen řetězový převod. U řemenového převodu by mohlo docházet k prokluzu a ke ztrátám výkonu. Řemen má také menší životnost. V zahřívací komoře se teploty pohybují kolem $250\text{-}300^\circ\text{C}$ v závislosti na polymeru, a tak by řemen nebyl bezpečný. Řetězový převod jsem navrhl pro otáčky primární hřídele 8min^{-1} a otáčky sekundární hřídele 10min^{-1} . Byly vypočteny potřebné hodnoty obou velkých řetězových kol a řetězky, která má v obou případech stejný počet zubů. Pro řetěz byl vypočten počet článků, a tedy i jeho potřebná délka pro danou osovou vzdálenost.
- **Návrh obou hřídelí** byl proveden po vypočtení nejmenšího (kritického) průměru. Materiál primární i sekundární hřídele je 11 500.0 - ČSN 42 5510.12 .
- **Ložiska** oddělující obě hnané hřídele jsou radiální kuličková jednořadá - ČSN 02 4630 .
- **Převod M_k na normálovou osu:** Kuželové soukolí, které přenáší krouťící moment ze sekundární hřídele na hřídel kolmou, má poměr 1:1 a je čelní s přímými zuby. Modul=3,5, počet zubů $z=22$.
- **Uložení kolmé hřídele:** je realizováno pomocí jednoho radiálního a jednoho axiálního kuličkového jednořadého ložiska. Jsou nasazena těsně na sebe a zajištěna z horní strany víčkem. Hřídel je z oceli 11 523.0 se zaručenou svařitelností.

- **Uchycení formy:** Na konci kolmé hřídele je přivařena kruhová příruba, ke které se čtyřmi šrouby připevní “rošt”, na který se nasadí a přišroubuje forma. Rošt je čtyřhran z oceli 11 373.0 - ČSN 42 550.20 .
- **Rám a podstavec:** K nosné trubce primární a sekundární hřídele je přivařena konzola a je přišroubována k podstavci, který je svařen z I profilů a dutých tenkostěnných profilů.

3.1.1 Návrh pohonu

- Rozpohybovaná forma a její tvar má na výběr elektromotoru největší vliv. V praxi bývají formy velké několik metrů. Laboratorní zařízení však bude pohybovat s formou velkou v nejdelším místě 20-40cm.
 - Nejvhodnější otáčky byly doporučeny od 2min^{-1} do 10min^{-1} a poměr 4:1 (hlavní osa : vedlejší osa). (2) Pro tyto podmínky bylo třeba vybrat co nejefektivnější a zároveň ekonomické řešení.
- Dle doporučení vedoucího práce a product manažera firmy Siemens:

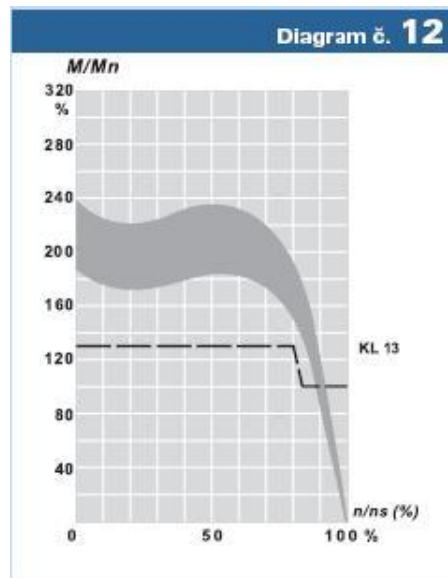
Elektromotor Siemens 1LA7053-4AB12 trojfázový asynchronní motor s kotvou nakrátko.

Specifikace:

Jmen. výkon	Velkost	Objednací číslo	Parametry při jmenovitém výkonu					Jmenovitý proud při 400 V	Jmenovitý moment	Poměrný záběrný moment Mz/Mn	Poměrný záběrný proud I_k/I_n	Poměrný moment zvratu M_{max}/M_n	Momentová třída	Momentová charakteristika Diagram č.	Moment setvačnosti J	Hmotnost
			Otáčky	Účinnost η při 100% zatížení	Účinnost η při 75% zatížení	Účinnost $\cos \varphi$	Tvar IMB3									
0,06	56	1LA7 050-4AB..	1350	56	55	0,77	0,20	0,42	1,9	2,6	1,9	13	12	0,00027	3,0	
0,09	56	1LA7 053-4AB..	1350	58	57	0,77	0,29	0,63	1,9	2,6	1,9	13	12	0,00027	3,0	
0,12	63	1LA7 060-4AB..	1350	55	54	0,75	0,42	0,84	1,9	2,8	2,0	13	12	0,0003	3,5	
0,18	63	1LA7 063-4AB..	1350	60	60	0,77	0,56	1,3	1,9	3,0	1,9	13	12	0,0004	4,1	

Obr.8 Specifikace elektromotoru. (6)

- Výkon = 0,09kW
 - Otáčky = 1400min^{-1}
 - Osová výška = 56mm
- Diagram momentové charakteristiky motoru (viz níže) :
- Diagram typického průběhu momentového pásma.
 - Závislost kroutícího momentu na otáčkách.



Obr.9 Momentová charakteristika. (6)

➤ Šneková převodovka

Elektromotor je osazen šnekovou převodovkou MRT 28 - 60 - A/B3 - 56/65

Dodavatel: firma TOS ZNOJMO, akciová společnost.

- Specifikace:

TOS ZNOJMO

Tabulka 8.1.1.

Maximální hodnoty P_1, M_2 pro $S_m = 1$

Typ	i	$n_1 - 1700 \text{ [min}^{-1}\text{]} (4p - 60 \text{ Hz})$				$n_1 - 1400 \text{ [min}^{-1}\text{]} (4p - 50 \text{ Hz})$				$n_1 - 1100$	
		n_2	P_1	M_{2max}	η	n_2	P_1	M_{2max}	η	n_2	P_1
RT	MRT	[min ⁻¹]	[kW]	[Nm]	[%]	[min ⁻¹]	[kW]	[Nm]	[%]	[min ⁻¹]	[kW]
28	7,5	226,7	0,336	12	84,7	186,7	0,316	14	83,4	146,7	0,316
	10	170	0,263	13	84,5	140	0,247	14	83,2	110	0,247
	15	113,3	0,188	13	78,7	93,3	0,178	14	77,0	73,3	0,178
	20	85	0,141	12	75,7	70	0,139	14	73,6	55	0,139
	25	68	0,133	13	69,4	56	0,131	15	67,2	44	0,131
	30	56,7	0,141	16	65,1	46,7	0,132	17	62,8	36,7	0,132
	40	42,5	0,103	14	60,5	35	0,098	16	58,0	27,5	0,098
	50	34	0,083	13	55,7	28	0,079	15	53,5	22	0,079
	60	28,3	0,058	9	45,6	23,3	0,062	11	43,5	18,3	0,062
	80	21,3	0,036	7	43,2	17,5	0,040	9	41,0	13,8	0,040

Obr.10 Tabulka hodnot převodovky. Katalog firmy TOS ZNOJMO. (7)

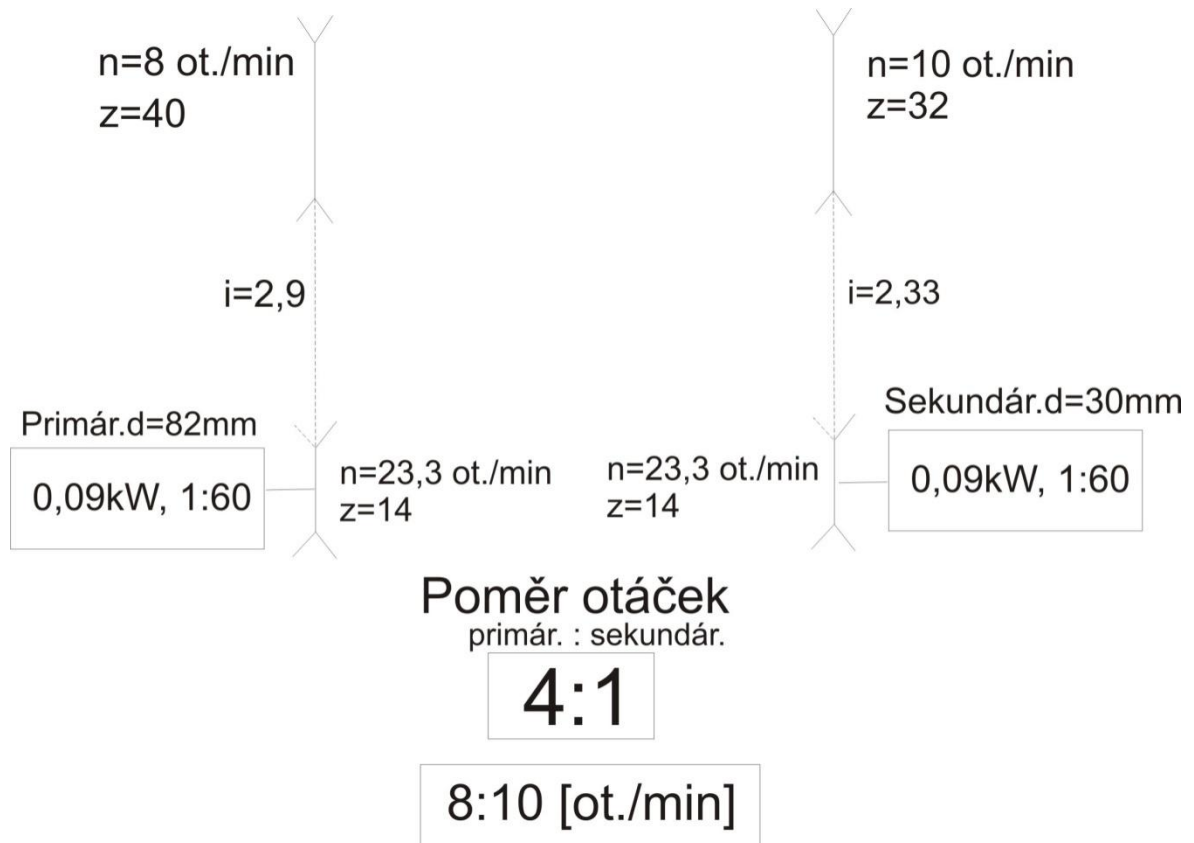
- $n_2 = 23,3 \text{ min}^{-1}$
- $P_1 = 0,062 \text{ kW}$

- $M_{2\max} = 11 \text{ Nm}$
- $i = 60$

Převodovka tohoto typu bývá standartně dodávána spolu s vybraným motorem.

3.1.2 Řetězový převod

- Volba otáček jednotlivých os:



Obr.11 Schéma řetězového převodu a důležitých hodnot.

- Počty zubů řetězových kol:

Primární hřídel

$$i_1 = \frac{23,3}{8} = 2,9$$

volím $\rightarrow z_1 = 14 \text{ zubů}$

$$z_2 = 2,9 \cdot 14 = 40,7 \doteq 40 \text{ zubů}$$

Sekundární hřídel

$$i_2 = \frac{23,3}{10} = 2,3\bar{3}$$

volím $\rightarrow z_1 = 14 \text{ zubů}$ (1)

$$z_2 = 14 \cdot 2,3\bar{3} = 32,6 \doteq 32 \text{ zubů}$$

- Počet zubů byl vždy zvolen sudý, aby v provozu nedocházelo k nerovnoměrnému opotřebení řetězu a zubů kol.

➤ Výpočet řetězového převodu

- Výpočet byl proveden podle vysokoškolské příručky Návrh a výpočet řetězového převodu, autor Květoslav Kaláb. (8)

Podle diagramu Návrh řetězů typu B – závislost otáček malého kola na výkonu motoru volím **ŘETĚZ 08-B-1**. (8)

- Výpočet roztečných průměrů řetězových kol:

Rozteč řetězu 08-B-1 je $t=12,7 \text{ mm}$.

$$\phi d_1 = \frac{t}{\sin \frac{180}{z_1}} = \frac{12,7}{\sin \frac{180}{14}} = 57,07 \text{ mm} \quad (2)$$

→ průměr d_1 čili malého malého řetězového kola je pro obě hnané hřídele stejný – jak je zřejmé ze schématu (Obr.2.7).

$$\phi D_{2\text{SEKUNDÁRNÍ}} = \frac{t}{\sin \frac{180}{z_2}} = \frac{12,7}{\sin \frac{180}{32}} = 129,56 \text{ mm}$$

$$\phi D_{2\text{PRIMÁRNÍ}} = \frac{t}{\sin \frac{180}{z_2}} = \frac{12,7}{\sin \frac{180}{40}} = 161,87 \text{ mm}$$

- Výpočet sil působících na řetěz:

Výpočet je proveden pro „nejrychlejší hřídel“, tzn. sekundární.

- **Obvodová síla:**

$$F_o = \frac{P}{\pi \cdot d_1 \cdot n} = \frac{90}{\pi \cdot 57,07 \cdot 23,3} = 1,29 \text{ N} \quad (3)$$

Výkon dosazen největší dostupný - výstupní z elektromotoru – pro případ osazení jinou převodovkou.

- **Tahová složka od obvodové síly:**

$$F_c = m \cdot v^2 \quad (4)$$

kde m = hmotnost 1m řetězu

$m = 0,75 \text{ kg} \rightarrow$ odečteno z tabulky Plocha kloubu, jednotková hmotnost a síla při přetržení.

(8)

$v =$ obvodová rychlost

$$v = \pi \cdot d_1 \cdot n = \pi \cdot \frac{57,07}{1000} \cdot \frac{23,3}{60} = 0,069 \text{ m/s} \quad (5)$$

Tahová složka od obvodové síly je tedy:

$$F_C = m \cdot v^2 = 0,75 \cdot 0,069^2 = 3,57 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

- **Tahová složka od tíhy volné dolní větve řetězu:**

$$F_m = \frac{m \cdot A^2}{8 \cdot h} \cdot g \quad (6)$$

$A = 210 \text{ mm} \rightarrow$ zvolená osová vzdálenost.

$h =$ průvės řetězu $= 0,01 \cdot A$ (8)

$$F_m = \frac{0,75 \cdot 0,21^2}{8 \cdot 2,1} \cdot 9,81 = 0,019 \text{ N}$$

Tuto sílu můžeme vzhledem k velikosti F_O zanedbat, její výpočet se provádí zpravidla až při osově vzdálenosti $A > 25 \cdot t$. (8)

- **Výsledná tahová síla v řetězu**

$$F_1 = F_O + F_C + F_m = 1,29 + 0,00357 + 0,019 = 1,31 \text{ N} \quad (7)$$

- Kontrola proti přetržení řetězu:

Kontrola se provádí pro podmínky součinitele statické bezpečnosti k_s a dynamické bezpečnosti k_D .

Pevnost řetězu, čili síla při přetržení $F_{Pt} = 17000 \text{ N}$ (8)

$$k_s = \frac{F_{Pt}}{F_1} = \frac{17000}{3,31} = 5135 \text{ N} \geq 13 \quad (8)$$

$$k_D = \frac{F_{Pt}}{F_1 \cdot Y} = \frac{17000}{3,31 \cdot 2} = 2567 \text{ N} \geq 19 \quad (9)$$

$Y = 2 \rightarrow$ činitel rázu volený dle Tabulky hodnot činitelů rázů. (8)

- **Kontrola měrného tlaku v kloubu řetězu:**

Vlivem tření mezi čepem a pouzdrem, dochází k nežádoucímu opotřebení a prodloužení řetězu.

$$\text{Podmínka měrného tlaku v kloubu: } p_V \leq p_D \quad (10)$$

p_V ... Výpočtový tlak [MPa] p_D ...Dovolený tlak [MPa]

$$p_V = \frac{F_1}{S} = \frac{3,31}{50} = 0,0662 \text{ MPa} \quad (11)$$

$S=50\text{mm}^2$... Plocha kloubu řetězu (8)

$$p_D = p \cdot \lambda = 0,031 \cdot 0,8 = 0,248 \text{ MPa}$$

(12)

p ... Měrný tlak

λ ...činitel tření

Hodnoty zvoleny dle tabulky v Příručce. (8)

Řetěz 08-B-1 vyhovuje z hlediska měrného tlaku.

- Výpočet počtu článků řetězu:

Na základě požadované osové vzdálenosti $A=210\text{mm}$ a rozteče $t=12,7\text{mm}$.

- Pro sekundární hřídel ($z_1=14, z_2=32$):

$$X = 2 \cdot \frac{A}{t} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \left(\frac{z_2 - z_1}{2 \cdot \pi} \right)^2 \cdot \frac{t}{A} \quad (13)$$

$$X = 33,07 + 23 + 0,496329 = 56,56 \doteq 56 \text{ článků}$$

- Pro primární hřídel ($z_1=14, z_2=40$)

$$X = 33,07 + 27 + 1,0355 = 61,105 \doteq 62 \text{ článků}$$

Protože počet článků řetězu musí být celé sudé číslo, zaokrouhlil jsem oba výsledky na sudé číslo. (8)

- Výpočet délky řetězu:

- Pro sekundární hřídel ($z_1=14, z_2=32$):

$$L = X \cdot t = 56 \cdot 12,7 = 711,2 \text{ mm} \quad (14)$$

- Pro primární hřídel ($z_1=14, z_2=40$)

$$L = X \cdot t = 62 \cdot 12,7 = 787,4 \text{ mm}$$

- Výpočet minimální osové vzdálenosti:

$$A_{\min} = \frac{d_{a1\max} + d_{a2\max}}{2} + 25 \quad (15)$$

$$d_{a1\max} = d_1 + 1,25 \cdot t - d_v = 57,07 + 1,25 \cdot 12,7 - 4,45 = 68,49 \text{ mm} \quad (16)$$

$$d_{a2\max} = 129,56 + 1,25 \cdot 12,7 - 4,45 = 140,98 \text{ mm}$$

$$A_{\min} = \frac{68,49 + 140,98}{2} + 25$$

$$A_{\min} = 129,74 \text{ mm}$$

- Výpočet skutečné osové vzdálenosti:

$$A_{skut} = \frac{t}{8} \cdot \left[2 \cdot X - z_1 - z_2 + \sqrt{\left(\frac{t}{8} \cdot X - z_1 - z_2 \right)^2 - K \cdot \left(\frac{t}{8} \cdot X - z_1 - z_2 \right)^2} \right] \quad (17)$$

Součinitel $K=0,81085 \rightarrow$ zvoleno podle příručky [8]

- Pro sekundární hřídel:

$$A_{skut} = \frac{12,7}{8} \left[\cdot 56 - 14 - 32 + \sqrt{(2 \cdot 56 - 14 - 32)^2 - 0,81085 \cdot (32 - 14)^2} \right]$$

$$A_{skut} = 215,66 \text{ mm}$$

- Pro primární hřídel:

$$A_{skut} = \frac{12,7}{8} \left[\cdot 61 - 14 - 40 + \sqrt{(2 \cdot 61 - 14 - 40)^2 - 0,81085 \cdot (40 - 14)^2} \right]$$

$$A_{skut} = 209,29 \text{ mm}$$

Specifikace řetězu:

- Pro sekundární hřídel:

ŘETĚZ 56 ČLÁNKŮ 08 B-1 ČSN 02 3311.0

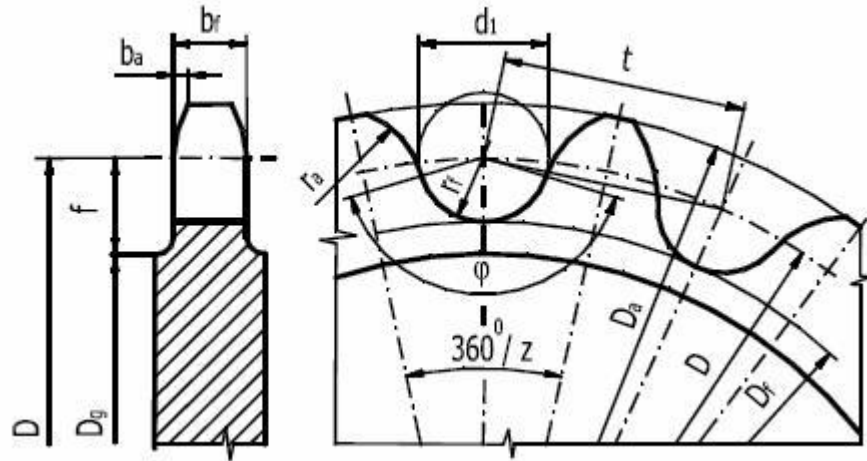
- Pro primární hřídel:

ŘETĚZ 61 ČLÁNKŮ 08 B-1 ČSN 02 3311.0

- Spojovací články:

2x SPOJOVACÍ ČLÁNEK 08 B-1 ČSN 02 3311.0

- Výpočet rozměrů řetězového kola $z_1=14$, $D_1=57,07\text{mm}$, $d_3=8,51\text{mm}$



Obr.12 Ozubení řetězového kola dle ČSN. (8)

$$\text{Průměr hlavové kružnice: } D_{a1} = D_1 + 0,5 \cdot d_3 = 57,07 + 0,5 \cdot 8,51 = 61,32\text{mm} \quad (18)$$

$$\text{Průměr patní kružnice: } D_{f1} = D_1 - 2 \cdot r_f = 57,07 - 2 \cdot 4,367 = 48,33\text{mm} \quad (19)$$

$$\text{Poloměr dna zubní mezery: } r_f = 0,505 \cdot d_3 = 0,505 \cdot 8,51 = 4,3\text{mm} \quad (20)$$

$$\text{Poloměr boku zubu: } r_{a1} = 0,12 \cdot d_3 \cdot (z_1 + 2) = 0,12 \cdot 8,51 \cdot (14 + 2) = 16,33\text{mm} \quad (21)$$

$$\text{Největší průměr věnce: } D_{g1} = D_1 - 2 \cdot f = 57,07 - 2 \cdot 8,89 = 39,29\text{mm} \quad (22)$$

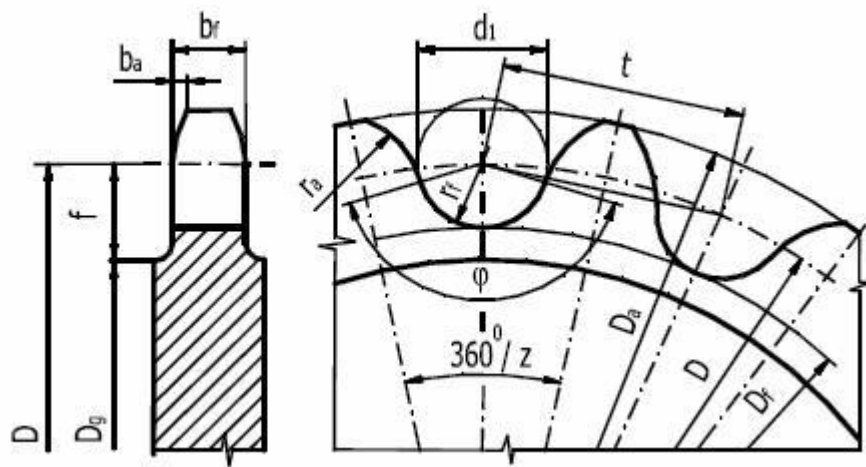
$$f = 0,7 \cdot t = 0,7 \cdot 12,7 = 8,89\text{mm} \quad (23)$$

$$\text{Šířka zubu: } b_f = 0,93 \cdot b_1 = 0,93 \cdot 7,75 = 7,2\text{mm} \quad (24)$$

$$\text{Zaoblení zubu: } b_a = 0,125 \cdot d_3 = 0,125 \cdot 8,51 = 1,06\text{mm} \quad (25)$$

$$\text{Úhel otevření zubové mezery: } \varphi_1 = 120^\circ - \frac{90^\circ}{z_1} = 120 - \frac{90}{14} = 113^\circ 34' \quad (26)$$

- Výpočet rozměrů řetězového kola $z_1=32$, $D_1=129,56\text{mm}$, $d_3=8,51\text{mm}$



Obr.13 Ozubení řetězového kola dle ČSN. (8)

Průměr hlavové kružnice: $D_{a1} = D_1 + 0,5 \cdot d_3 = 129,56 + 0,5 \cdot 8,51 = 135,37\text{mm}$

Průměr patní kružnice: $D_{f1} = D_1 - 2 \cdot r_f = 129,56 - 2 \cdot 4,367 = 120,82\text{mm}$

Poloměr dna zubní mezery: $r_f = 0,505 \cdot d_3 = 0,505 \cdot 8,51 = 4,3\text{mm}$

Poloměr boku zubu: $r_{a1} = 0,12 \cdot d_3 \cdot (z_2 + 2) = 0,12 \cdot 8,51 \cdot (32 + 2) = 34,72\text{mm}$

Největší průměr věnce: $D_{g1} = D_1 - 2 \cdot f = 129,56 - 2 \cdot 8,89 = 111,78\text{mm}$

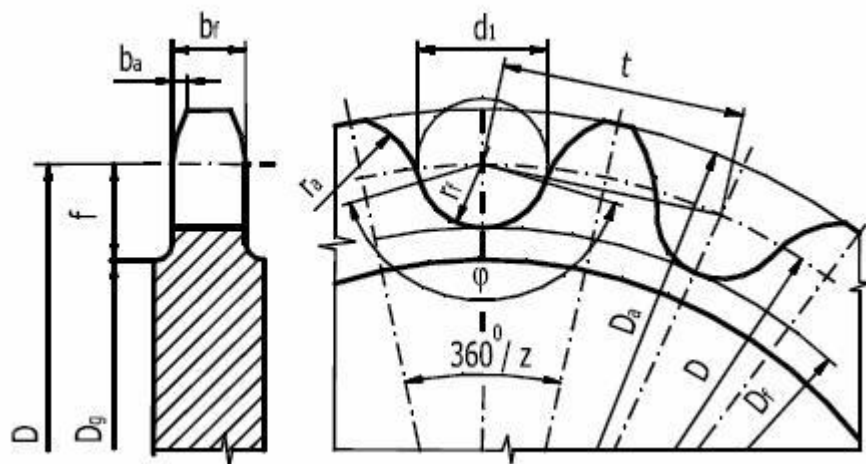
$$f = 0,7 \cdot t = 0,7 \cdot 12,7 = 8,89\text{mm}$$

Šířka zubu: $b_f = 0,93 \cdot b_1 = 0,93 \cdot 7,75 = 7,2\text{mm}$

Zaoblení zubu: $b_a = 0,125 \cdot d_3 = 0,125 \cdot 8,51 = 1,06\text{mm}$

Úhel otevření zubové mezery: $\varphi_1 = 120^\circ - \frac{90^\circ}{z_2} = 120 - \frac{90}{32} = 117^\circ 11'$

- Výpočet rozměrů řetězového kola $z_1=40$, $D_1=161,87\text{mm}$, $d_3=8,51\text{mm}$



Obr.14 Ozubení řetězového kola dle ČSN. (8)

Průměr hlavové kružnice: $D_{a1} = D_1 + 0,5 \cdot d_3 = 161,87 + 0,5 \cdot 8,51 = 167,67\text{mm}$

Průměr patní kružnice: $D_{f1} = D_1 - 2 \cdot r_f = 161,87 - 2 \cdot 4,367 = 153,13\text{mm}$

Poloměr dna zubní mezery: $r_f = 0,505 \cdot d_3 = 0,505 \cdot 8,51 = 4,3\text{mm}$

Poloměr boku zubu: $r_{a1} = 0,12 \cdot d_3 \cdot (z_2 + 2) = 0,12 \cdot 8,51 \cdot (40 + 2) = 42,89\text{mm}$

Největší průměr věnce: $D_{g1} = D_1 - 2 \cdot f = 129,56 - 2 \cdot 8,89 = 111,78\text{mm}$

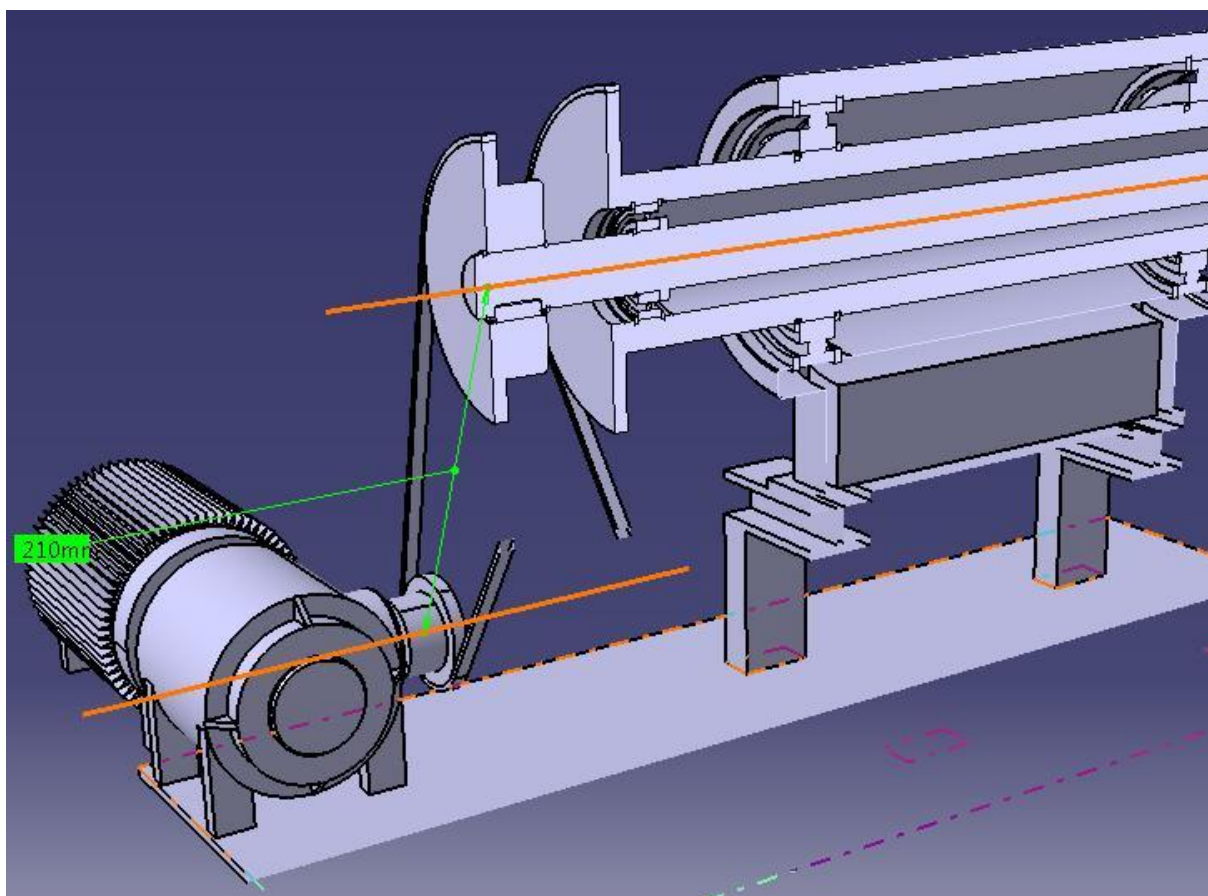
$$f = 0,7 \cdot t = 0,7 \cdot 12,7 = 8,89\text{mm}$$

Šířka zubu: $b_f = 0,93 \cdot b_1 = 0,93 \cdot 7,75 = 7,2\text{mm}$

Zaoblení zubu: $b_a = 0,125 \cdot d_3 = 0,125 \cdot 8,51 = 1,06\text{mm}$

Úhel otevření zubové mezery: $\varphi_1 = 120^\circ - \frac{90^\circ}{z_2} = 120 - \frac{90}{40} = 117^\circ 45'$

- Všechny kontrolní i rozměrové výpočty byly zkontrolovány softwarem MITcalc (Mechanical Industrial Technic calculation).
- Mazání řetězu – ruční, kapkami.
- Uložení elektromotorů vůči hnaným hřídelím – ukázka osové vzdálenosti



Obr.15 Osová vzdálenost řetězového převodu

3.1.3 Návrh primární, sekundární a kolmé hřídele

3.1.3.1 Sekundární (vnitřní) hřídel

Hřídel na jedné straně osazena řetězovým kolem $\text{Ød}=129,56\text{mm}$, na straně druhé kuželovým kolem s čelními zuby. Na obou stranách jsou drážky pro pero. Hřídel je podepřena dvěma radiálními kuličkovými ložisky. Materiál hřídele – 11 500.0 (viz. kusovník v příloze)

Výpočet je proveden podle skript Části a mechanismy strojů (9) a podle Strojnických tabulek. (10)

$$P=0,062\text{kW}$$

$$n=10\text{min}^{-1}$$

- Krouťící moment:

$$Mk = 159,2 \cdot \frac{62}{10} = 59222,4\text{Nmm} \quad (27)$$

- Síla od řetězového kola:

$$F_R = \frac{2 \cdot Mk}{D} = \frac{2 \cdot 59222,4}{129,56} = 914\text{N}$$

(28)

- Síla F: $F = \frac{2 \cdot Mk}{D}$ D- roztečný Ød kuželového kola d=81,9mm

$$F = \frac{2 \cdot 59222,4}{81,9} = 1446,21\text{N} \quad (29)$$

- Minimální průměr:

$$W_k = \frac{Mk}{\tau_{DK}} = \frac{59222,4}{85} = 696,73\text{mm}^3 \quad (30)$$

$$W_k = \frac{\pi \cdot d_{\min}^3}{16} \rightarrow d_{\min} = \sqrt[3]{\frac{696,73 \cdot 16}{\pi}} = 15,25\text{mm} \rightarrow d=30\text{mm} \quad (31)$$

- Zatížení od ohybového momentu:

- Zatížení počítáno pro největší sílu působící na nosníku F,
Mo=1446,21[N].97[mm]

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{M_o}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} \leq \sigma_{oD}$$

$$\sigma_o = \frac{1446,21 \cdot 97}{\frac{\pi \cdot 30^3}{32}} = 52,92 \text{ Mpa}$$
(32)

- Od kroučícího momentu:

$$\tau_K = \frac{M_K}{W_K} = \frac{M_K}{\frac{\pi \cdot d_{\min}^3}{16}} = \frac{59222,4}{1570,79} = 37 \text{ Mpa}$$
(33)

- Kontrola výpočtem redukovaného napětí:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3\tau_k^2} = \sqrt{52,92^2 + 3 \cdot (37)^2} = 83,11 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red} \leq \sigma_{Rdov}$$
(34)

- Výpočet reakcí:



Obr.16 Vnější síly působící na vnitřní hřídel

Síla F_R byla vypočtena ve vztahu (28).

$$F_R = 914 \text{ N}$$

Síla F : $F = \frac{2 \cdot M_k}{D}$ D- roztečný \emptyset d kuželového kola $d=81,9 \text{ mm}$

$$F = \frac{2 \cdot 59222,4}{81,9} = 1446,21 \text{ N}$$

- Reakce A:

$$\Sigma F_{iY}=0 \dots -F_R + R_a + R_b - F = 0 \rightarrow R_a = F - R_b + F_R = 1446,21 - 1857,97 + 914 \quad (35)$$

$$R_a = \underline{502,24N}$$

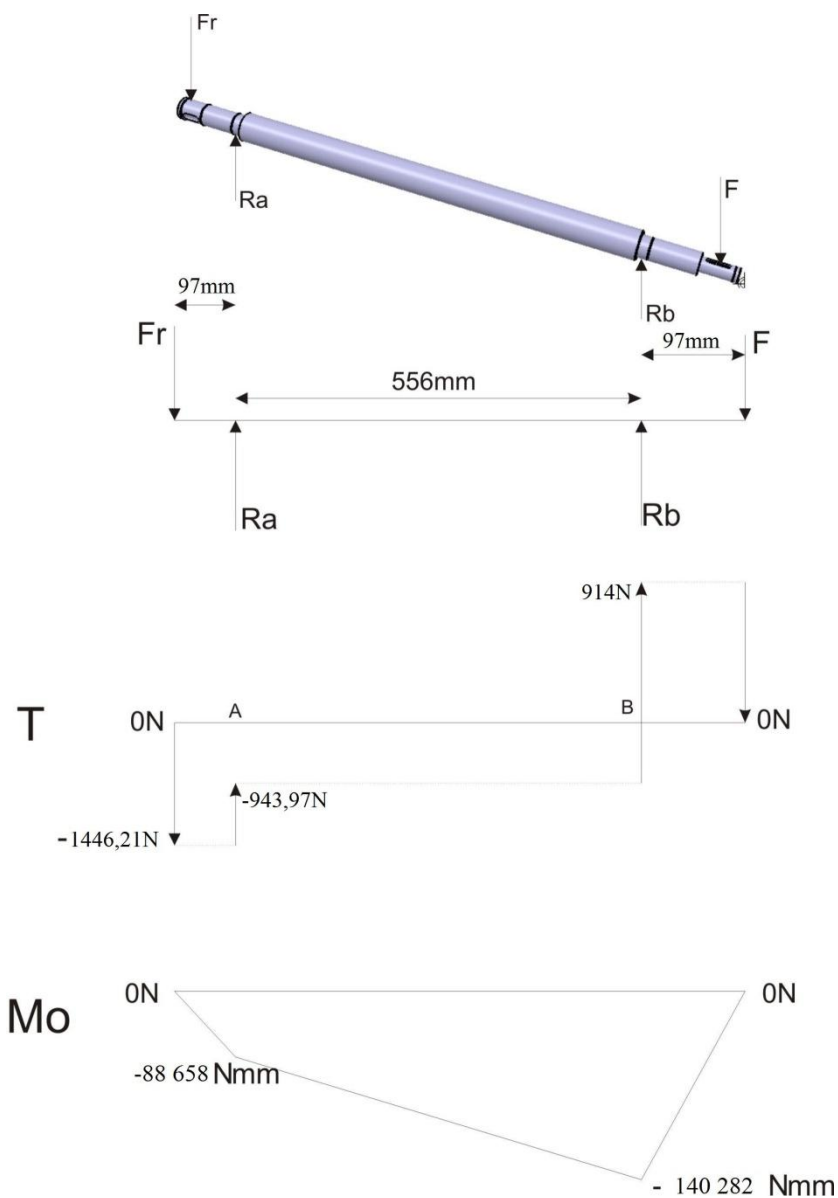
- Reakce B:

$$\Sigma M_{iA} = 0 \dots -F_R \cdot 97 + R_b \cdot 556 - F \cdot 653 = 0 \quad (36)$$

$$\rightarrow R_b = \underline{1857,97N}$$

$$M_{oA} = -F_R \cdot 97 = -914 \cdot 97 = -88\,658 \text{ Nmm} \quad (37)$$

$$M_{oB} = -F \cdot 112 = -1446,21 \cdot 97 = -140\,282 \text{ Nmm} \quad (38)$$



Obr.17 Posouvající síly a ohybový moment – grafické znázornění

➤ **Volba pera pro levý i pravý konec hřídele $\text{Ø}d=30\text{mm}$; $n=10\text{min}^{-1}$ (10)**

- PERO 10e7 x 8 x25

$\text{Ø}d=30\text{js}6\text{ mm}$

$b=10\text{mm}$; $h=8\text{mm}$; $t=4,7\text{mm}$; $t_1=3,3\text{mm}$

• **Kontrola pera:**

$$M_k = F_1 \cdot \frac{d}{2} \rightarrow F_1 = \frac{59222,4 \cdot 2}{30} = 3948\text{N} \quad (39)$$

- Kontrola pro $l=25\text{mm}$:

$$\tau_s = \frac{F_1}{S}$$

$$\rightarrow S = \frac{3948}{85} = 46,44\text{mm}^2$$

(40)

$$\tau_s = \frac{3948}{10 \cdot 25} = 15,79\text{MPa} \leq 85\text{MPa} \quad (41)$$

$$S = b \cdot l \rightarrow l = \frac{46,44}{10} = 4,644\text{mm} \quad \dots \text{Minimální přípustná délka-střih} \quad (42)$$

- Kontrola na otláčení:

$$p = \frac{F_1}{S} = \frac{3948}{\frac{8}{2} \cdot 25} = 39,48\text{MPa} \leq 100\text{MPa} = p_D \quad (43)$$

$$S = \frac{h}{2} \cdot l \rightarrow l = S \cdot \frac{2}{h} = \left(\frac{8}{2} \cdot 25\right) \cdot \frac{2}{8} = 25\text{mm} \dots \text{Minimální přípustná délka-otlačení} \quad (44)$$

PERO 10e7 x 8 x 25 vyhovuje!

Volba radiálních ložisek pro hřídel $\varnothing d=30$; $n=10\text{min}^{-1}$ (10)

2 x LOŽISKO 6006 ČSN 02 4630

$C_0=6\ 800\text{N}$; $C=10\ 200\text{N}$; $\varnothing d=30\text{mm}$; $\varnothing D=55\text{mm}$; $B=13\text{mm}$

$$L_n = \left(\frac{C}{P} \right)^3 [\text{mil.ot.}] \quad (45)$$

C-základní dynamická únosnost ložiska – dáno Strojnickými tabulkami. (10)

P-dynamické ekvivalentní zatížení ložiska

$$P(F_V) = X \cdot F_{RAD} + Y \cdot F_A \cdot V \quad (46)$$

X....součinitel radiálního zatížení

V....rotační součinitel

F_{RAD}radiální zatížení

Y....součinitel axiálního zatížení

F_Aaxiální zatížení

Součinitele **X**,**Y** a **V** je možno určit z katalogu ložisek.

Pro tento případ nepůsobí axiální zatížení $F_A=0\text{N}$

Radiální zatížení F_{RAD} je dáno vztahem (36) , F_{RAD} se tedy rovná **Rb**.

Jelikož $R_b \geq R_a$ a vybrané ložisko je první rozměrové skupiny dle Strojnických tabulek (10), obě ložiska jsou počítána jen jednou a to pro hodnotu **Rb**.

$$P(F_V) = X \cdot F_{RAD} + Y \cdot F_A \cdot V = 1 \cdot 1857,97 + 0 = 1857,97\text{ N}$$

- Trvanlivost ložiska:

$$L_n = \left(\frac{C}{P} \right)^3 = \left(\frac{10200}{1857,97} \right)^3 = 165,45 \text{ milionů otáček}$$

- Trvanlivost ložiska v provozních hodinách:

$$L_n = \frac{L_n \cdot 10^6}{3600 \cdot n} = \frac{165,45 \cdot 10^6}{3600 \cdot \frac{10}{60}} = 275.761,2 \text{ hod} \quad (47)$$

3.1.3.2 Primární (vnější) hřídel

Hřídel na jedné straně osazena řetězovým kolem $\text{Ø}d=161,87\text{mm}$, na straně druhé je šrouby přichycena k hlavě pro kuželové soukolí. Hřídel je osazena dvěma radiálními kuličkovými ložisky. Materiál hřídele – 11 523.0 (viz. kusovník v příloze)

Výpočet je proveden podle skript Části a mechanismy strojů (9) a podle Strojnických tabulek. (10)

$$P=0,062\text{kW}$$

$$n=8\text{min}^{-1}$$

- Kroutící moment:

$$M_k = 159,2 \cdot \frac{62}{8} = 74028 \text{ Nmm}$$

- Síla od řetězového kola:

$$F_R = \frac{2 \cdot M_k}{D} = \frac{2 \cdot 74028}{161,87} = 914,65 \text{ N} \quad (48)$$

- Průřezový modul v krutu:

$$W_k = 0,2 \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = 122817 \text{ Nmm}^3 \quad (49)$$

- Zatížení od ohybového momentu:

- Zatížení počítáno pro největší sílu působící na nosníku F_r ,
 $M_o = F_r[\text{N}] \cdot 100[\text{mm}]$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{M_o}{0,1 \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}} \leq \sigma_{oD} \quad (50)$$

$$\sigma_o = \frac{914,65 \cdot 100}{0,1 \cdot \frac{85^4 - 55^4}{85}} = 1,80 \text{ Mpa}$$

- Od kroučícího momentu:

$$\tau_K = \frac{M_K}{W_K} = \frac{74028}{122817} = 0,6 \text{ Mpa}$$

- Kontrola výpočtem redukovaného napětí:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3\tau_k^2} = \sqrt{1,8^2 + 3 \cdot (0,6)^2} = 2,27 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red} \leq \sigma_{Rdov}$$

- Výpočet reakcí:

Síla F_R byla vypočtena ve vztahu (48).

$$F_R = 914,65 \text{ N}$$

Síla F je přibližná tíha hlavy na kuželové soukolí s roštem a formou.

$$\text{Čili } F = 150 \text{ N}$$

- Reakce A:

$$\Sigma F_{iY} = 0 \dots -F_R + R_a + R_b - F = 0 \rightarrow R_a = F - R_b + F_R = 150 - 570,22 + 914,65$$

$$R_a = \underline{494,43 \text{ N}}$$

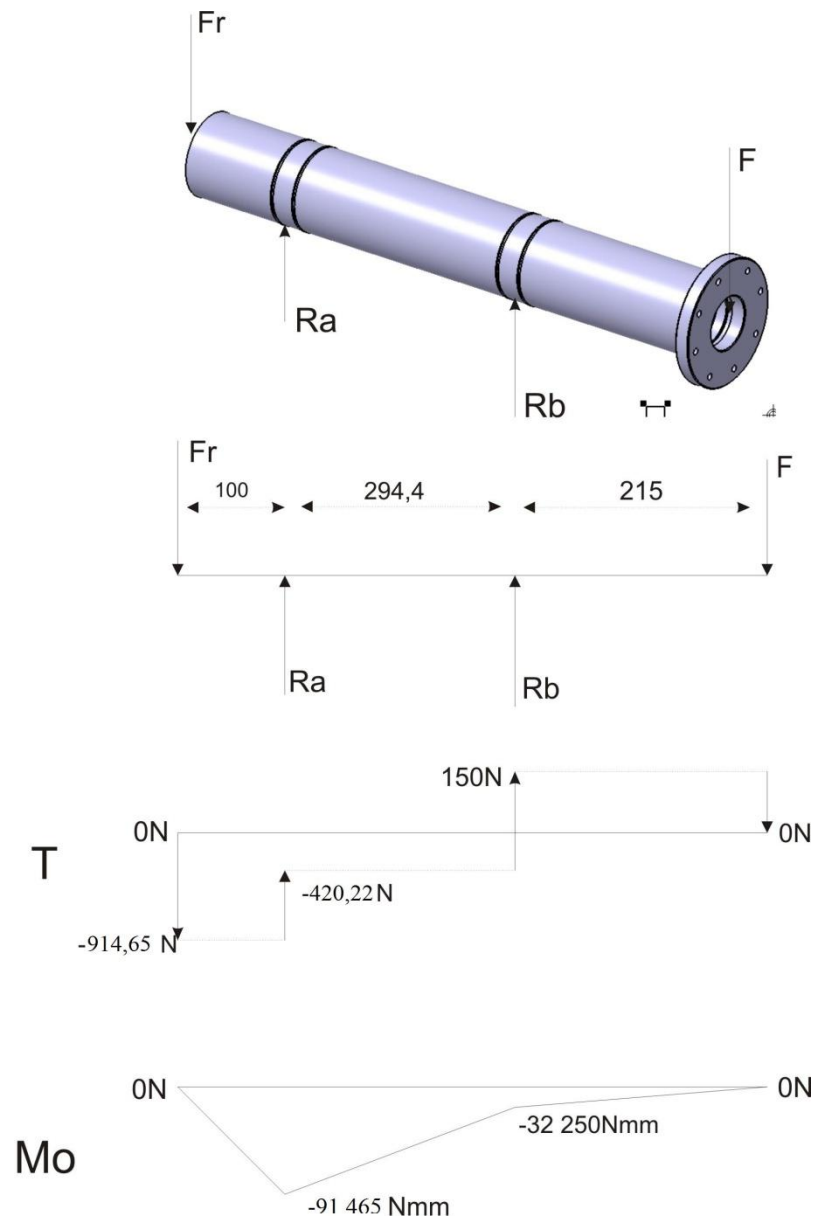
- Reakce B:

$$\Sigma M_{iA} = 0 \dots -F_R \cdot 100 + R_b \cdot 294,4 - F \cdot 509,4 = 0$$

$$\rightarrow R_b = \underline{570,22 \text{ N}}$$

$$M_{oMAX} = -F_R \cdot 100 = -914,65 \cdot 100 = -91465 \text{ Nmm}$$

$$M_{oB} = -F \cdot 215 = -150 \cdot 215 = -32250 \text{ Nmm}$$



Obr.18 Posouvající síly a ohybový moment – grafické znázornění

➤ **Kontrola šroubů na stříh:**

Pro připevnění hlavy (pouzdra) pro kuželové kolo k vnější hřídeli je použito osmi lícovaných šroubů M8x1,25 ISO 4014-8.8 , ocel 11 600.0 (viz. kusovník v příloze).

$$\tau_s = \frac{F_s}{S} \leq \tau_{SD} \tag{51}$$

F_s ...střížná síla působící na šroub

S ...plocha průřezu šroubu

$$\tau_s = \frac{150}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{150}{\frac{\pi \cdot 8^2}{4}} = 2,98 \text{ MPa}$$

Lze předpokládat že osm šroubů vyhovuje danému zatížení.

➤ **Volba radiálních ložisek pro hřídel $\text{Ø}d=85$; $n=8\text{min}^{-1}$ (10)**

2 x LOŽISKO 6017 ČSN 02 4630

$C_0=33\,500\text{N}$; $C=38\,000\text{N}$; $\text{Ø}d=85\text{mm}$; $\text{Ø}D=130\text{mm}$; $B=22\text{mm}$

$$L_n = \left(\frac{C}{P} \right)^3 [\text{mil.ot.}]$$

C-základní dynamická únosnost ložiska – dáno Strojnickými tabulkami [10]

P-dynamické ekvivalentní zatížení ložiska

$$P(F_V) = X \cdot F_{RAD} + Y \cdot F_A \cdot V$$

X....součinitel radiálního zatížení

V....rotační součinitel

F_Rradiální zatížení

Y....součinitel axiálního zatížení

F_Aaxiální zatížení

Součinitele **X**, **Y** a **V** je možno určit z katalogu ložisek.

Pro tento případ nepůsobí axiální zatížení $F_A=0\text{N}$

Radiální zatížení F_{RAD} se tedy rovná **Rb**.

Jelikož $R_b \geq R_a$ a vybrané ložisko je první rozměrové skupiny dle Strojnických tabulek, (10) je tedy počítáno jen více zatížené ložisko.

$$P(F_V) = X \cdot F_R + Y \cdot F_A \cdot V = 1 \cdot 570,22 + 0 = 570,22 \text{ N}$$

- Trvanlivost ložiska:

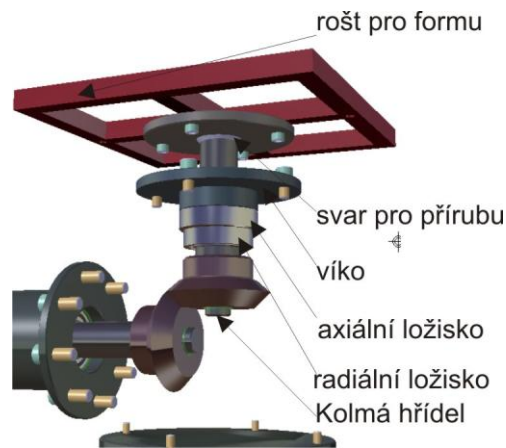
$$L_n = \left(\frac{C}{P} \right)^3 = \left(\frac{38000}{570,22} \right)^3 = 295953 \text{ milionů otáček}$$

- Trvanlivost ložiska v provozních hodinách:

$$L_h = \frac{L_n \cdot 10^6}{3600 \cdot n} = \frac{295953 \cdot 10^6}{3600 \cdot \frac{8}{60}} = 616 \cdot 10^6 \text{ hod}$$

3.1.3.3 Kolmá hřídel

- Pro pohyb formy ve svislé ose je kroutící moment převeden pomocí kuželového soukolí o převodovém poměru 1:1 na hřídel uloženou ve směru kolmém na osu primární a sekundární hnané hřídele.
- Hřídel je tíhou formy, polymeru a upínacího systému formy namáhána radiálně i axiálně.
- Forma připevněná na kolmou hřídel bude mít maximální rozměr 30 cm. Zatížení tedy nebude příliš veliké, a tak bylo k uložení hřídele vybráno jedno radiální kuličkové a jedno axiální kuličkové ložisko, obě jednořadé. Dané zatížení bezpečně unesou – po konzultaci s vedoucím práce. (Ložiska - viz. kusovník v příloze) Hřídel je velmi krátká (viz. Výkresy obsažené v příloze)
- Ložiska jsou umístěna těsně na sebe.
- Hřídel je dimenzována na co nejkratší možnou délku s ohledem na montáž šroubů na víku. Krátká délka hřídele je výhodná z hlediska ohybového momentu, celkové pracovní výšky stroje a také z hlediska rozměru zahřívací komory, ve které musí mít forma dostatek prostoru pro rotaci 360° kolem osy hnacích hřídelí.



Obr.19 Uspořádání uložení kolmé hřídele

➤ **Volba pera pod kuželové kolo kolmé hřídele $\text{Ø}d=20\text{mm}$; $n=10\text{min}^{-1}$ (10)**

- PERO 6e7 x 6 x 28

$\text{Ø}d=20$ js6 mm

$b=6\text{mm}$; $h=6\text{mm}$

• Kontrola pera:

$$M_k = F_1 \cdot \frac{d}{2} \rightarrow F_1 = \frac{59222,4 \cdot 2}{20} = 5922,24 \text{ N}$$

- Kontrola pro $l=30\text{mm}$:

$$\tau_s = \frac{F_1}{S}$$

$$\rightarrow S = \frac{5922,24}{85} = 69,67 \text{ mm}^2$$

$$\tau_s = \frac{5922,24}{6 \cdot 28} = 35,25 \text{ MPa} \leq 85 \text{ MPa}$$

$S = b \cdot l \rightarrow l = \frac{69,67}{6} = 11,61 \text{ mm}$ Minimální přípustná délka-střih

- Kontrola na otláčení:

$$p = \frac{F_1}{S} = \frac{5922,24}{\frac{6}{2} \cdot 28} = 70,5 \text{ MPa} \leq 100 \text{ MPa} = p_D$$

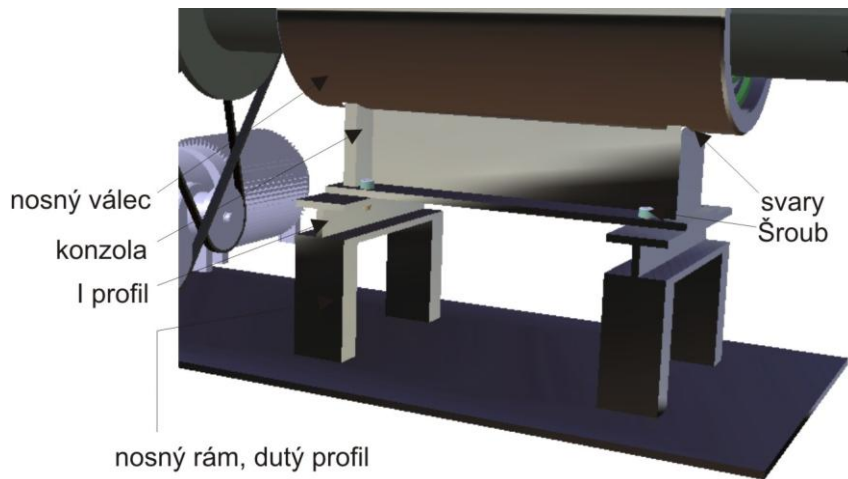
$$S = \frac{h}{2} \cdot l \rightarrow l = S \cdot \frac{2}{8} = \left(\frac{6}{2} \cdot 28\right) \cdot \frac{2}{6} = 28\text{mm} \dots \text{Minimální přípustná délka-otlačení}$$

PERO 6e7 x 6 x 28 vyhovuje!

3.1.4 Návrh uspořádání a uložení stroje

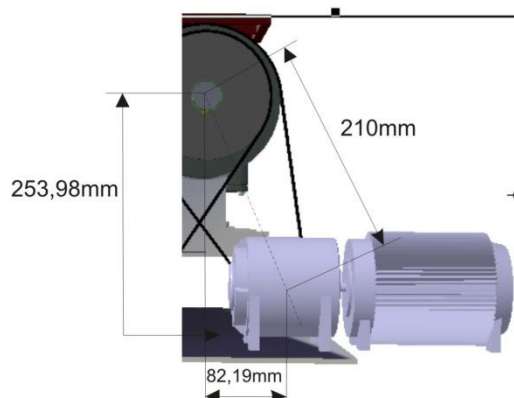
3.1.4.1 Nosná konstrukce

Hnané hřídele – primární, sekundární – jsou uloženy v ložiscích ve válci, na který je přivařena nosná konzola. Tyto jsou na podstavec přišroubovány, aby bylo možné podle potřeby měnit osovou vzdálenost řetězového převodu – např. při výměně řetězových kol.



Obr.20 Nosná konstrukce (viz Výkresy v příloze)

3.1.4.2 Pozice elektromotorů

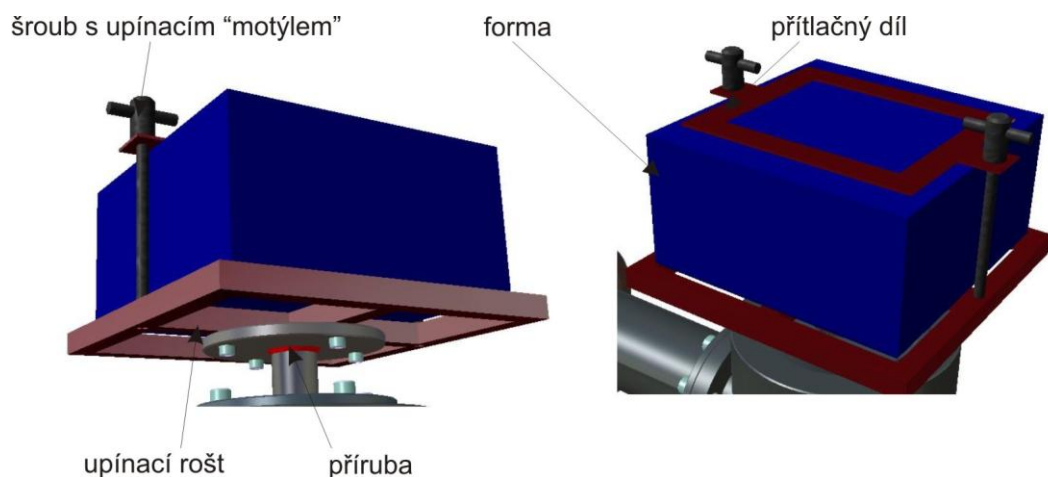


Obr.21 Uspořádání elektromotoru

- Vzhledem k požadované osové výšce řetězového převodu je třeba přesně určit pozici elektromotoru a hnacích řetězových kol.
- Délka osové vzdálenosti 210mm je vůči svislé ose odkloněna o úhel 18°.
- Hodnoty na obrázku Obr. 3.5 jsou přesné, ale pro samotnou montáž pouze orientační.

3.1.5 Návrh upínacího systému pro formu

Součásti „příruba“ i „rošt“ jsou obsaženy ve výkresové dokumentaci v příloze této práce.



Obr.22 Příklad upnutí formy.

- V roštu svařeném ze čtyřhranů jsou díry se závity pro upnutí přítlačného dílu.
- Upínací systém drží formu po dobu všech čtyř kroků procesu tváření, resp. je forma umístěna na upínacím systému.
- Pro laboratorní účely a malé rozměry formy je ideální mít formu s oddělovacím víkem, které lze po naplnění formy přišroubovat a zajistit „přítlačným dílem“.

3.2 Další prvky zařízení

Kompletní zařízení se skládá ze :

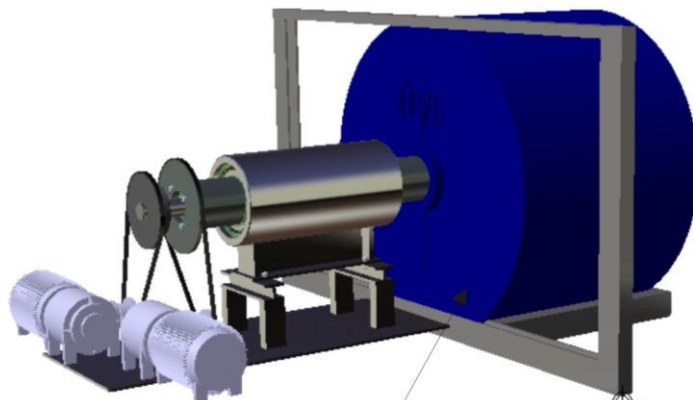
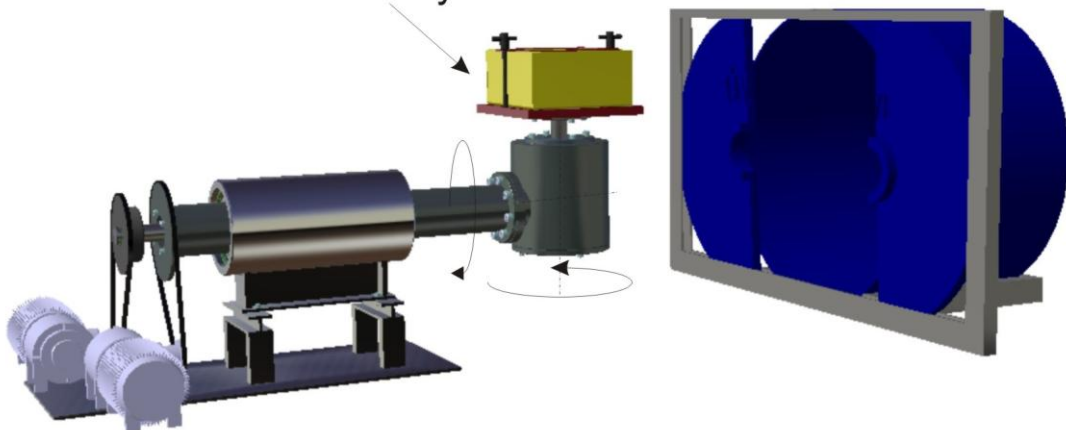
- Samotného stroje, který zajišťuje pohon, a tedy i otáčení formy kolem dvou os.
- Zahřívací komory s topnými články nebo jinými prostředky pro zahřátí formy.
- Systému chlazení formy a polymeru s chladícím médiem (vzduch, voda).

Jelikož se jedná o zařízení laboratorní, a tvářet se tedy budou výrobky malých rozměrů, není třeba automatizačních prostředků pro dopravu ramene s formou, resp. celého stroje do zahřívací komory a následně zpět do prostoru chlazení, vyprazdňování a naplňování formy.

Tento pohyb bude vykonáván manuálně.

3.2.1 Zahřívací komora a systém chlazení formy a polymeru

Dvouosá rotace formy



Forma se stále otáčí kolem dvou os

Obr.23 Kompletní laboratorní zařízení

Je vyrobena ze základního rámu – hliníkové profily, uzavíracích dílů a válce.

Komora může být zahřívána dvěma způsoby:

- Vháněním horkého vzduchu a cirkulací.
- Pomocí jednoho nebo dvou topných těles uvnitř komory.
- **Chlazení:**
- Sprchování formy pomocí rozprašovače se jeví jako nejefektivnější způsob chlazení pro laboratorní podmínky.
- Forma vyrobená z hliníku je nejvýhodnější jak na výrobu, tak svými materiálovými vlastnostmi – rychlejší prostup tepla přes formu do polymeru, a to znamená i rychlejší ochlazení polymeru.
- Doba chlazení bude určena podle tvářeného polymeru.

3.3 Technologický proces pro laboratorní zařízení

- Hliníková forma je nasazena na upínací rošt.
- Před použitím formy se doporučuje namastit povrch dutiny formy adhezními přípravky pro lepší přilnavost polymeru. (3)
- Po naplnění formy polymerem v práškovém nebo kapalném stavu, se forma uzavře a zajistí přítlačným dílem. Během zahřívání dochází ve formě k rostoucímu tlaku. (1)
- Pohon stroje je připojen ke zdroji a forma se začíná pohybovat ve dvouosé rotaci. Pro změnu výstupních otáček elektromotru bez výměny řetězových kol, lze dodatečně použít měnič kmitočtu.
- Stroj je dopraven do zahřívací komory. Topné zařízení je připojeno ke zdroji. Teplota zahřívání a doba setrvání formy v komoře se určí podle vlastností tvářeného polymeru.
- Forma se nepřestává otáčet a dochází k vysunutí ramene s formou z komory. Ihned se začíná chladit. Pro efektivnější a rychlejší chlazení může být použito vodní sprchy za pomoci rozprašovače. Doba chlazení se určí podle vlastností tvářeného polymeru.
- Po vychládnutí polymeru je forma otevřena a dutý, bezešvý výrobek je vyjmut z formy.
- Forma se vyčistí pro další použití.

ZÁVĚR

V teoretické části bakalářské práce byla vypracována literární rešerše o rotačním tváření plastů. Byla představena technologie, materiály vhodné ke tváření a byl vypracován přehled nejpoužívanějších strojů v průmyslu.

V části praktické bylo navrženo konkrétní konstrukční řešení stroje pro laboratorní účely Ústavu výrobního inženýrství UTB ve Zlíně, včetně návrhu pohonu, pevnostních a kontrolních výpočtů strojních součástí. K součástem, které se vyrábět nebudou byly předběžně vybráni dodavatelé.

Jako podklad pro výrobu zařízení byla vypracována výkresová dokumentace, která je obsažena v příloze.

Tato práce je výchozím bodem k dalším např. diplomovým pracím, kde je možné zabývat se doplněním zařízení o další prvky, jako je měnič kmitočtu elektromotoru, řízení otáček stroje nebo regulace teploty uvnitř zahřívací komory a teplotní analýza. Dále je možné zkoumat změny vlastností různých polymerů zpracovávaných technologií rotomolding nebo navrhovat náročnější tvary forem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] **Beall, Glenn.** *Rotational molding, materials, tooling, and processing.* místo neznámé : Hanser/Gardner Publications, 1998. ISBN 1-56990-260-7.
- [2] **Firma CZ PLAST,s.r.o.:** Konzultace s podnikovým inženýrem.
- [3] **Ebnesajjad, Sina.:** *Melt processible fluoropolymers:the definitive user's guide and databook.* Norwich, USA : Plastics Design Library, 2003. ISBN 1-834207-96-0.
- [4] **Lošková, I. a Loška, J.:** *Tvořivé vyučování.* Grada Publishing, a.s., 2003. ISBN80 -247-0374-2.
- [5] **Propagační materiál Polyone corporation:** *Rotational molding of plastisols.*Dostupný z WWW:<<http://www.polyone.com/en-us/docs/Documents/TAB-PL004%20Rotational%20Molding%20of%20Plastisols.pdf>./>
- [6] **Firma Siemens, s.r.o.:** *Katalog K02-0210CZ- Nizkonapětové motory.*
- [7] **Firma TOS ZNOJMO, a.s.:** *Katalog dostupný z WWW.* <<http://www.tos-znojmo.cz/produkce/mrt/cz/index.htm>./>
- [8] **Kaláb, K.:** *Návrh a výpočet řetězového převodu, vysokoškolská příručka.* Ostrava : VŠB-Technická univerzita, Fakulta strojní, katedra Částí a mechanismů strojů, 2008.
- [9] **Lukovics, Imrich; Sýkorová, Libuše; Volek, František.:** *Části a mechanismy strojů.* Vysoké učení technické v Brně, Fakulta technologická ve Zlíně, 1999.
- [10] **Leinveber, Jan a Vávra, Pavel.:** *Strojnické tabulky.* 2003. ISBN 80-8649-74-2.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Název
B	mm	Šířka
b	mm	Šířka
C	N	Dynamická únosnost
C ₀	N	Statická únosnost
d,D	mm	Průměr
F	N	Síla
h	mm	Výška
i	-	Převodové číslo
K	-	Součinitel
k _d	N	Dynamická pevnost řetězu
k _s	N	Statická pevnost řetězu
L	mm	Délka
l	mm	Délka
M _k	Nmm	Kroutící moment
n	min ⁻¹	Otáčky
P	kW	Výkon
p	MPa	Měrný tlak
p _D	MPa	Dovolený tlak
p _v	MPa	Výpočtový tlak
R _a	N	Reakce v levé podpoře
R _b	N	Reakce v pravé podpoře
S	mm ²	Plocha
t	mm	Rozteč

t	mm	Hloubka
t_1	mm	Hloubka
W_k	mm^3	Průřezový modul v krutu
W_o	mm^3	Průřezový modul v ohybu
X	K_s	Počet článků řetězu
y	-	Činitel rázu
z	-	Počet zubů řetězového kola
λ	-	Činitel tření
π	-	Konstanta
σ_{red}	MPa	Redukované napětí
τ_{DS}	MPa	Dovolené napětí ve stříhu
τ_{DK}	MPa	Dovolené napětí v krutu
τ_s	MPa	Napětí ve stříhu

SEZNAM OBRÁZKŮ

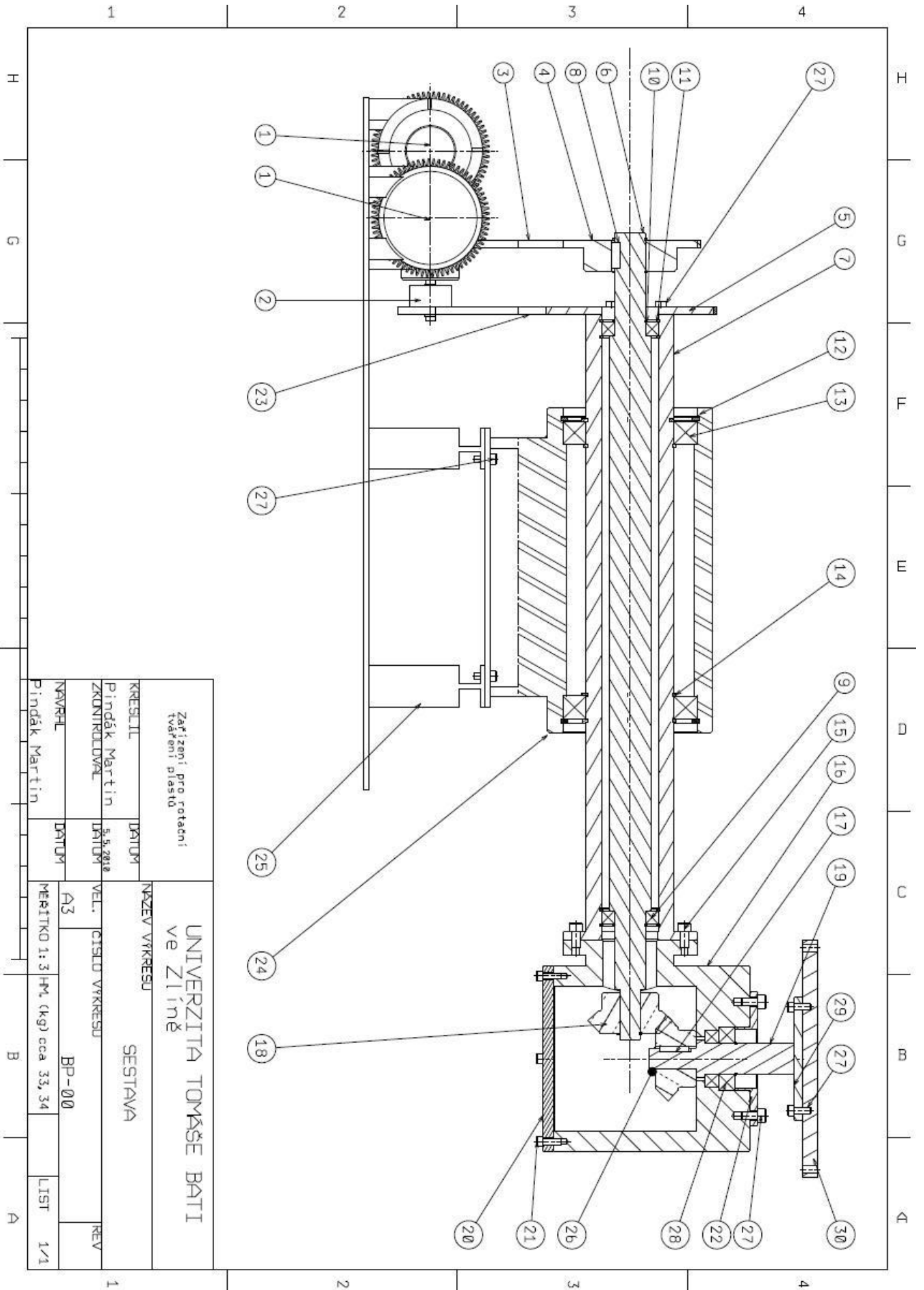
Obr. 1 Čtyři kroky procesu rotačního tváření.....	14
Obr. 2 Tří-ramenný otočný tvářecí stroj.....	15
Obr. 3 Gravitační proces v dutině formy.....	19
Obr. 4 Tří-ramenný stroj s pevnou, otočnou věží.....	24
Obr.5 Model tvořivého řešení problémů.....	30
Obr. 6 Poměr otáček pro typické tvary výrobků.....	31
Obr.7 Popis částí stroje pro rotační tváření plastů.....	32
Obr.8 Specifikace elektromotoru.....	34
Obr.9 Momentová charakteristika.....	35
Obr.10 Tabulka hodnot převodovky.....	35
Obr.11 Schéma řetězového převodu a důležitých hodnot.....	36
Obr.12 Ozubení řetězového kola dle ČSN.....	41
Obr.13 Ozubení řetězového kola dle ČSN.....	42
Obr.14 Ozubení řetězového kola dle ČSN.....	43
Obr.15 Osová vzdálenost řetězového převodu.....	44
Obr.16 Vnější síly působící na vnitřní hřídel.....	46
Obr.17 Posouvající síly a ohybový moment – grafické znázornění.....	47
Obr.18 Posouvající síly a ohybový moment – grafické znázornění.....	52
Obr.19 Uspořádání uložení kolmé hřídele.....	55
Obr.20 Nosná konstrukce.....	56
Obr.21 Uspořádání elektromotoru.....	56
Obr.22 Příklad upnutí formy.....	57
Obr.23 Kompletní laboratorní zařízení.....	58

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 <i>Hlavní úseky průmyslu s aplikací technologie rotomolding</i>	20
Tab. 2 <i>Nejběžněji používané polymery pro rotační tváření včetně chemických</i>	21

SEZNAM PŘÍLOH

P I	CD DISK obsahující	- Textový dokument Bakalářská práce - Výkresy BP-01 až BP-10 ve formátu .pdf a ve formátu CATIA Drawing - Obrázky modelu sestavy
P II	Sestava	Výkres č. BP-00
P III	Kusovník	Výkres č BP-00
P IV	Vnitřní hřídel	Výkres č. BP-01
P V	Vnější hřídel	Výkres č. BP-02
P VI	Kolmá hřídel	Výkres č. BP-03
P VII	Hlava pro kuželové soukolí	Výkres č. BP-04
P VIII	Víko pro hlavu kuželového soukolí	Výkres č. BP-05
P IX	Hlavní rám-válec	Výkres č. BP-06
P X	Hlavní rám-podstavec	Výkres č. BP-07
P XI	Příruba pro upínací rošt	Výkres č. BP-08
P XII	Víko pro zajištění ložisek	Výkres č. BP-09
P XIII	Upínací rošt	Výkres č. BP-10

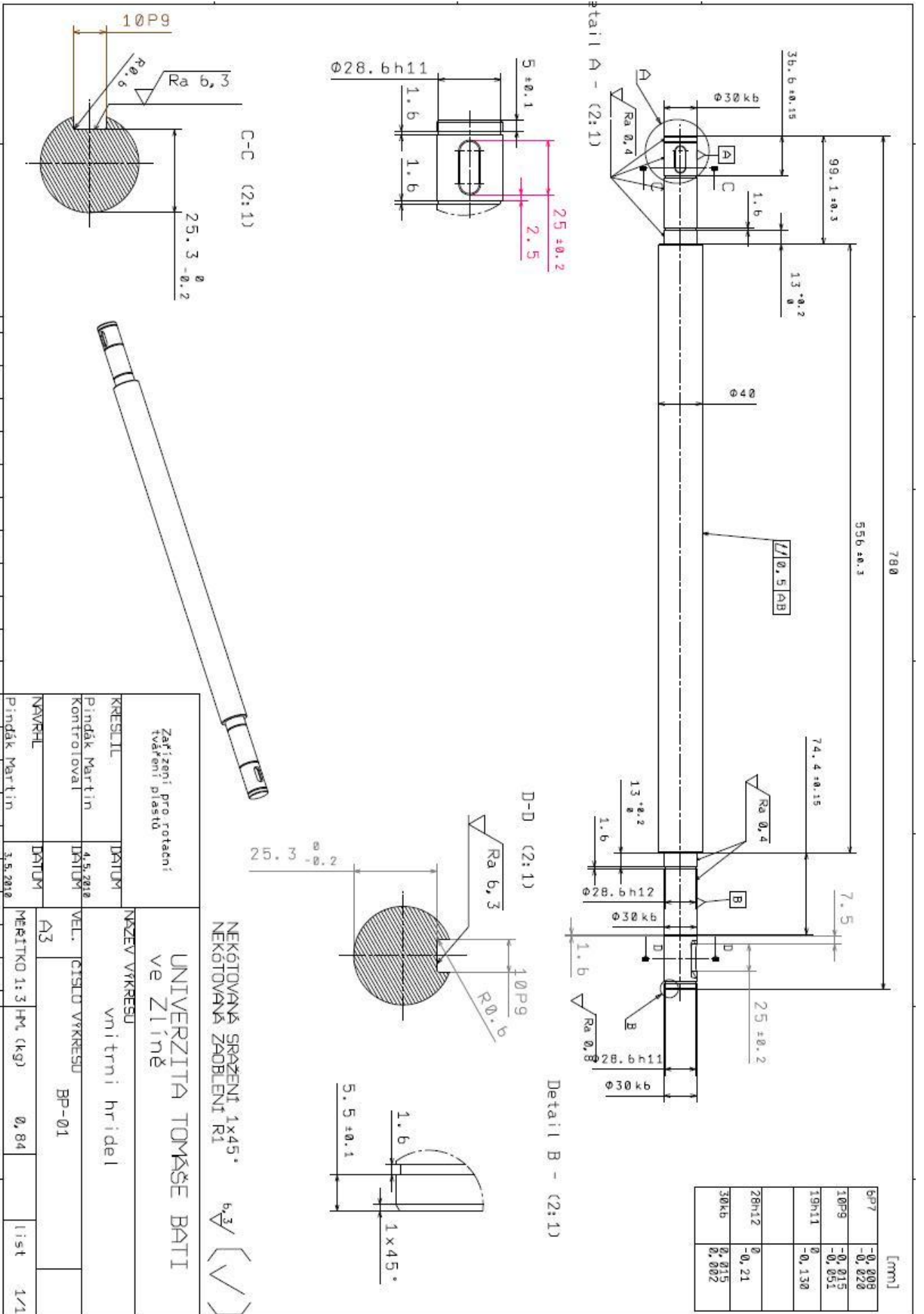


Zařízení pro rotační tvěření plastů		UNIVERZITA TOMÁŠE BATTI ve Zlíně	
KRESLIL	DATEM	NÁZEV VÝKRESU	SESTAVA
Pindák Martin	5.5.2018	VEL.	ČÍSLO VÝKRESU
ZKONTROLOVAL	UPROD	A3	BP-00
NAVRHL	DATEM	MĚŘITKO 1:3 HM (kg) cca 33,34	LIST 1/1
Pindák Martin			

30	Upínací rošt	Výkres: BP-10	11 373.0	-	1
29	Příruba pro upínací rošt	Výkres: BP-08	11 523.0	Ø125x10mm	1
28	LOŽISKO 760206	ČSN 02 4735	-	-	1
27	Šroub M8x16	ISO 4014-8.8	11 600.0	-	1 6
26	POJISTNÝ KROUŽEK 20	ČSN 02 2930	-	-	1
25	Hlavní rám - podstavec	Výkres: BP-07	-	-	1
24	Hlavní rám - válec	Výkres: BP-06	11 523.0	-	1
23	ŘETĚZ 154 ČLÁNKŮ 081-1	ČSN 3311.1	-	-	1
22	Víko pro zajištění ložisek	Výkres: BP-09	11 500.0	Ø135x25mm	1
21	ŠROUB M8x20	ISO 4014-8.8	11 600.0	-	8
20	Víko pro hlavu kuželového soukolí	Výkres: BP-05	11 500.0	Ø190x15mm	1
19	Kolmá hřídel	Výkres: BP-03	11 523.0	Ø40x145mm	1
18	KUŽELOVÉ KOLO S PŘÍMÝMI ZUBY	Objednací č.: KK352222	Ocel C43	Poměr=1:1; Modul=3,5; z=22	2
17	PERO 6e7x6x28	ČSN 02 2562	11 600.0	-	1
16	Hlava pro kuželové soukolí	Výkres: BP-04	11 523.0	-	1
15	ŠROUB M8x20	ISO 4014-8.8	11 600.0	-	8
14	POJISTNÝ KROUŽEK 85	ČSN 02 2930	-	-	4
13	LOŽISKO 6017	ČSN 02 4630	-	-	2
12	POJISTNÝ KROUŽEK 130	ČSN 02 2931	-	-	2
11	POJISTNÝ KROUŽEK 55	ČSN 02 2931	-	-	4
10	POJISTNÝ KROUŽEK 30	ČSN 02 2930	-	-	6
9	LOŽISKO 6006	ČSN 02 4630	-	-	3
8	PERO 10e7x8x25	ČSN 02 2562	11 600.0	-	2
7	Vnější hřídel	Výkres: BP-02/ ČSN 42 5510.12	11 523.0	Ø135x605mm	1
6	Vnitřní hřídel	Výkres: BP-01/ ČSN 42 5510.12	11 500.0	Ø42x785mm	1
5	Řetězové kolo-z ₂ =40	PHS 08B-1A40 ISO 08B-1	ocel	-	1
4	Řetězové kolo-z ₂ =32	PHS 08B-1B32 ISO 08B-1	ocel	-	1
3	Řetěz 144 ČLÁNKŮ 081-1	ČSN 3311.1	-	-	1
2	Řetězové kolo-z ₁ =14	PHS 08B-1B14 ISO 08B-1	ocel	-	2
1	Elektromotor s převodovkou	Viz. Praktická část	-	-	2

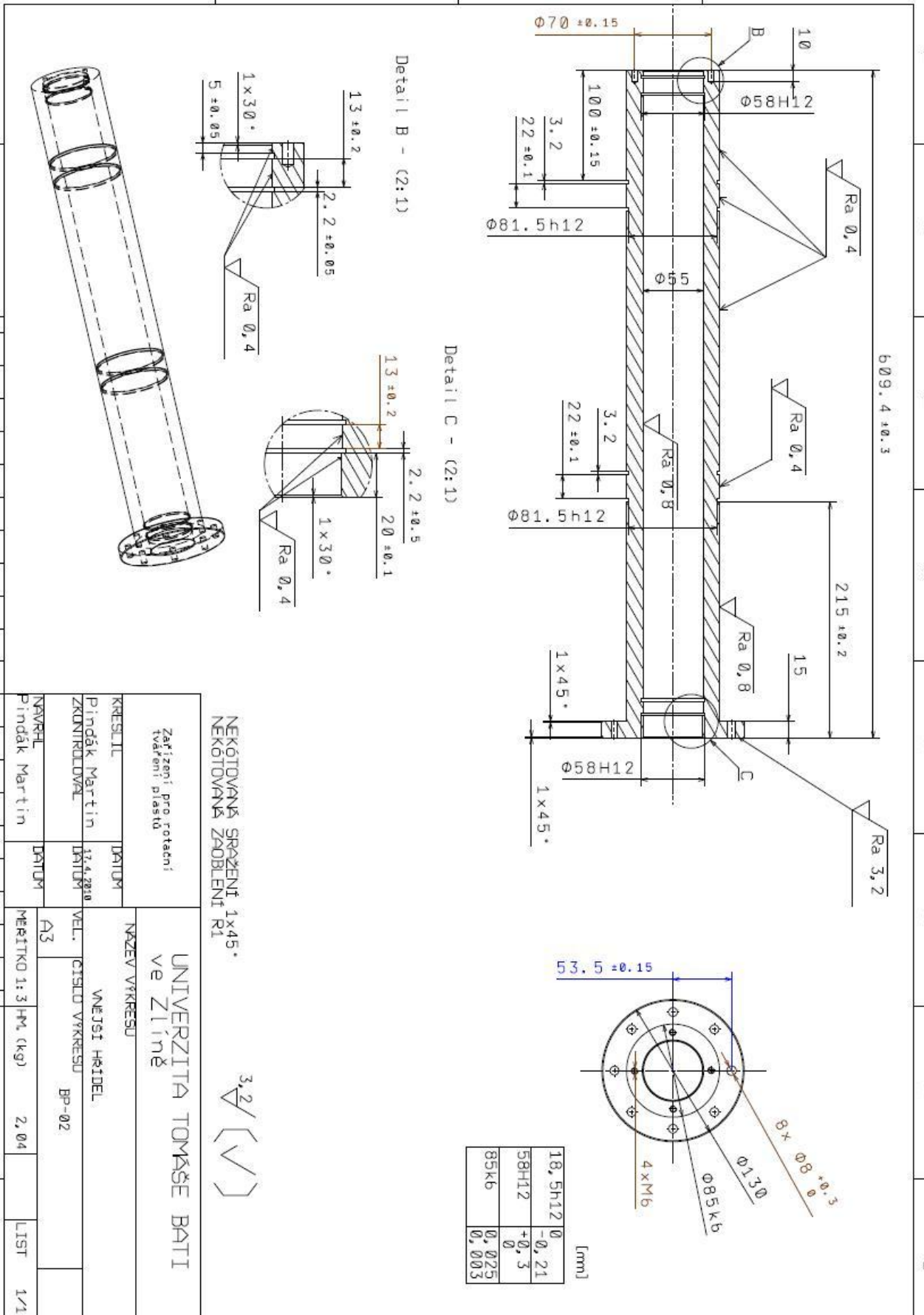
Poz	Název	Výkres / Norma	Materiál	Polotovar	Ks
-					-

Zařízení pro rotační tváření plastů		UNIVERZITA TOMÁŠE BATI ve Zlíně			
		NÁZEV VÝKRESU			
KRESLIL	DATAUM	KUSOVNÍK			
Pindák Martin	5.5.2018	VEL.	ČÍSLO VÝKRESU	REV	
ZKONTROLOVAL	DATAUM	A3	BP-00		
NAVRHL	DATAUM	MĚRITKO	HM. (kg)	LIST	1/1
Pindák Martin					



	[mm]
6P7	-0,008
	-0,020
10P9	-0,015
	-0,051
19h11	0
	-0,130
28h12	0
	-0,21
30kb	0,015
	0,002

Zařízení pro rotační tvárění plastů		UNIVERZITA TOMÁŠE BATTI	
KRESLIL	DATEM	ve Zlíně	
Pindák Martin	4.5.2012	NEKŮTOVANÁ SRÁŽENÍ 1x45°	
Kontroloval	DATEM	NEKŮTOVANÁ ZAOBLEENÍ R1	
NAVRHL	DATEM	b ₃ (✓)	
Pindák Martin	3.5.2012	vnitřní hřídel	
NAZEV VÝKRESU		BP-01	
VEL. ČÍSLO VÝKRESU		0,84	
MERITKO 1:3 (M4 (kg))		1/1	



[mm]

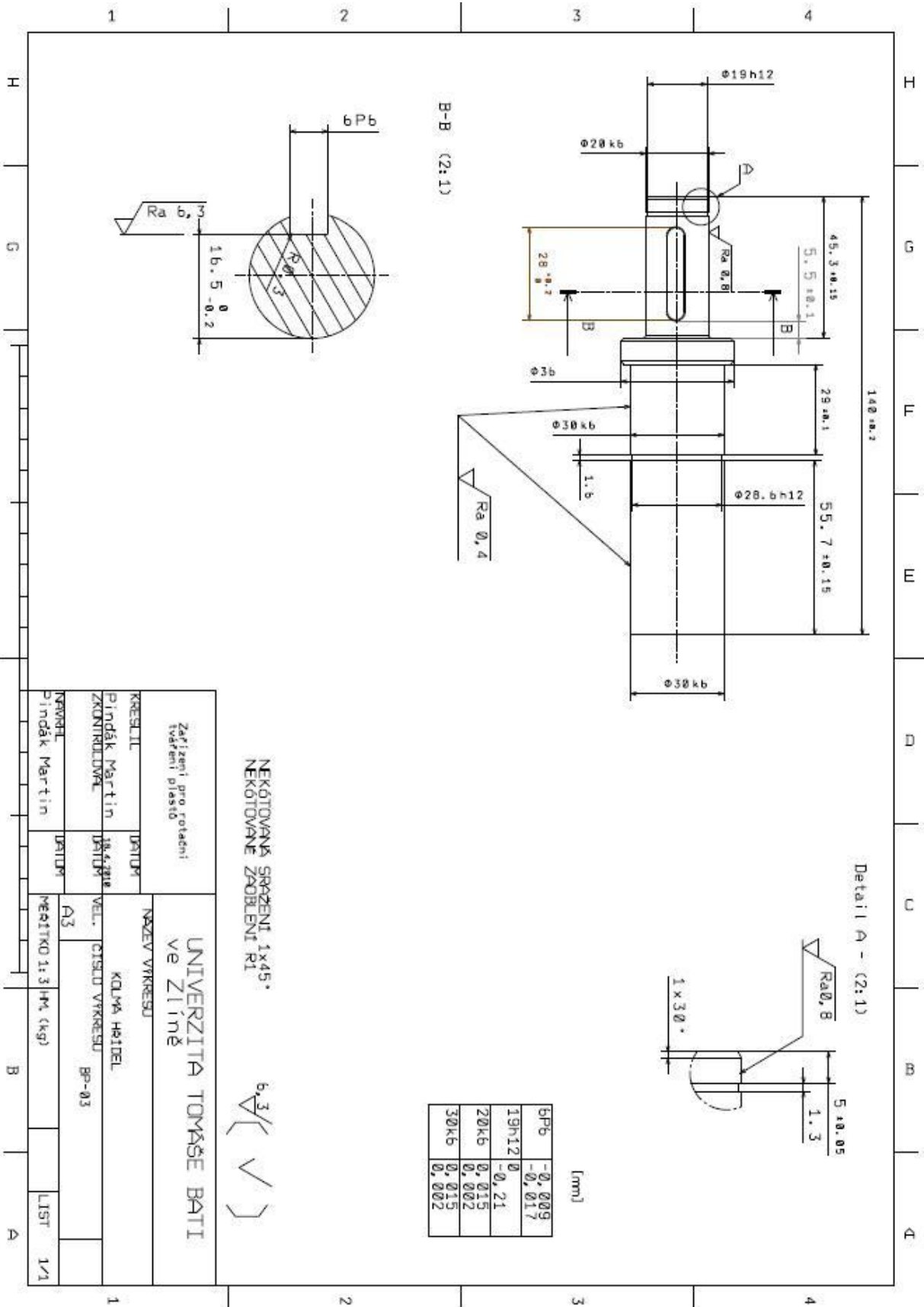
18, 5H12	0
58H12	-0,21
85k6	+0,3
	0
	0,025
	0,003

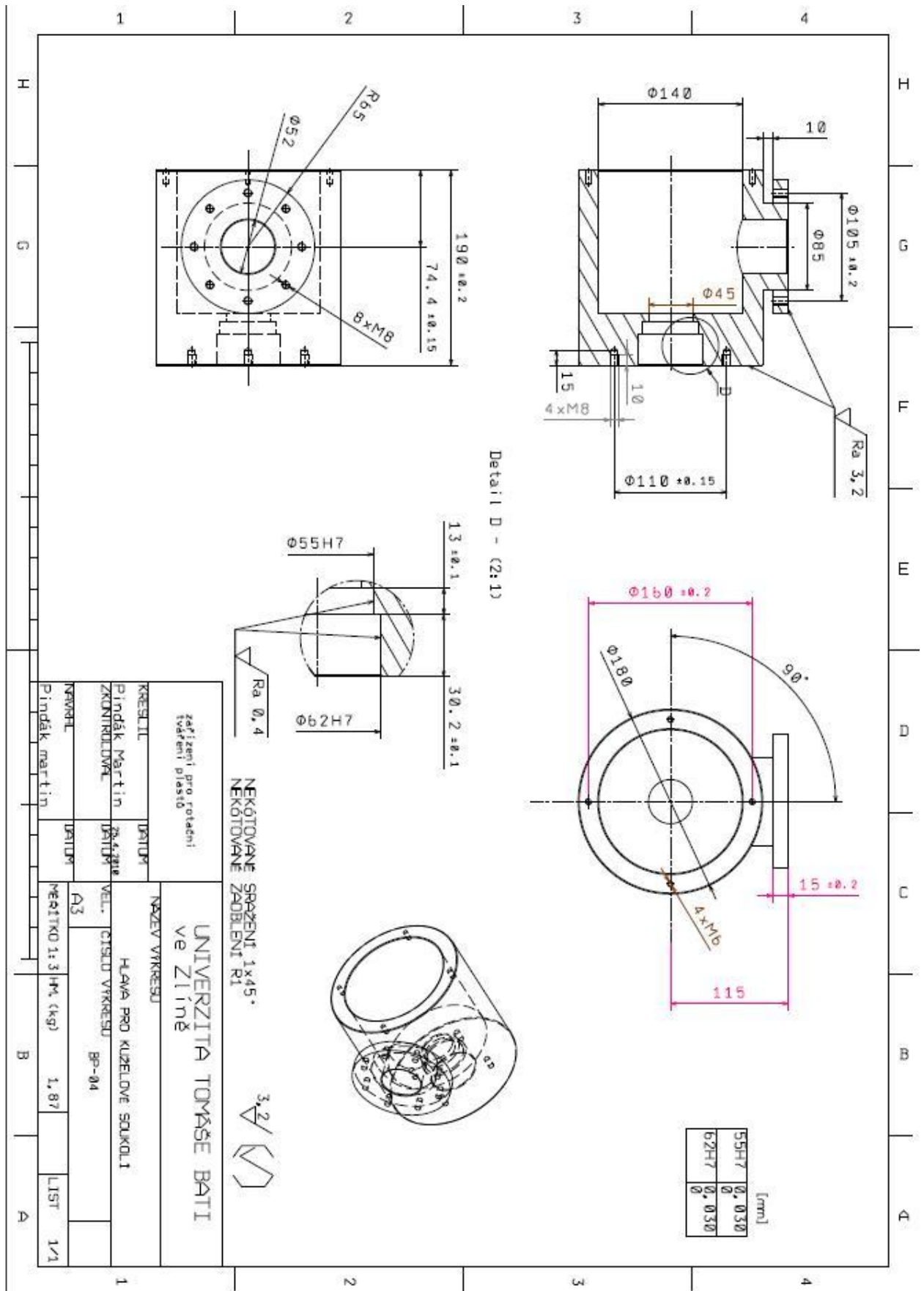
NEKOTOVANÁ SRAŽENÍ 1x45°
NEKOTOVANÁ ZAOBLENÍ R1

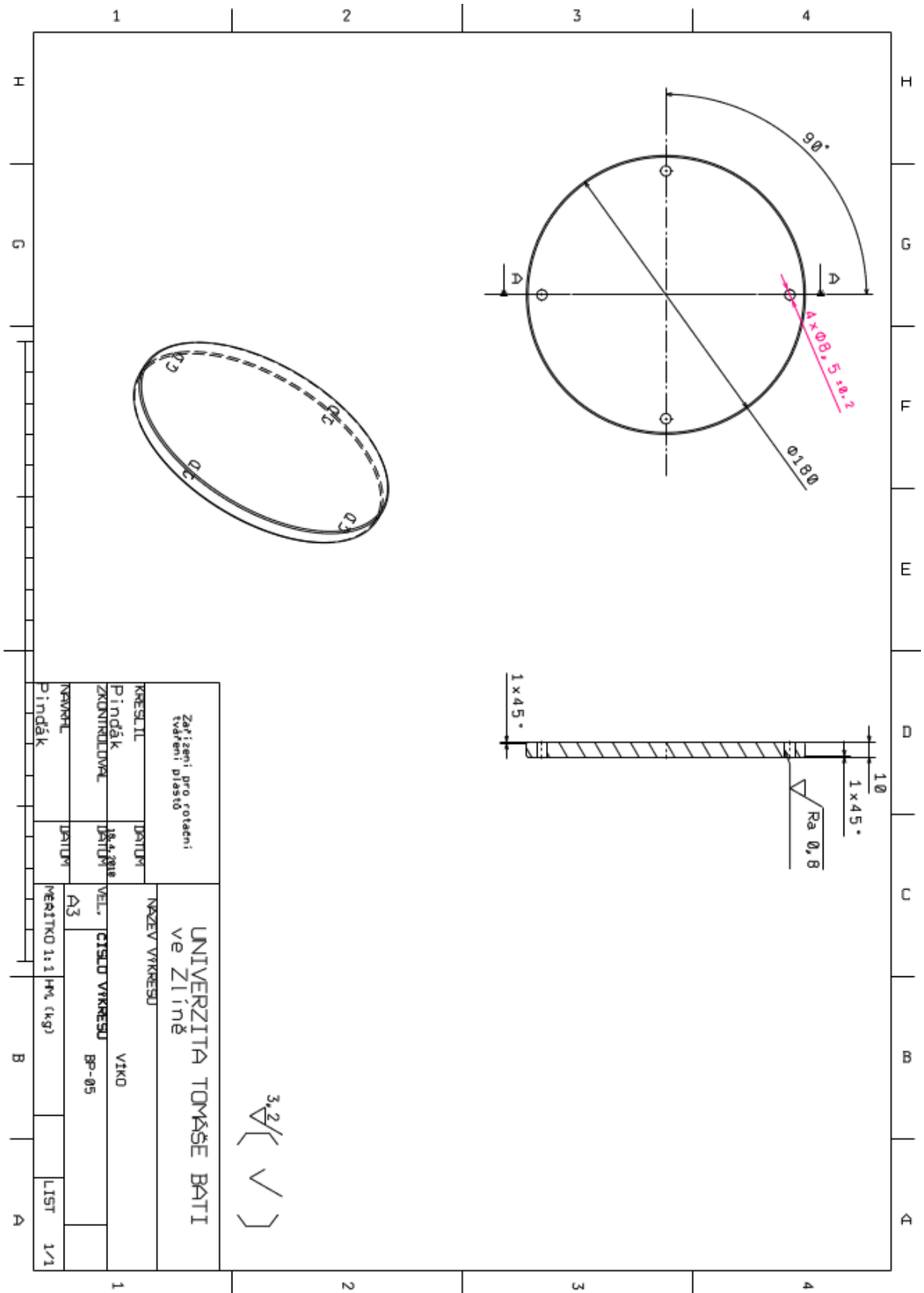
3,2 (✓)

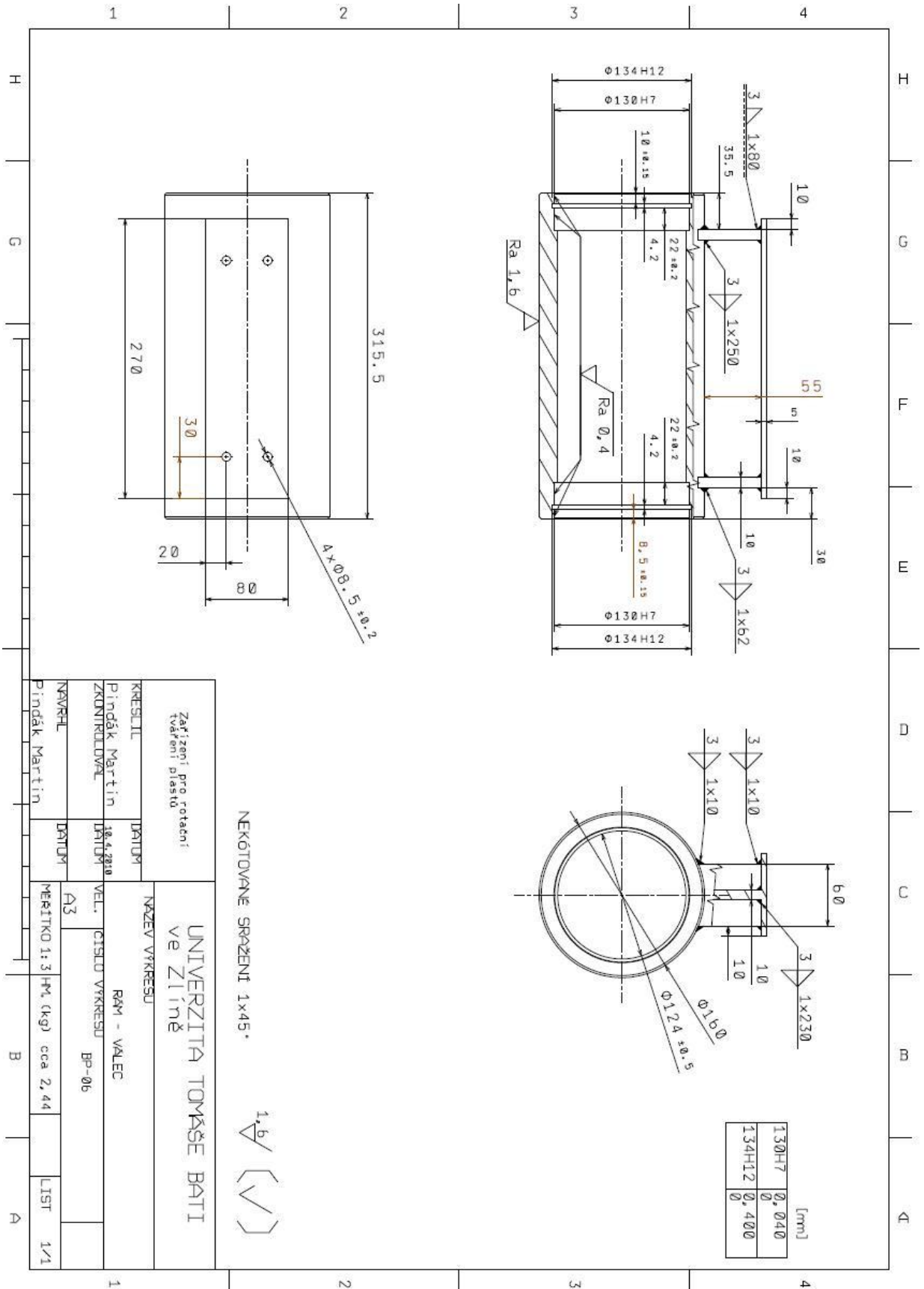
UNIVERZITA TOMÁŠE BATTI
ve Zlíně

Zařízení pro rotaci tváření plastů		NAZEV VÝKRESU	
KRESLIL	DATA	VNEJŠÍ HRIDL	
Pindák Martin	12.4.2010	BP-02	
ZKONTROLOVAL	DATA	CÍSLO VÝKRESU	
Pindák Martin	DATA	A3	
NAVRHL	DATA	MERITKO 1:3 (Ml (kg)	2,04
Pindák Martin	DATA	LIST	1/1









NEKÓTOVANE SRAZENÍ 1x45°

1,6 (✓)

UNIVERZITA TOMÁŠE BATTI
ve Zlíně

NÁZEV VÝKRESU

RÁM - VALEC

VEL. ČÍSLO VÝKRESU

BP-06

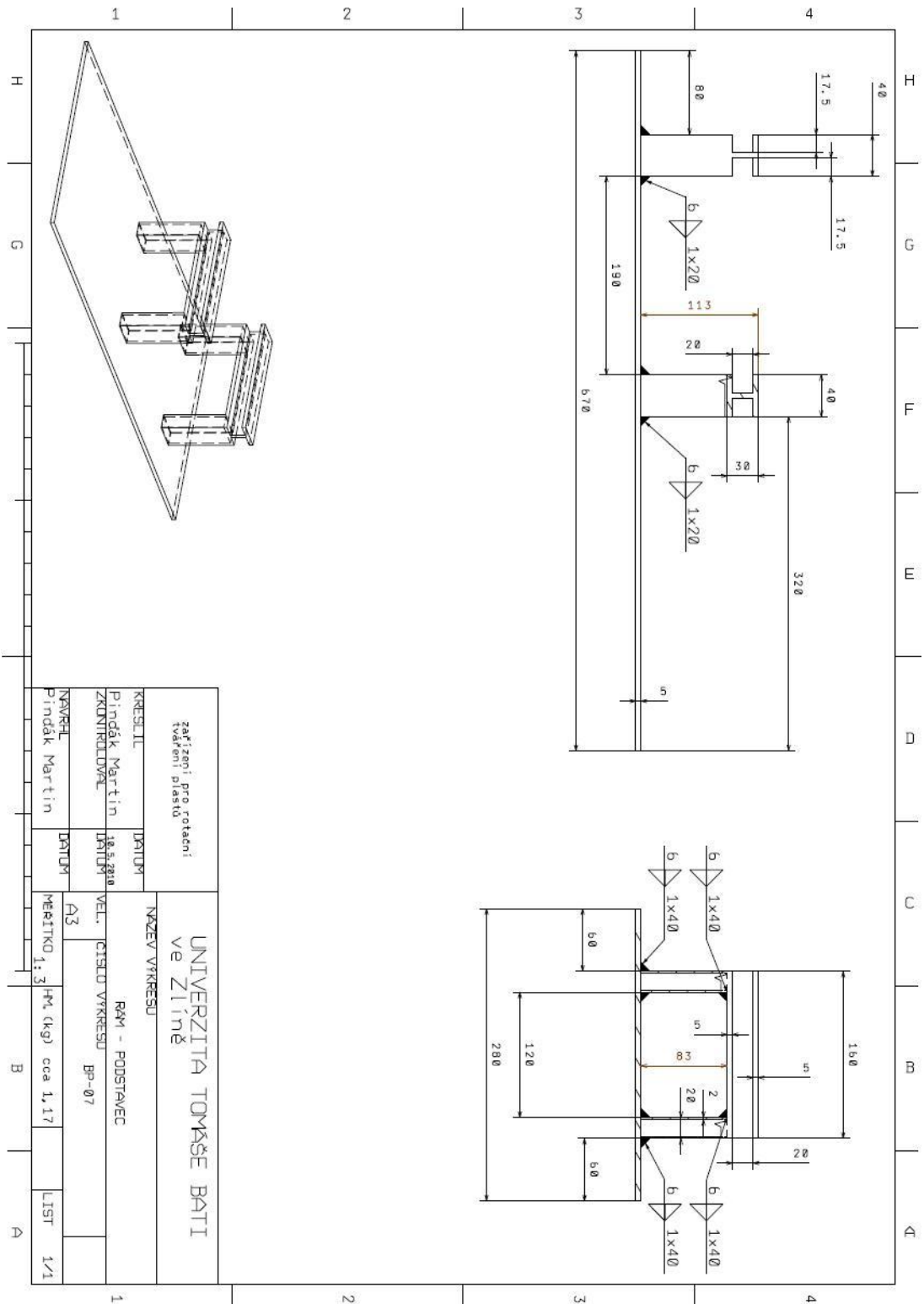
VERZE

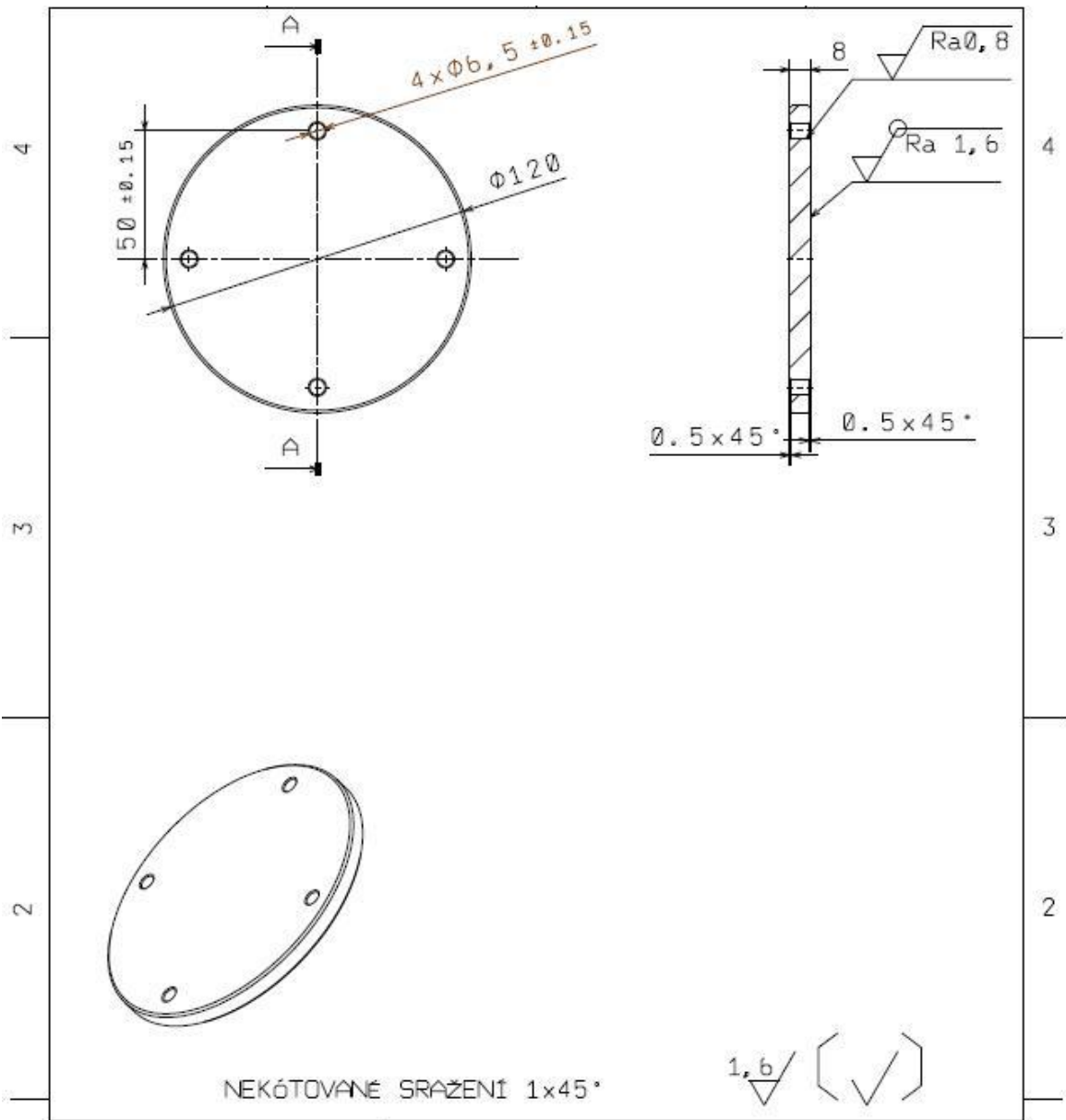
A3

MĚRITKO 1:3 HPL (kg) cca 2,44

LIST 1/1

Zařízení pro rotační tvářeni plastů	
KRESLIL	DATA
Pindák Martin	18.4.2010
ZKONTROLOVAL	DATA
NAVRHL	DATA
Pindák Martin	

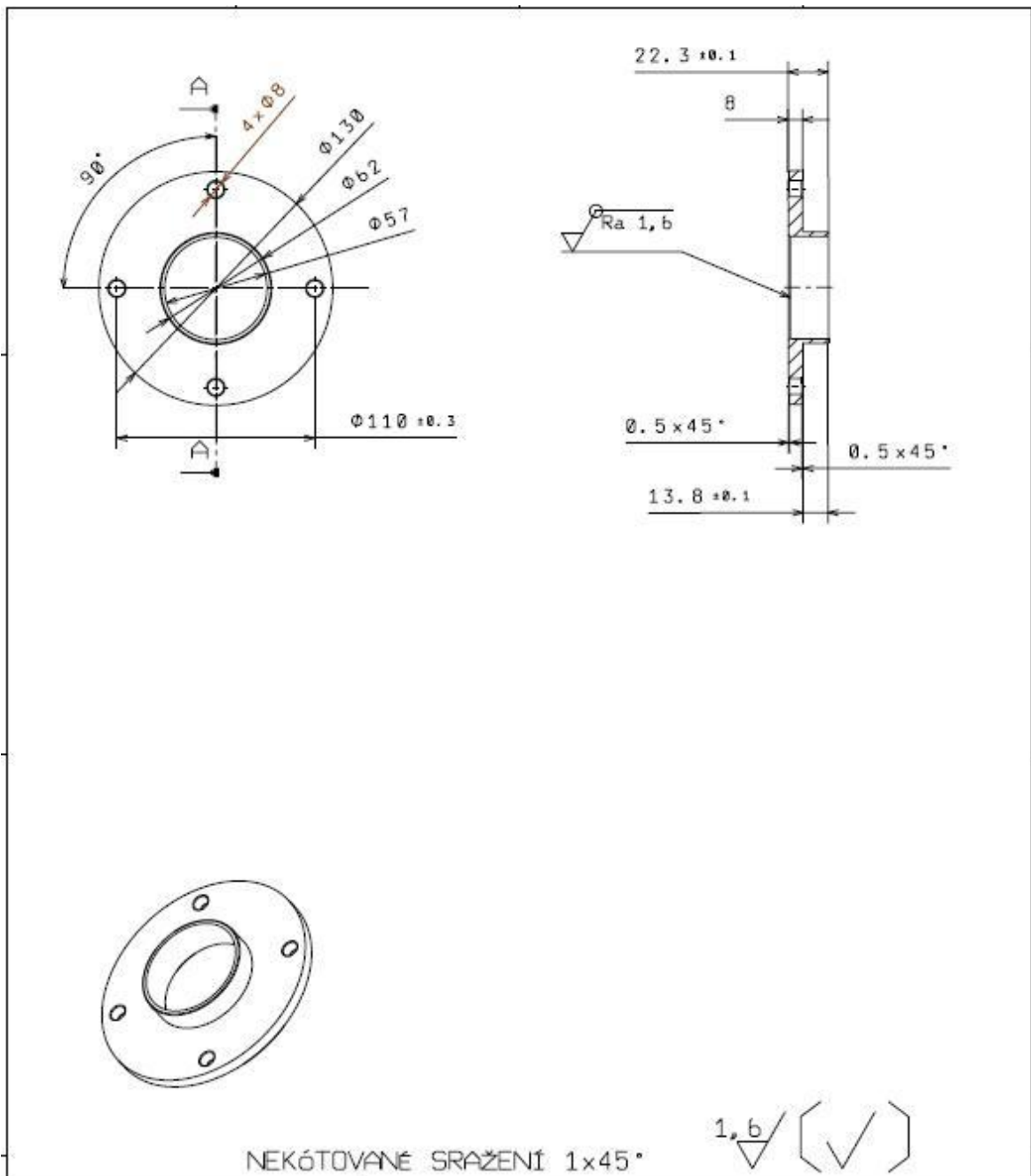




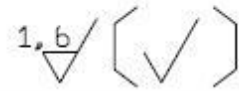
Zařízení pro rotační tváření plastů		UNIVERZITA TOMÁŠE BATI ve Zlíně	
KRESLIL		NAZEV VÝKRESU	
1	Pindák Martin	PŘÍRUBA PRO ROŠT	
	ZKontroloval	VEL.	ČÍSLO VÝKRESU
		A4	BP-08
	NAVRHL	MEŘITKO 1:3	HM. (kg)
	Pindák Martin	LIST	1/1

1

1



NEKÓTOVANÉ SRAŽENÍ 1x45°



Zařízení pro rotační tváření plastů		UNIVERZITA TOMÁŠE BATI ve Zlíně			
		NÁZEV VÝKRESU			
KRESLIL	DATEM	VÍKO PRO ZAJIŠTĚNÍ LOŽISEK			
Pindák Martin	5. 5. 2010	VEL.	ČÍSLO VÝKRESU	REV	
ZKONTROLOVAL	DATEM	A4	BP-09		
NAVRHL	DATEM	MĚŘÍTKO 1:3	HM. (kg)	LIST	1/1
Pindák Martin					

