

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T019 Stavba výrobních strojů a zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Porovnání protahování pomocí matic a pomocí redukčních kladek

Autor: **Bc. Martin KREJČÍ**

Vedoucí práce: **Ing. Václav KUBEC, Ph.D.**

Akademický rok 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin KREJČÍ**
Osobní číslo: **S15N0072P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**
Název tématu: **Porovnání protahování pomocí matic a pomocí redukčních kladek**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

V úvodu práce bude provedena rešerše na téma protahování. V práci bude vypracováno porovnání technologických operací. Pro vybranou variantu bude zpracováno konstrukční řešení včetně jeho ověření. Na závěr práce bude vypracována výkresová dokumentace vybraných dílů.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomová práce:

1. Provedení rešerše na téma protahování
2. Vypracováno porovnání technologických operací
3. Konstrukční návrh zvoleného řešení
4. Vypracování zadané výkresové dokumentace

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **50-70 stran A4**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

ELFMARK, J. A KOL. Tváření kovů. Praha: SNTL, 1992

KAMELANDER, I. Tvářecí stroje I. Brno: VUT, 1989

STANĚK, J. Základy stavby výrobních strojů - Tvářecí stroje. Plzeň: ZČU v Plzni, 2001

RUDOLF, B., KOPECKÝ, M. Tvářecí stroje. Praha: SNTL, 1985

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Kubec, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant diplomové práce: **Ing. Josef Volena**
Škoda TS, Plzeň

Datum zadání diplomové práce: **19. září 2016**
Termín odevzdání diplomové práce: **2. června 2017**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2016

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Krejčí	Jméno Martin		
STUDIJNÍ OBOR	2302T019 „Stavba výrobních strojů a zařízení“			
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Kubec, Ph.D.	Jméno Václav		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Porovnání protahování pomocí matic a pomocí redukčních kladek			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2017
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	91	TEXTOVÁ ČÁST	64	GRAFICKÁ ČÁST	20
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Diplomová práce obsahuje konstrukční návrh protahovacího stroje, pro protahování pomocí matic a redukčních kladek. V úvodu je provedena rešerše technologie tváření kovů. Řešení obsahuje výpočet tvářecích sil, které byly provedeny v programu DEFORM, návrh konstrukčního řešení a provedení kontroly MKP analýzou. Na závěr je provedeno porovnání obou variant.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	tváření, tváření za tepla, protahování, matrice, redukční kladky, MKP analýza,

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Krejčí	Name Martin	
FIELD OF STUDY	2302T019 „Design of Manufacturing Machines and Equipment“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Kubec, Ph.D.	Name Václav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Drawing with die in comparison with the forming by the reduction rollers		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2017
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	91	TEXT PART	64	GRAPHICAL PART	20
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This diploma thesis includes the design of the broaching machine, for the broaching with die or with the reduction rollers. The introduction is focused on research of metal forming technology. The solution includes a calculation of the forming forces that were calculated with the help of the software called DEFORM. Next part of the solution is about design solution and FEM calculations. The conclusion of this thesis compares two broaching variants.
KEY WORDS	forming, hot forming, drawing, broaching, die, reduction rollers, MKP analysis

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat mému vedoucímu diplomové práce, kterým byl pan Ing. Václav Kubec Ph.D. a panu Doc. Ing. Janu Hlaváčovi, Ph.D., který mě vedl v zinném semestru, za cenné rady, jejich čas a ochotu, kterou mně věnovali. Dále bych chtěl poděkovat mému konzultantovi z firmy TS Plzeň, kterým byl pan Ing. Josef Volena, za praktický pohled na danou problematiku. Poděkování patří také mé blízké rodině, za podporu v průběhu celého studia.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Technologie tváření kovů.....	2
2.1	Teorie tváření.....	2
2.2	Dělení podle stavu napjatosti.....	3
2.2.1	Objemové tváření	3
2.2.2	Plošné tváření	3
2.3	Vliv teploty na plastické vlastnosti materiálů.....	3
2.3.1	Tváření za studena.....	4
2.3.2	Tváření za tepla	4
2.4	Ohřev materiálu	6
2.4.1	Následky ohřevu.....	7
2.5	Dělení materiálu	7
2.6	Materiály vhodné pro tváření	7
2.7	Tření.....	8
3	Metody výroby dutých trubek	9
3.1	Protlačování.....	9
3.1.1	Rozdělení protlačovacích metod	9
3.1.2	Ruční výpočet síly a práce při zpětném protlačování	10
3.1.3	Výpočet síly při protlačování programem DEFORM	11
3.2	Tažení – plošné tváření.....	13
3.3	Stroje vhodné k protlačování.....	14
3.3.1	Mechanické lisy.....	14
3.3.2	Hydraulické lisy	15
3.4	Výroba bezešvých trubek na tratích s protlačovací stolicí	15
3.5	Děrování polotovaru	16
3.5.1	Výpočet síly potřebné k děrování.....	17
3.6	Protahování pomocí matic a redukčních kladek	17
3.7	Zadaný materiál	18
3.8	Ideový návrh stroje	19
4	Výpočty protahovacích sil.....	20
4.1	Protahování pomocí matic.....	20
4.1.1	Protahovací síla jedné matice.....	21

4.1.2	Protahovací síla všech matic	22
4.2	Protahování pomocí redukčních kladek	23
4.2.1	Protahovací síla působící na 5 sad kladek	25
4.2.2	Protahovací síla působící na 3 sady kladek	27
4.3	Shrnutí výsledných sil	30
5	Konstrukční řešení.....	31
5.1	Návrh konstrukce kazet pro protahování pomocí matic.....	31
5.2	Návrh konstrukce kazet pro protahování pomocí kladek	32
5.2.1	Kontrola hřídele.....	34
5.2.2	Kontrola ložisek	35
5.3	Pevnostní výpočet kazety	36
5.3.1	Pevnostní výpočet kazety pro protahování pomocí redukčních kladek	36
5.3.2	Pevnostní výpočet kazety pro protahování pomocí matic	39
5.4	Pevnostní výpočet pohyblivého rámu.....	40
5.5	Pohyblivý rám.....	43
5.6	Shazovače	46
5.7	Schéma celého stroje	49
6	Závěr.....	56

Příloha č. 1 – Grafy z programu DEFORM

Seznam obrázků

Obrázek 1. logo firmy [11].....	1
Obrázek 2. Tváření za tepla [15].....	2
Obrázek 3. Dělení tváření.....	3
Obrázek 4. Rekrystalizační diagram [12].....	4
Obrázek 5. Zrno před tvářením a po tváření [12].....	4
Obrázek 6. Oblast tvářecích teplot [12]	5
Obrázek 7. Indukční ohřev [16]	6
Obrázek 8. Ohřev v peci [12]	6
Obrázek 9. Dopředné protlačování plných polotovarů	9
Obrázek 10. Dopředné protlačování dutých polotovarů	9
Obrázek 11. Zpětné protlačování	10
Obrázek 12. Zpětné protlačování, příklad	10
Obrázek 13. Výsledná síla protlačování, DEFORM	12
Obrázek 14. Kombinované protlačování.....	12
Obrázek 15. Stranové protlačování	13
Obrázek 16. Tažení plechů.....	13
Obrázek 17. Charakteristika mechanického lisu [9]	14
Obrázek 18. Charakteristika hydraulického lisu [9].....	15
Obrázek 19. Výroba bezešvých trubek [1].....	15
Obrázek 20. Děrování čtvercového sochoru	16
Obrázek 21. Děrování Erhardtovým způsobem	17
Obrázek 22. Ukázka protahování pomocí matic [4]	17
Obrázek 23. Redukční kladka ze tří válečků [17]	18
Obrázek 24. Redukční kladka ze čtyř válečků [4]	18
Obrázek 25. Skica stroje.....	19
Obrázek 26. Matrice	20
Obrázek 27. Nastavení tření a přestupu tepla.....	20
Obrázek 28. Protahování pomocí jedné matrice, teplota konstantní.....	21
Obrázek 29. Protahování pomocí jedné matrice, se změnou teploty	21
Obrázek 30. Protahování pomocí pěti matrice, bez změny teploty	22
Obrázek 31. Protahování pomocí pěti matrice, se změnou teploty	23
Obrázek 32. Rovina symetrie a oblast přechodu tepla	24
Obrázek 33. Sada kladek.....	24
Obrázek 34. 3D model protahování pomocí kladek.....	24

Obrázek 35. Protahování pomocí 5 sad kladek	25
Obrázek 36. Pozice kladek a jejich číslo, 5 sad kladek	26
Obrázek 37. Síla působící na 5 sad kladek	27
Obrázek 38. Protahování pomocí 3 sad kladek	27
Obrázek 39. Pozice kladek a jejich číslo, 3 sady kladek	29
Obrázek 40. Síla působící na 3 sady kladek	29
Obrázek 41. Průběh výsledných sil působících na trn - axiální směr	30
Obrázek 42. Rozstřel kazety pro uchycení matic	31
Obrázek 43. Řez kazetou pro matrice	32
Obrázek 44. Sestava kazety, protahování pomocí kladek	32
Obrázek 45. Kazety pro pootočené kladky	33
Obrázek 46. Rozstřel kazety se sadou kladek	33
Obrázek 47. Protikus pro ložiska	33
Obrázek 48. Zatížení hřídele, Autodesk Inventor	34
Obrázek 49. Průhyb hřídele, Autodesk Inventor	35
Obrázek 50. Rozměry ložiska	35
Obrázek 51. Data pro výpočet, řez ložiska	36
Obrázek 52. Zasít'ovaná kazeta s kladkami	37
Obrázek 53. Uchycení a zatížení kladek	37
Obrázek 54. Výsledky celkového posunutí, kazeta pro kladky	38
Obrázek 55. Výsledky napětí součásti, kazety pro kladky	38
Obrázek 56. Uchycení a zatížení kazety s maticí	39
Obrázek 57. Výsledky posunutí ve směru Z, kazeta pro matrice	39
Obrázek 58. Zasít'ovaný model rámu	40
Obrázek 59. Zatížení a uchycení pohyblivého rámu	41
Obrázek 60. Deformace pohyblivého rámu	42
Obrázek 61. Napětí působící na pohyblivý rám	43
Obrázek 62. Rám	44
Obrázek 63. Vedení rámu	44
Obrázek 64. Přední kryt kazet	45
Obrázek 65. Pohyblivý rám, protahování pomocí matic	45
Obrázek 66. Pohyblivý rám, protahování pomocí kladek	46
Obrázek 67. Shazovače	47
Obrázek 68. Polotovar před shazovači	47
Obrázek 69. Polotovar projíždí mezi shazovači	48

Obrázek 70. Polotovár projel skrz shazovače	48
Obrázek 71. Ukázka zapření shazovače	48
Obrázek 72. Schéma protahovacího stroje 1, samostatně stojící	49
Obrázek 73. Schéma protahovacího stroje 2, samostatně stojící	50
Obrázek 74. Schéma protahovacího stroje 3, samostatně stojící	51
Obrázek 75. Schéma protahovacího stroje spojeného s děrovacím lisem 1.....	52
Obrázek 76. Schéma protahovacího stroje spojeného s děrovacím lisem 2.....	53
Obrázek 77. Schéma protahovacího stroje spojeného s děrovacím lisem 3.....	54
Obrázek 78. Schéma protahovacího stroje spojeného s děrovacím lisem 4.....	55

Seznam tabulek

Tabulka 1. Chemické složení v %.....	19
Tabulka 2. Rozměry matric	22
Tabulka 3. Síly působící během protahování pomocí 5 sad kladek	25
Tabulka 4. Rozměry kladek, 3 sady kladek	28
Tabulka 5. Síly působící během protahování pomocí 3 sad kladek	28
Tabulka 6. Výsledné síly působící během protahování.....	30
Tabulka 7. Porovnání variant	56

1 Úvod

Cílem této práce je porovnání protahování pomocí matic a pomocí redukčních kladek. Protahování bude prováděno na lisu CKQ 1000. Práce byla zadána firmou TS Plzeň. Konstrukce protahování pomocí matic byla již zhotovena firmou TS Plzeň. Toto řešení slouží ke zjištění vstupních informací pro výpočet protahování pomocí redukčních kladek.

První část práce je věnována rešetři tváření kovů. Jsou zde popsány základní principy a rozdělení tváření, výhody a nevýhody tváření za tepla a za studena. Dále jsou uvedeny a popsány jednotlivé možnosti výroby dutých polotovarů.

Hlavní část práce je zaměřena na výpočet zatížení nástrojů a vlastní konstrukci redukčních kladek. Výpočty jsou provedeny v programu DEFORM Integrate 2D/3D. Pro výpočet pomocí kladek je nutné navrhnout konstrukci kladek. Konstrukce kladek je provedena v programu Autodesk Inventor 2014 a následně je provedena pevnostní kontrola v programu Siemens NX 10. V závěru je provedeno finální porovnání výsledků obou variant. Posledním krokem je konstrukce stroje.

Firma TS Plzeň a.s.

Dříve ŠKODA TS, založena již před 150 lety. Firma zajišťuje svým zákazníkům kompletní servis od konzultací a úvodních studií, až po zpracování konstrukční dokumentace, výrobu, montáže a uvedení zařízení do provozu. Jedná se o jednu z největších strojírenských společností v České republice. Mateřskou společností firmy TS Plzeň je společnost ŽĎAS a.s. Firma sídlí v bývalém areálu Škoda v Plzni.

Firma TS Plzeň je zaměřena hlavně na hydraulické lisy. Dále nabízí kovací lisy pro volné kování s kovací silou od 6,3 MN až do 200 MN. Mezi vyráběné lisy patří také vytlačovací lisy pro přímé i nepřímé vytlačování, dále lisy montážní, speciální a vulkanizační. Firma TS Plzeň zajišťuje i stroje pro zařízení válcoven, zařízení pro třtinové cukrovary, divadelní a jevištní techniku. [11]



Obrázek 1. logo firmy [11]

2 Technologie tváření kovů

Tváření je považováno za nedestruktivní technologický proces zpracování materiálu. Principem technologie tvářecích pochodů jsou velké plastické deformace, které umožňují plastické vlastnosti některých kovů a slitin. Výsledkem tváření je trvalá změna tvarů a rozměrů tělesa bez porušení, která je vyvolána vnější silou za pomoci tvářecího stroje a nástroje. Fyzikální změny materiálu, se projevují strukturálními změnami a tím i změnami fyzikálních a mechanických vlastností. Je nutné, aby během operace byla v tělese překročena mez kluzu materiálu, ale nesmí být překročena mez pevnosti. Při překročení meze kluzu vzniká trvalá deformace požadovaného směru a velikosti. Změna tvaru a rozměrů je uskutečněna postupným přemísťováním částic kovu v jeho tuhém stavu. Tváření se označuje také jako plastické tečení kovů. Proti vnějším silám, které působí na těleso, působí síly vnitřní. Těmito silami se materiál brání svému přetvoření. Výsledný efekt tváření závisí proto nejen na charakteru vnějších sil, ale také na faktorech ovlivňujících vnitřní sílu. [1]

Předpokládá se, že se během plastických deformací nemění objem. Při výpočtech se používají rovnice kontinuity, především při válcování, tažení a protlačování. S navrhováním nástrojů a jejich tvarů souvisí kinematika velkých plastických deformací, která sleduje trajektorii a rychlost částic materiálu při různých tvářecích pochodech. Na vznik plastických deformací má především vliv stavba krystalové mřížky. Různé druhy mřížek mají odlišný charakter, to je např. různý počet kluzných rovin. Základem vzniku plastických deformací je nepravidelnost uspořádání atomové mřížky. To znamená, že pro teorii plasticity mají zásadní význam dislokace. [1]



Obrázek 2. Tváření za tepla [15]

2.1 Teorie tváření

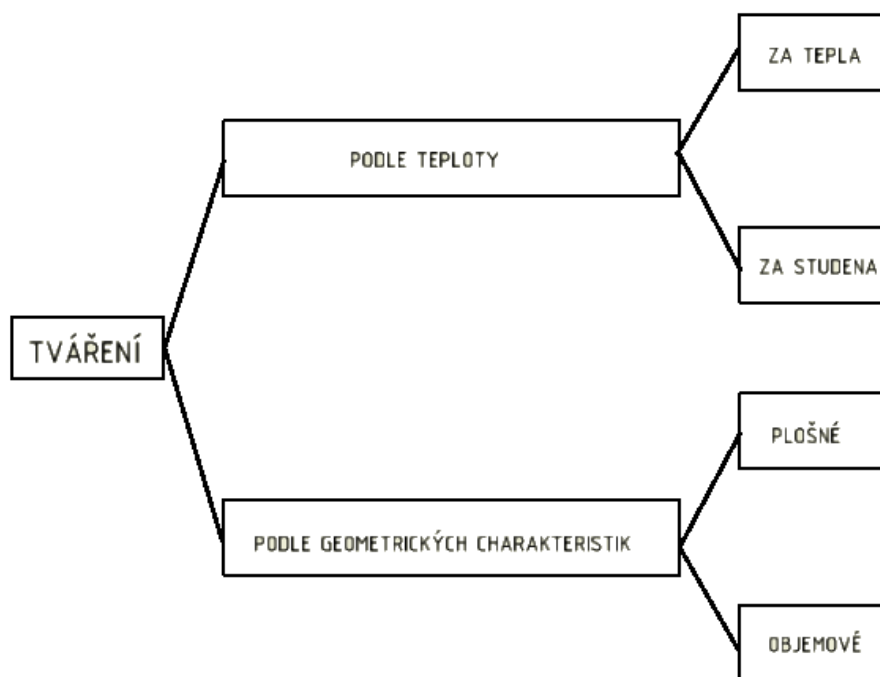
Působí-li na monokrystal vnější síly, dochází k deformaci krystalové mřížky. Pokud dojde k posuvu částic o méně, než jeden parametr dochází k dočasné, elastické deformaci a materiál se po působení sil vrátí do původní polohy. Jestliže dojde k posuvu většímu než je jeden parametr, dochází k plastické, trvalé deformaci. K posuvu dochází v kluzných rovinách pomocí kluzu. Deformaci usnadňují vakantní místa a zejména dislokace, jelikož se snadno přesouvají. Krom posuvu může k deformaci dojít i pomocí dvojčatění. Dvojčatění spočívá v tom, že se část mřížky krystalu natočí z nepříznivé polohy pro kluz na příznivou a pak dochází až k posuvu kluzem. Deformace polykrystalu je obtížnější, jelikož jeho zrna nejsou rovnoběžná, tudíž ani kluzné roviny, a při deformaci se musí překonávat mnohem větší odpor. Materiál je odolnější proti deformaci. Velmi často se tváření používá pro výrobu symetrických součástí. [14]

Výhody tváření:

- vysoká produktivita práce,
- vysoké využití materiálu (při tváření odpadá jen 5-10 %),
- velmi dobrá rozměrová přesnost tvářených výrobků.

Nevýhody tváření:

- vysoké pořizovací náklady (cena strojů a nástrojů),
- omezené rozměry konečného výrobku.



Obrázek 3. Dělení tváření

2.2 Dělení podle stavu napjatosti

2.2.1 Objemové tváření

Během objemového tváření dochází k přeskupení objemu materiálu, ke změně tvaru. Mezi operace objemového tváření patří kování, zápustkové kování, válcování, lisování, ražení, protlačování, tažení. Polotovary pro objemové tváření – ingoty, tyče, špalky, kaloty. Princip objemového tváření je v přemísťování materiálu ve všech třech směrech. Mění se tvar i průřez vlivem velké deformace. Částice materiálu se přemísťuje v celém objemu, ale velikost se nemění. Poměr V/S se při tváření zvětšuje. Pružnou deformaci můžeme zanedbat, důležitý je podíl plastické deformace v objemu polotovaru. Během tváření se materiál zpevňuje, ale klesá jeho tažnost. [2]

2.2.2 Plošné tváření

Mezi operace plošného tváření patří - tvarování plechu, stříhání, prostříhování, ohýbání, kovatlačení. Vytváření prostorového předmětu z rovinného, hluboké tažení. Během plošného tváření je polotovar deformován ve dvou směrech. Požadovaného tvaru je dosaženo bez velké změny průřezu nebo tloušťky polotovaru. Polotovary pro plošné tváření – plechy, pásy smotané do svitků. Poměr V/S se při plošném tváření téměř nemění. Plastická deformace je během procesu srovnatelná s pružnou deformací, může dojít k odpružení. Vytváří se duté, rovinné, ale i prostorové tvary. [2]

2.3 Vliv teploty na plastické vlastnosti materiálů

Plastické vlastnosti se s teplotou podstatně mění, je-li struktura tvořena jemnou fází, plastické vlastnosti se se stoupající teplotou zlepšují. U ocelí se tvárnost zmenšuje pouze v oblasti křehkosti za modrého žáru a v oblasti fázových přeměn. Tvárnost se zmenšuje v oblasti teplot, při kterých je možná neúplná deformace za tepla a v oblasti fázových přeměn. Při teplotách blízkých bodu tání se opět tvárnost zhoršuje vlivem přehřátí a značného zhrubnutí zrna. Probíhají-li velké plastické deformace za studena, mají za následek rozrušení krystalové

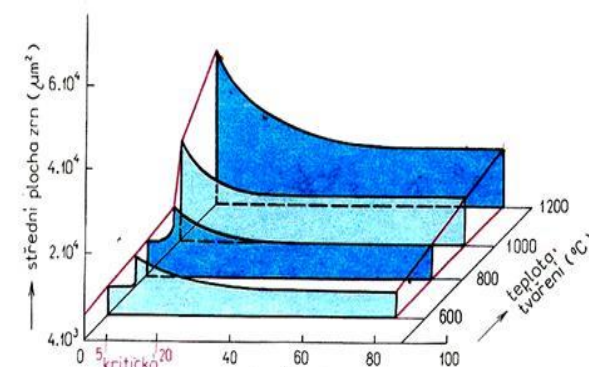
mřížky jednotlivých zrn a jejich trvalou deformaci spolu s usměrněním rozrušené struktury. Tento pochod je doprovázen zvyšováním odporu proti dalšímu přetváření a zároveň vyčerpáním schopnosti materiálu k další plastické deformaci. [2]

2.3.1 Tváření za studena

Tváření za studena, často nazývané jako zpevňování, probíhá při pokojové teplotě. Plastické deformace probíhající za studena mají za následek deformaci krystalické mřížky jednotlivých zrn a vedou tedy k usměrněnému rozrušení struktury. Zpevněním se zvyšují mechanické hodnoty a klesá tažnost. Tento proces je doprovázen zvyšováním odporu proti dalšímu přetváření a zároveň vyčerpáváním schopnosti materiálu k další plastické deformaci.

Během tváření za studena neprobíhá teplené upravování, zůstává napětí v kluzných rovinách. Snižuje se tažnost, vrubová houževnatost a odolnost proti korozi

Ztráta plastických vlastností se projevuje zvýšením meze kluzu a pevnosti v tahu, sníženou tažností, změnou fyzikálních, elektrických a magnetických vlastností.



Obrázek 4. Rekrystalizační diagram [12]



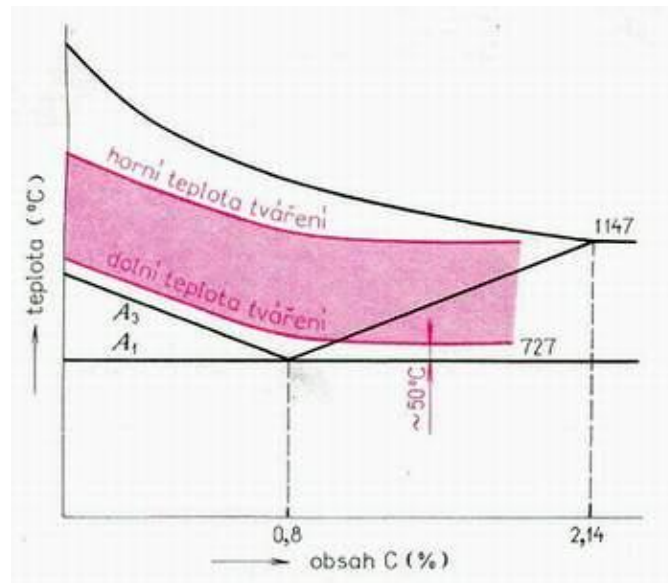
Obrázek 5. Zrno před tvářením a po tváření [12]

Po určitém stupni deformace při tváření se proces musí přerušit, musí se obnovit plastické vlastnosti materiálu s využitím změkčovacích pochodů, zotavení, rekrystalizace.

Operace prováděné za studena: Válcování, tažení, lisování (stříhání, děrování, ohýbání, rozšiřování, tažení nádob, objemové tváření – protlačování, ražení). [1]

2.3.2 Tváření za tepla

Tváření za tepla charakterizuje schopnost rekrystalizace. Probíhá při teplotě vyšší, než je rekrystalizační teplota. Rekrystalizace je tak velká, že zároveň s deformací probíhá tzv. uzdravování mřížky. Je-li rychlost rekrystalizace větší, než rychlost jakou se kov deformuje, je výsledná struktura z nedeformovaných zrn. Nedeformovaná zrna nejeví známky zpevnění a kov si zachovává během tváření plastické vlastnosti. Závislost mezi velikostí zrna po deformaci a rekrystalizaci při určitém stupni deformace, znázorňuje rekrystalizační diagram. Význam rekrystalizačních diagramů spočívá v tom, že s jejich pomocí lze určit tzv. kritický stupeň deformace, u něhož lze očekávat, při následné rekrystalizaci, enormní nárůst zrna. Což způsobí pokles plastických vlastností. Pro tváření za tepla stačí až desetkrát menší síla, než při tváření za studena. Snižuje se nebezpečí trhlin a prasklin, ale povrch je nekvalitní vlivem okujení. [1]



Obrázek 6. Oblast tvářecích teplot [12]

Rekrytalizační teplota je odlišná u různých kovů a slitin. Pro čisté kovy se přibližně vypočte pomocí Bočvarova vzorce:

$$T_{\text{rek}} = 0,4 * T_{\text{tav}}$$

T_{rek} rekrytalizační teplota

T_{tav} teplota tavení kovu

Tváření za studena: při teplotách nižších než $0,3 * T_{\text{tav}}$

Tváření za tepla: při teplotách vyšších než $0,7 * T_{\text{tav}}$ [2]

Operace prováděné za tepla: kování (volné, zápusťkové), válcování, vytlačování.

Pro volbu teploty platí, že čím vyšší teplota tváření, tím menší jsou odpory proti deformaci. Vyšší teplota tváření způsobuje, že zrna více hrubne a klesá houževnatost. Vysoké teploty mají za následek značný opal (okuje). Teplota tváření nesmí překročit horní teplotu tváření a končit by měla na dolní teplotě tváření. [2]

Výhody tváření za tepla:

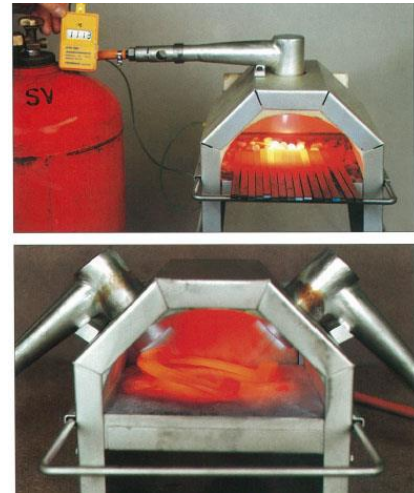
- malé přetvárné odpory za vysokých teplot tváření, které se s rostoucím stupněm přetvoření nemění,
- obnova a dynamické odpevnění struktury,
- potřeba menších tvářecích sil a tím i menší přetvárné práce,
- menší namáhání nástroje. [6]

Nevýhody tváření za tepla:

- velká spotřeba energie na ohřev,
- vyšší investiční náklady,
- značné tepelné namáhání nástroje a stroje,
- menší tvarová a rozměrová přesnost,
- horší kvalita oduhličeného a okujeného povrchu,
- při kování a obrábění je třeba vyvarovat se porušení vláknité struktury. [6]

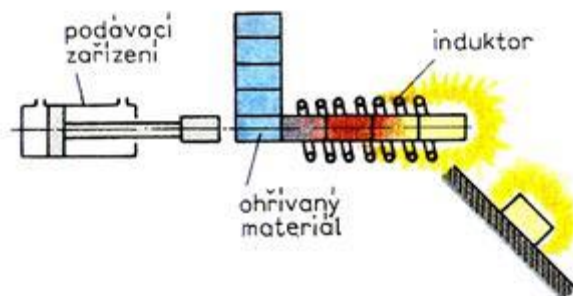
2.4 Ohřev materiálu

Materiál se musí zahřívát tak, aby bylo zaručeno stejnoměrné prohřátí materiálu v celém průřezu. Ohřev musí být co nejrychlejší a ztráty opalem co nejmenší. Doba ohřevu na teplotu tváření závisí na tepelné bilanci pece, tepelné vodivosti materiálu a rozložení materiálu v peci. U cyklických pecí se materiál sází na pevnou půdu a během ohřevu se většinou nepřekládá. V průchozích pecích se materiál ohřívá při plynulém průchodu pracovním prostorem pece. Podle druhu vytápění jsou pece plynové nebo elektrické. Plynové pece mají pro energetickou bilanci hutního průmyslu stále největší význam. Rozsáhlé použití topných plynů je dáno vhodnými vlastnostmi, jako jsou dokonalé spalování s malým přebytkem vzduchu, rovnoměrné rozložení teplot



Obrázek 8. Ohřev v peci [12]

v pracovním prostoru pece, příznivá kontrola a automatizace spalovacího procesu. Elektrické pece pracují na principu narážejících se elektronů na atomy vodiče v rovnovážných polohách a předávají jim část své kinetické energie. Rozkmitání atomu má za následek vzrůst teploty vodiče. Výhody ohřevu elektrickým proudem jsou nízké okujení, přesné dodržení tvářecí teploty, snadná mechanizace a automatizace. Elektrické pece dělíme na pece s nepřímým odporovým ohřevem a na pece s přímým odporovým ohřevem. Ohřev elektrickým proudem se uplatňuje při výrobě svařovaných trubek, při zápusťkovém kování, kdy ohřívací zařízení může být vestavěno přímo do tvářecího stroje. Indukční ohřev se používá hlavně v sériové a hromadné výrobě nebo na automatických linkách. Kolem vodiče, jímž prochází střídavý elektrický proud, se vytváří magnetické pole, které mění svou velikost a směr. Jestliže do magnetického pole vložíme kovové těleso, indukuje se v něm elektromotorická síla, jejímž působením začne tělesem procházet proud, těleso se zahřívá. Jedná se o nejrychlejší způsob ohřevu vůbec. Výhodou je čistota, rychlost ohřevu a možnost ohřívát jen určité místo součásti. [13]



Obrázek 7. Indukční ohřev [16]

Výpočet doby ohřevu

$$t = \alpha * k * D * \sqrt{D}$$

t – čas potřebný k ohřevu z 0°C na 1200°C,

α – součinitel závisející na průřezu materiálu a na jeho rozložení v peci,

k – součinitel vlivu chemického složení materiálu,

D – průměr nebo délka strany průřezu ohřívávaného materiálu. [8]

2.4.1 Následky ohřevu

Ke vzniku opalu dochází během oxidací povrchových vrstev ohřívaného tělesa v pecní atmosféře obsahující volný kyslík, CO_2 a vodní páru. Oxidace se urychluje neustálým opadáváním okují z povrchu ohřívaného tělesa, následkem rozdílné teplotní roztažnosti okují a základního kovu. Oxidovaný povrch materiálu se při tváření odlupuje v šupinkách, těm se říká okuje. Nepříznivé důsledky opalu jsou ztráta kovu, 1 až 3% na jeden ohřev, snížení životnosti pecní nístěje následkem nalepování okují nebo vzniku strusky, nezbytnost zařazení odokujení materiálu před tvářením, snížení životnosti tvářecích nástrojů. Množství vzniklých okují závisí na ohřívací teplotě, době ohřevu, pecní atmosféře a chemickém složení. Největší vliv má ohřívací teplota. Okuje se začínají tvořit v teplotním rozsahu 600 až 700°C. Nejprve se tvoří téměř nezatelně, ale nad teplotou 1000°C již velmi intenzivně. Doba ohřevu se projevuje parabolickou závislostí, takže s časem se přírůstek okují zmenšuje. Množství okují dále závisí na povrchovosti ohřívaného polotovaru, čímž se rozumí poměr povrchu tělesa k jeho objemu a způsobu manipulace s polotovarů v peci.

Oduhličení oceli je zajištěno působením CO_2 a H_2O , dále pak O_2 a H_2 . Oduhličení se projevuje snížením pevnosti, povrchové tvrdosti a dalších vlastností závislých na obsahu uhlíku. Oduhličení souvisí s oxidací, za horní tvářecí teploty převládá oxidace, zatímco při dolní tvářecí teplotě oduhličení. Vrstva oduhličení může dosáhnout až hloubky 2 mm. [6]

2.5 Dělení materiálu

Polotovary pro tváření mohou být např. tyčové materiály, svitky, tabule apod. Tyto polotovary je nutné rozdělit na požadovanou délku. Dělení materiálu se provádí pomocí řezání, upichování, lámání, stříhání nebo pomocí nekonvenčních metod. Dělení materiálu má vliv na kvalitu plochy v místě rozdělení.

Dělení stříháním je nejčastější operací tváření. Použití na přípravu polotovaru, ale i na dokončovací operace. Princip stříhání, působením protilehlých řezných hran je vyvozeno v řezné rovině smykové napětí. Výstřížek se oddělí dříve, než projde střížník celou tloušťkou stříhaného materiálu. Okraje stříhových ploch nejsou zcela rovné. Rozdělení stříhání dle konstrukce nožů na stříhání rovnoběžnými noži, skloněnými noži, kotoučovými noži a noži na profily a tyče.

Dělení řezáním je nejpoužívanější u dělení tyčového materiálu. Část materiálu se ztratí ve formě třísek. Velikost odpadu závisí na šířce pily. Polotovar lze řezat jen do určité tvrdosti materiálu. Řezáním je zajištěna kolmost řezu, hladký řez. Řezání se může provádět na rámové, kotoučové nebo pásové pile. Princip řezání spočívá ve vnikání břitů nástroje do materiálu obrobku. Nástroj koná přímočarý vratný pohyb.

Dělení upichováním se používá pro dělení kruhového tyčového materiálu. Používá se velmi málo, je velmi drahý. Tento způsob dělení materiálu má velké využití v automatických obráběcích centrech. Poměrně značné ztráty materiálu. Výhodou je velmi hladký povrch dělené plochy a nedochází ke stlačení vrstev v okolí řezu. Nástrojem je upichovací nůž a stroj univerzální soustruh nebo upichovací automat. Použití pro přesné rozměry polotovaru. [2]

2.6 Materiály vhodné pro tváření

Pro tváření se používají jen materiály tvárné (plastické), to znamená takové, které mají dobrou tvárnost. Dobrá tvárnost je dána schopností změnit za pomoci působení vnějších sil trvale svůj tvar, aniž by se porušila jeho soudružnost, částice hmoty se jen trvale přemísťují. Nejčastěji se používají oceli a to v širokém rozmezí od nízkouhlíkových ocelí až po nástrojové oceli. Kromě ocelí se používají také lehké a barevné kovy včetně jejich slitin, nejvíce používané

jsou hliníkové, hořčíkové slitiny a mosazi. Obecně rozlišujeme podle podmínek tvářecích procesů materiály vhodné pro objemové tváření za studena, pro objemové tváření za tepla a materiály pro lisování plechu, kdy tuto skupinu dále rozčleňujeme na podskupiny materiálů pro tažení, pro ohýbání a pro stříhání plechu. [5]

2.7 Tření

Třecí podmínky mají velký vliv nejen na průběh tečení kovu, ale též na velikost lisovací síly. Závisí na drsnosti povrchu stykových ploch a na způsobu mazání. Tření závisí na poměru normálního a smykového napětí ve stykové ploše, může způsobit změnu napjatosti a energií, které jsou potřebné pro tváření a trvanlivost nástrojů. Volba maziva se volí dle druhu protlačovaného kovu. Mazivo musí vytvořit dobře lpící mazací film, který se neporuší ani při vysokých teplotách. Mazivo musí být teplotně stálé a nesmí reagovat s materiálem, který je protlačován ani s nástrojem. Při protlačování ocelí a dalších obtížně lisovatelných materiálů se používá jako mazivo sklo nebo látky na jeho bázi. Grafit, organické oleje a tuky nejsou z důvodu nebezpečí nahličování pro některé kovy vhodné. [9]

3 Metody výroby dutých trubek

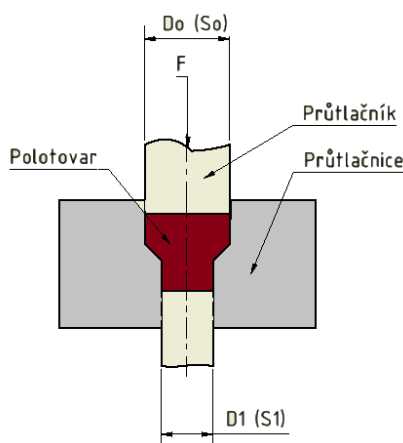
3.1 Protlačování

Protlačování může probíhat za tepla, za poloohřevu a za studena. Během protlačování vzniká trojosá napjatost, všestranná tlaková. Materiál se přemísťuje a jeho pohyb je dán konstrukcí nástroje. Výrobek se nazývá protlaček. Protlačování se používá již řadu let, zejména u lehkých a barevných kovů.

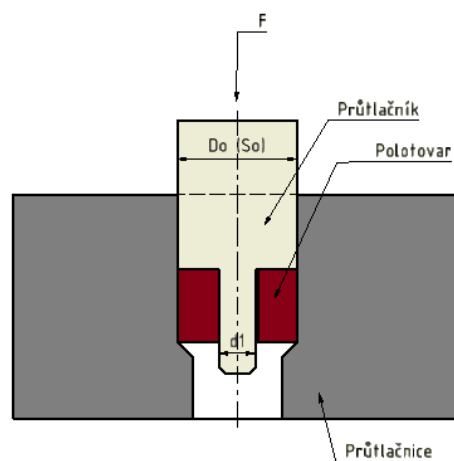
3.1.1 Rozdělení protlačovacích metod

Dopředné protlačování

Nejvíce rozšířeno. Polotovar je vytlačován skrz průtlačnici silami, které působí na materiál od lisu pomocí průtlačníku. Materiál teče ve směru pohybu nástroje (průtlačníku). Výroba dutých těles se dnem, výchozí polotovar je kalíšek vyrobený zpětným protlačováním. Dutá tělesa bez dna, výchozí polotovar nejčastěji vystřižený z pásu plechu. Pomocí dopředného protlačování se vyrábí pouzdra, trubky s přírubou, duté svorníky, nýty, podložky apod. Protlačky jsou z průtlačnice odstraněny vyhazovačem. Používá se pevný nebo pohyblivý trn, méně často plovoucí trn. Dopředné protlačování plných polotovarů je vidět na Obrázek 9 a protlačování dutých polotovarů je na Obrázek 10. [1]



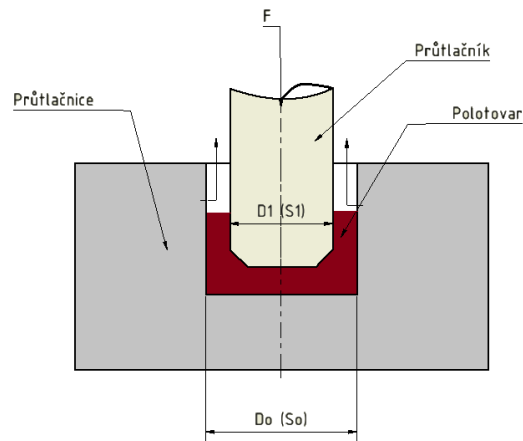
Obrázek 9. Dopředné protlačování plných polotovarů



Obrázek 10. Dopředné protlačování dutých polotovarů

Zpětné protlačování.

Čep je vložený do zásobníku během protlačování v klidu a průtlačník je dutý. Na jeho předním čele je umístěna průtlačnice a protlaček se pohybuje v dutině průtlačníku proti jeho pohybu. Dělení zpětného protlačování je dle toho, jaký druh materiálu je protlačován. Lehce tvárné výrobky pro elektrotechnický průmysl, strojírenský a spotřební průmysl jako pouzdra, tuby, víčka, jsou protlačovány nejčastěji v jedné operaci. Vysoká tvárnost a nízký přetvárný odpor těchto kovů umožňuje velký stupeň deformace a použitelnou dostatečnou přesnost výrobků. V jedné operaci je možné dosáhnout redukce průřezu až 60% u oceli s 0,12% C. Vysoce uhlíkové oceli je nutné rozdělit na více protlačovacích operací, s přidáním mezi žiháním. Potřebné zeslabení je dosaženo opakovaným protažením pomocí kroužků a trnu, na který je nasunuta protahovací součást. Princip zpětného protlačování je na Obrázek 11. [1]



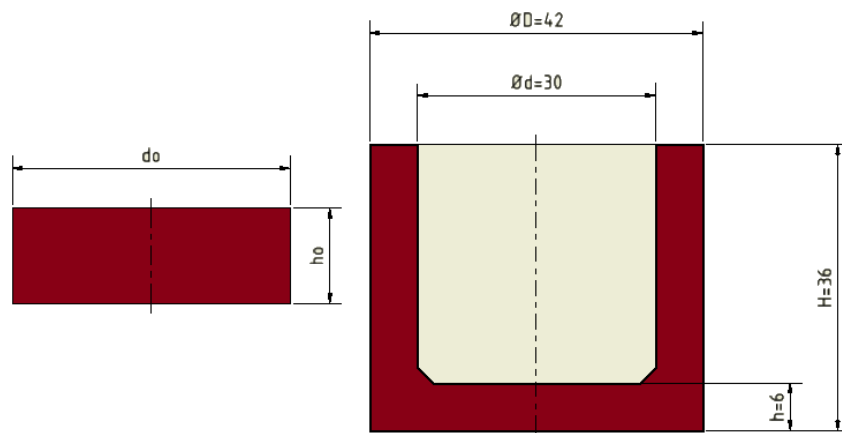
Obrázek 11. Zpětné protlačování

3.1.2 Ruční výpočet síly a práce při zpětném protlačování

Výpočet protlačovací síly, pro dutou součást se dnem. Způsob výroby zpětné protlačování.

Materiál: 11 320; $\varnothing D = 42\text{mm}$; $\varnothing d = 30\text{mm}$; $H = 36$; $h = 6\text{mm}$.

Výchozí polotovaz je tyčovina o průměru $\varnothing d_o = 40\text{mm}$.



Obrázek 12. Zpětné protlačování, příklad

$$\text{Objem protlačku: } V_v = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot (H - h) = \frac{\pi \cdot 42^2}{4} \cdot 36 - \frac{\pi \cdot 30^2}{4} \cdot (36 - 6)$$

$$V_v = 28670 \text{ mm}^3$$

$$\text{Výpočet výšky polotovaru: } V_v = \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} \cdot h_o \rightarrow h_o = \frac{4 \cdot V_v}{\pi \cdot d_o^2} = \frac{4 \cdot 28670}{\pi \cdot 40^2} = 23\text{mm}$$

$$\text{Rozměry polotovaru: } h_o = 23\text{mm}; \varnothing d_o = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Funkční plocha nástroje: } S_p = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 30^2}{4} = 706,86 \text{ mm}^2$$

$$\text{Plocha protlačku: } S_o = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 42^2}{4} = 1385,44 \text{ mm}^2$$

Výpočet deformačního přetvárného odporu:

$$\sigma_d = 1,152 * \sigma_p * \frac{S_0}{S_p} * \left(\log \frac{S_0}{S_0 - S_p} + \frac{S_0}{S_0 - S_p} * \log \frac{S_0}{S_p} + \log \frac{S_p}{S_0 - S_p} \right) = 1,152 * 620 * \frac{1385,44}{706,86} * \left(\log \frac{1385,44}{1385,44 - 706,86} + \frac{1385,44}{1385,44 - 706,86} * \log \frac{1385,44}{706,86} + \log \frac{706,86}{1385,44 - 706,86} \right) = 1294,1 \text{ MPa}$$

Logaritmičeský stupeň deformace:

$$\varphi = \ln \frac{S_0}{S_0 - S_p} = \ln \frac{D^2}{D^2 - d^2} = \ln \frac{42^2}{42^2 - 30^2} = 0,713$$

Přirozený přetvárný odpor: $\sigma_p = 620 \text{ MPa}$

Přirozený přetvárný odpor je závislý na stupni deformace φ a jeho hodnoty lze odečíst z diagramu pro příslušné φ .

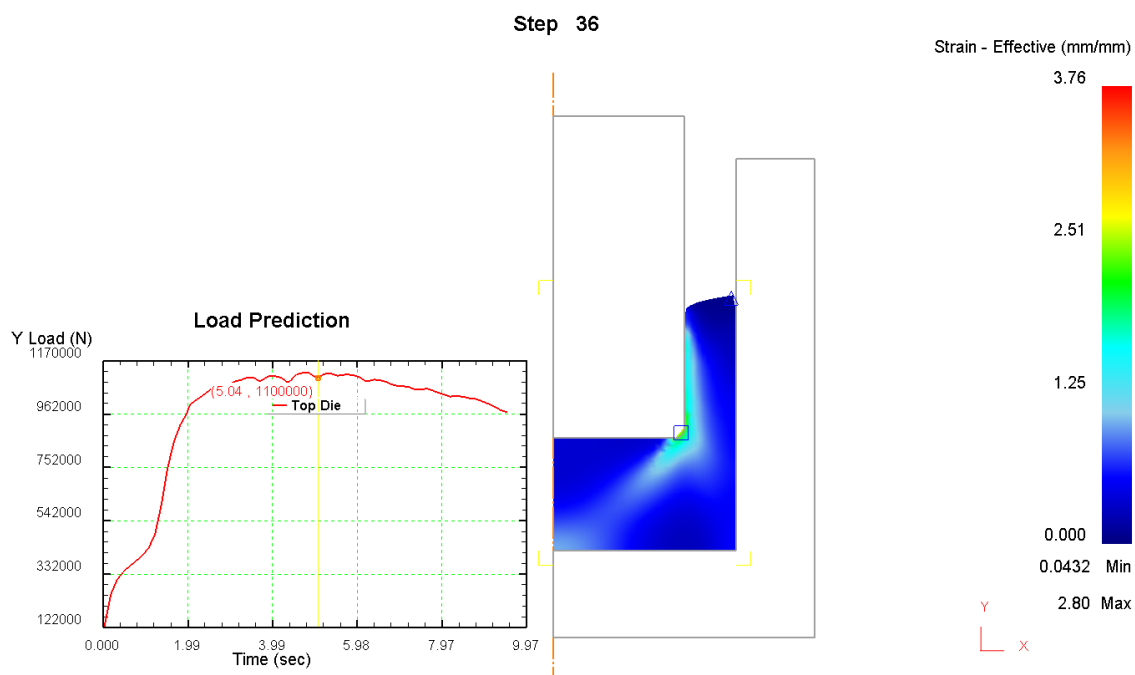
Výpočet protlačovací síly:

$$F_p = \sigma_d * S_p = 1294,1 * 706,86 = 914747,53 \text{ N}$$

$$F_p = 914,7 \text{ kN [19]}$$

3.1.3 Výpočet síly při protlačování programem DEFORM

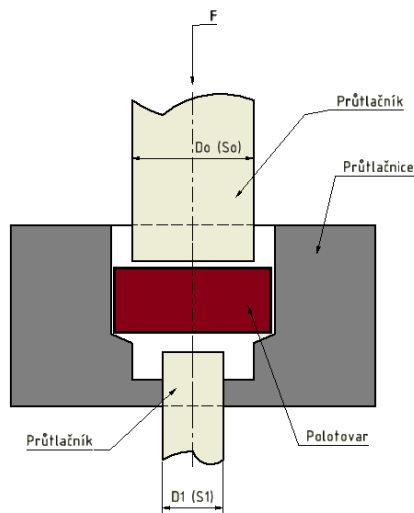
Na Obrázek 13 je vidět způsob zatěžování součásti, pro kterou byla vypočtena protlačovací síla pomocí programu DEFORM. Součást se nejprve nasítuje, velikost elementu byla zvolena 5 mm. Na Obrázek 13 je vidět deformace v 36. kroku zatěžování. Jednotlivé kroky jsou nastaveny po 2 mm. Z grafu je vidět hodnota výsledné maximální síly při protlačování, $F = 1100 \text{ kN}$. Vypočtená síla pomocí programu DEFORM je větší, protože se hodnota přirozeného odporu σ_p mění v závislosti na teplotě, deformaci a rychlosti deformace, zatímco u ručního výpočtu je počítáno s konstantním σ_p . V ručním výpočtu není zahrnuto tření, které má na výslednou hodnotu také vliv. Odchylka ručního výpočtu a výpočtu pomocí programu DEFORM je přibližně 20%, což je odchylka vzhledem k přesnosti výpočtu přijatelná a je způsobena především rozdílně stanoveným přetvárným odporem materiálu. Tímto jednoduchým výpočtem byla ověřena správnost nastavení numerického výpočtu, které bude použito pro následné složitější simulace.



Obrázek 13. Výsledná síla protlačování, DEFORM

Kombinované protlačování

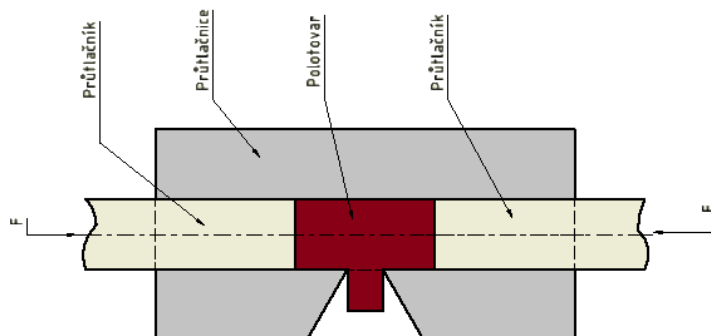
Část materiálu se přeskupuje před čelem průtlačníku a vyplňuje dutinu průtlačnice, druhá část materiálu vytváří stěny nádoby. Je to kombinace dopředného a zpětného protlačování. Jestliže zůstane výrobek v průtlačníku, vyndá se pomocí stěrače, z průtlačnice pomocí vyhazovače. Součásti musí mít otvory pro vzduch a olej, čímž je zamezeno neúplnému vyplnění dutiny nástroje. Schéma kombinovaného protlačování je na Obrázek 14. [1]



Obrázek 14. Kombinované protlačování

Stranové a hydrostatické protlačování

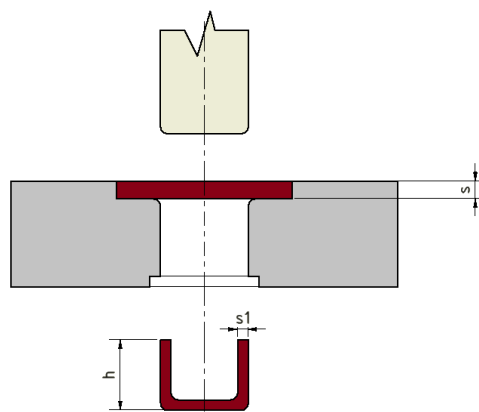
Mezi další metody protlačování patří protlačování stranové a hydrostatické. Při stranovém protlačování vystupuje protlaček z nástroje kolmo ke směru pohybu průtlačníku. Tento druh výroby je vhodný pro výrobu jak plných, tak i dutých profilů zvláštního tvaru za použití různých průtlačnic. Během hydrostatického protlačování se síla průtlačníku přenáší na tvářený čep kapalinou, která obklopuje čep umístěný v zásobníku. Kapalina chrání součást a ta tak může mít slabší stěny. Tento způsob může zmenšit protlačovací sílu o 40% u ocelí. [1]



Obrázek 15. Stranové protlačování

3.2 Tažení – plošné tváření

Tažením plechů a pásů vznikne prostorový výlisek nerovinného tvaru. Tvar výlisku určuje, jestli se jedná o mělké nebo hluboké tažení, tažení bez a se ztenčením stěny, tažení rotačních a nerotačních tvarů a nepravidelných tvarů. Výchozím polotovarem je pás plechu. Technologie tažení jsou prostý tažení, tažení se ztenčením stěny, zpětným tažením, žlábkováním, rozšiřováním, lemováním, zužováním, přetahováním a speciálními způsoby. Princip tažení spočívá v tom, že jedním nebo několika tahy se vyrobí duté těleso, polo uzavřená nádoba. Nástrojem je tažidlo, které se skládá z tažníku a tažnice, výrobkem je výtažek. Jestliže se zatlačí tažník do tažnice, plech se posune přes tažnou hranu, která se z celého nástroje nejrychleji opotřebuje. Síla potřebná k tažení se kontroluje z podmínky pevnosti válcové části nádoby, která se nesmí při tažení přetrhnout. Je nutné uvažovat vliv tření a zpevnění materiálu. Princip tažení je na Obrázek 16.



Obrázek 16. Tažení plechů

Výpočet síly se zjednodušuje, vzorce vychází z toho, že dovolené napětí v nebezpečném průřezu musí být menší, než napětí na mezi pevnosti. Největší tažná síla tedy musí být o něco menší, než síla, která způsobí utržení dna výtažku od bočních stěn. [1]

Zjednodušený vztah pro výpočet síly pro rotační tvar výtažku pro nástroj bez přidržovače:

$$F = S * R_m$$

$$S = \pi * d * s$$

S plocha materiálu, která je namáhaná na tah

d průměr tažníku

s tloušťka plechu

R_m mez pevnosti materiálu

Zjednodušený vztah pro výpočet síly pro rotační tvar výtažku pro nástroj s přidržovačem:

$$F_c = F_t + F_p = L * s * R_m + S_p * p$$

L délka obvodu polovýrobku

S_p plocha přidržovače

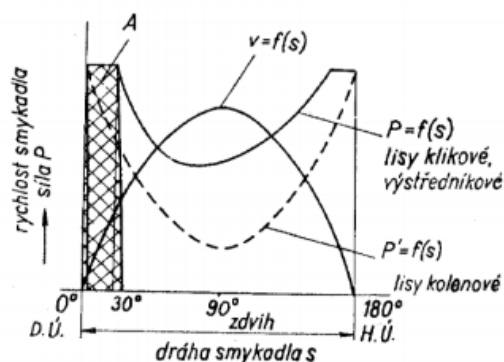
p specifický tlak přidržovače (0,8 – 3 MPa).

Během tažení je nutné dodržet tyto zásady:

- výška výtažku má být co nejmenší,
- upřednostňovat výtažky rotačního tvaru s rovným dnem,
- rohy hranatých výtažků se musí zaoblit,
- příruby na výtažku používat jen v nevyhnutelných případech,
- tolerovat rozměry tak, aby se výtažky již nemusely kalibrovat,
- volit materiály s dobrými tažnými vlastnostmi.

Pro snížení tření a tedy zlepšení kvality povrchu se používá mazání. Ze strany tažníku je výhodné mít tření co nejvyšší, ze strany tažnice je potřeba tření co nejvíce snížit. Mezi přidržovačem a materiálem je potřeba co nejlepší mazání. [12]

3.3 Stroje vhodné k protlačování



Obrázek 17. Charakteristika mechanického lisu [9]

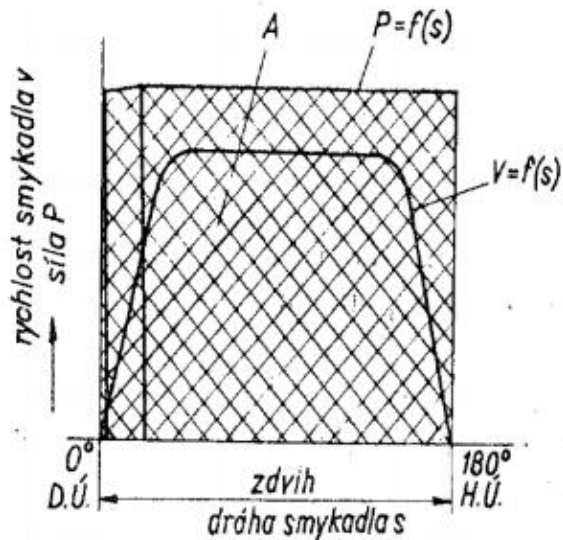
Pro objemové tváření se používají hydraulické nebo mechanické lisy, anebo také speciální protlačovací stroje. Důležitou roli hraje tuhost, která má přímý vliv na účinnost tváření a tím pádem i na dosaženou přesnost, a na životnost stroje a nástroje. Stroj se volí dle vypočtené tvářecí síly a práce. [9]

3.3.1 Mechanické lisy

Vhodné pro velké výlisky, u kterých je nutné vyvinout značnou tvářecí sílu. Výhodou mechanických lisů je dobrá tuhost. Druhy mechanických lisů jsou klikové, kolenové, výstředníkové. Pohon mechanických lisů je

většinou zajištěn pomocí elektromotoru. Kolenové lisy mají nepříznivý průběh protlačovací síly. Výstředníkové lisy se používají pro méně náročné operace objemového tváření zastudena nebo pro pomocné operace. [9]

3.3.2 Hydraulické lisy



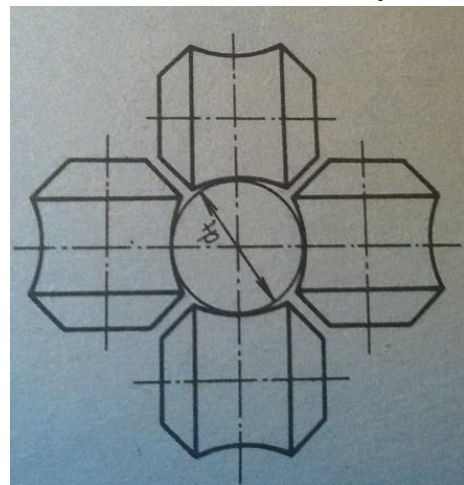
Pohyb beranu zajišťuje píst (plunžr). Píst pohání tlaková kapalina z akumulátoru nebo z čerpadla. Pracovní kapalina může být voda nebo hydraulický olej. Hydraulické lisy mají po celou dráhu smykadla konstantní jmenovitou sílu P . Během tváření má nástroj konstantní rychlost. Hydraulické lisy jsou určeny pro protlačování rozměrných a hlavně dlouhých výlisků. Je dosaženo velké tvářecí síly na dlouhé pracovní dráze. Výhodou hydraulických lisů je využití tvářecí síly po dobu celého zdvihu. Nevýhodou ale je malý počet zdvihů a malá pracovní rychlost. [9]

Obrázek 18. Charakteristika hydraulického lisu [9]

3.4 Výroba bezešvých trubek na tratích s protlačovací stolicí

Působením tlačné síly, která protlačuje výchozí dutý polotovár řadou za sebou umístěných kalibrů, vytvořených čtyřmi otočnými válečky. Válečky se otáčejí jen silou tření na provalku. Podle vnějších podmínek deformace jde o válcování. Starší způsob výroby, dutý polotovár se protlačoval řadou za sebou umístěných průvlaků, takže se uskutečňovala deformace tažením. Výchozí polotovár je nejčastěji dutý výlisek se dnem vyrobený na svislém lisu. Polotovár se nasadí na dlouhý trn, jeho průměr určuje vnitřní průměr trubky a délka omezuje délku protlačované trubky. Tvar protlačovacího kalibru je vidět na Obrázek 19. Tato výrobní operace je velmi podobná řešenímu protahování pomocí redukčních kladek.

V prvním kalibru se především redukuje průměr trubky, která se přitiskne na trn, neboť mezi trnem a vnitřním obrysem výlisku je mezera 2 až 3 mm. Poslední kalibr pak plní funkce kalibrační s minimální deformací průřezu. Deformace průřezu v mezilehlých kalibrech nesmí být velká, vzhledem k namáhání dna výlisku. V jednotlivých kalibrech jsou to 2 až 3 % při zmenšení průměru o 3 až 4 mm. Duté výlisky se někdy pro zmenšení deformačního odporu zahřívají na 1150°C. Dno výlisku se ochlazuje vodou, aby se kov zpevnil a při protlačování neprotřhl. Trny se předem ohřívají na teplotu 300 až 400°C. Níže je uveden vztah pro výpočet počtu kalibrů. [1]



Obrázek 19. Výroba bezešvých trubek [1]

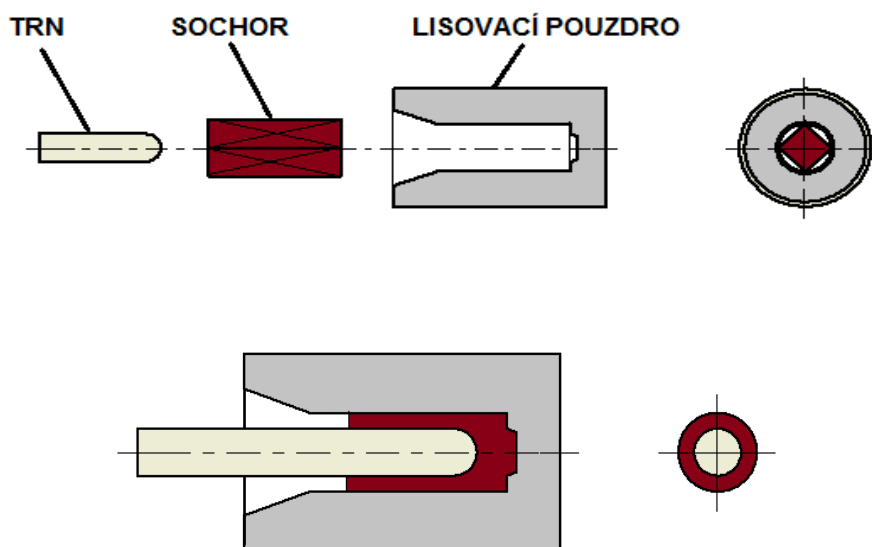
Výpočet počtu kalibrů.

$$n = \frac{\log \lambda_c}{\log \lambda_s} \quad \lambda_c = \frac{d_p^2 - \delta^2}{d_t^2 - \delta^2}$$

- n počet kalibrů
 λ_s střední součinitel prodloužení (1,1 až 1,5)
 λ_c celkový součinitel prodloužení
 d_p průměr dutého výlisku
 d_t průměr trubky
 δ průměr trnu [1]

3.5 Děrování polotovaru

Vychází se ze čtvercových sochorů se zaoblenými hranami, zahřátých přibližně na 1200 až 1250°C. Ohřátý polotovar se děruje tím, že se do něho vtlačuje trn. Děrování je nejčastěji prováděno na svislém děrovacím lisu, s hydraulickým nebo mechanickým pohonem. Postup je znázorněn na Obrázek 20. Důležité je, aby na polotovaru zůstalo dno, o které se později opírá trn během protahování. Tento způsob děrování se nazývá Erhardtovo děrování. Průměr trnu se volí tak, aby materiál vytlačený trnem vyplnil prostor mezi sochorem a stěnou lisovacího pouzdra. Proděravěný výlisek se zbaví okují a nasadí se na dlouhý, lehce kuželovitý trn. Následná operace po děrování je, že se výlisek zchladí proudem vody, proto aby odolalo tlaku, který je vyvolán působením trnu na dno polotovaru, během protahování. Protahování trubek se provádí na protahovacích lisech s tlakovou vodou nebo na protahovacích stolicích s ozubenými tyčemi. Tento způsob děrování se také nazývá jako výplňové děrování. Děrování dle Erhardta se používá pro děrování čtvercových sochorů. Výhodou je, že se čtvercový polotovar sám vystředí, jelikož se hrany polotovaru dotýkají lisovacího pouzdra. Tím je zajištěna excentricita výrobku. Při kruhovém polotovaru se musí materiál nejdříve pěchovat a následně děrovat. Pěchování zajistí, že materiál vyplní celou lisovací formu a bude zajištěna minimální excentricita výrobku. [4]



Obrázek 20. Děrování čtvercového sochoru

3.5.1 Výpočet síly potřebné k děrování

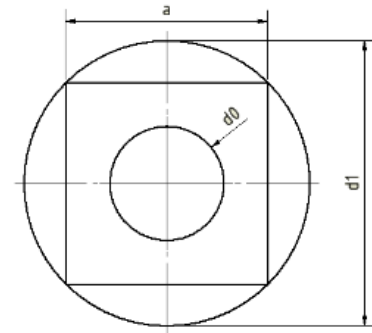
Průměr trnu: $d_0 = 122 \text{ mm}$

Strana čtvercového sochoru: $a = 150 \text{ mm}$

Průměr lisovacího pouzdra: $d_1 = a * \sqrt{2} = 212,132 \text{ mm}$

Průřez: $t = 0,23 * d_0^2 = 3,423 * 10^3 \text{ mm}$

Mez průtažnosti: $\sigma_{kt} = 500 \text{ MPa}$



Obrázek 21. Děrování Erhardtovým způsobem

Měrná síla potřebná k deformaci: $p_v = \frac{4 * \sigma_{kt} * t}{d_0^2} = 4,6 * 10^2 \text{ MPa}$

Síla působící na plášť kužele: $P_n = p_v * \frac{\pi * d_0^2}{4} = 1,075 * 10^7 \text{ N}$

Síla potřebná k vlastnímu tváření: $P_{def} = 0,73 * \sigma_{kt} * d_0^2 * \pi = 1,707 * 10^7 \text{ N}$

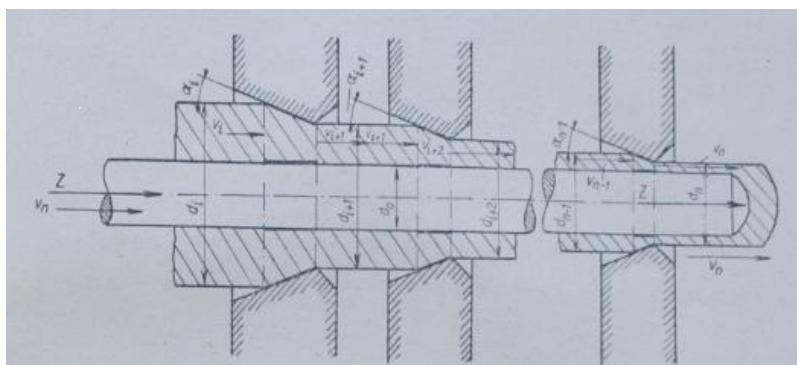
Součinitel vnitřního tření: $\mu_b = 0,6$

Síla potřebná k překonání tření: $P_{tř} = 2,08 * \mu_b * \sigma_{kt} * \frac{\pi * d_0^2}{4} = 7,294 * 10^6 \text{ N}$

Celková síla potřebná k tváření: $P = P_{def} + P_{tř} = 2,436 * 10^4 \text{ kN [4]}$

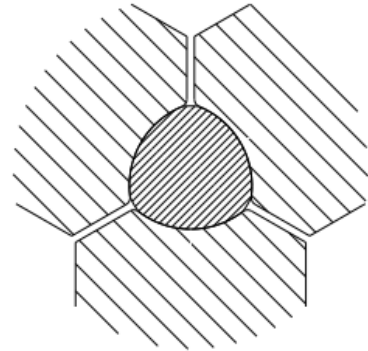
3.6 Protahování pomocí matic a redukčních kladek

Poté co je výlisek proděravěn, dopraví se do žlabu protahovací stolice a zasune se do něj dlouhý protahovací trn. Trn se opírá o dno proděravěného polotovaru a protlačuje polotovar řadou za sebou umístěných průvleků. Každý následující průvlek má oproti předchozímu průvleku zmenšený průměr, tím pádem se výlisek prodlužuje, zmenšuje svůj vnější průměr a tím pádem i tloušťku stěny. Po protažení se musí výlisek strhnout z trnu. U kratších polotovarů je možné trn z výlisku strhnout pomocí stahovačů. Delší výlisky se musí rozválcovat, rozválcování probíhá na rozválcovacím stroji, pomocí dvou vzájemně šikmo uložených válců. Kvůli nižšímu poklesu teploty je vhodné předeřhát protlačovací trn na 300 až 400 °C. Během protahování se mohou použít dva nástroje. Protahování pomocí průtažných matic nebo pomocí redukčních kladek. Matrice i kladky jsou umístěny v kazetách, které jsou zasunuty v rámu stroje. Protahovací stroj se skládá z pevného rámu, na kterém je umístěno vedení, po kterém se pohybuje pohyblivý rám. Na pevném rámu je uchycen protahovací trn s polotovarem. [4]



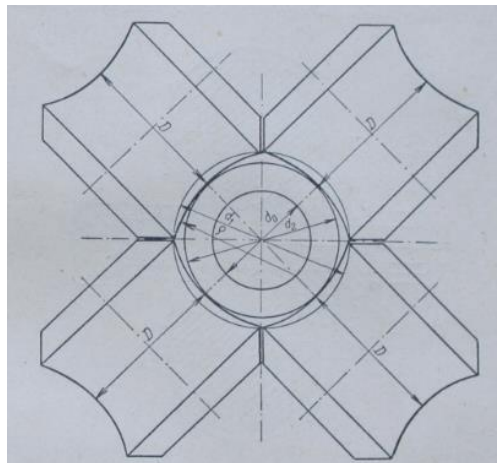
Obrázek 22. Ukázka protahování pomocí matic [4]

Do pohyblivého rámu jsou umístěny kazety s matricemi nebo s redukčními kladkami. Pohyblivý rám je uchycen ke dvěma pracovním válcům, který tlačí pohyblivý rám s kazetami směrem nahoru proti polotovaru. Předběžný tvar protahovacího stroje je vidět na Obrázek 25. Zpětný pohyb je realizován vlastní vahou sestavy nebo pomocí zpětných válců. Matrice jsou konstrukčně jednoduché. Princip protahování pomocí matic je vidět na Obrázek 22. Matrice je tvořena kroužkem, na kterém dochází k redukci polotovaru. Tento kroužek je umístěn do kazety, která je umístěna v rámu. V praxi se protahování provádí přes pět až dvacet matic. V druhém případě je jako kalibr použita sada tří nebo čtyř válečků, která tvoří uzavřený kalibr. Varianta se čtyřmi válečky je výhodnější, jelikož po samotné operaci protahování má polotovar zaručen lepší kruhovitost, než při protahování pomocí tří kladek.



Obrázek 23. Redukční kladka ze tří válečků [17]

Při použití tří kladek vzniká trojúhelníkový tvar polotovaru, který je vidět na Obrázek 23. V každém následujícím kalibru musí být válečky přesazeny o poloviční úhel svého sklonu, tím se dosáhne rovnoměrného propracování materiálu a tloušťky stěny. Výhodou válečků je, že nevzniká velké tření, jako při protahování pomocí průtažných matic. Díky tomu nedochází k velké deformaci kladek a není nutná častá výměna válečků. Naopak u průtažných matic dochází k velkým povrchovým deformacím a je nutná častá výměna, protože se vlivem značného zahřívání a působením velké síly na pracovních plochách rychle opotřebují. Deformace matic a kladek je závislá na rychlosti protahování, na teplotě polotovaru, na úběru materiálu na jednotlivých maticích a kladkách. Nevýhoda průtažných matic je, nutnost čištění a mazání po každém protažení polotovaru. Nevýhodou protahování pomocí kladek je hlavně složitá konstrukce uchycení kladek do kazet. Tato diplomová práce se zabývá protahování pomocí matic a pomocí kladek, které jsou tvořeny čtyřmi válečky. Ukázka kladek složených ze čtyř válečků je na Obrázek 24. [4]



Obrázek 24. Redukční kladka ze čtyř válečků [4]

3.7 Zadaný materiál

Výrobek bude zhotoven z materiálu DIN C60, což odpovídá ČSN normě, ČSN 12 061. Jedná se o nelegovanou, jakostní, uhlíkovou ocel k zušlechťování. Vhodná pro polotovary tvářené za tepla. Použití pro vysoce namáhané strojní součásti ve strojírenství a dopravní technice. Vhodná pro použití na klikové a výstředníkové hřídele, osy, ozubená kola a pastorky, čepy, kuželky, šrouby a matice, vřetena soustruhů, válce pro válcovací stolice, plunžry lisů, táhlové

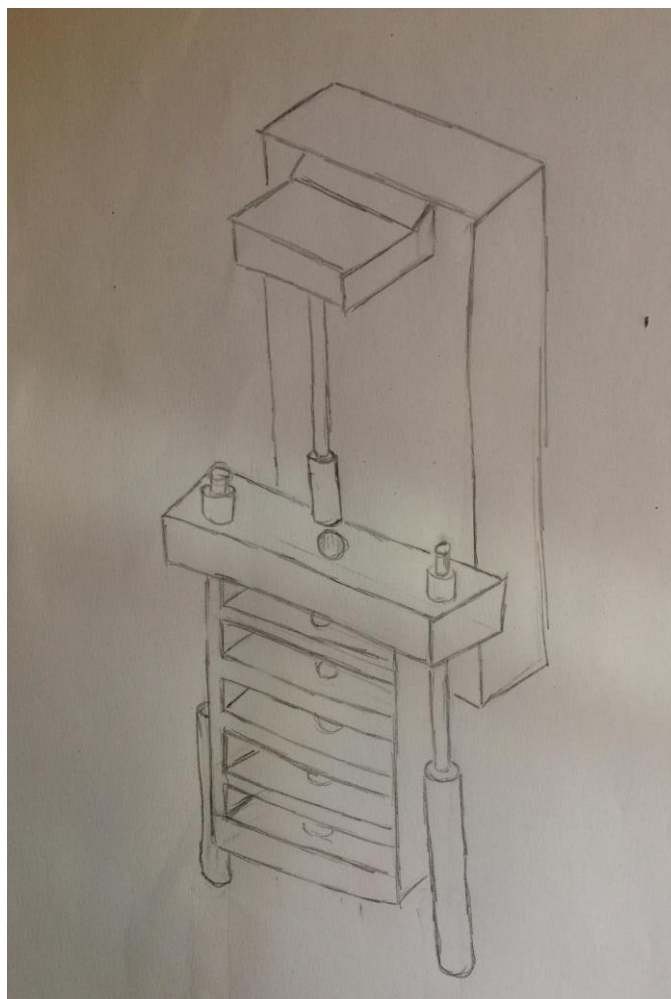
háky, objímky, pojistné kroužky, západky, kolíky, tlakové kroužky, opěrné desky, podpěry, zarážky, třecí kroužky, brzdné klíče, pevné a pohyblivé části lanovek, vodící kameny, kladky přítlačné, klíny, pera, pouzdra do brzd, lamely karuselů, třecí kroužky, kalené, pásnice kloubových řetězů, apod. Upínací a stavebnicové části nástrojů. Svařitelnost obtížná. Pevnost v tahu $R_m = 800$ až 950 MPa, mez kluzu $R_e = 500$ MPa. Teplota kování 1100°C až 800°C . Chemické složení oceli je vidět v Tabulka 1. [19]

Tabulka 1. Chemické složení v %

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
0,55-0,65	0,50-0,80	0,15 - 0,40	max. 0,04	max. 0,04	max. 0,25	max. 0,30	max. 0,30

3.8 Ideový návrh stroje

Na Obrázek 25 je ukázán předběžný návrh stroje na protahování. Předpoklad je stroj, který bude stát na výšku, osa protahování bude svislá. Stroj se skládá z pevného a pohyblivého rámu. Do pohyblivého rámu budou umístěny kazety s maticemi nebo s redukčními kladkami. Vnější rozměr kazety bude volen stejný pro matrice i pro kladky, to umožní používat jeden pohyblivý rám pro obě varianty protahování. Pohyblivý rám bude tlačěn pomocí dvou pracovních válců. Pevný rám bude spojen s pracovními válci, který budou vysouvat nebo zasouvat pohyblivý rám. K pevnému rámu bude uchycen protahovací trn, na který se umístí polotovár. Na spodní straně pohyblivého rámu budou umístěny shazovače, který po protažení strhnou polotovár z protahovací trnu.



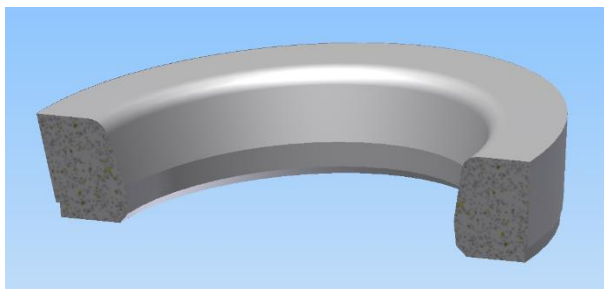
Obrázek 25. Skica stroje

4 Výpočty protahovacích sil

Výpočty byly provedeny v programu DEFORM Integrate 2D/3D.

4.1 Protahování pomocí matic

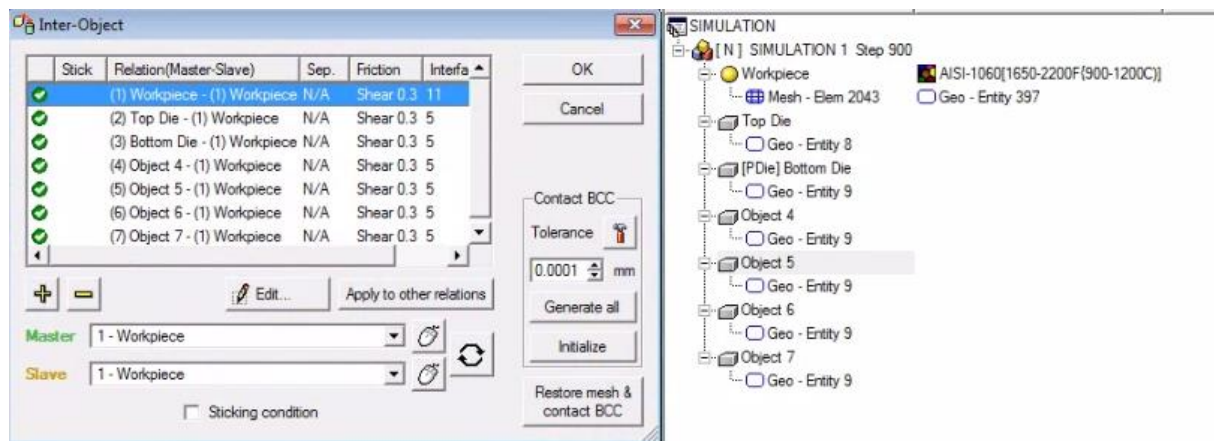
Na začátek byly provedeny jednodušší výpočty protahovací síly, působící na jednu matici. Výpočet protahování pomocí matic byl vytvořen jako 2D simulace. Výpočty byly provedeny nejprve s konstantní teplotou, to znamená, že se polotovár neochlazoval a celou dobu protahování měl teplotu 1100 °C. Tato varianta má za úkol nastítnit jaké jsou rozdíly protahovacích sil při konstantní teplotě polotovaru a při chladnutí polotovaru. Druhá varianta je již s ochlazováním materiálu. V programu DEFORM byl nastaven polotovár, pro ten se musí nastavit geometrie, síť a materiál. Pro výpočet se vycházelo ze základního tvaru matrice, který je vidět na Obrázek 26.



Obrázek 26. Matrice

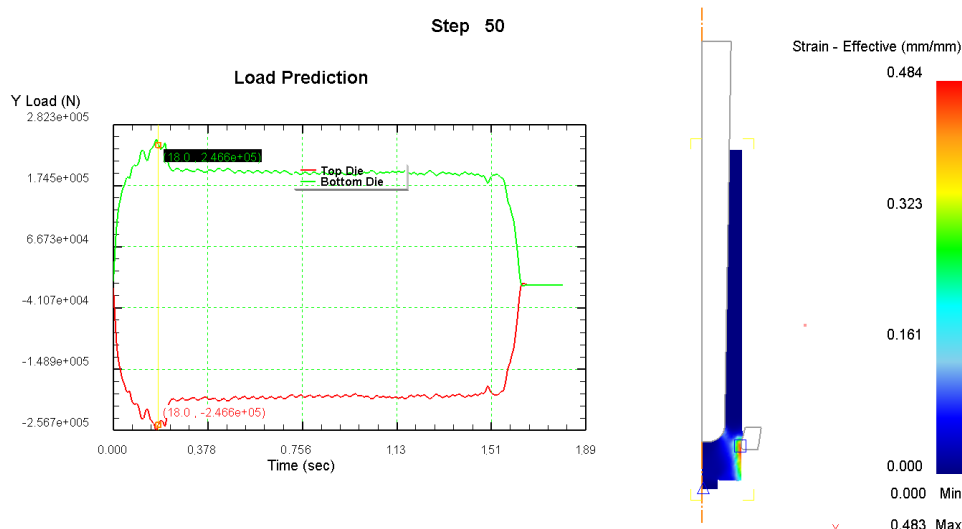
Polotovár byl zasítován pomocí 2000 elementů a byl nastaven jako plastic. Materiál byl vybrán z knihovny programu DEFORM. Dále se nastavila teplota polotovaru a to na 1100 °C. Děrovací trn a matrice byly nastaveny jako rigidy. Pro děrovací trn byla nastavena teplota 250 °C. Děrovací trn a polotovár jsou nepohyblivé, pohyb se nastavil u matic. Děrovací trn je nastaven jako Top Die.

Matrice, která vstupuje do operace jako první, je nastavena jako bottom die a je zvolena jako primary die, to znamená, že se u ní nastavuje posuv. Rychlost posuvu byla zvolena 500 mm.sec⁻¹. Nastavení výpočtu bylo zvoleno pomocí posunutí zápusky a krok byl zvolen 2 mm, což znamená 0,004 sec. Počet kroků bylo zvoleno 900. Hodnoty tření byly nastaveny pro běžné tváření za tepla, to je tření 0,3 a u varianty s ochlazováním byl ještě zvolen přestup tepla s okolím, který je 5 N.sec⁻¹.mm⁻¹.°C⁻¹. Hodnoty byly zvoleny z možností programu, které nabízí pro tváření za tepla. Nastavení tření a přestupu tepla je vidět na Obrázek 27. Po výpočtu síly působící na jednu matici, byl vypočten model se všemi maticemi. Nastavení zůstalo stejné jako pro jednu matici, model byl jen doplněn o zbylé 4 matrice. Řešení bylo opět provedeno nejprve s konstantní teplotou polotovaru a poté i s ochlazováním polotovaru.



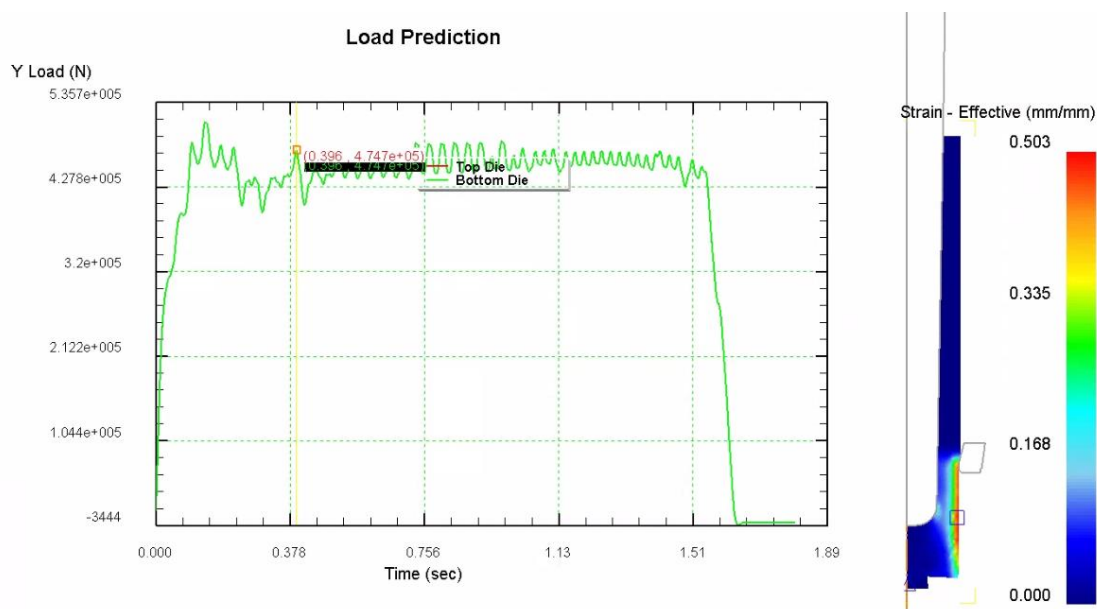
Obrázek 27. Nastavení tření a přestupu tepla

4.1.1 Protahovací síla jedné matrice



Obrázek 28. Protahování pomocí jedné matrice, teplota konstantní
(Top die = trn, bottom die = 1. matrice)

Z Obrázek 28 je možno odečíst maximální sílu potřebnou pro protahování. Na ose x je čas v sekundách a na ose y je výsledná síla. Pro protahování jednou maticí bez změny teploty je výsledná síla přibližně 250 kN. Na grafu je vidět zeleně síla působící na matici. Červená křivka znázorňuje průběh síly působící na trn. Síla působící na trn musí mít stejnou velikost, jako síla působící na matici jen s opačným znaménkem. Tyto dvě síly se musí v absolutní hodnotě rovnat. Na dalších grafech bude znázorněna síla působící na trn vždy v absolutní hodnotě. Průměr trnu je pro tento případ 180 mm a průměr matrice je 176 mm.

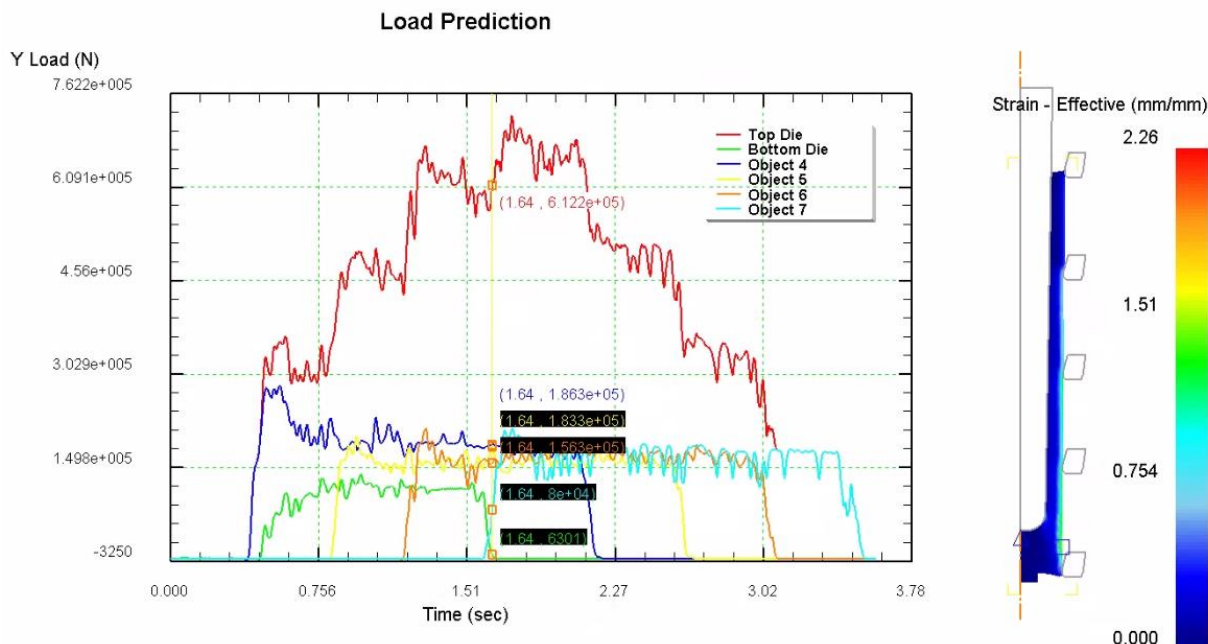


Obrázek 29. Protahování pomocí jedné matrice, se změnou teploty
(Top die = trn, bottom die = 1. matrice)

Na Obrázek 29 jsou vidět výsledné maximální síly v absolutní hodnotě pro protahování pomocí jedné matrice se změnou teploty. Síla působící na trn je rovna síle působící na matici a je přibližně 510 kN. Materiál se během tváření ochlazuje, dochází ke zpevňování a výsledná

síla je tedy větší, než v případě kdy se teplota neměnila, přibližně o 40 kN. Tyto výpočty byly provedeny, aby byla přibližně určena hodnota síly pro protahování, která působí na každé matici. Rozměry trnu a matrice jsou zvoleny stejné jako pro předchozí případ.

4.1.2 Protahovací síla všech matic



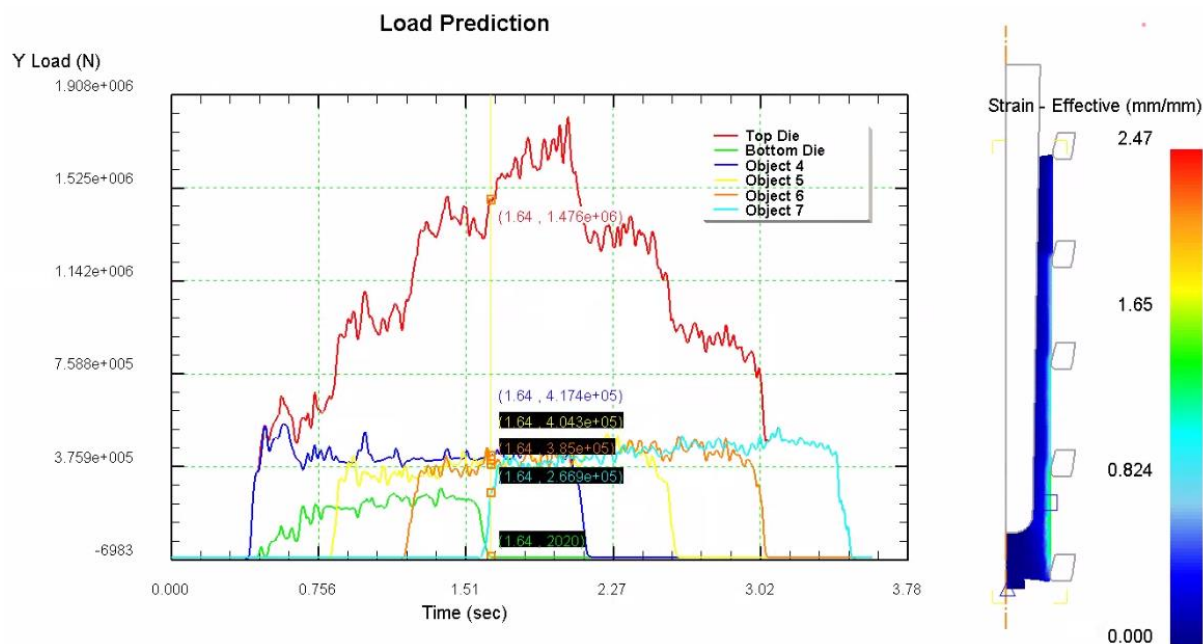
Obrázek 30. Protahování pomocí pěti matic, bez změny teploty
(top die = trn, bottom die = 1. matrice, object 4 = 2. matrice, object 5 = 3. matrice,
object 6 = 4. matrice, object 7 = 5. matrice)

Na Obrázek 30 je vidět výpočet protahování pomocí všech pěti matic s konstantní teplotou. Na obrázku je vidět, že když první matrice vyjíždí ze záběru, tak do něj vstupuje poslední pátá matrice. Červená křivka znázorňuje celkovou sílu v absolutní hodnotě, která působí na trn. Tato síla je stejně velká, jako součet jednotlivých sil působících na matrice, které jsou v daném okamžiku v záběru. Maximální síla kolísá v čase a je v intervalu od 610 kN do 730 kN, pro následné výpočet je zvolena maximální síla působící na trn 690 kN. Z grafu je vidět, že největší síla působící na matrice je na druhou matrice a to přibližně 280 kN. První matrice slouží pouze jako hladící a má za úkol aby polotovár přilnul k trnu, proto na ní nepůsobí velká síla. Na ostatních maticích se síly pohybují kolem 200 kN. V Tabulka 2 jsou uvedeny rozměry jednotlivých matic.

Na grafu jsou vidět hodnoty pro všechny matrice i trn v čase 1,64 sekund. Síla působící na trn je v tomto okamžiku 612,2 kN. Pro ukázkou je zde sečteno zatížení působící na všechny matrice, $(6,3 + 80 + 156,3 + 183,3 + 186,3) = 612,2$ kN. Síla působící na matrice je rovna síle působící na trn.

Tabulka 2. Rozměry matic

Pozice	1. Matrice	2. Matrice	3. Matrice	4. Matrice	5. Matrice
Průměr matrice	180 mm	176 mm	174 mm	172 mm	170 mm



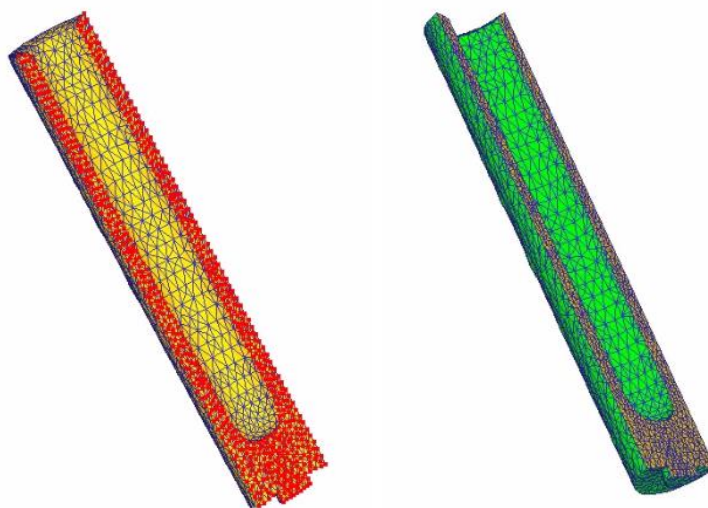
Obrázek 31. Protahování pomocí pěti matrice, se změnou teploty
(top die = trn, bottom die = 1. matrice, object 4 = 2. matrice, object 5 = 3. matrice,
object 6 = 4. matrice, object 7 = 5. matrice)

Na Obrázek 31 je graf protahovací síly, během protahování pomocí matic s ochlazováním polotovaru. Červená křivka opět znázorňuje sílu působící na trn v absolutní hodnotě. Pro tento případ tváření je síla větší, než pro případ kdy nedocházelo k ochlazování polotovaru. Síla působící na trn není konstantní, ale kolísá v čase po celou dobu tváření. Maximální síla je v rozsahu od 1500 kN, až do 1800 kN pro následné výpočty je zvolena síla působící na trn 1700 kN. Největší síla působí opět na druhou matici, přibližně 540 kN. Vlivem ochlazování polotovaru se ale zvýšila síla působící na zbylé matrice. Matrice musí překonávat větší odpor proti tváření a síla na páté matici je přibližně srovnatelná s první maticí a to 520 kN. V předchozím případě byla maximální síla na matici 280 kN, to znamená, že vlivem ochlazení polotovaru je nutno vyvinout sílu o 260 kN větší. Rozměry matic jsou opět voleny stejně, jako při protahování pomocí pěti matic s konstantní teplotou.

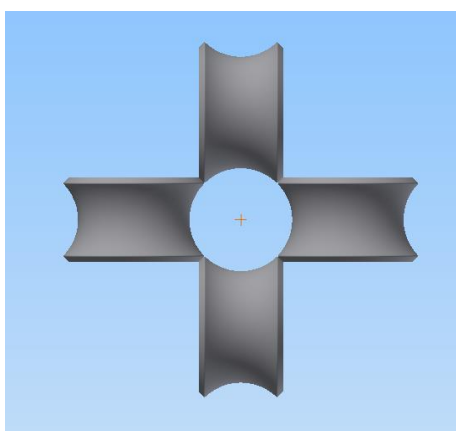
4.2 Protahování pomocí redukčních kladek

Pro výpočty sil působících na kladky bylo nutné nejprve vymodelovat předběžnou podobu kladek, ta je vidět na Obrázek 33. Kladky byly vymodelovány pro stejný polotovar jako matrice, to znamená, aby byla zaručena redukce průměru polotovaru ze 180 mm na průměr 170 mm. Kladky jsou uspořádány v sadách po 4 kladkách, tak jak je ukázáno na Obrázek 34. Pro výpočet byly vymodelovány dvě varianty. První varianta má 5 sad kladek, první sada opět slouží jako hladící a neprobíhá zde úběr materiálu. Zbylé sady kladek mají stejný úběr jako matrice. Druhá varianta má pouze 3 sady kladek. První sada je opět hladící a na zbylých dvou je proveden větší úběr oproti první variantě. Výpočet byl proveden již v režimu 3D a byl ulehčen použitím symetrie. Jako workpiece byl opět zvolen polotovar, v tomto případě jen jeho půlka. Polotovar byl zasítován pomocí 20 000 elementů a byl pro něj vybrán z knihovny odpovídající materiál. Pro polotovar se musí dále nastavit v záložce boundary conditions rovina symetrie a oblast přechodu tepla s okolím, heat exchange with environment. Na Obrázek 32 vlevo je červeně zvýrazněná rovina symetrie a na Obrázek 32 vpravo je zeleně vybraná oblast přechodu tepla s okolím. Workpiece byl opět nastaven jako plastic. Top die, kterou byl reprezentován trn a kladky byly nastaveny jako rigidy. Nastavení výpočtu bylo

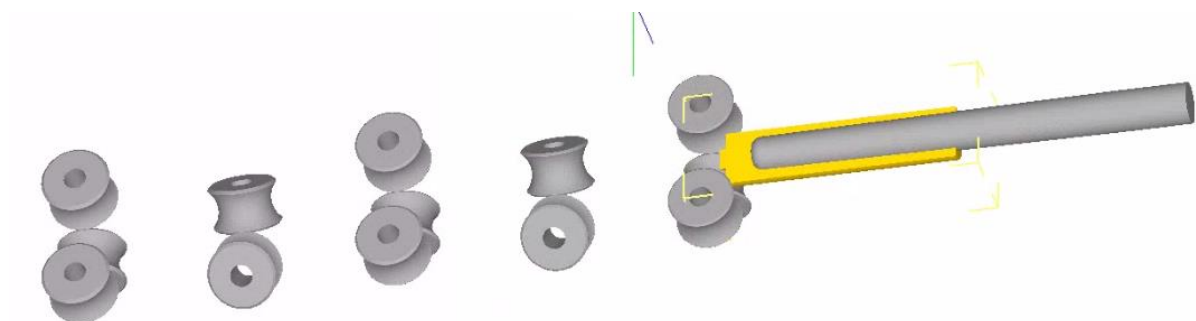
zvoleno opět pomocí posouvání kladek a krok byl zvolen po 5 mm. Počet kroků bylo zvoleno 650 pro 5 sad kladek a 500 pro 3 sady kladek. Sady kladek se vkládali vždy pootočené o 45° , aby bylo docíleno rovnoměrnému tečení materiálu po obvodě polotovaru. Pohyb je opět nastaven pro kladky $500 \text{ mm} \cdot \text{sec}^{-1}$, dále je nutné si dopočítat a zadat rotaci kladek, ke které dojde, když je kladka v záběru. Důležité je zvolit správný směr rotace, aby se kladky neotáčely špatným směrem. Nakonec se musely opět nastavit hodnoty tření a přestupu tepla s okolím. Ty byly nastaveny stejně jako pro výpočet matic.



Obrázek 32. Rovina symetrie a oblast přechodu tepla

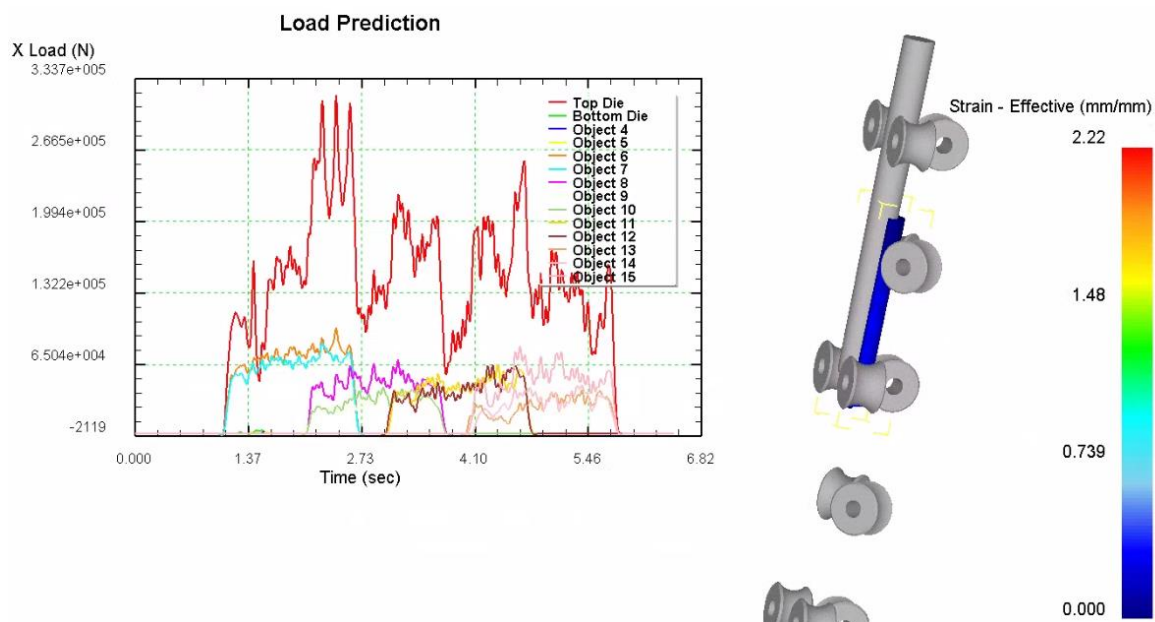


Obrázek 33. Sada kladek



Obrázek 34. 3D model protahování pomocí kladek

4.2.1 Protahovací síla působící na 5 sad kladek



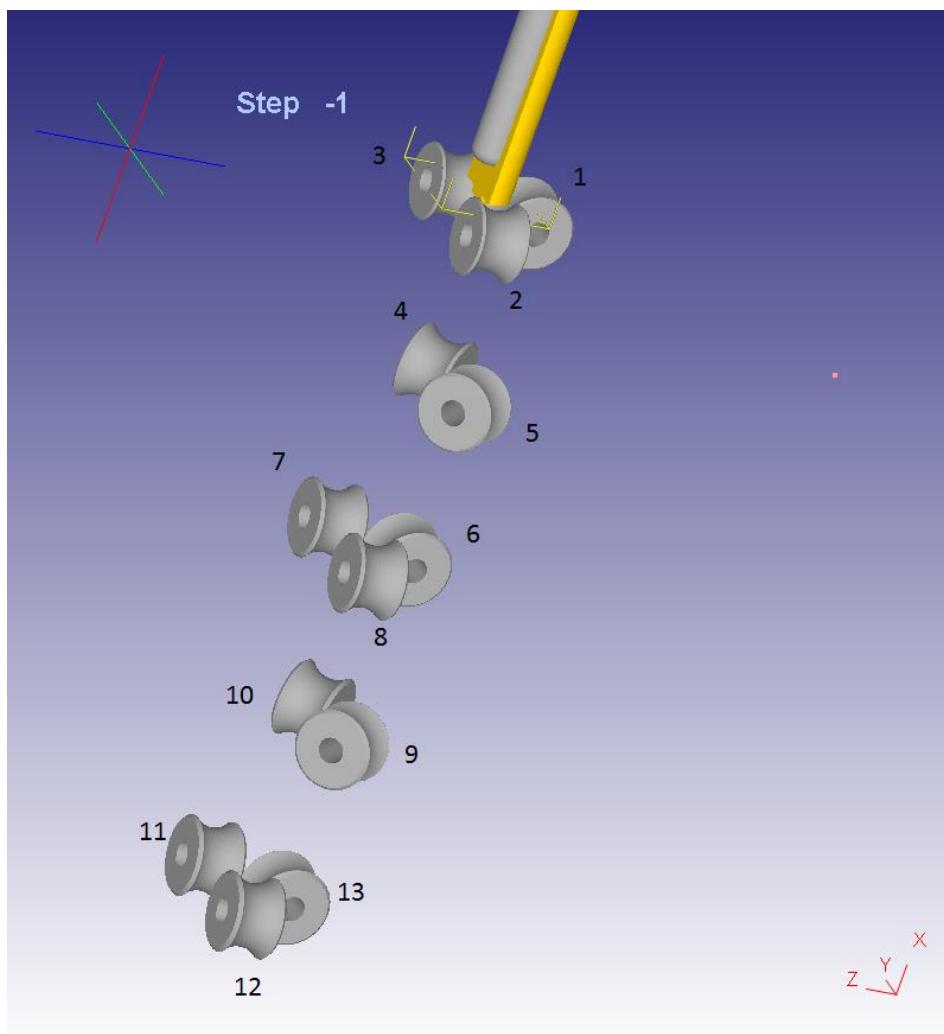
Obrázek 35. Protahování pomocí 5 sad kladek
(poloha kladek je vidět na Obrázek 36)

Na Obrázek 35 je vidět graf zatížení v ose X, to je osa shodná s osou trnu a polotovaru. Červenou barvou je zobrazena síla v absolutní hodnotě působící na trn = top die. Pro následné výpočty je brána maximální hodnota v čase, jelikož síla nepůsobí konstantně, pro výslednou hodnotu zanedbáváme rozkmit, který je způsoben numerickou chybou vlivem přesíťování polotovaru během tváření. Maximální hodnota na trnu je zvolena přibližně 300 kN. Doba tváření je přibližně 7 sekund. Výsledné hodnoty sil, které působí na všechny kladky a trn, jsou zobrazeny v Tabulka 3. Největší síly působí na pátou sadu kladek a to přibližně 540 kN. V tabulce jsou kladky očíslovány, pozice kladek a jejich číslo je vidět na Obrázek 36. Výpočet protahování pomocí kladek byl proveden jen ve variantě s ochlazováním polotovaru. Úběr je nastaven na každé sadě stejně velký jako v případě protahování pomocí pěti matic. Obrázek 37 ukazuje výsledné síly při protahování pomocí pěti sad kladek, barevně jsou rozlišeny jednotlivé sady kladek. Sada 1 je tvořena kladkami: 1, 2, 3, sada 2 kladky: 4, 5, sada 3 kladky: 6, 7, 8, sada 4 kladky: 9, 10, sada 5 kladky: 11, 12, 13, pozice kladek jsou vidět na Obrázek 36. Síla působí v ose trnu, působení sil ve zbylých dvou směrech je přiloženo v Příloze č. 1. Dále jsou v Příloze č. 1 přiložené výsledné hodnoty pro protahování nižší rychlostí 250 mm.sec⁻¹.

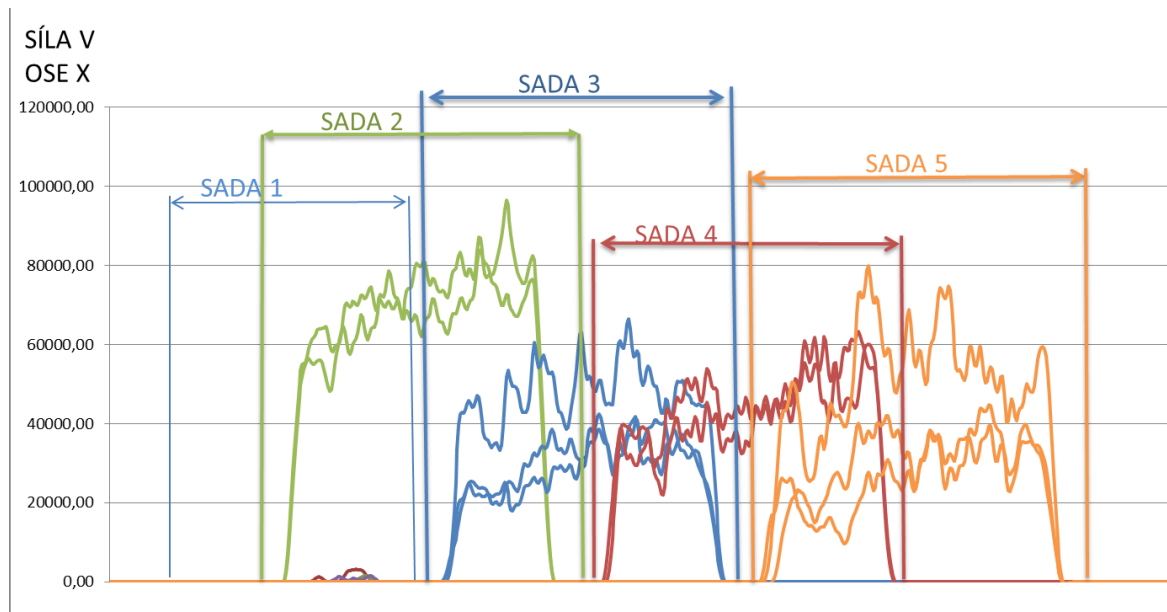
Tabulka 3. Síly působící během protahování pomocí 5 sad kladek

Kladka	Síla v ose			Radiální síla [N]
	X [N]	Y [N]	Z [N]	
Bottom die = 1	3105	5600	3,1444	3105
Object 4 = 2	1296	1,5174	5554	3000
Object 5 = 3	1296	1,5174	4354	3000
Object 6 = 4	7,57E+04	3,10E+05	3,39E+05	459302,7
Object 7 = 5	8,03E+04	3,06E+05	3,16E+05	439664,0

Object 8 = 6	5,83E+04	3,96E+04	4,53E+05	453200,0
Object 9 = 7	3,79E+04	2,61E+05	6,39E+04	522600,0
Object 10 = 8	4,15E+04	2,61E+05	7,98E+04	522600,0
Object 11 = 9	5,34E+04	2,80E+05	3,27E+05	430758,8
Object 12 = 10	6,11E+04	3,02E+05	3,18E+05	438545,0
Object 13 = 11	3,74E+04	2,62E+05	8,15E+04	523400,0
Object 14 = 12	4,26E+04	2,70E+05	8,45E+04	539200,0
Object 15 = 13	6,94E+04	5,20E+04	5,19E+05	519300,0
Top die = trn	3,05E+05	1,37E+05	9,11E+05	



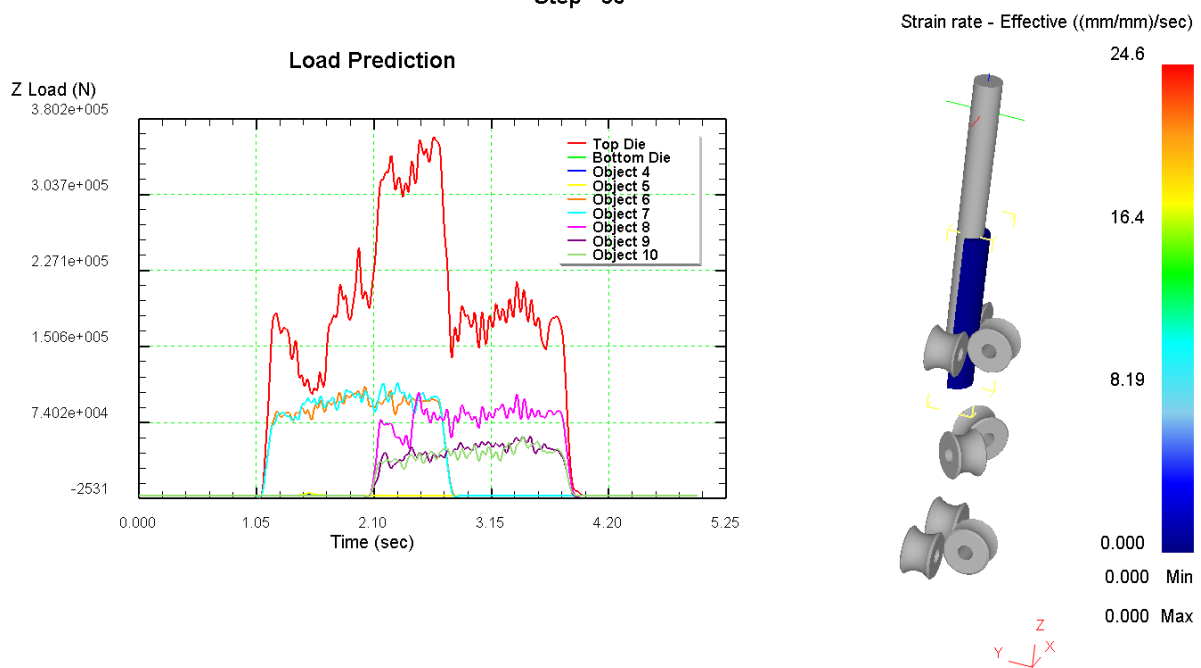
Obrázek 36. Pozice kladek a jejich číslo, 5 sad kladek



Obrázek 37. Síla působící na 5 sad kladek

4.2.2 Protahovací síla působící na 3 sady kladek

Step 60



Obrázek 38. Protahování pomocí 3 sad kladek
(poloha kladek je vidět na Obrázek 39)

Na Obrázek 38 je ukázáno zatížení, které působí na kladky a trn v ose Z, osa shodná s osou trnu. V případě 3 sad kladek působí největší radiální síla na 3. sadu kladek, přibližně 580 kN. Maximální síla působící na kladky je o 40 kN větší než u varianty s 5 sady kladek. První sada kladek je kalibrační, téměř zde nedochází k redukci průměru. Jelikož je zde nastaven větší úběr na jednotlivých sadách kladek, než u první varianty, může zde dojít ke vzniku provalků v místě dotyku. Pro tento případ by tedy bylo dobré přidat ještě čtvrtou sadu kladek, která by měla stejný průměr jako třetí sada, ale byla by pootočená o 45°. Tím by bylo zamezeno výskytu provalků v místě dotyku kladek. Maximální síla působící v ose trnu, v tomto případě

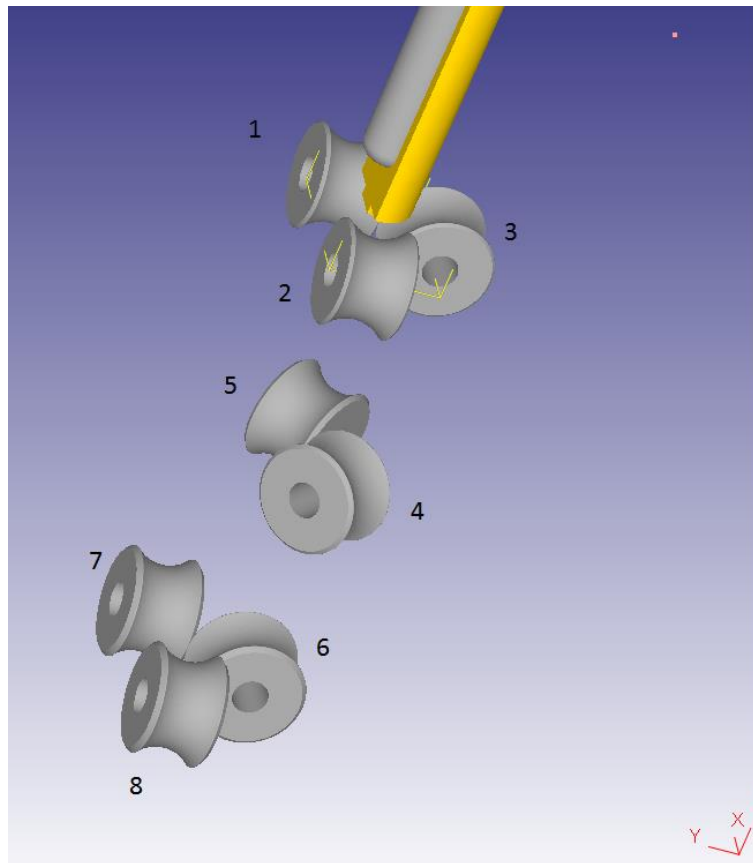
síla v ose Z, je 320 kN, což je jen o 20 kN více než u varianty protahování pomocí pěti sad kladek. Výsledné hodnoty pro všechny kladky a trn jsou opět vypsány v tabulce. Pozice kladek a směr os je vidět na Obrázek 39. Rozměry kladek jsou zobrazeny v Tabulka 4. Na Obrázek 40 jsou vidět výsledné síly působící na kladky ve směru shodném s osou trnu. Sada 1 je tvořena kladkami: 1, 2, 3, sada 2 kladky: 4, 5, sada 3 kladky: 6, 7, 8, pozice kladek jsou vidět na Obrázek 39. V Příloze č. 1 jsou přiloženy výsledné grafy pro síly působící na matrice při rychlosti protahování 500 mm.sec⁻¹ a 350 mm.sec⁻¹.

Tabulka 4. Rozměry kladek, 3 sady kladek

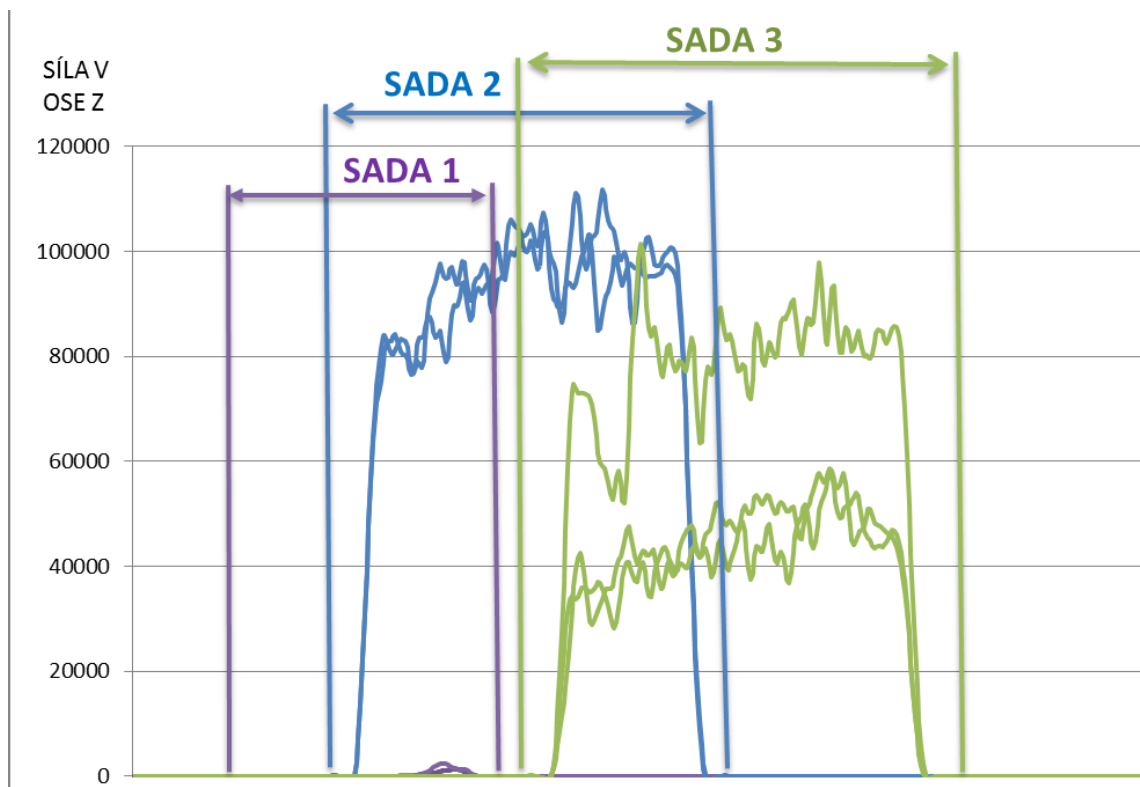
Pozice kladek	1. Sada (kladky: 1, 2, 3)	2. Sada (kladky: 4, 5)	3. Sada (kladky: 6, 7, 8)
Průměr kladek	180 mm	174 mm	170 mm

Tabulka 5. Síly působící během protahování pomocí 3 sad kladek

Kladka	Síla v ose			Radiální síla[N]
	X [N]	Y [N]	Z [N]	
Bottom die = 1	1,73E+04	7450	1397	34600,00
Object 4 = 2	1,84E+04	6446	1338	36860,00
Object 5 = 3	3867	4,84E+04	2350	48400,00
Object 6 = 4	3,51E+05	3,52E+05	1,01E+05	497097,35
Object 7 = 5	3,70E+05	3,70E+05	1,10E+05	523117,90
Object 8 = 6	6,37E+04	4,74E+05	8,76E+04	473500,00
Object 9 = 7	2,90E+05	7,90E+04	5,51E+04	579600,00
Object 10 = 8	2,78E+05	8,37E+04	5,90E+04	555400,00
trn	8,01E+04	9,89E+05	3,25E+05	



Obrázek 39. Pozice kladek a jejich číslo, 3 sady kladek



Obrázek 40. Síla působící na 3 sady kladek

4.3 Shrnutí výsledných sil

V této kapitole je shrnutí vypočtených výsledků v programu DEFORM. Na Obrázek 41 je vidět graf axiálních sil působících na trn. Zelená křivka znázorňuje protahování pomocí pěti matic, modrá křivka zastupuje tváření pomocí pěti sad kladek a červeně je tváření s použitím tří sad kladek. Všechny hodnoty jsou pro tváření se změnou teploty polotovaru. Z grafu je vidět, že největší síla na trnu působí při tváření pomocí matic. Výsledné hodnoty sil, které budou dále použity pro výpočet rámu a kazet jsou zobrazeny v Tabulka 6.



Obrázek 41. Průběh výsledných sil působících na trn - axiální směr

Tabulka 6. Výsledné síly působící během protahování

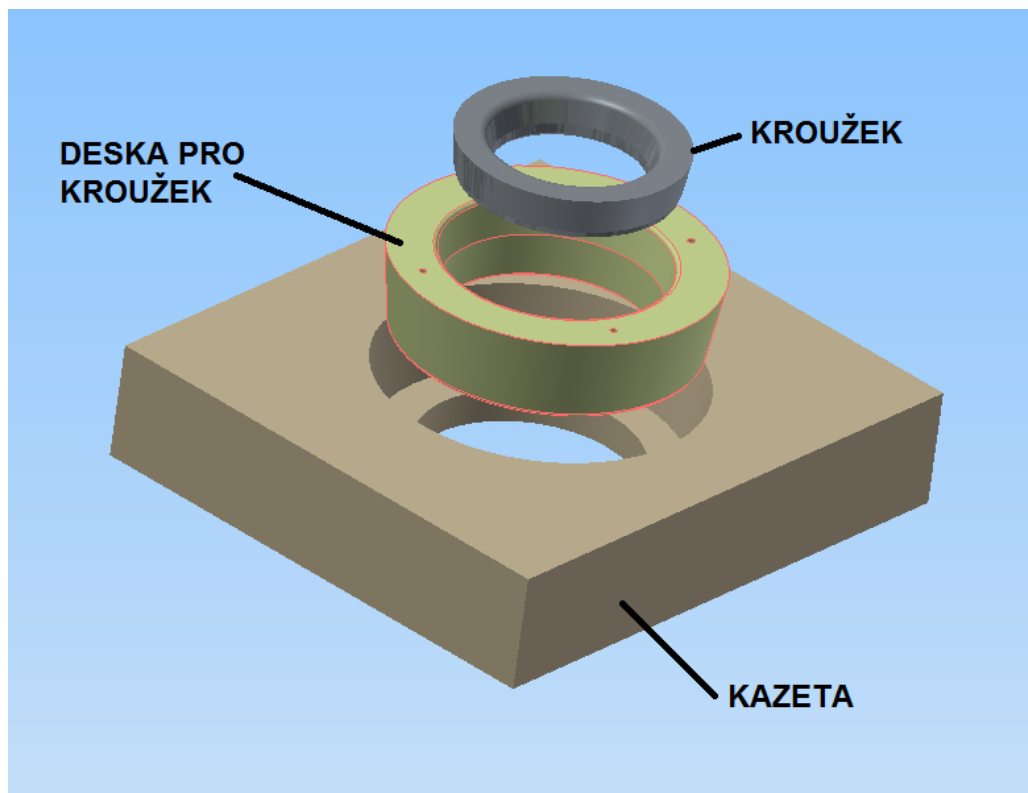
Druh protahování	Síla působící na trn, Axiální směr [N]	
Matrice	1700000	
5 sad kladek	300000	
3 sady kladek	320000	
	Síla působící na kladky	
	Axiální směr [N]	Radiální směr [N]
5 sad kladek	80300	539200
3 sady kladek	110000	579600

5 Konstrukční řešení

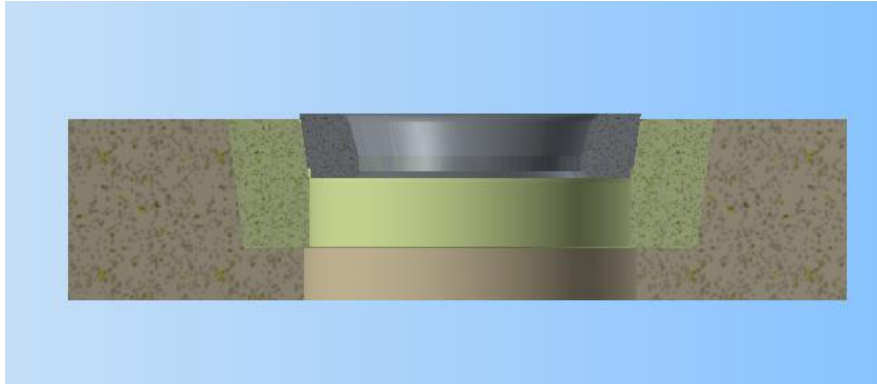
V této kapitole je ukázáno a popsáno řešení uchycení tvářecích nástrojů do rámu stroje. Výsledné řešení spočívá v možnosti použití jednoho pohyblivého rámu pro protahování pomocí matic, tak i pomocí kladek. Nástroje jsou uloženy v kazetách, které se do rámu zasunují a umožňují tak rychlou výměnu. Důležitým parametrem bylo, aby bylo možné použít stejné kazety pro všechny rozměry matic a kladek. Návrh pro matrice je konstrukčně jednoduchý, kazety pro kladky si vyžadují komplikovanější řešení. Základem obou variant je kazeta, což je kvádr o rozměrech 760 x 760 x 140 mm. Detailnější řešení je popsáno v jednotlivých kapitolách.

5.1 Návrh konstrukce kazet pro protahování pomocí matic

Uchycení matic bylo použito stejné, jako to, které navrhla firma TS Plzeň. Jak již bylo zmíněno, jedná se o velmi jednoduchou konstrukci. Základ tvoří kazeta, do které je vyvrtaná průchozí díra o průměru 260 mm. Do hloubky 100 mm je zde kuželovitý otvor, horní průměr 378 mm a spodní průměr 350 mm. Do tohoto otvoru je nalisována deska pro kroužek, která představuje držák funkční části matrice. V této desce je opět kuželovitý otvor, ve kterém je nalisován kroužek. Kroužek je vyroben z kvalitnějšího materiálu, který je vhodný pro tváření a má vyšší pevnost než kazeta a deska pro kroužek. Vnitřní průměry kroužku jsou 180 mm pro první matici, dále 176 mm, 174 mm, 172 mm a poslední matrice má průměr 170 mm. Funkční část, na které dochází k úběru materiálu, je vysoká 12 mm. Během operace dojde k redukci průměru o 10 mm. Kazety a desky pro kroužek mají vždy stejné rozměry, vnější rozměr kroužku je také stejný, liší se jen vnitřní průměr. Jednotlivé součásti jsou vidět na Obrázek 42. Hmotnost jedné kazety s deskou pro kroužek a kroužkem, je přibližně 395 kg.

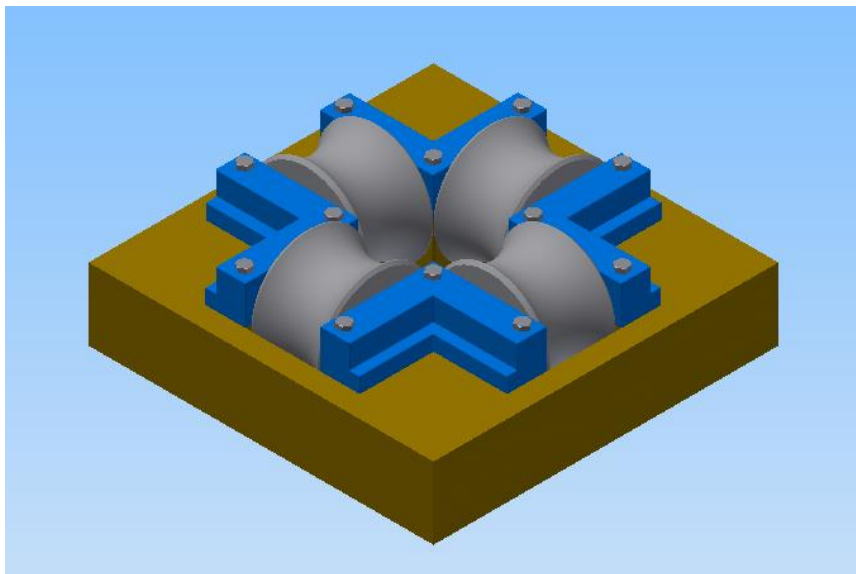


Obrázek 42. Rozstřel kazety pro uchycení matic



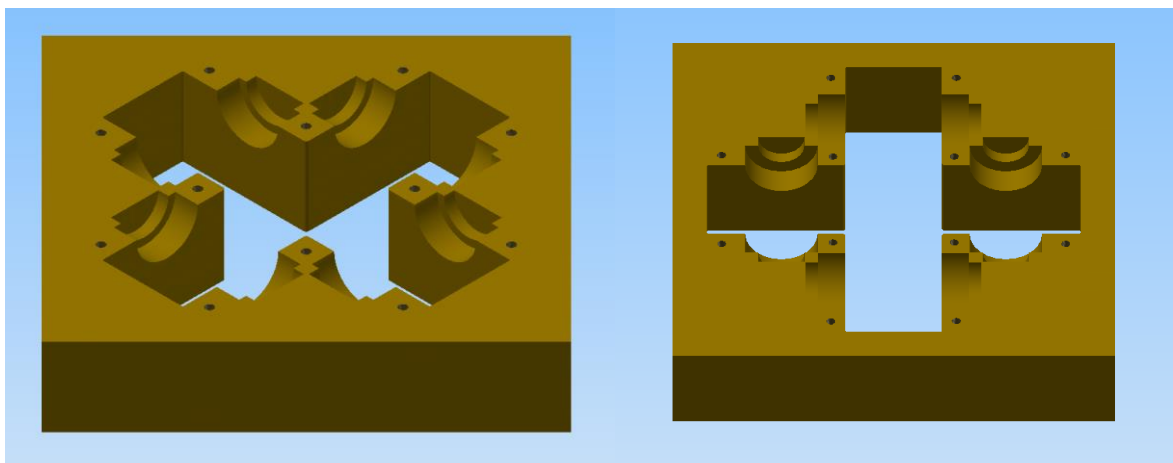
Obrázek 43. Řez kazetou pro matrice

5.2 Návrh konstrukce kazet pro protahování pomocí kladek

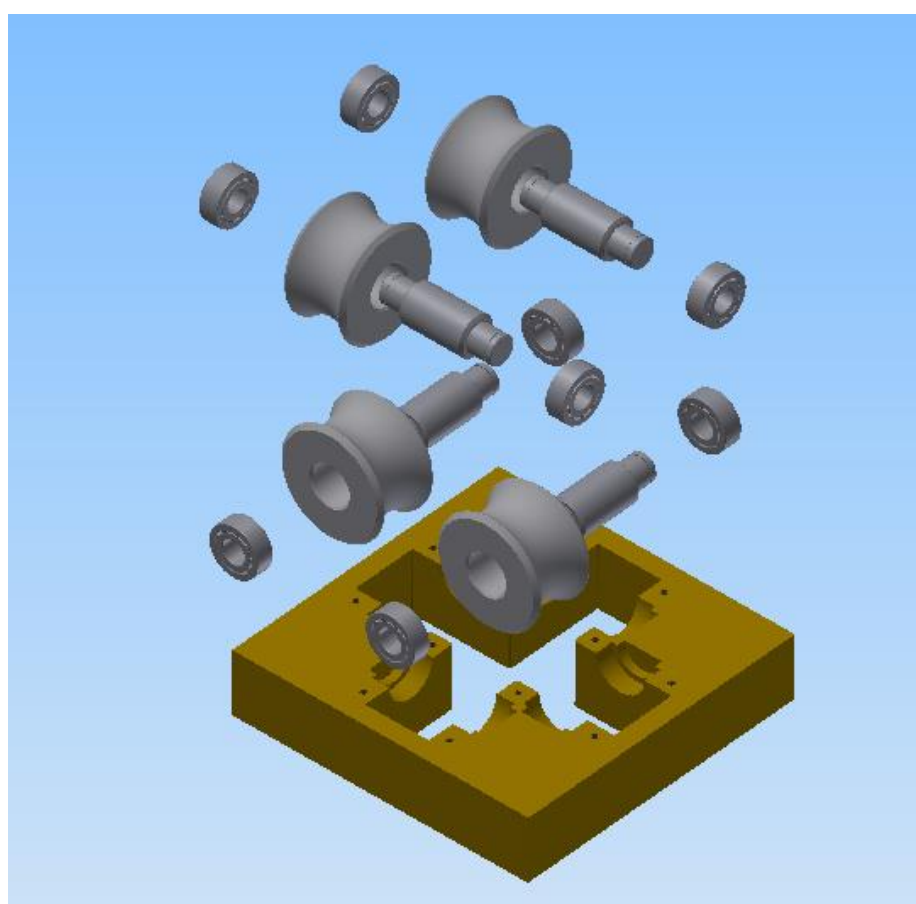


Obrázek 44. Sestava kazety, protahování pomocí kladek

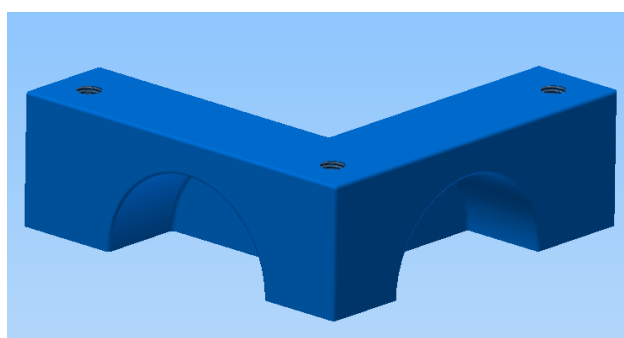
Návrh kazety pro uložení kladek je složitější než pro matrice. Kladky jsou nalisovány na osy a osy jsou uloženy v ložiskách. Pevnostní výpočet osy a kladek bude ukázán v následujících kapitolách. V každé kazetě jsou umístěny 4 kladky, které se vzájemně dotýkají a tvoří tak uzavřený kruhovitý kalibr. Do kazety je potřeba vyrobit průchozí otvor křížového tvaru, který zajistí, aby se mohli kladky volně otáčet. Dále je potřeba vyrobit kruhové vybrání pro uložení ložisek a osy. Výsledný tvar je vidět z Obrázek 44. Ložiska musí být zajištěny proti vypadnutí protikusem, který se přišroubuje ke kazetě. Protikusy byly navrženy vždy pro dvě sousední ložiska, s kazetou jsou spojeny pomocí 3 šroubů M 16. Na protikusy působí jen velmi malé síly, proto není nutné pro šrouby a protikusy pevnostní výpočet. Ukázka protikusu je vidět na Obrázek 47. Hmotnost jedné kazety, bez ložisek, os a kladek, je přibližně 315 kg. Kazety musí být vyrobeny ve dvou variantách, jedna pro liché sady kladek, a pro sudé sady musí být uložení v kazetě otočeno o 45°. Obě varianty jsou vidět na Obrázek 45.



Obrázek 45. Kazety pro pootočené kladky



Obrázek 46. Rozstřel kazety se sadou kladek

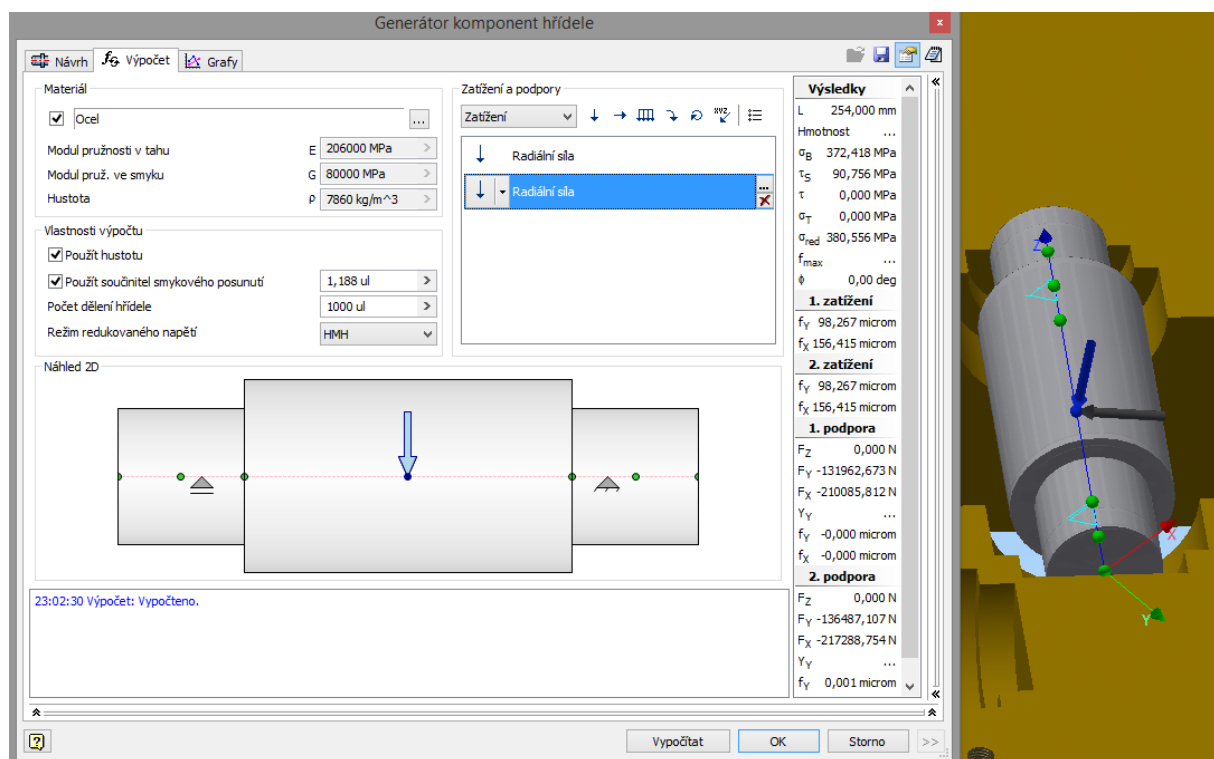


Obrázek 47. Protikus pro ložiska

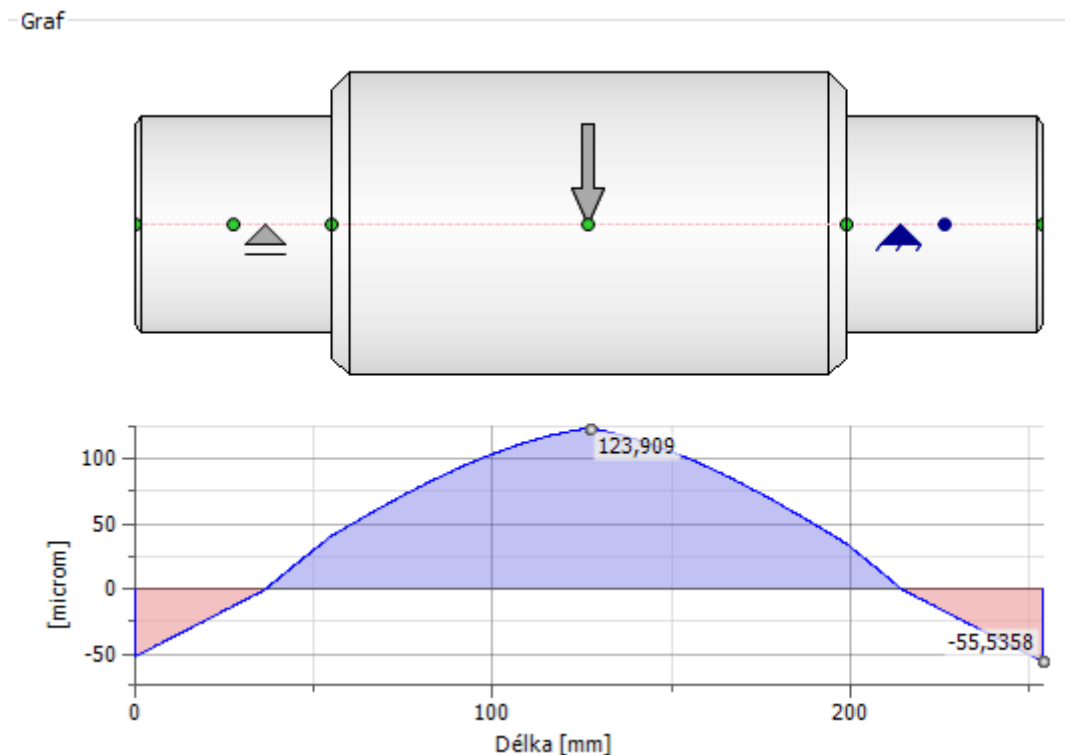
5.2.1 Kontrola hřídele

Pro hřídel, na které je nalisovaná kladka, byl proveden pevnostní výpočet v programu Autodesk Inventor 2014.

Hřídel by se měla kalit pro větší pevnost. Na hřídel působí dvě síly, které byly vypočteny předchozím výpočtem v softwaru DEFORM. Hřídel je zatížena maximální hodnotou, která byla vypočtena, hodnota sil je 539 kN a 42,6 kN, obě síly jsou radiální a vůči sobě jsou pootočené o 90°. Místo působení síly je nastaveno přesně v půlce hřídele. V místě ložisek jsou umístěny podpory. Z výpočtu jsou důležité výsledné reakce v místě podpěr. Tyto hodnoty budou dále použity pro výpočet životnosti ložisek. Dalším parametrem je průhyb hřídele. Průhyb hřídele může způsobit odlehnutí kladek. Při velkém průhybu by začali vznikat výrobky se špatným tvarem. Výsledný průhyb vypočtený v programu Inventor je 0,124 mm, tato hodnota se může od skutečného průhybu mírně lišit, drobná odchylka je způsobena nahrazením ložisek za podpěry. Váha hřídele je přibližně 8 kg. Na Obrázek 48 je vidět nastavení zatížení hřídele a na Obrázek 49 výsledný průhyb hřídele.



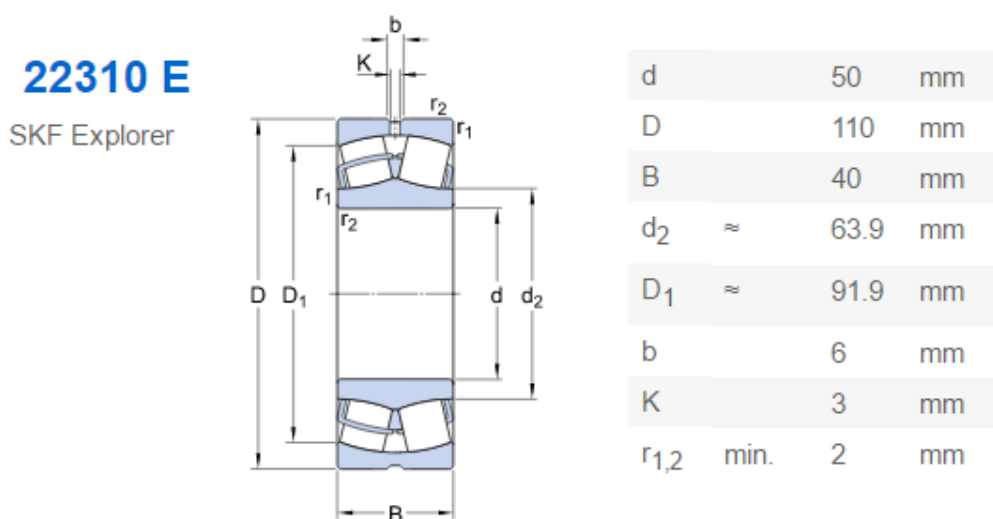
Obrázek 48. Zatížení hřídele, Autodesk Inventor



Obrázek 49. Průhyb hřídele, Autodesk Inventor

5.2.2 Kontrola ložisek

Na ložiska působí velké radiální síly, proto bylo vybíráno z ložisek s čárovým stykem. Ložiska byly vybrány z katalogu firmy SKF. Výběr ložisek byl omezen rozměrovými parametry. Dvě sousední ložiska nesmí přijít do kontaktu, proto bylo možno použít jen ložiska s vnějším průměr do 110 mm. Z katalogu byly vybrány soudečková ložiska, katalogové označení 22310 E. Základní rozměry jsou vidět na Obrázek 50. Hodnoty potřebné k výpočtu životnosti ložisek jsou na Obrázek 51. Ložiska jsou počítány na největší zatížení, které působí na kladky.



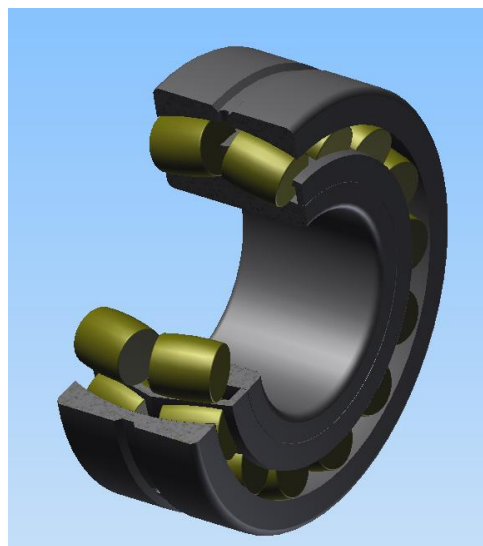
Obrázek 50. Rozměry ložiska

Data výpočtu

Základní dynamická únosnost	C	228	kN
Základní statická únosnost	C ₀	216	kN
Mezní únavové zatížení	P _u	23.2	kN
Referenční otáčky		4800	r/min
Mezní otáčky		6300	r/min
Výpočtový součinitel	e	0.37	
Výpočtový součinitel	Y ₁	1.8	
Výpočtový součinitel	Y ₂	2.7	
Výpočtový součinitel	Y ₀	1.8	

Hmotnost

Hmotnost		1.9	kg
----------	--	-----	----



Obrázek 51. Data pro výpočet, řez ložiska

Výpočet životnosti ložisek

L_h životnost ložiska,

P = F dynamické zatížení ložiska,

p pro ložiska s čárovým stykem p = 3,3,

C základní dynamická únosnost ložiska.

$$L_h = \frac{16667}{n} * \left(\frac{C}{P}\right)^p = \frac{16667}{54} * \left(\frac{228000}{270000}\right)^{3,3} = 176 \text{ hod}$$

Výsledná životnost ložiska při maximální zatížení, to je silou 270 kN, je 176 hodin. Životnost ložiska se může zdát malá, ale ložisko není v záběru celou dobu. Každé ložisko je při jedné operaci protahování v záběru přibližně jen 3 sekundy, to je vidět na grafech z programu DEFORM. Při výrobním taktu 2 minuty na jeden kus, což znamená, že se vyrobí 30 kusů za hodinu a 240 kusů za směnu, je ložisko v záběru jen 720 sekund = 12 minut za osmi hodinovou směnu. 176 hodin = 10 560 minut, z toho vyplývá, že ložisko vydrží 880 osmi hodinových směn, při tří směnném provozu to znamená, že ložiska vydrží přibližně 290 dní.

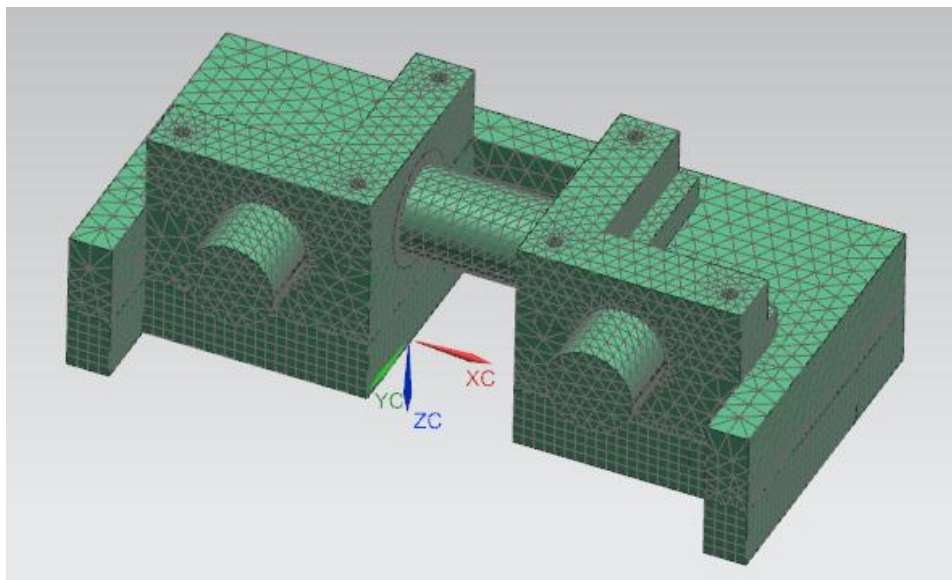
5.3 Pevnostní výpočet kazety

V následujících kapitolách budou ukázány pevnostní výpočty, které byly provedeny programem Siemens NX 10. Nejprve byl proveden výpočet samostatné kazety s kladkami a s maticemi, následně byl proveden výpočet celého rámu pro variantu protahování pomocí redukčních kladek.

5.3.1 Pevnostní výpočet kazety pro protahování pomocí redukčních kladek

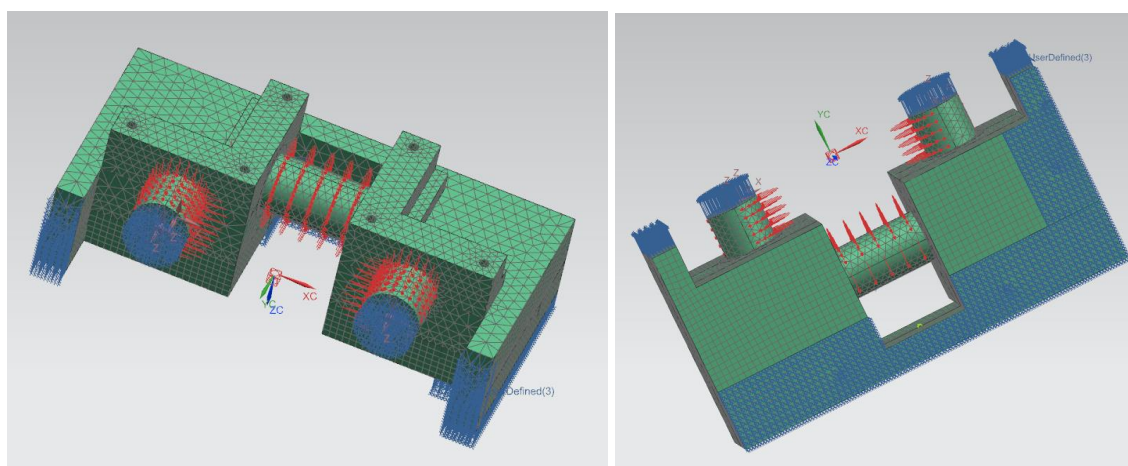
Při výpočtu kazet bylo využito roviny symetrie součásti, sestava tak byla rozříznuta napůl a počítáno bylo pouze s jednou polovinou. Na základě posouzení úhlu průhybové čáry, z analytického výpočtu, může být ložisko nahrazeno kroužkem o stejných rozměrech, jako má ložisko. Nejmenší velikost elementu sítě je 5 mm veškeré menší zkosení a radiusy byly odstraněny. Kazeta byla nastříhnutá v místech kde dochází ke kontaktu s rámem, aby bylo možné přesně nadefinovat uchycení kazety. Pro spodní půlku kazety byla použita tažená síť

3D Swept Mesh, na ostatních dílech byla zvolena síť 3D Tetrahedral. Jako materiál byla zvolena ocel. Na Obrázek 52 je ukázáno zasiťování kazety.



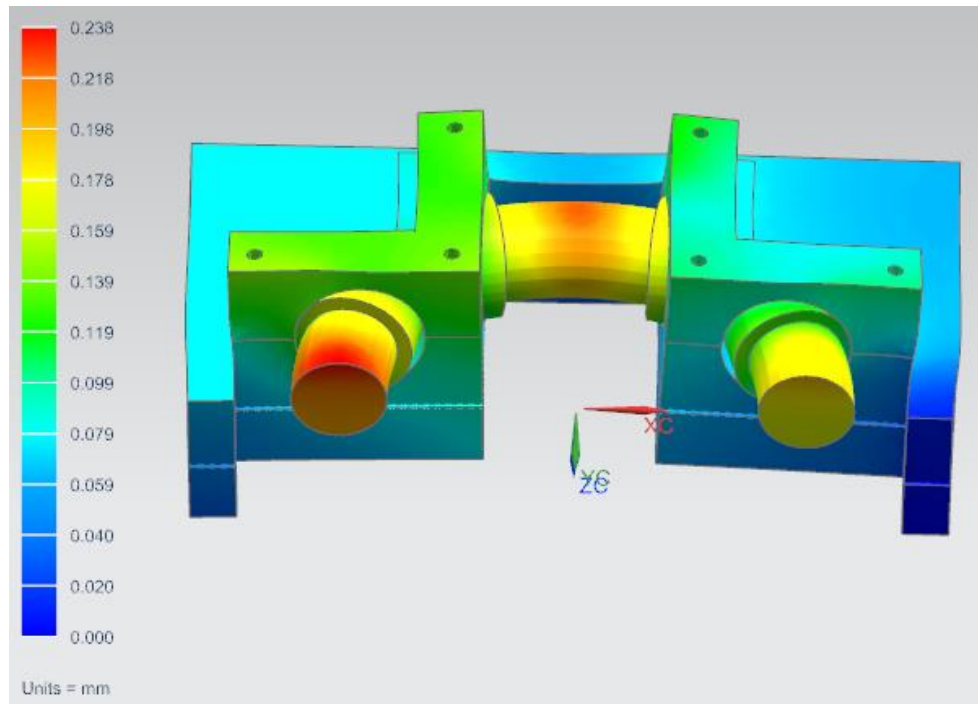
Obrázek 52. Zasiťovaná kazeta s kladkami

V dalším kroku byly pro model nastaveny okrajové podmínky a zatížení součástí. Jako první byly nastaveny uživatelské konstrainy, v rovině symetrie byl zakázán pohyb ve směru Y, v nastřižených plochách byl zakázán pohyb ve směru Z a pohyb ve směru X byl zakázán na hraně kazety, která leží v rovině symetrie. Dále bylo provedeno „slepení“ v místě spojů částí (např. šroubové spoje). Ložisko je spojeno s osou pomocí funkce Surface-to-Surface gluing, tato funkce byla použita ještě mezi kazetou a krytem ložiska. Ložiska s kazetou a s krytem ložiska jsou spojeny pomocí funkce Surface-to-Surface contact, která umožní pohyb mezi součástmi. Na závěr bylo vloženo zatížení. Součást je počítána pro největší zatížení, které bylo vypočteno v programu DEFORM. Dále bylo ještě přidáno zatížení vlivem gravitace. Ukázka zatížení, kontaktů a konstrainů je vidět na Obrázek 53.



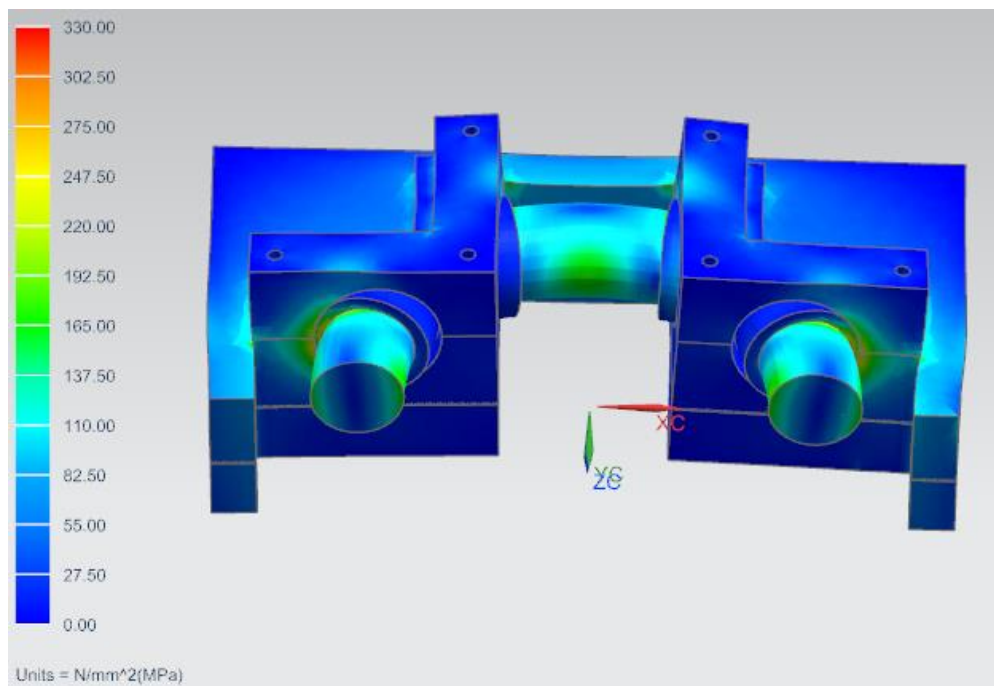
Obrázek 53. Uchycení a zatížení kladek

Na Obrázek 54 je znázorněno maximální posunutí sestavy při maximálním zatížení. Je vidět, že k největším posunutím dochází na osách. Maximální posunutí v místě kladek je 0,238 mm, v programu Siemens NX byla odečtena hodnota deformace osy, která je 0,111 mm. Při porovnání této hodnoty s analytickým výpočtem, je vidět, že se výsledky téměř neliší a dokazuje to, že náhrada ložisek za kroužek nemá na výpočet vliv. Tato deformace vznikne na kazetě, která je nejvíce zatížená. Deformace polotovaru pro daný případ vyhovuje.



Obrázek 54. Výsledky celkového posunutí, kazeta pro kladky

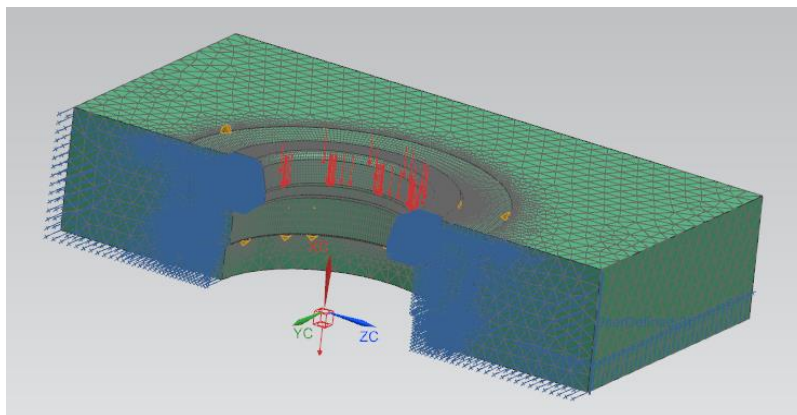
Výsledné maximální napětí působící na sadu kazety, bude porovnáváno s mezí kluzu materiálu. Jako materiál byla zvolena ocel ČSN EN ISO – 1.0060 (ČSN 11 600) s mezí kluzu 330 MPa. Na Obrázek 55 je vidět výsledné napětí součásti. Maximální dosažené napětí na osách dosahuje přibližně hodnoty 150 MPa. Při uvažování bezpečnosti $k = 2$, je maximální hodnota, která nesmí být překročena 165 MPa. Součást nedosahuje této hodnoty meze kluzu a je dostatečně dimenzovaná. Pevnostní výpočty provedeny pro jednu kazetu s kladkami vyhovují.



Obrázek 55. Výsledky napětí součásti, kazety pro kladky

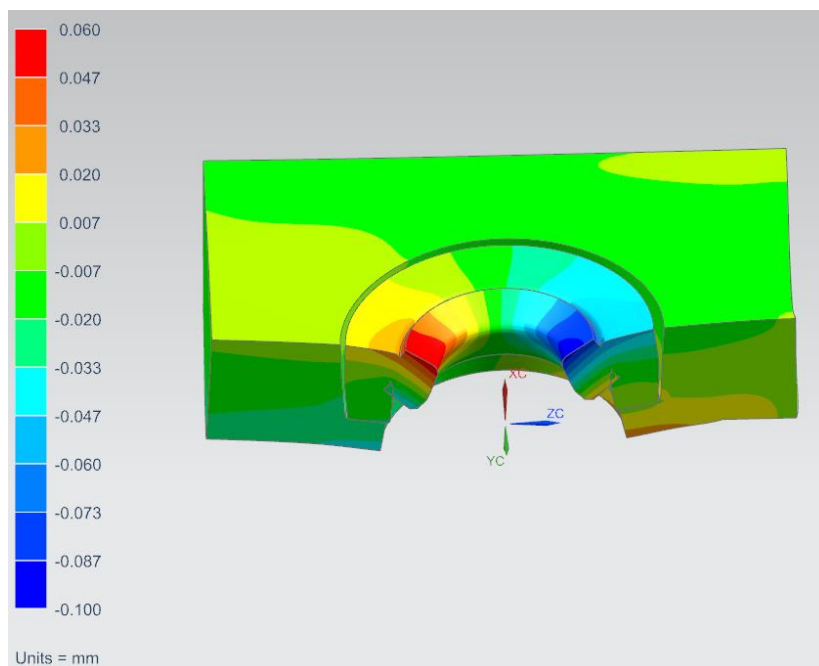
5.3.2 Pevnostní výpočet kazety pro protahování pomocí matric

Při výpočtu kazety s matricí bylo opět využito roviny symetrie součásti. Stejně jako v předchozím případě byla sestava rozříznuta napůl a počítáno bylo pouze s jednou polovinou, dále byla nastříhnutá v místech kde dochází ke kontaktu s rámem, aby bylo možné přesně nadefinovat uchycení kazety. Pro sestavu byla použita síť 3D Tetrahedral. Jako materiál byla zvolena ocel. V místech kde se jednotlivé součásti dotýkají, byla použita funkce Surface-to-Surface Contact. Nastavení uživatelských konstrainů bylo provedeno obdobně jako u předchozí varianty výpočtu, kazety s redukčními kladkami. Pohyb ve směru Y byl zakázán v rovině symetrie, směr X za nastříhnutou plochu na spodní straně kazety a pohyb ve směru Z byl zakázán na hraně kazety, která leží v rovině symetrie. Zatížení bylo umístěno na náběhovou plochu matrice, jeho hodnota odpovídá maximálnímu zatížení, které bylo vypočteno programem DEFORM a jeho směr je ve směru osy X. Na závěr bylo přidáno zatížení vlivem gravitace. Na Obrázek 56 je ukázán zasíťovaný model, s ukázkou uchycení a zatížení sestavy.



Obrázek 56. Uchycení a zatížení kazety s matricí

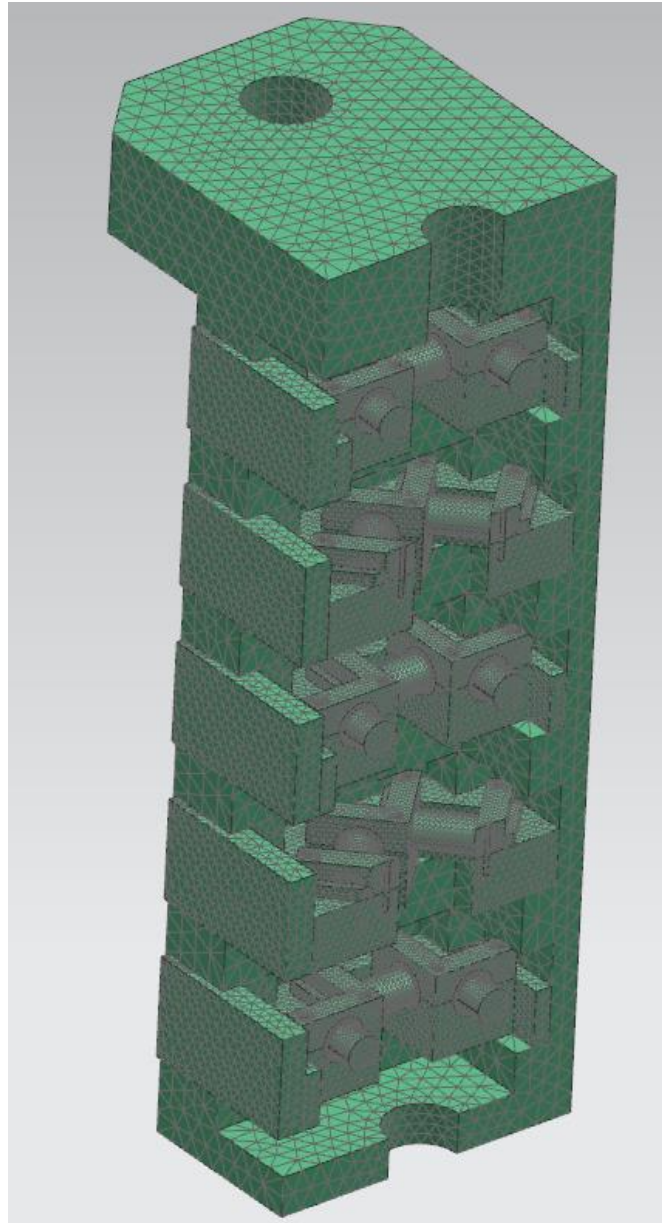
U výpočtu matrice je nejdůležitější výsledná deformace. Obrázek 57 ukazuje posunutí ve směru Z. Výsledné maximální posunutí ve směru Z je 0,094 mm. Výsledná deformace je menší, než u varianty s kladkami, to zaručuje přesnější výrobu.



Obrázek 57. Výsledky posunutí ve směru Z, kazeta pro matrice

5.4 Pevnostní výpočet pohyblivého rámu

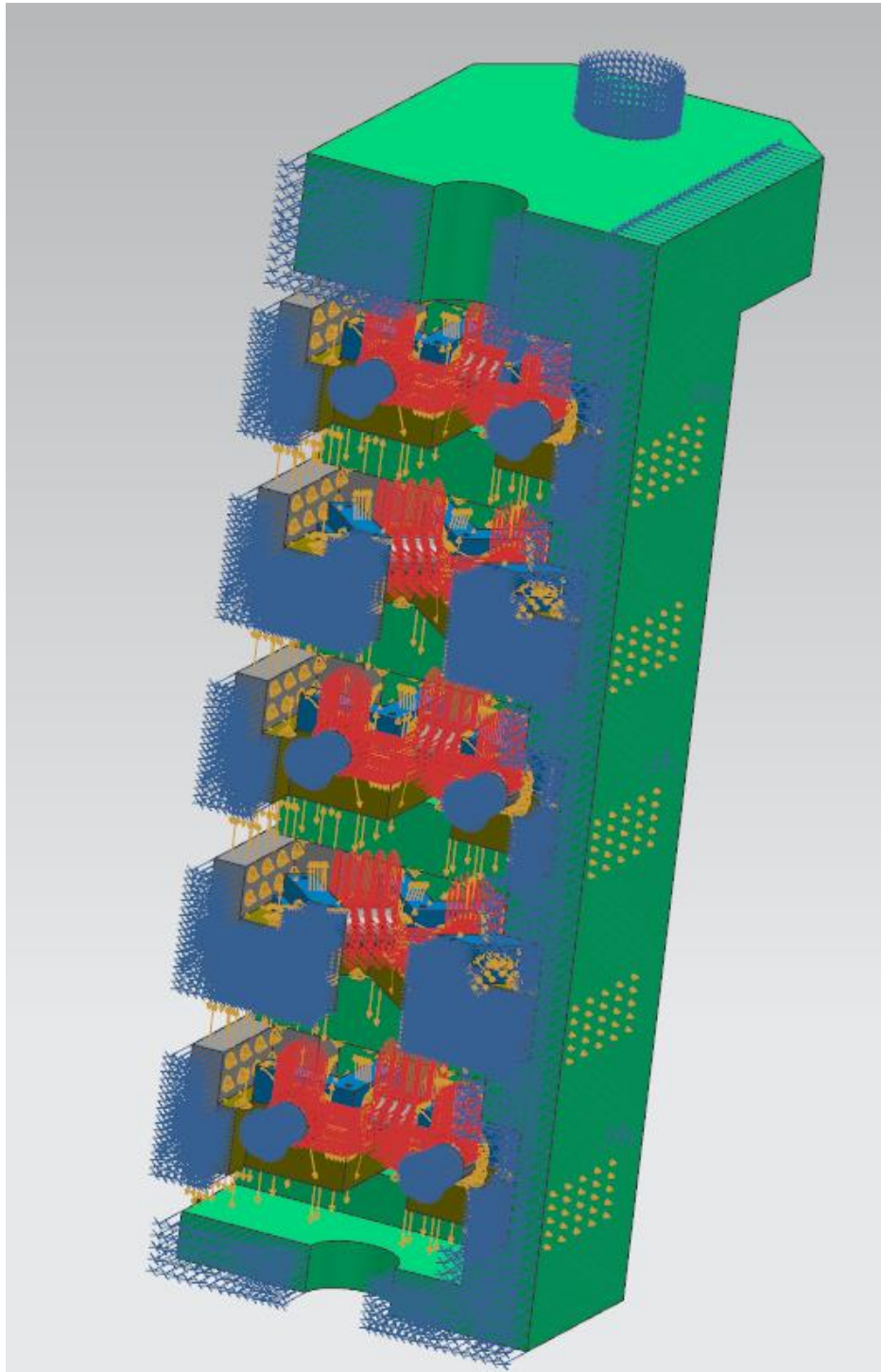
Při řešení pevnostního výpočtu pohyblivého rámu bylo opět využito roviny symetrie pro zjednodušení výpočtu. Pro pevnostní výpočet nebyly na pohyblivém rámu umístěny shazovače, které nemají na pevnost rámu vliv. Do rámu byly umístěny sady kazet, kde bylo opět použito nahrazení ložisek. Na celou sestavu byla použita 3D Tetrahedrová síť o různých velikostech elementu. Jako materiál byla opět zvolena ocel. Ukázka zasiťovaného modelu sestavy je vidět na Obrázek 58.



Obrázek 58. Zasiťovaný model rámu

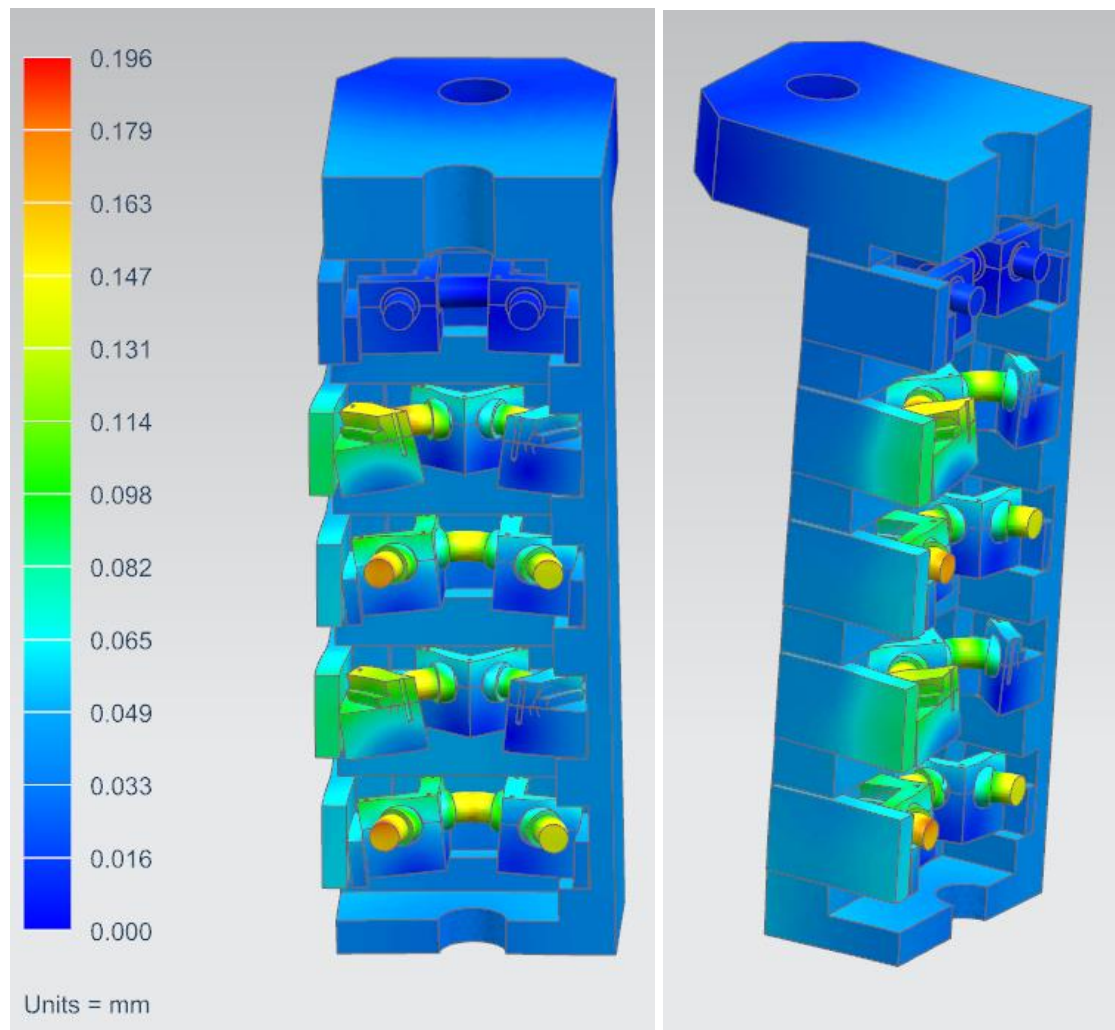
V dalším kroku byly nastaveny okrajové podmínky. V rovině symetrie byl zakázán pohyb komponent v ose Y. V ose Z byl rám uchycen za díru pro pracovní válec. Na zadní straně, na které se nachází vedení pohyblivého rámu, byl zakázán pohyb ve směru X. Pro uložení os a ložisek v kazetách, byly nastaveny funkce Surface-to-Surface contact a Surface-to-Surface gluing stejně, jako v předchozí kapitole. Dále byly použita funkce Surface-to-Surface contact mezi dotykovými stěnami rámu a kazet. Kryt rámu je s pohyblivým rámem spojen pomocí funkce Surface-to-Surface gluing. Na závěr bylo nastaveno zatížení jednotlivých os

a působení gravitace. Zatížení os bylo nastaveno podle výsledků, které byly spočítány v programu DEFORM. Ukázka zatížení a uchycení rámu je vidět na Obrázek 59.



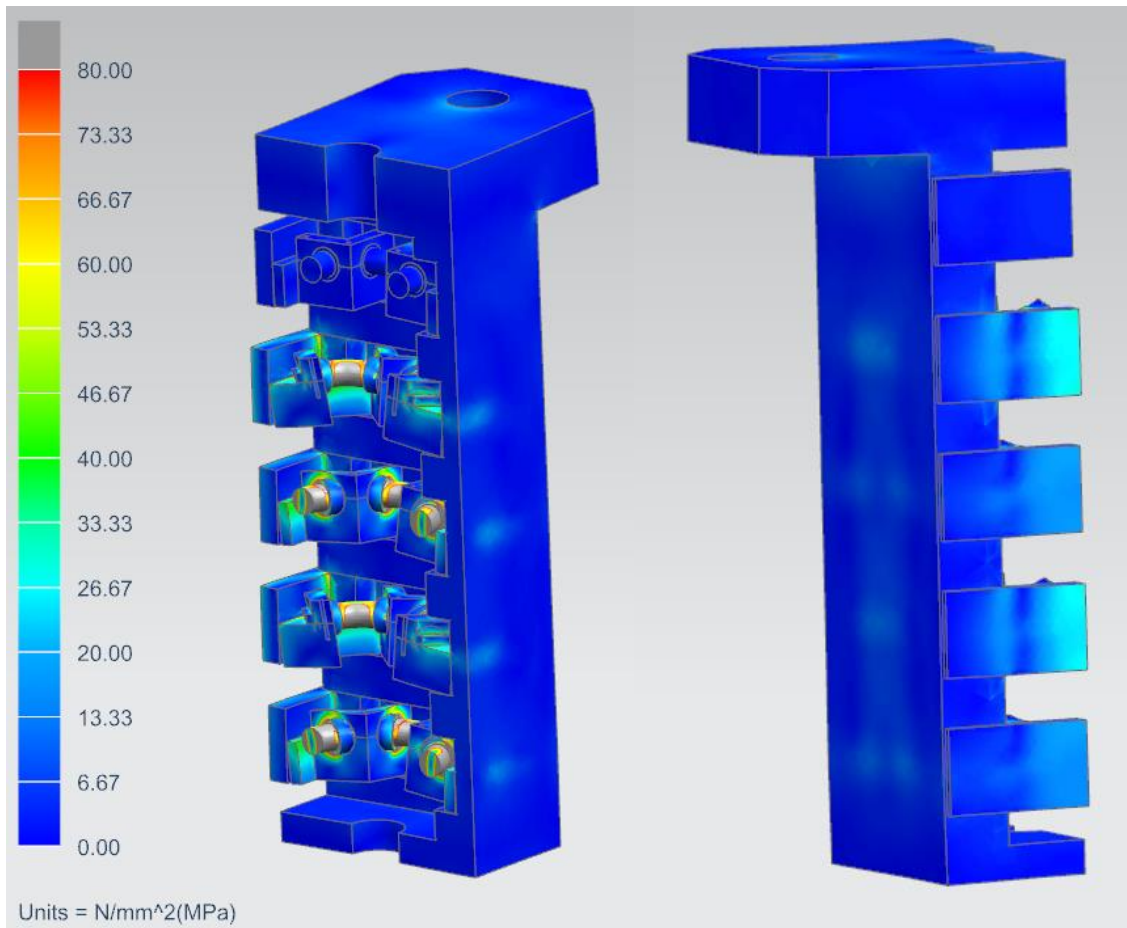
Obrázek 59. Zatížení a uchycení pohyblivého rámu

Obrázek 60 znázorňuje celkovou deformaci rámu, je zde ukázáno, jak se bude celý rám deformovat. Z obrázků je vidět, že na rámu nedochází k velkým deformacím. Kazety se nejvíce deformují na přední straně pohyblivého rámu. To je způsobeno tím, že zde nejsou podepřeny ze spodní strany kazety. Výsledná deformace se mírně liší oproti výpočtu samostatné kazety, to je způsobeno nahrazením kontaktu s poddajným tělesem za tuhou okrajovou podmínku. Na obrázku je ukázána modelová deformace, která je o 5% zvětšená, pro lepší představu, kde působí největší deformace.



Obrázek 60. Deformace pohyblivého rámu

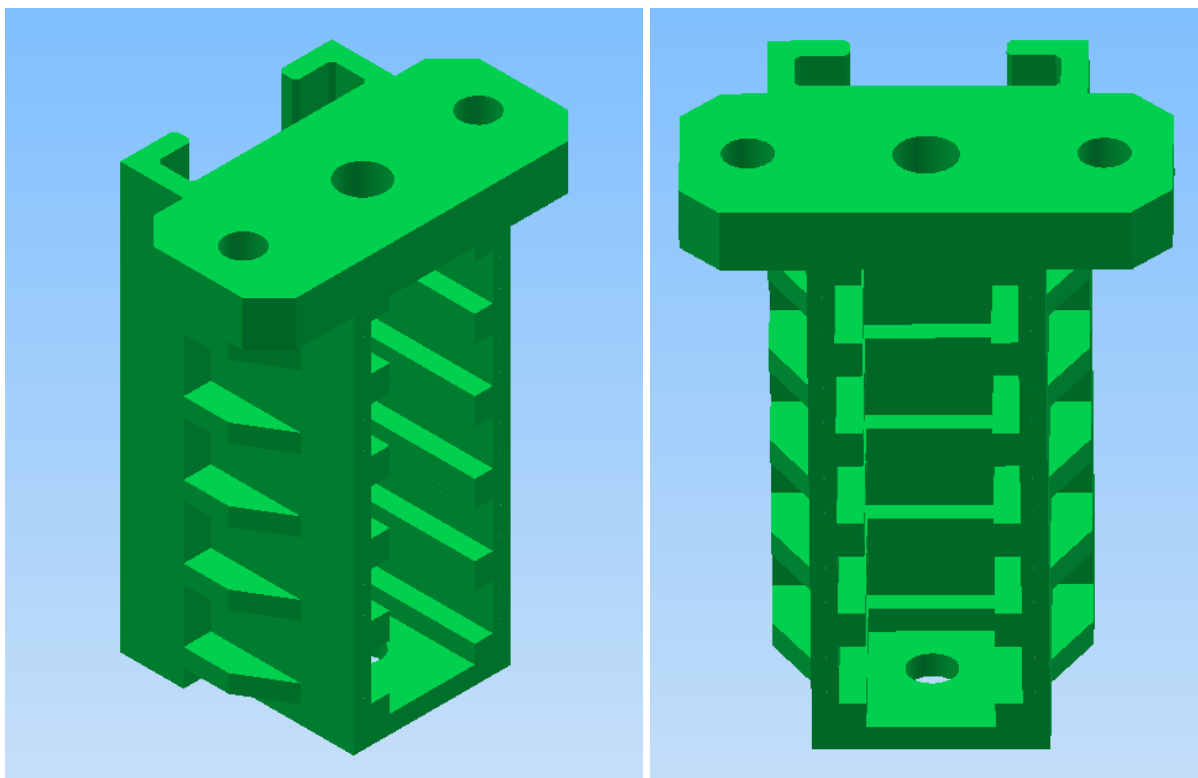
Napětí pohyblivého rámu bude opět porovnáváno s mezí kluzu oceli 11 600, to znamená, zda nepřekračuje maximální napětí hodnotu 330 MPa. Na rám působí o dost menší napětí než 330 MPa, a proto je stupnice nastavena na maximální hodnotu 80 MPa, aby bylo lépe vidět, kde působí napětí na rám. V tomto případě neřešíme napětí na kazetách, to bylo vypočteno v předchozí kapitole. Na Obrázek 61 je ukázáno napětí působící na celou sestavu pohyblivého rámu s kazetami. Z obrázku je vidět, že celková konstrukce rámu je dostatečně dimenzovaná a zatížení vydrží.



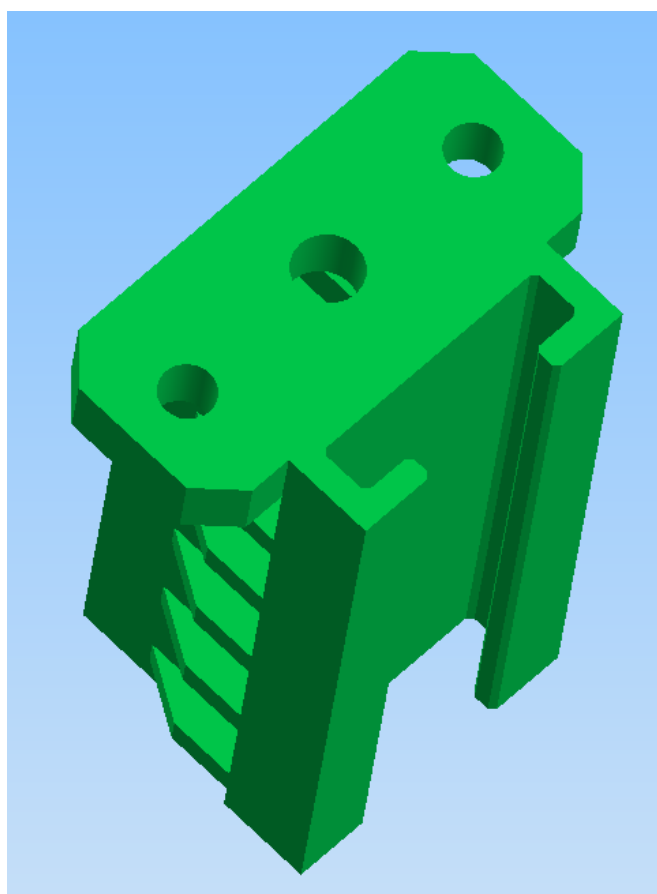
Obrázek 61. Napětí působící na pohyblivý rám

5.5 Pohyblivý rám

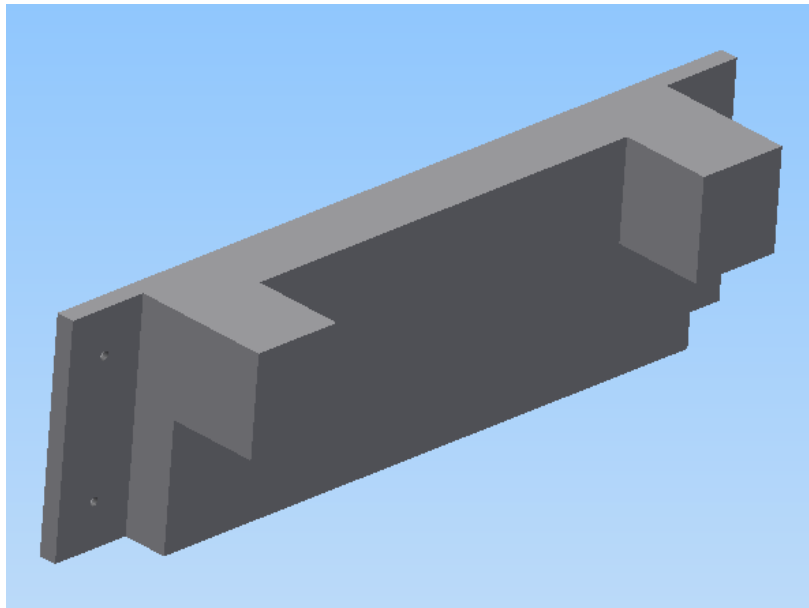
Pohyblivý rám stroje je volen skříňového typu. Kazety budou zasouvány do polic v rámu. Na Obrázek 62 je ukázána varianta rámu pro 5 kazet. Pohyblivý rám bude unášen za dvě postranní díry, které jsou na horní desce rámu, a budou v nich uchyceny pracovní válce, které zajistí pohyb celého rámu. Zpětný pohyb pohyblivého rámu je realizován vlastní vahou pohyblivého rámu. Na spodní straně rámu jsou umístěny stahovače. Polotovár na trnu bude procházet skrz prostřední díru, která je průchozí skrz celý rám. Vně rámu jsou přidány pro větší tuhost žebra, vždy ve výšce uložení kazet. Z přední strany je přišroubován pro každou kazetu kryt, který zajišťuje pozici kazety a brání její vypadnutí z rámu. Kryt je přichycen k pohyblivému rámu pomocí čtyř šroubů M 12. Má za úkol zabránit vyjetí kazet ven z rámu a zároveň zamezuje prohnutí směrem vzhůru v rozích kazety. Přední kryt kazet je vidět na Obrázek 64. Na zadní straně pohyblivého rámu je umístěno vedení, které bude jezdit po stojanu. Bylo vybráno kluzné ploché vedení, další možnosti jsou např. rybinové nebo prizmatické vedení. Pro danou aplikaci bude zvoleno ploché vedení, které má snadnou konstrukci, jednoduché nastavení vůlí a je nejjednodušší na údržbu. Hmotnost samotného rámu bez kazet je přibližně 10000 kg.



Obrázek 62. Rám

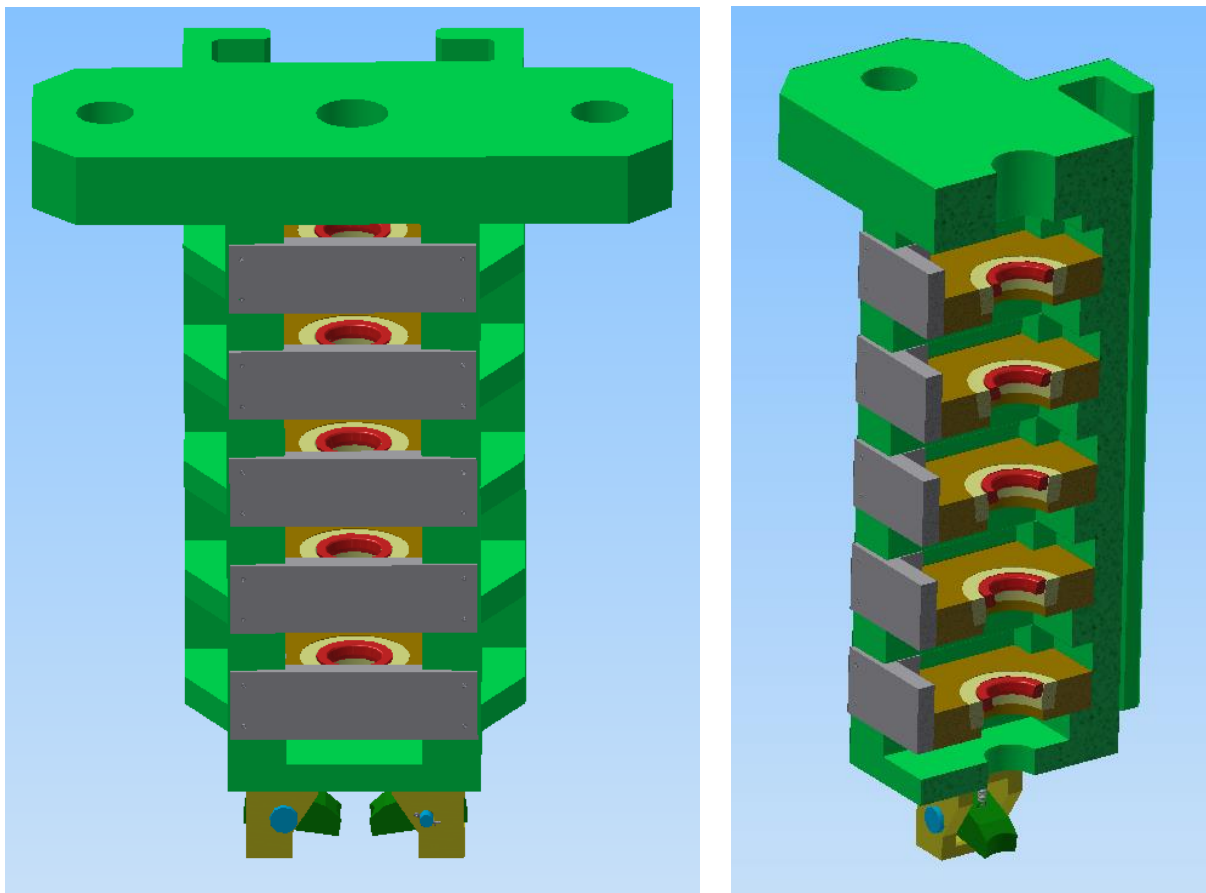


Obrázek 63. Vedení rámu

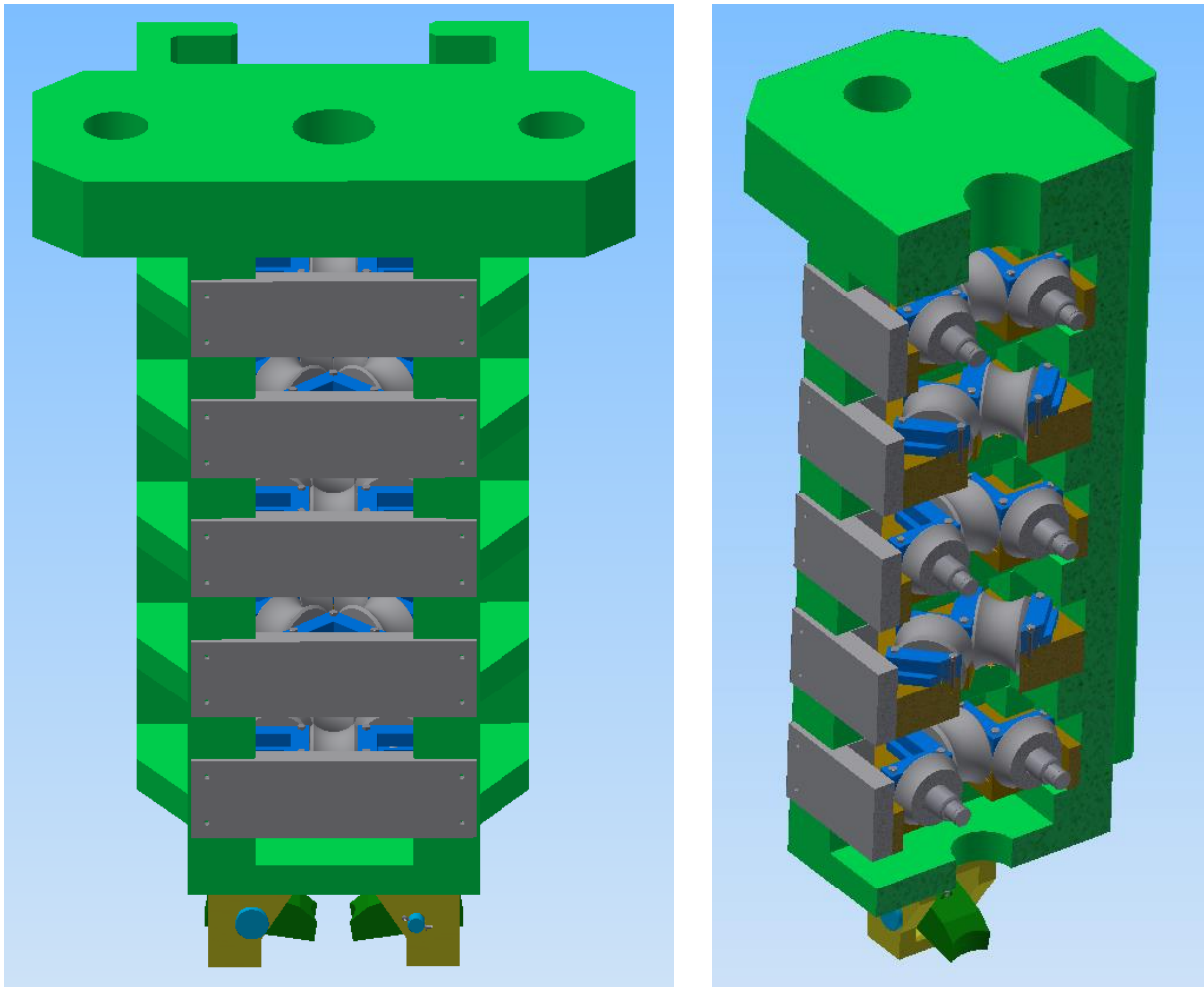


Obrázek 64. Přední kryt kazet

Na následujících obrázcích je vidět pohyblivý rám s umístěnými kazetami. Na Obrázek 65 je vidět pohyblivý rám s kazetami pro protahování pomocí matic a na Obrázek 66 je pohyblivý rám s kazetami pro protahování pomocí redukčních kladek. Na obrázcích jsou vidět na pohyblivém rámu i shazovače, které budou popsány v následující kapitole. Váha pohyblivého rámu s kazetami, krytem kazet a shazovači je přibližně 12400 kg.



Obrázek 65. Pohyblivý rám, protahování pomocí matic

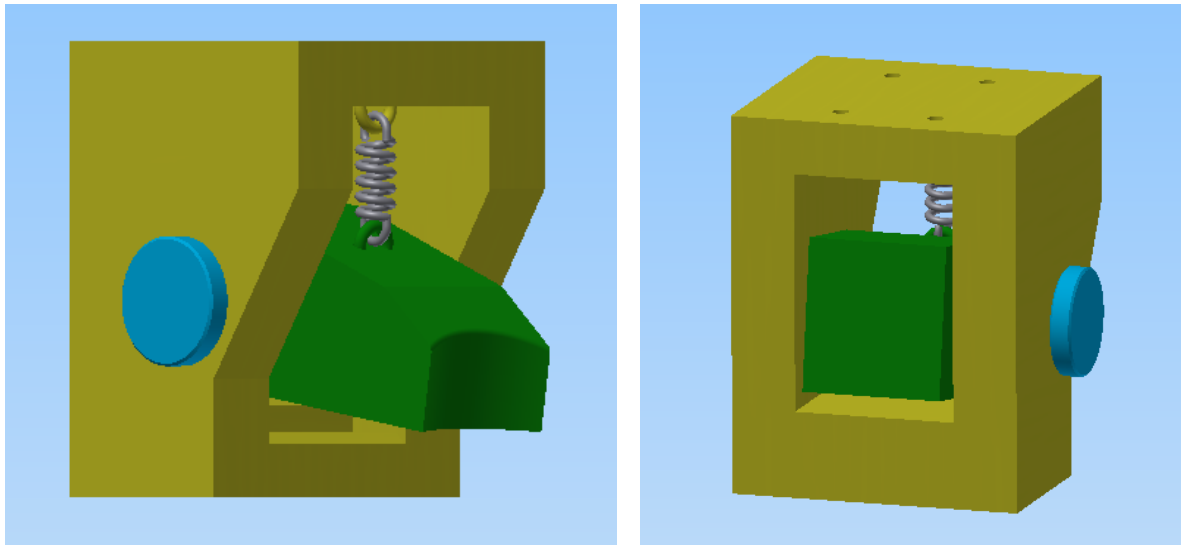


Obrázek 66. Pohyblivý rám, protahování pomocí kladek

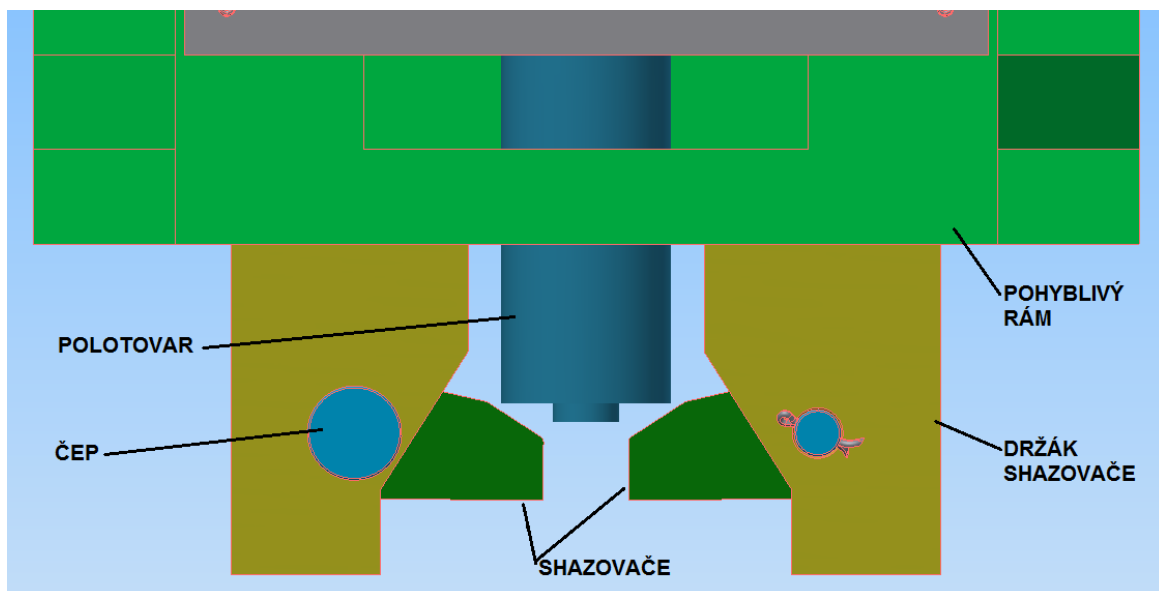
5.6 Shazovače

Po protažení polotovaru skrz matrice nebo kladky, zůstane polotovar nalisován na trnu. Je několik způsobů jak strhnout polotovar z trnu. Pro delší polotovary se musí polotovar rozválcovat na rozválcovacích stolicích. Kratší polotovary se dají strhnout z trnu pomocí tak zvaných shazovačů. Pro tento případ využijeme strhnutí polotovaru pomocí shazovačů. Shazovač je konstrukčně jednoduchá součást, která se skládá z držáku shazovače, shazovače, čepu a pružiny. Pro tento případ byl zvolen shazovač s pružinou. Shazovače se však mohou řešit i bez pružiny a to tak, že se čep umístí před těžiště shazovače. Vratný pohyb shazovače je tak realizován vlivem vlastní tíhy, který se snaží vrátit shazovač do rovnovážné polohy. Při použití, pružiny je návrat shazovače rychlejší a je zaručeno, že se vždy vrátí do původní polohy. Princip shazovače spočívá v tom, že je uložen na otočném čepu a v rovnovážné poloze ho drží pružina. V okamžiku kdy vychází polotovar ze záběru protahovacích kladek nebo matic, začíná vjíždět do oblasti shazovačů, ty se začínají naklápět podle velikosti polotovaru. To je ukázáno na Obrázek 69. Po projetí polotovaru vrátí pružina shazovač do původní polohy. Zadní část shazovače se zapře za desku, která se nachází na držáku shazovače. Na Obrázek 71 je ukázáno jak je zadní část shazovače zapřena o desku a tím je zamezeno pootočení shazovače při zpětném pohybu trnu. Přední část je opřena o horní mezikruží polotovaru. Pohyblivý rám se začne vracet zpětným chodem do původní polohy a polotovar je strhnut z trnu. Princip strhnutí polotovaru je ukázán na následujících obrázcích. Zpětný pohyb pohyblivého rámu je realizován vlastní tíhou. Pro tento případ by mělo

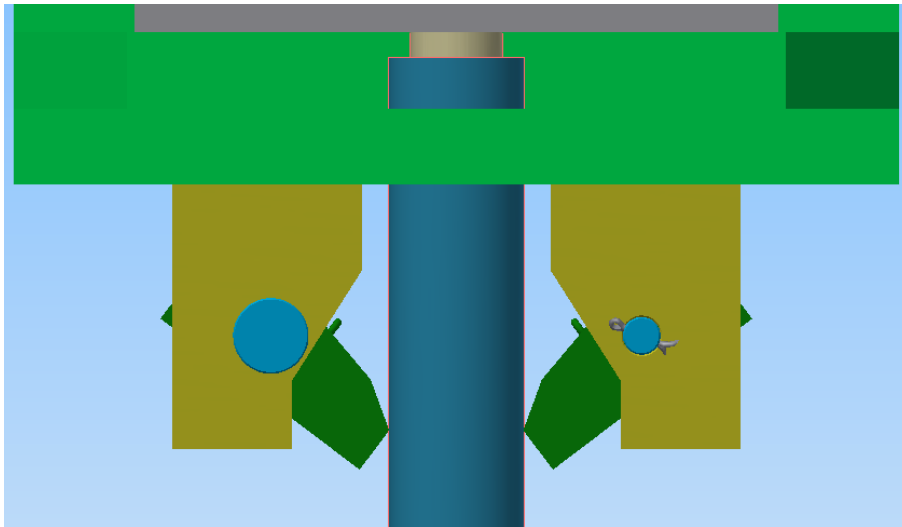
pro strhnutí polotovaru stačit, pokud by nedošlo k strhnutí polotovaru, je nutné přidat zpětné válce. Držák shazovače je přišroubován k rámu pomocí čtyř šroubů M 17. Čep je volen s hlavou a druhý konec je zajištěn proti vyjetí pomocí závlačky. Pro zpětný pohyb stačí použít slabší pružinu, jelikož je dost velká zadní část shazovače, tím pádem bude pomáhat ke zpětnému pohybu i vlastní tíha shazovače. Po strhnutí polotovaru z trnu, je polotovar odveden pomocí žlabu pryč z oblasti stroje. Ze žlabu padá polotovar do písku, který jeho pád utlumí a nedojde tak k zdeformování polotovaru. Pro tento případ stačí použít pouze dva protilehlé shazovače. Pro větší polotovary by bylo nutné použít čtyři shazovače. Na Obrázek 67 jsou ukázány samotné shazovače na Obrázek 68 až Obrázek 71 již přichycené k pohyblivému rámu.



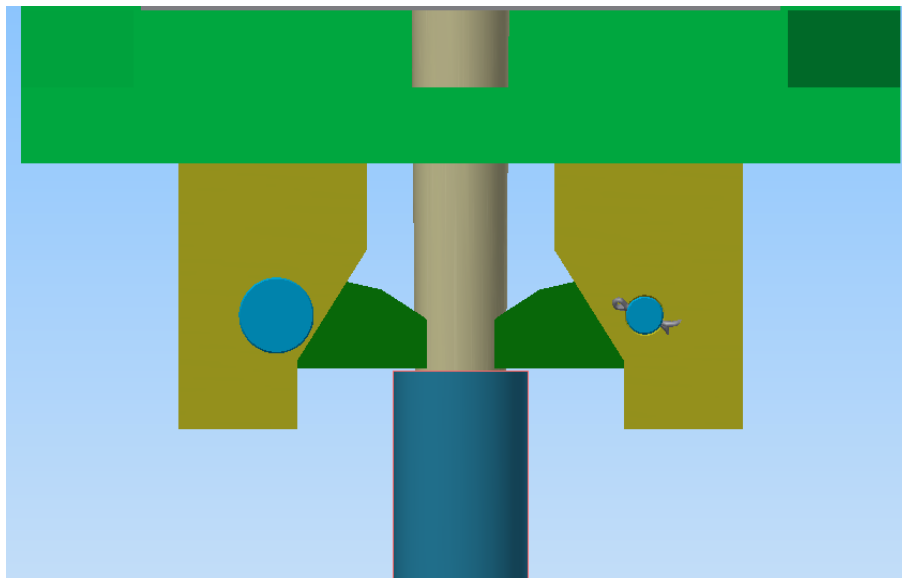
Obrázek 67. Shazovače



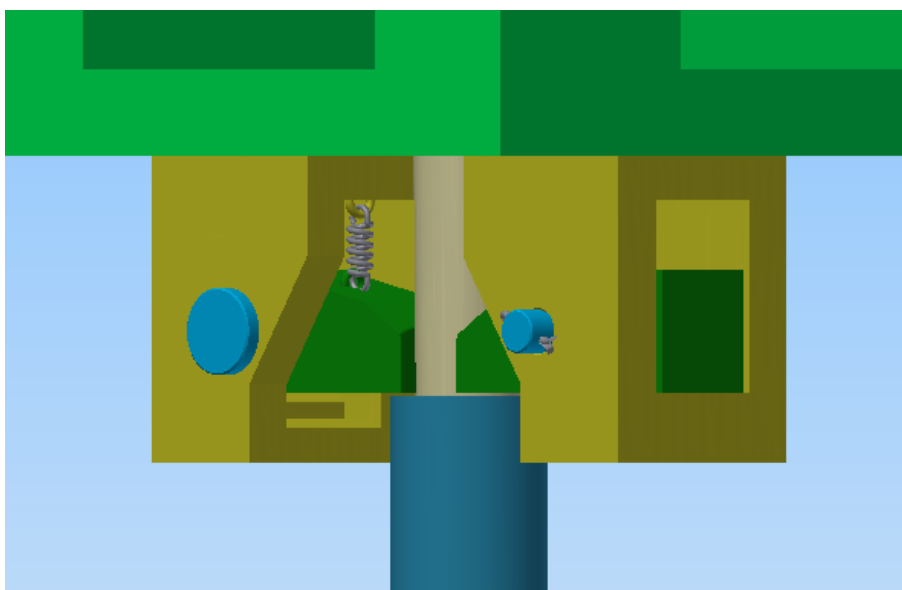
Obrázek 68. Polotovar před shazovači



Obrázek 69. Polotovár projíždí mezi shazovači



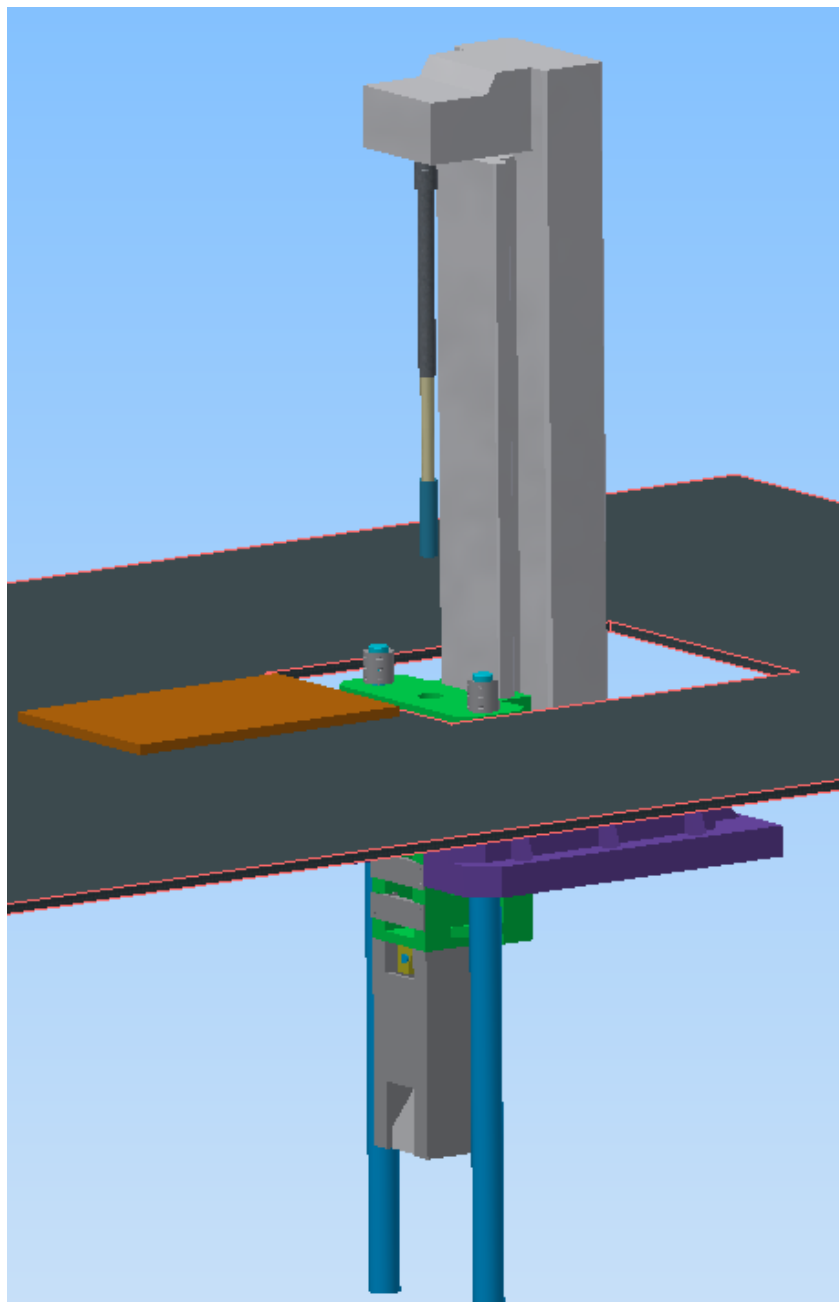
Obrázek 70. Polotovár projel skrz shazovače



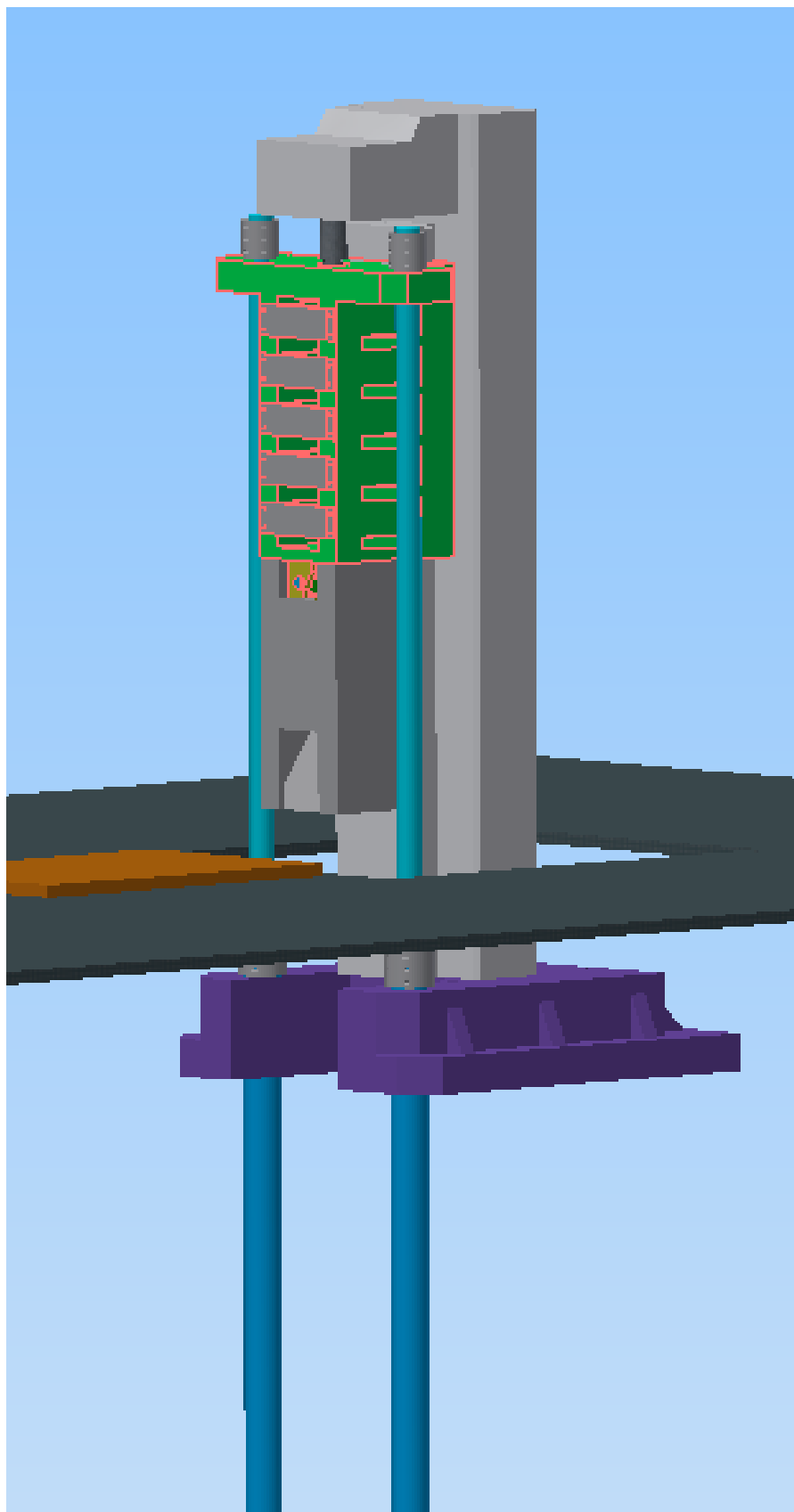
Obrázek 71. Ukázka zapření shazovače

5.7 Schéma celého stroje

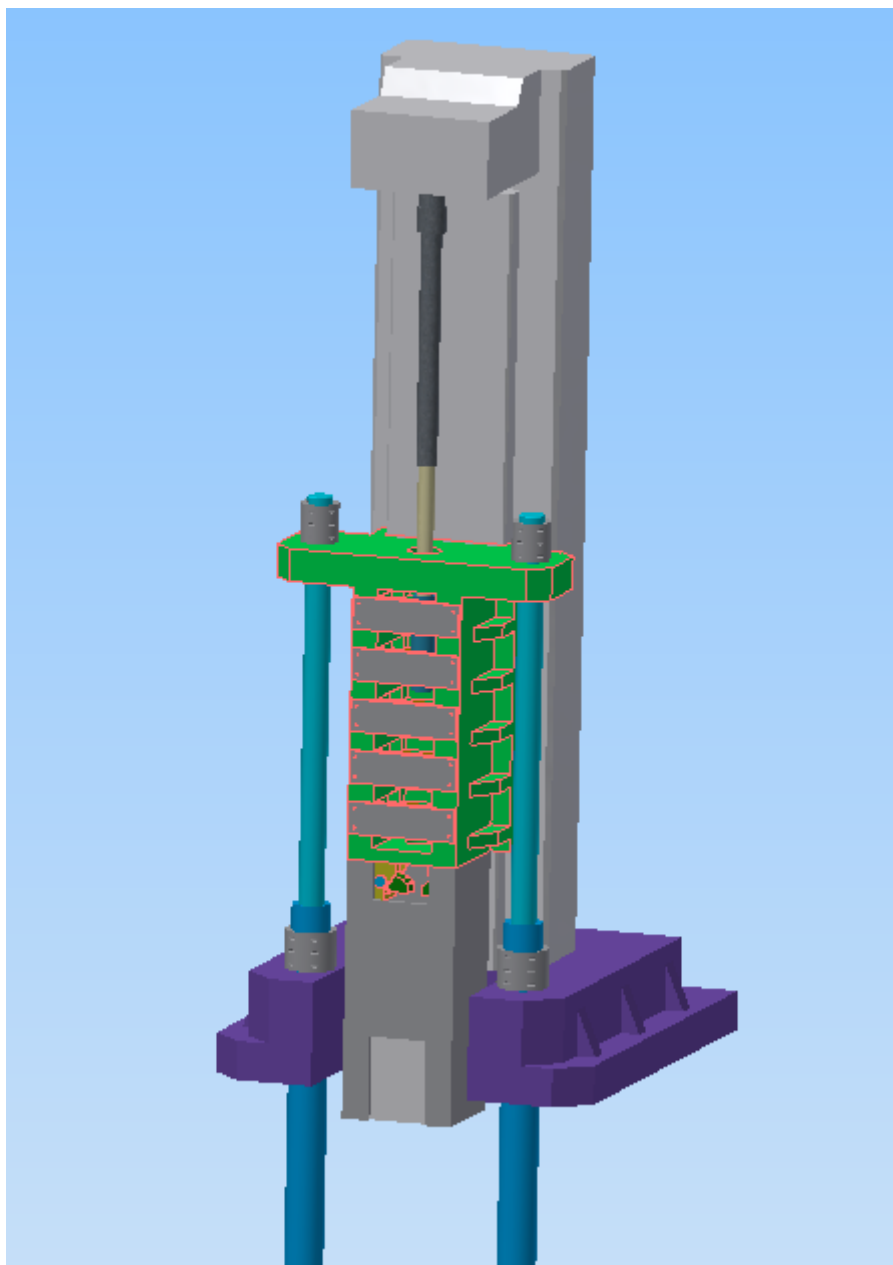
V této kapitole je na následujících obrázcích ukázáno schéma protahovacího stroje. Jak již bylo popsáno v předchozích kapitolách, stroj je postaven na výšku, osa protahování je svislá. Protahovací stroj je zde ukázán ve dvou variantách. První varianta ukazuje samostatně stojící protahovací stroj, který se skládá z pevného rámu, pohyblivého rámu a spodní traverzy. Tato varianta je vidět na Obrázek 72 až Obrázek 74. Ve druhé variantě je protahovací stroj spojen s děrovacím lisem. Děrovací lis je zde nakreslen pouze ilustračně, pro lepší představivost. Pevný rám je spojen s traverzou děrovacího lisu a s pracovními válci. Druhá varianta je vidět na Obrázek 75 až Obrázek 78. Ke spodní straně pohyblivého rámu je přichycen žlab, z kterého bude padat polotovary do písku. U obou variant je černou plochou naznačena úroveň podlahy a žlutý obdélník představuje písek, do kterého budou padat výrobky po protažení.



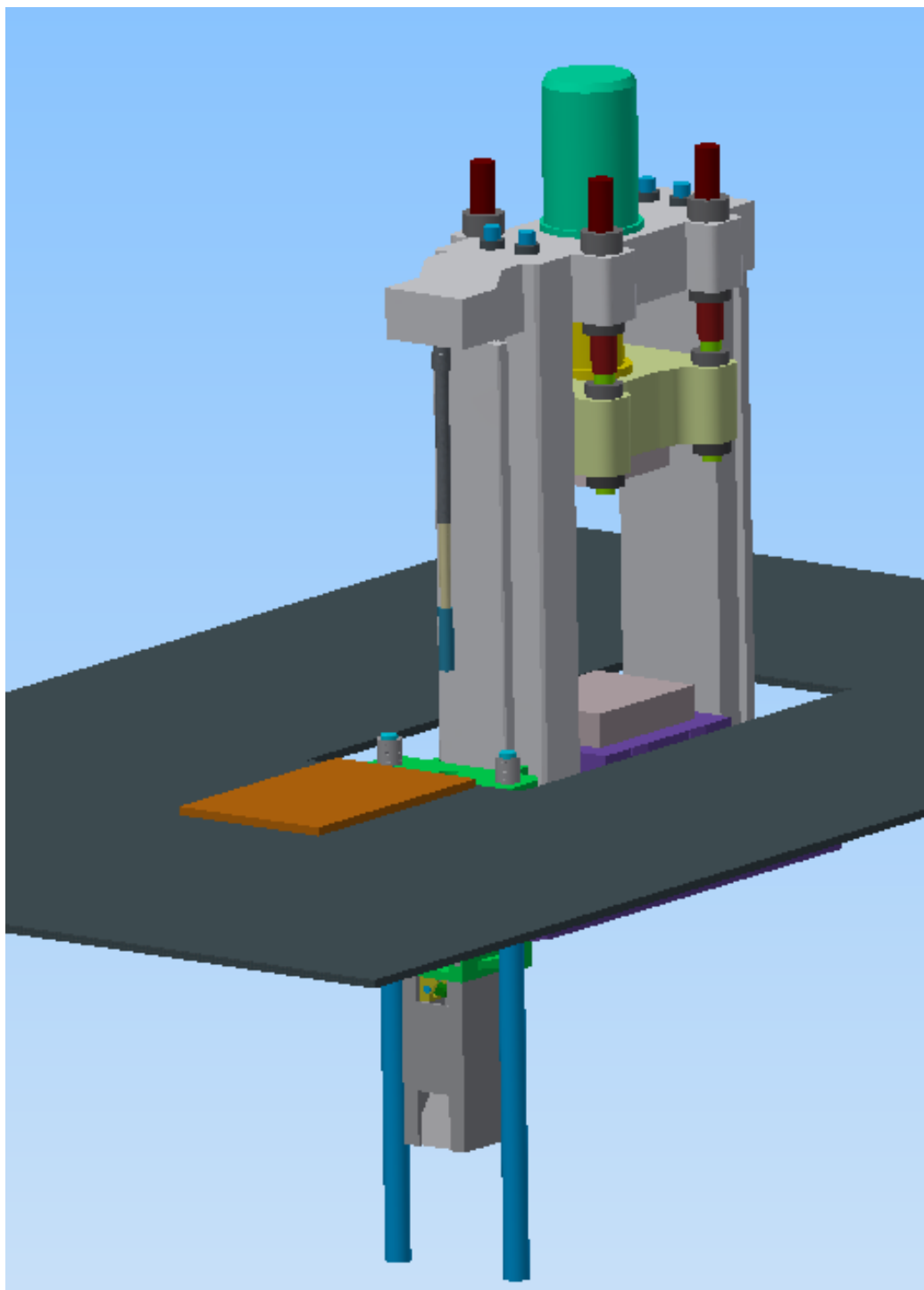
Obrázek 72. Schéma protahovacího stroje 1, samostatně stojící



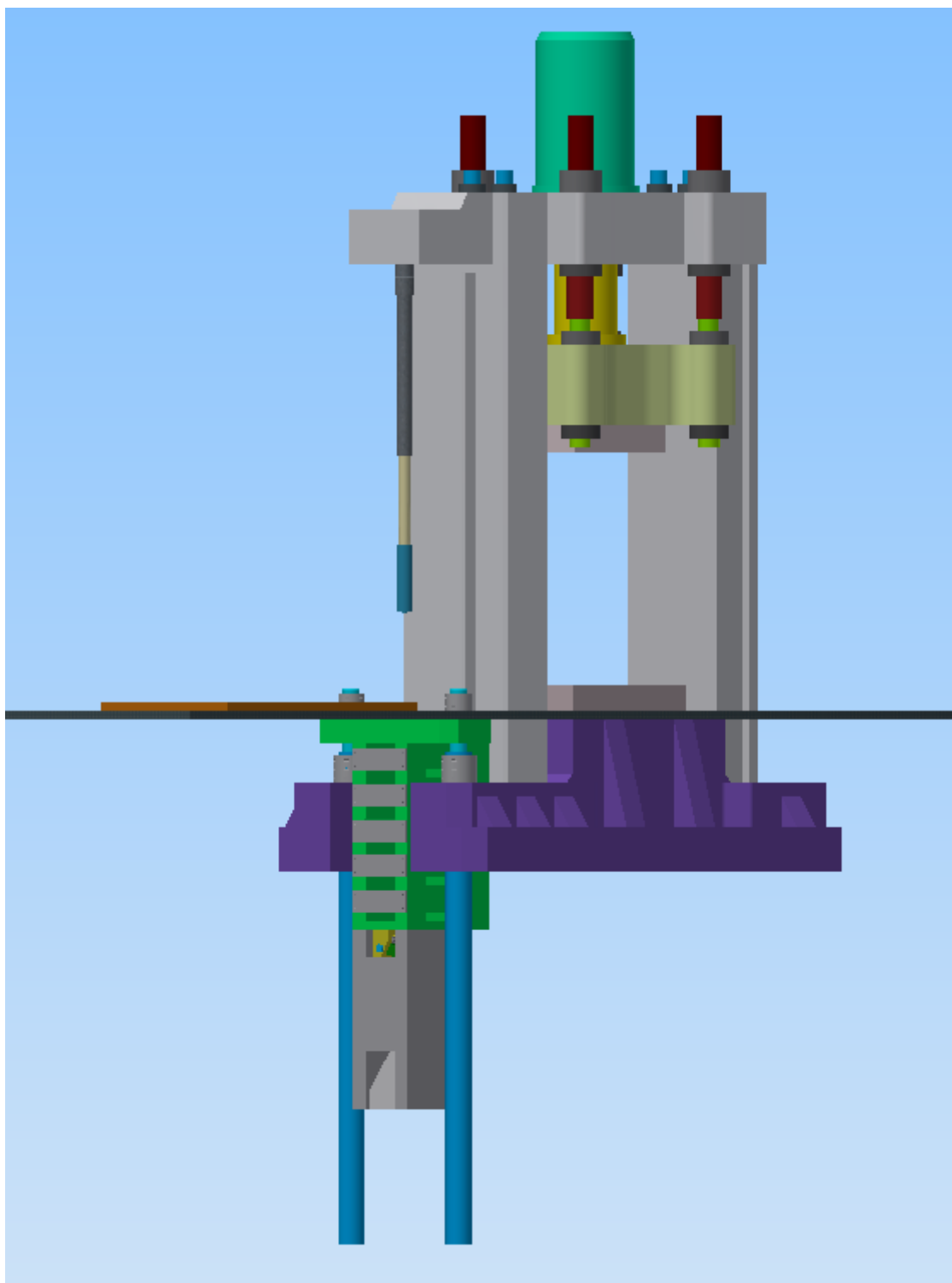
Obrázek 73. Schéma protahovacího stroje 2, samostatně stojící



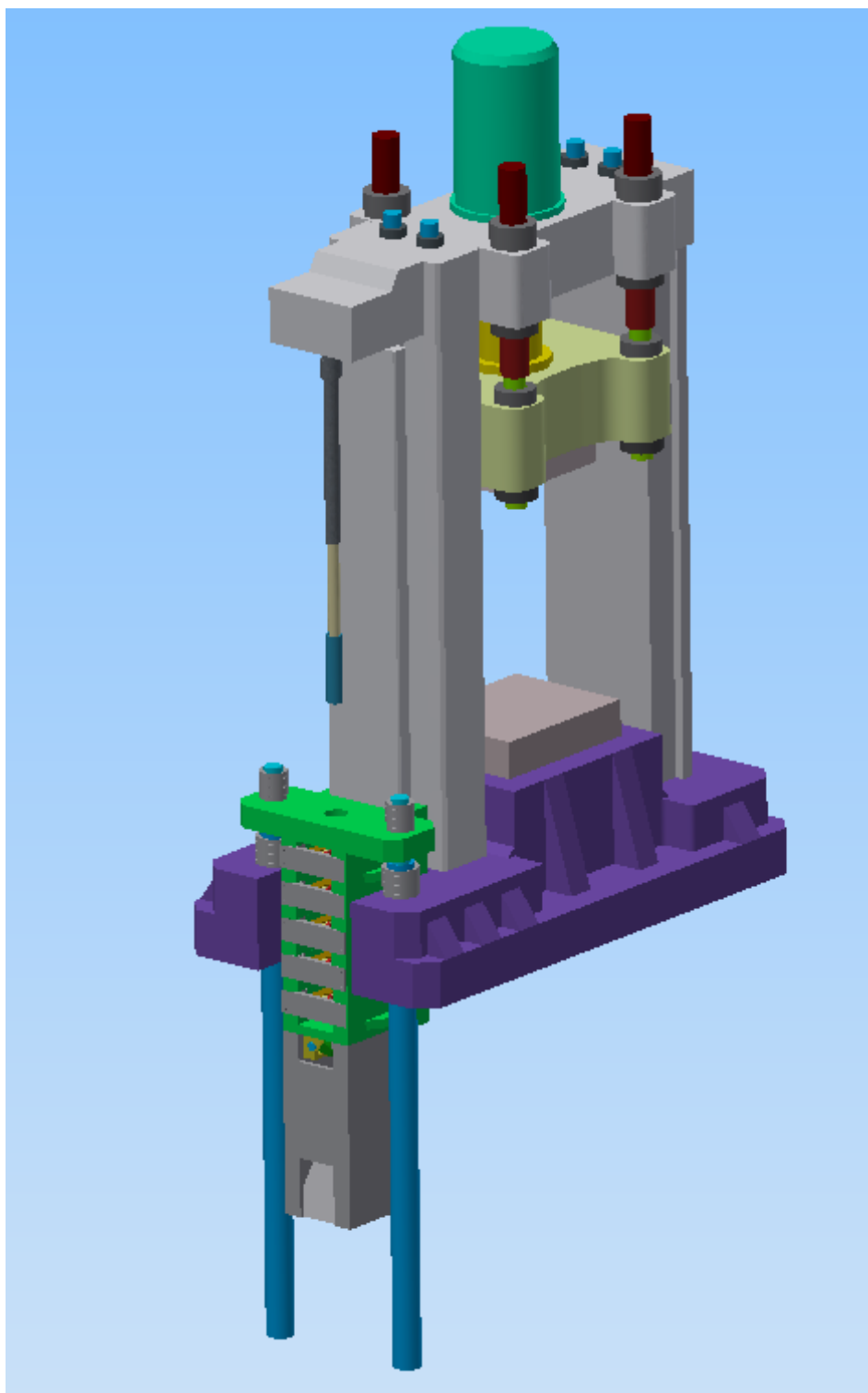
Obrázek 74. Schéma protahovacího stroje 3, samostatně stojící



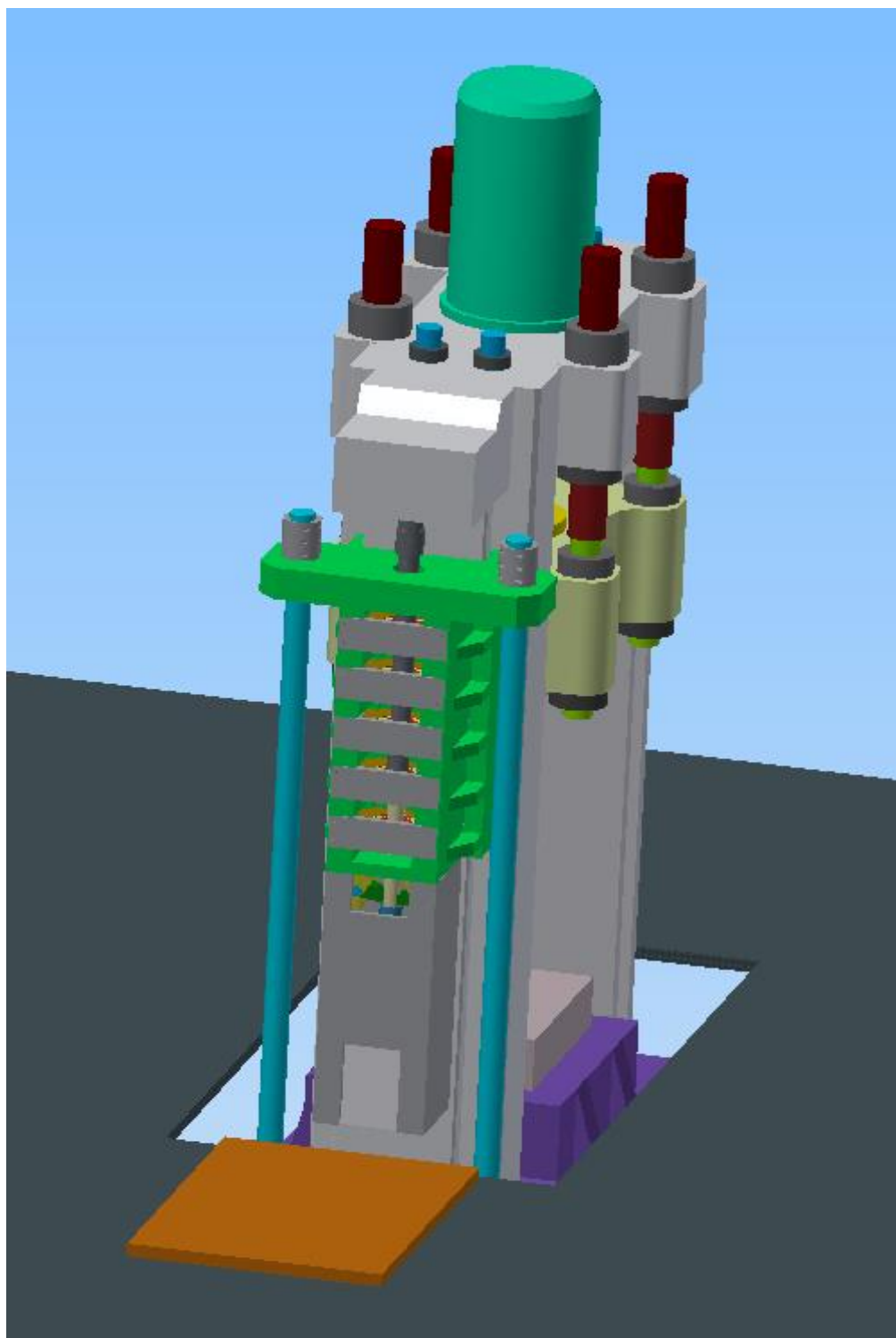
Obrázek 75. Schéma protahovacího stroje spojeného s děrovacím lisem 1



Obrázek 76. Schéma protahovacího stroje spojeného s děrovacím lisem 2



Obrázek 77. Schéma protahovacího stroje spojeného s děrovacím lisem 3



Obrázek 78. Schéma protahovacího stroje spojeného s děrovacím lisem 4

6 Závěr

Cílem této práce bylo porovnání dvou variant protahování a to protahování pomocí matic a redukčních kladek. Práce obsahuje tři hlavní kapitoly. Nejprve je provedena rešerše technologie tváření kovů. V této kapitole je popsáno rozdělení tváření a jednotlivé možnosti tvářecích operací.

V dalším kroku byly provedeny výpočty v programu DEFORM. Kdy byly zjišťovány výsledné síly, které působí na trn, matrice a kladky během protahování. Jako první byly vypočteny síly působící během protahování pomocí matic. Protahování bylo provedeno přes 5 sad matic. Poté bylo nutné navrhnout tvar kladek. Kladky byly voleny tak, aby docházelo ke stejným úběrům, jako při protahování pomocí matic. Po výpočtu pěti sad kladek, byla varianta ještě upravena a byl proveden výpočet, kdy bylo použito pouze tři sad kladek.

Hlavní část práce je konstrukční návrh uložení matic a redukčních kladek do kazet a následně návrh pohyblivého rámu, do kterého budou uloženy kazety. Uložení matic je konstrukčně velmi jednoduché. Stěžejní částí práce je uložení redukčních kladek do kazety. Varianta s kladkami je řešena pomocí nalisování kladek na osy a uložení v soudečkových ložiskách. Kazety mají vnější rozměry stejné pro obě varianty, to umožní použít stejný pohyblivý rám jak pro protahování pomocí matic, tak pro protahování pomocí redukčních kladek. Pohyblivý rám je navržen pro protahování přes pět sad kazet.

Pro konstrukční návrh byly provedeny kontrolní výpočty. V programu Inventor byl proveden kontrolní výpočet osy. Pro ložiska byla provedena kontrola životnosti. V programu Siemens NX byl proveden výpočet metodou konečných prvků pro kazetu s kladkami, maticemi a následně i pro celý pohyblivý rám s vloženými kazetami pro protahování pomocí kladek. Ze získaných výsledků byla potvrzena dostatečná tuhost konstrukčního návrhu.

Výsledné porovnání obou variant protahování je vidět v Tabulka 7. Výhody protahování pomocí matic, jsou určitě v nižší pořizovací ceně a jednodušší konstrukci kazet a uložení matic do kazet. Velká výhoda matic spočívá i v tom, že je možné vyrábět matici jen v nejmenším rozměru, průměr 170 mm. Během protahování dochází k deformaci matic, poté co je matrice již nevyhovující pro daný průměr, je možné přebrousit vnitřní průměr matrice, např. na průměr 172 mm a použít ji znovu v následující kazetě. Nevýhodou matic je nutnost mazání, chlazení matic a nízká životnost. Mezi hlavní výhody redukčních kladek patří vyšší životnost kladek. Na protahování pomocí kladek je potřeba menší protahovací síla. Nevýhodou kladek je složitá konstrukce.

Tabulka 7. Porovnání variant

Parametry	Matrice	Kladky
Protahovací síla	1700000 N	300000 N
Hmotnost jednoho nástroje	442 kg	505 kg
Životnost	Nižší	Větší
Deformace stroje	Nižší	Větší
Přesnost výroby	Větší	Nižší
Cena	Nižší	Větší
Konstrukce	Jednoduchá	Komplikovaná
Nutnost mazání	Větší	Nižší

Po porovnání obou možností protahování není jednoznačný závěr, obě varianty mají své výhody i nevýhody a nelze jednoznačně říct, která z těchto variant je výhodnější. V Tabulka 7 jsou shrnuty základní parametry, který poslouží pro porovnání obou variant. Při volbě varianty protahování záleží nejvíce na přání zákazníka.

Výsledkem této diplomové práce je nová konstrukce protahovacího stroje, kdy byl navržen pohyblivý rám, který je možný použít pro obě varianty protahování. Navržená konstrukce vyhovuje zadaným parametrům. Diplomová práce ukazuje problematiku protahování pomocí matic a kladek.

Seznam literatury

- [1] ELFMARK, J. *Tváření kovů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1992. 524 s. Technický průvodce; 62. ISBN 80-03-00651-1.
- [2] PROCHÁZKA, J. *Technologie slévání, tváření a svařování*. 2. vyd. Praha: ČVUT, 1986. 343 s.
- [3] SOVA, F. *Technologie obrábění a montáže*. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. 273 s. ISBN 80-7082-823-4.
- [4] GELEJI, A., *Výpočet sil a spotřeby energie při tváření kovů*, vyd. Praha: SNTL, 1955. 256 s.
- [5] DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., NOVOTNÝ, K. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.
- [6] FOREJT, M. *Teorie tváření*, vyd. Brno: VUT, 1992. 167 s.
- [7] ŽENÍŠEK, J.; JENKUT, M.: *Výrobní stroje a zařízení*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1990. 276 s. ISBN 04-222-90
- [8] HLUCHÝ, M. A KOLEKTIV, *Strojírenská technologie 2*, vyd. Praha: SNTL, 1979. 408 s.
- [9] FELDMANN, H. D. 1962: *Protlačování oceli*. Přeloženo z německého originálu *Fliessen von Stahl* nakladatelství Springer-Verlag, Berlin 1959. Přeložil Doc. Ing. Hašek. Vyd. Praha: SNTL, 1962. 200 s.
- [10] DVOŘÁK, M., A KOLEKTIV, *Technologie II*, nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2001. 238s, ISBN 80-214-2032-4
- [11] TS Plzeň. [tsplzen.cz](http://www.tsplzen.cz) [Online] [Citace: 3. 12. 2016] dostupné z: <http://www.tsplzen.cz/>
- [12] TU Liberec. [ksp.tul.cz](http://www.ksp.tul.cz) [Online] [Citace: 16. 11. 2016] dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/obsah.htm
- [13] FABÍK, R., 2012. *Tváření kovů* [Online] Ostrava: učební text. [Citace: 28. 11. 2016] dostupné z: <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/TVKB/Tvareni%20kovu.pdf>
- [14] Strojní lyceum [Online] *Tváření za tepla* [Citace: 5. 11. 2016] dostupné z: <http://www.strojnilyceum.wz.cz/maturita/tep/tep12.pdf>
- [15] sunnysteel.com [Online] *Seamless steel pipe* [Citace: 5. 11. 2016] dostupné z: www.sunnysteel.com/images/seamless/hot-rolling-seamless-steel-pipe.jpg
- [16] vzdelavaniirs.cz [Online] *Moderní technologie v kovářství* [Citace: 2. 12. 2016] dostupné z: <http://vzdelavaniirs.cz/upload/technologie/ohrev/ohrev5.jpg>
- [17] promills.eu [Online] *Rolls* [Citace: 17. 4. 2017] dostupné z: <http://www.promills.eu/en-gb/Rolls>
- [18] ust.fme.vutbr.cz [online] *Ústav strojírenské technologie* [citace: 8. 1. 2017] dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/obsah.htm
- [19] ferona.cz [online] *Ferona* [citace: 12. 1. 2017] dostupné z: http://www.ferona.cz/cze/katalog/mat_normy.php

Použitý software

Microsoft office Word 2013

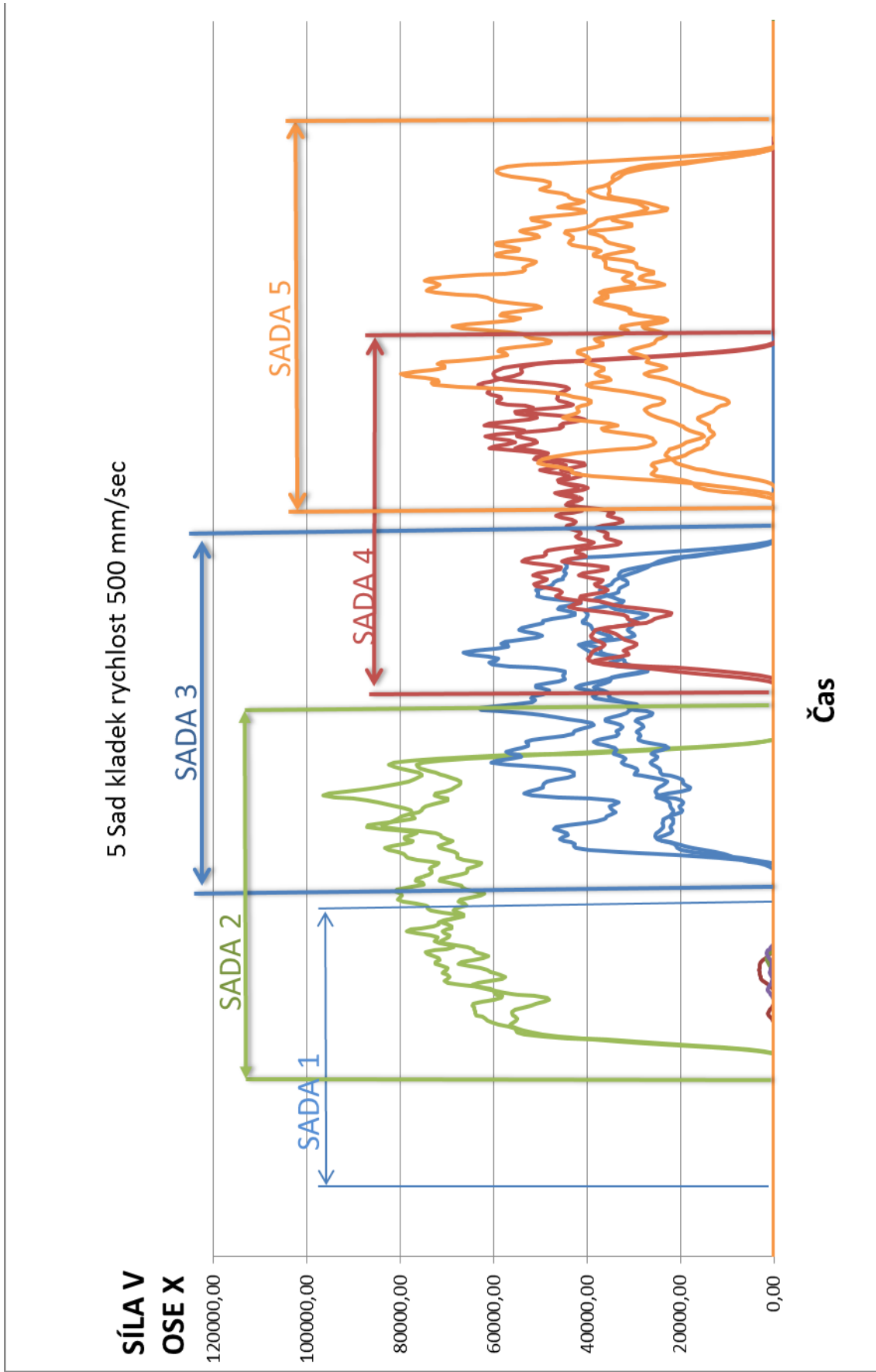
Microsoft office Excel 2013

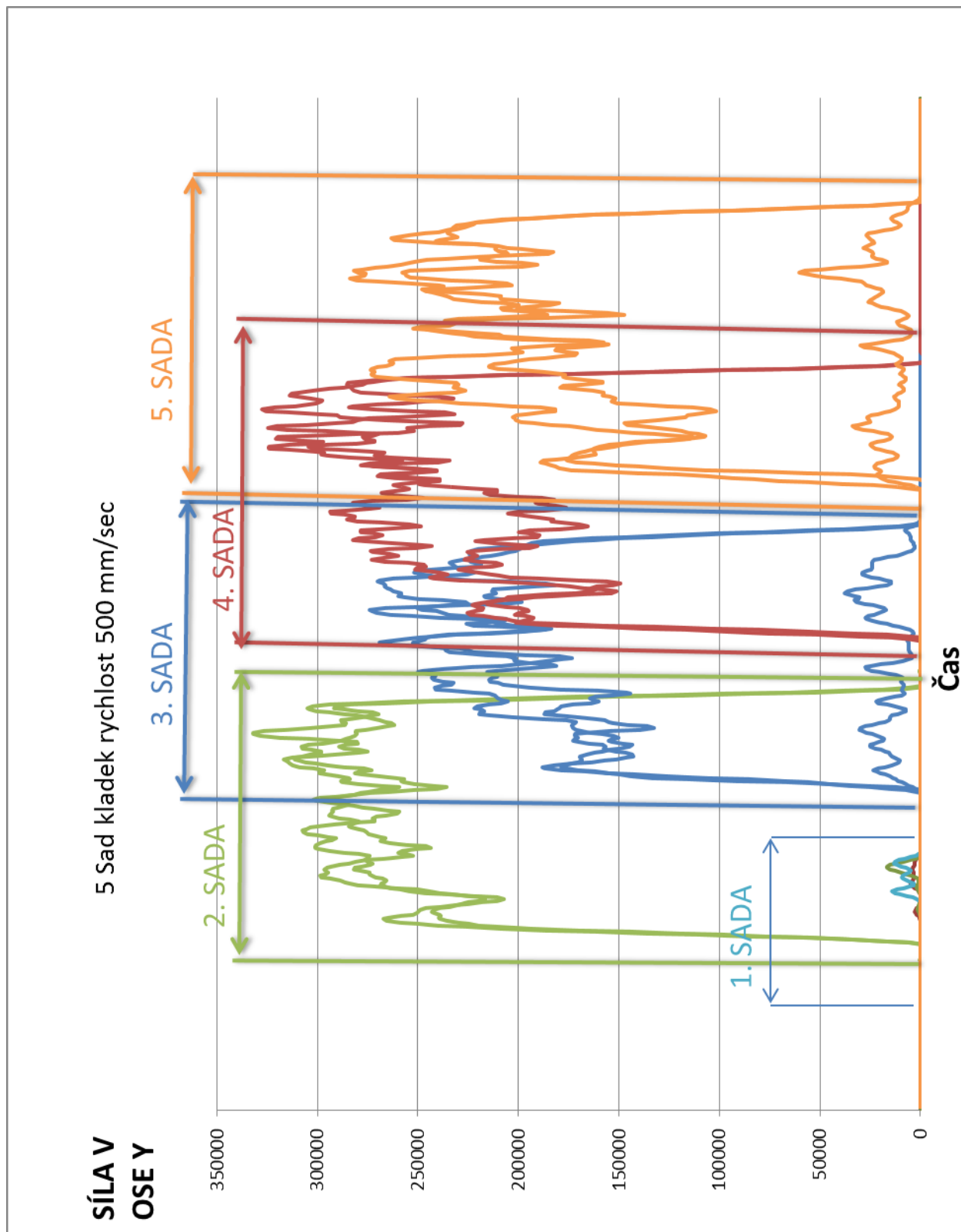
DEFORM Integrate 2D/3D

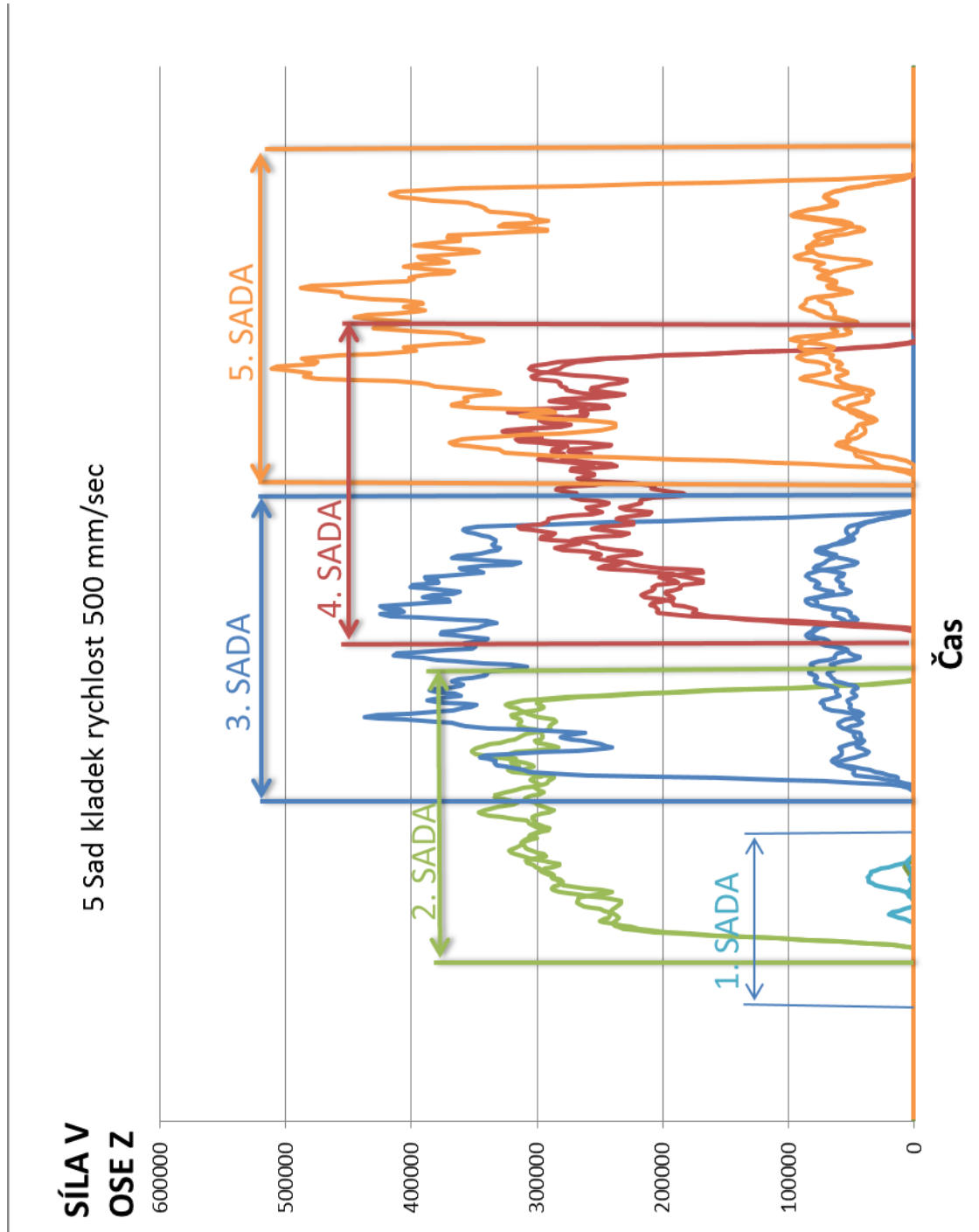
Autodesk Inventor Professional 2014

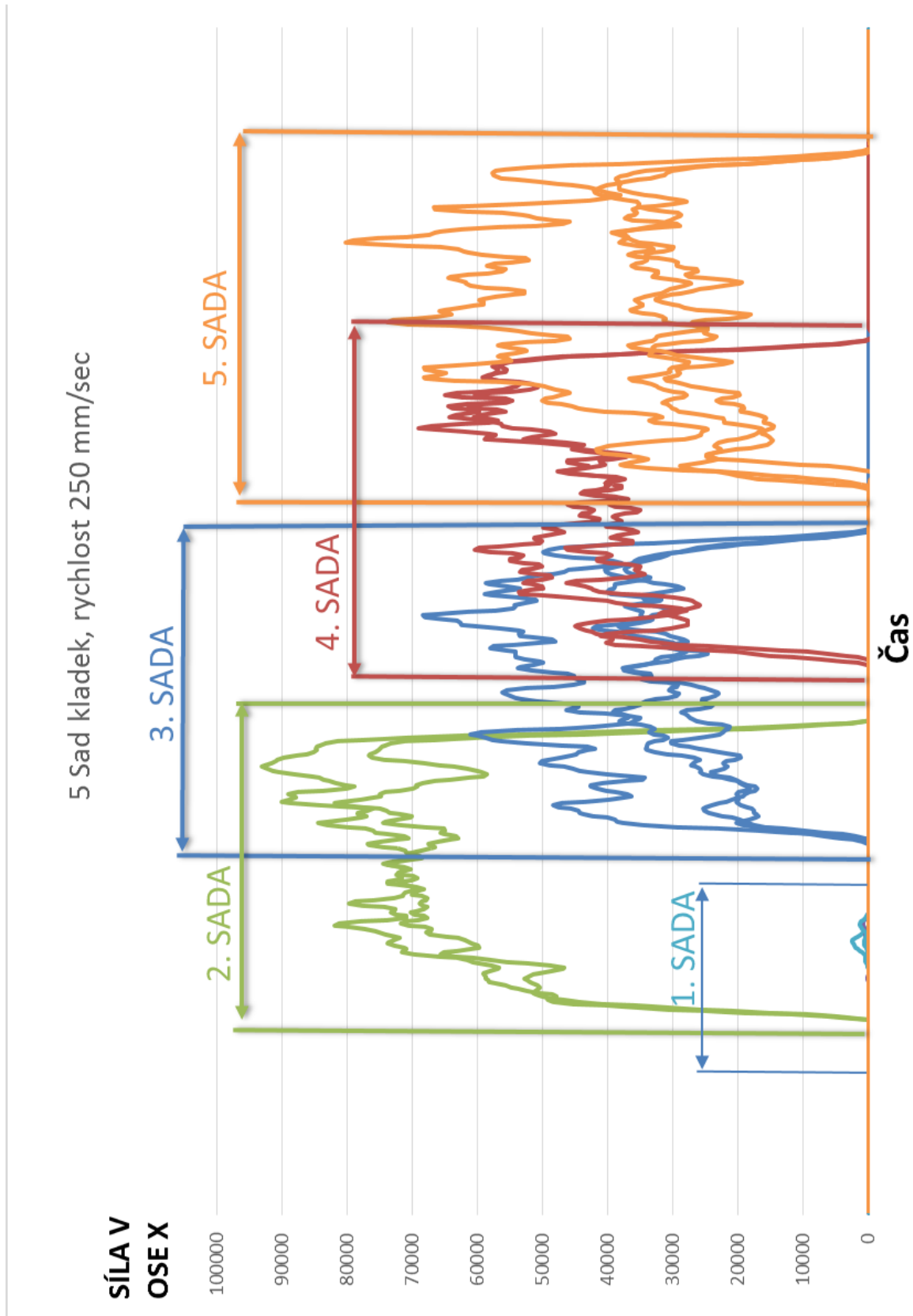
Siemens NX 10

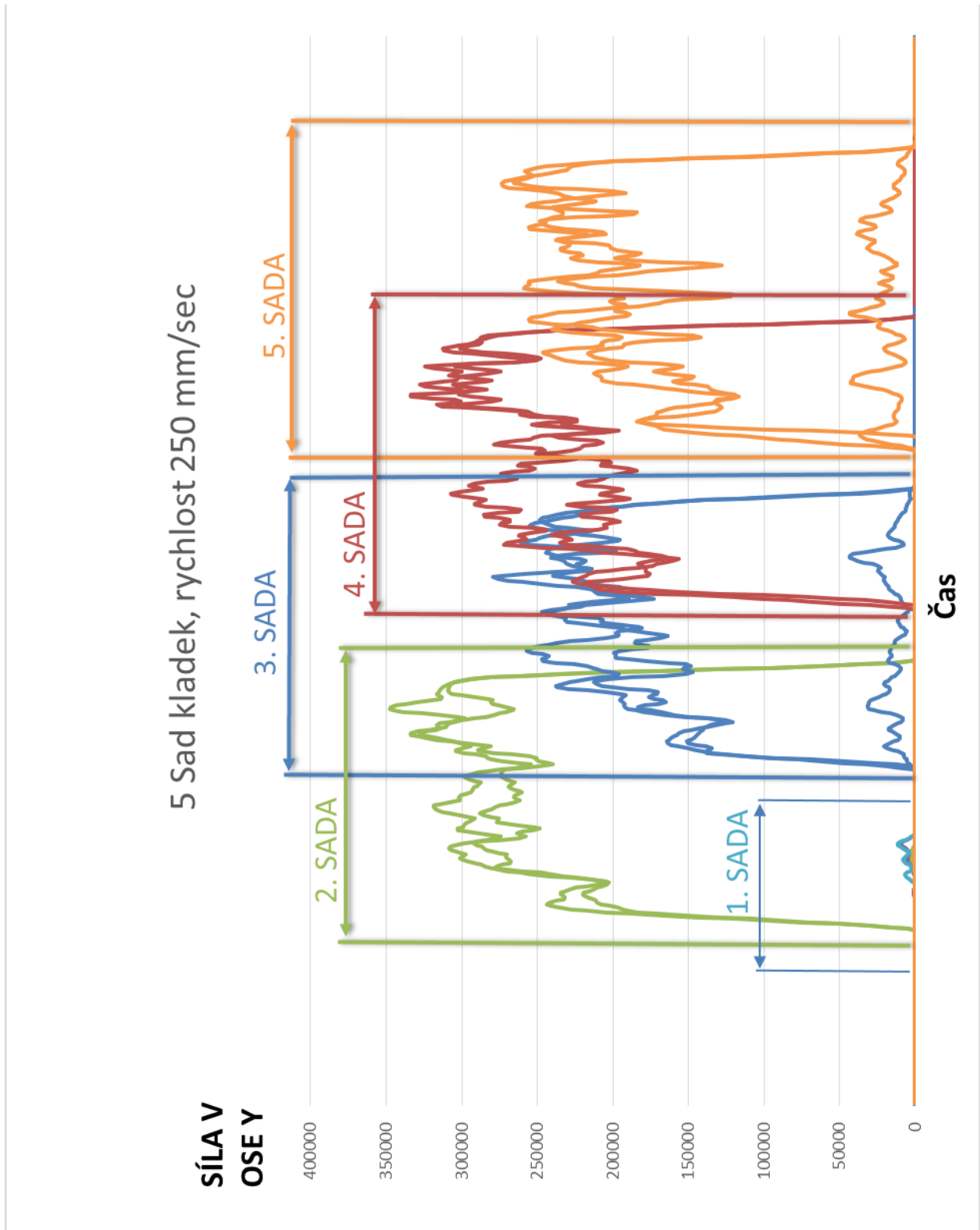
Příloha č. 1 – Grafy z programu DEFORM

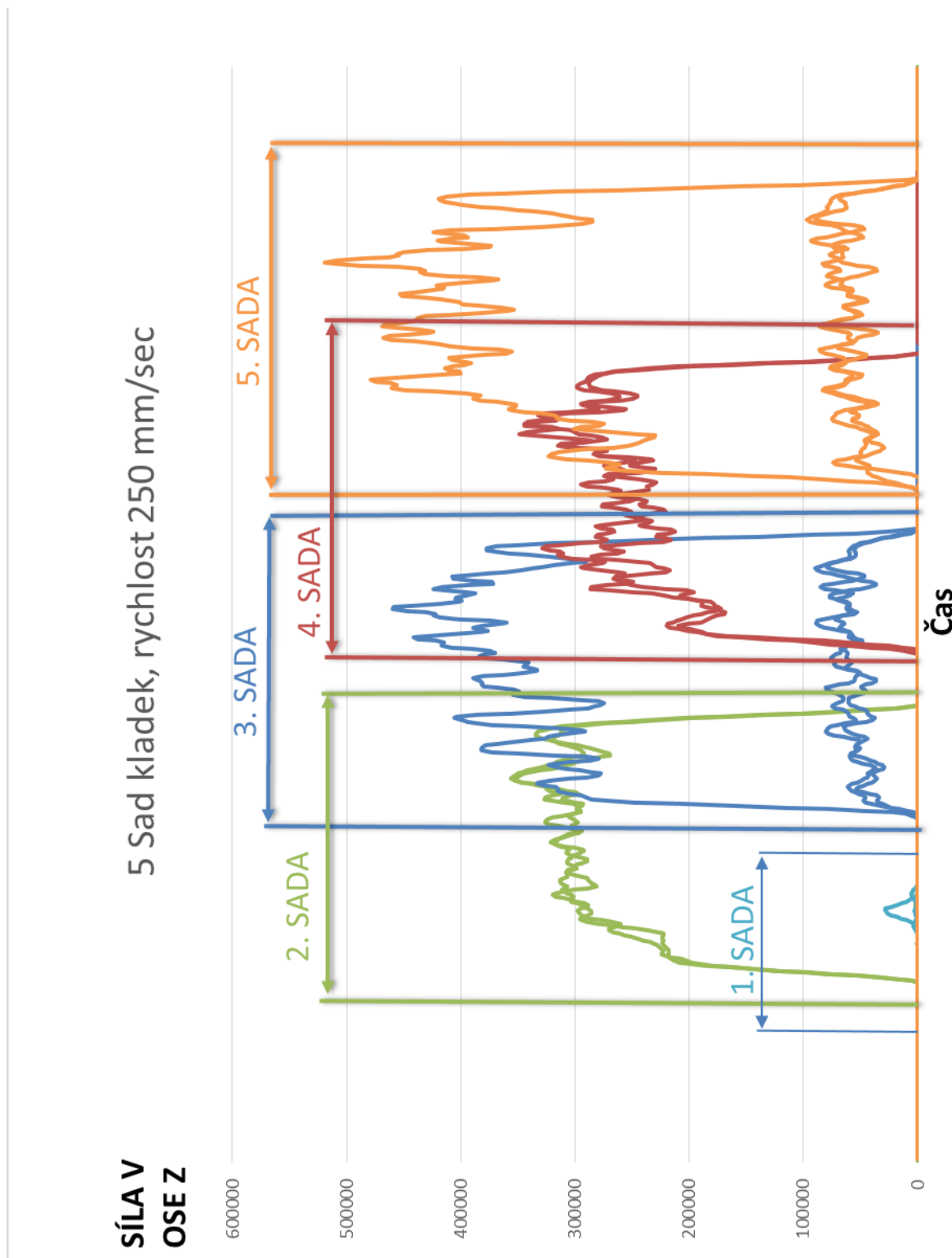


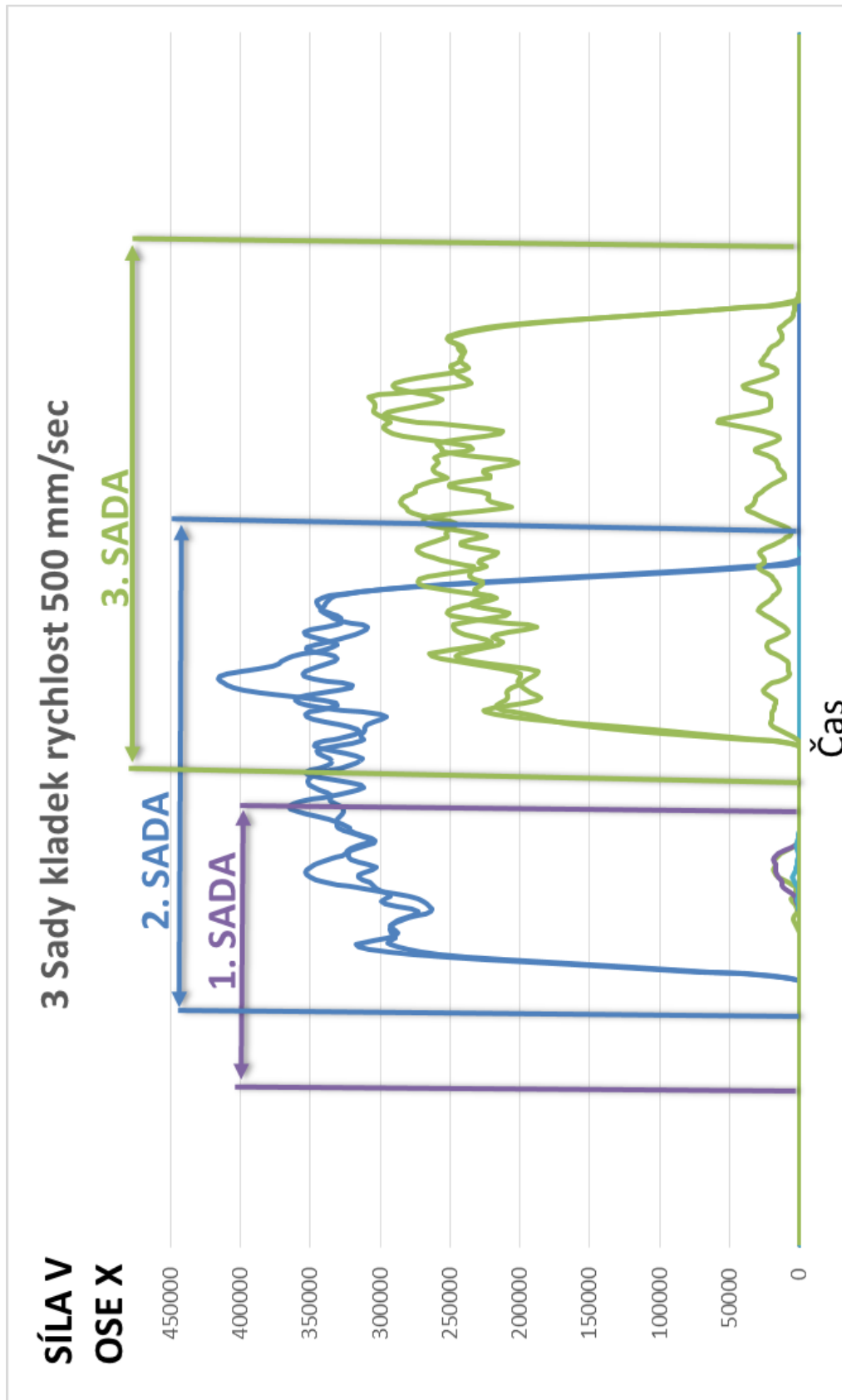


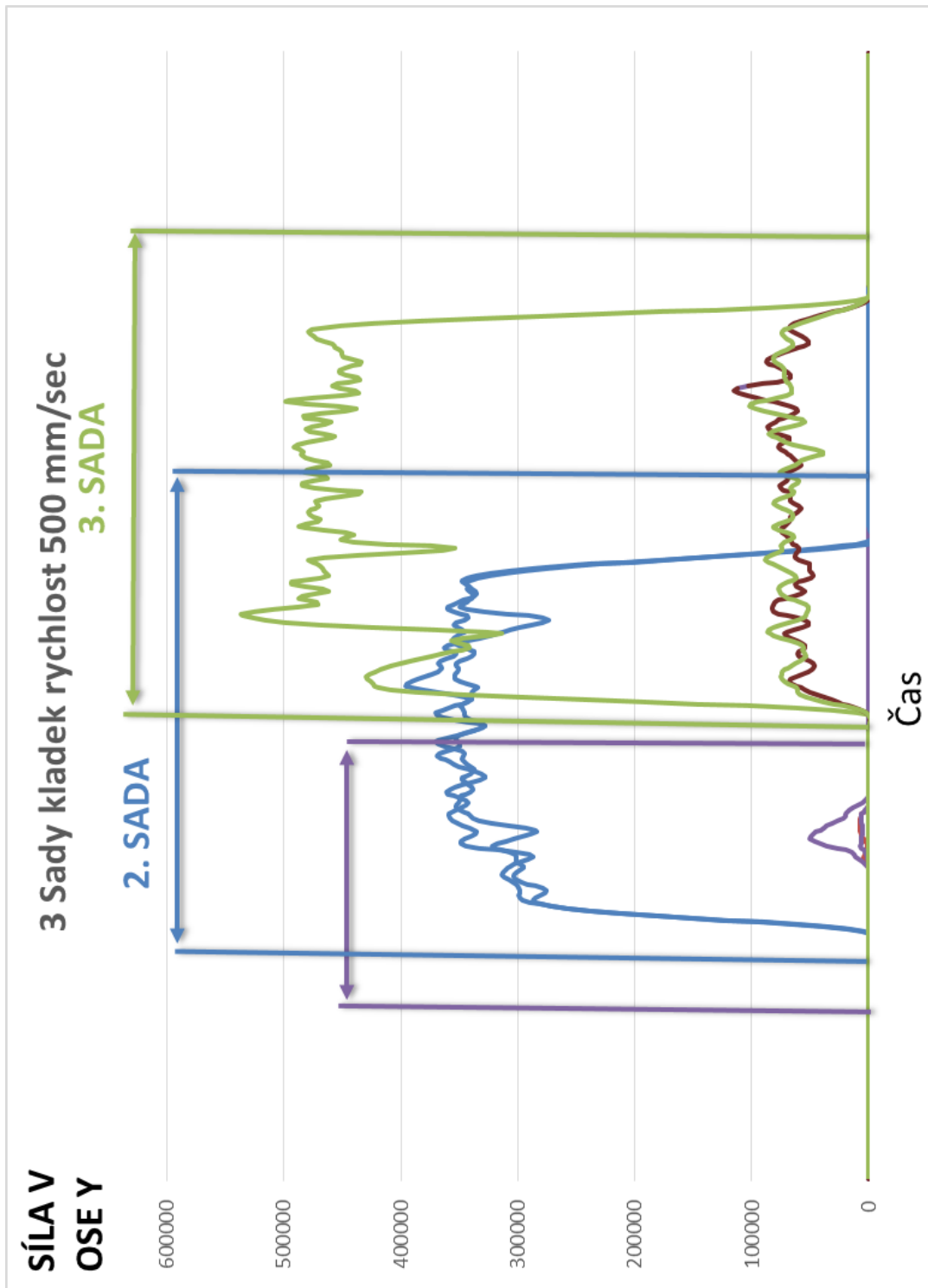


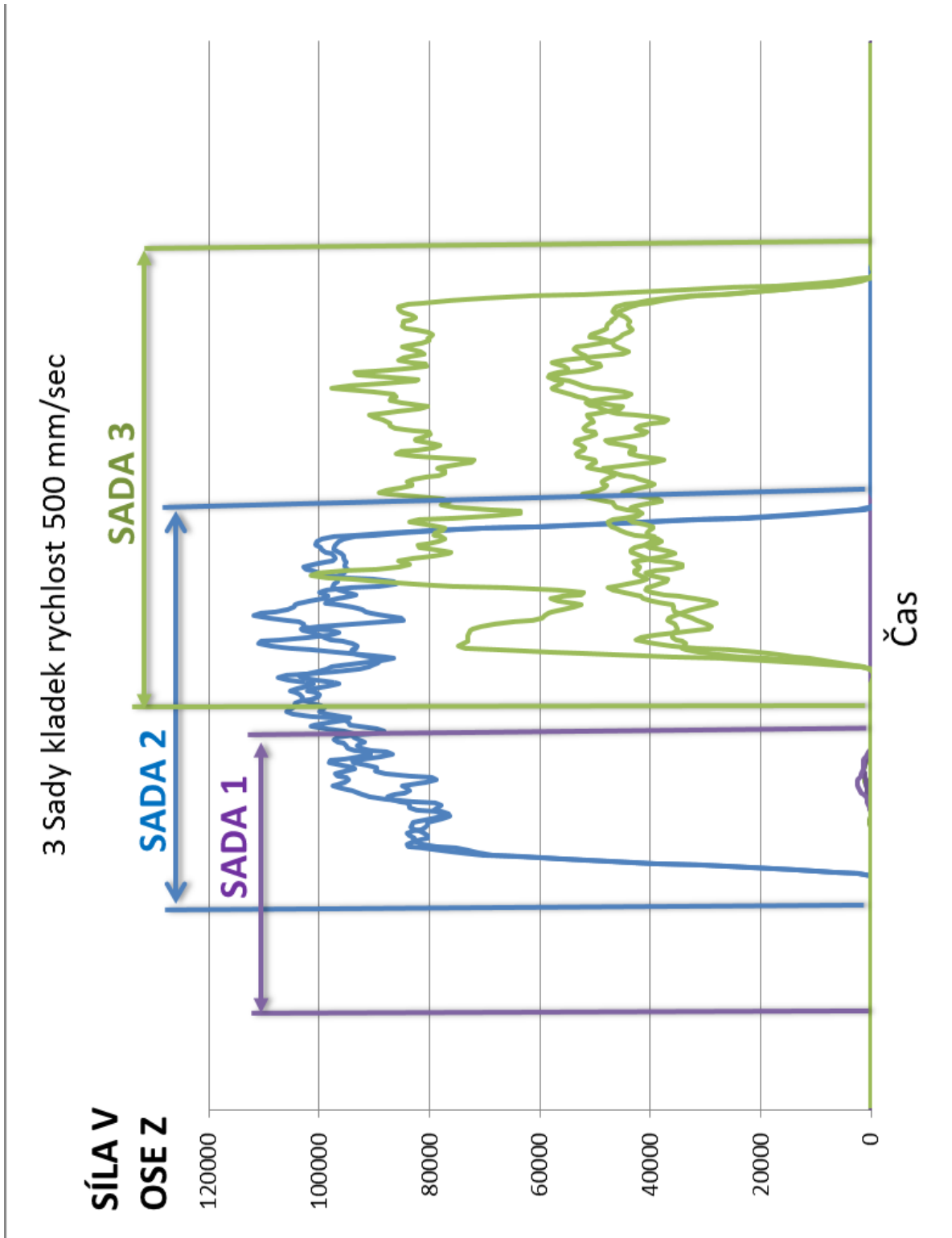


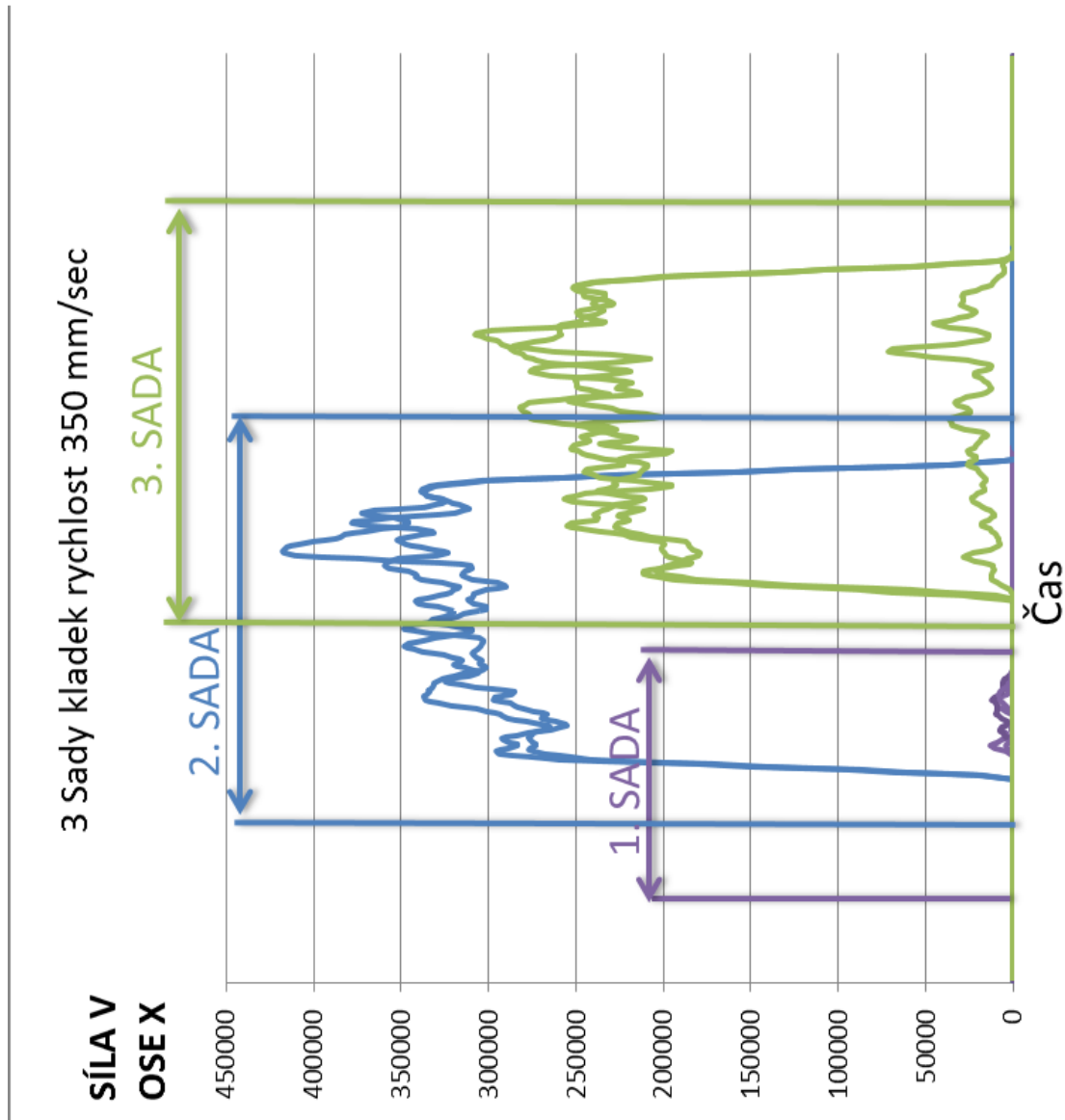


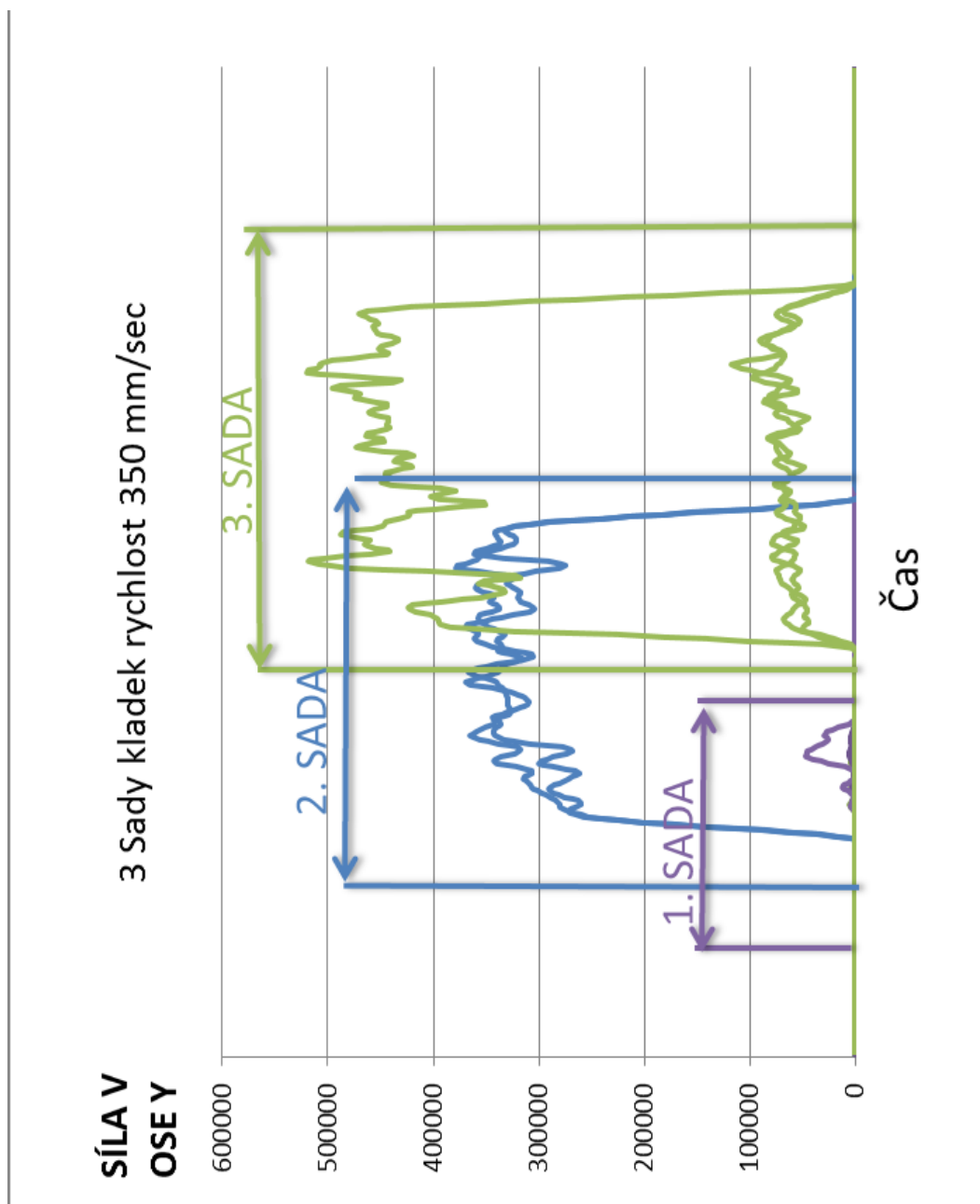


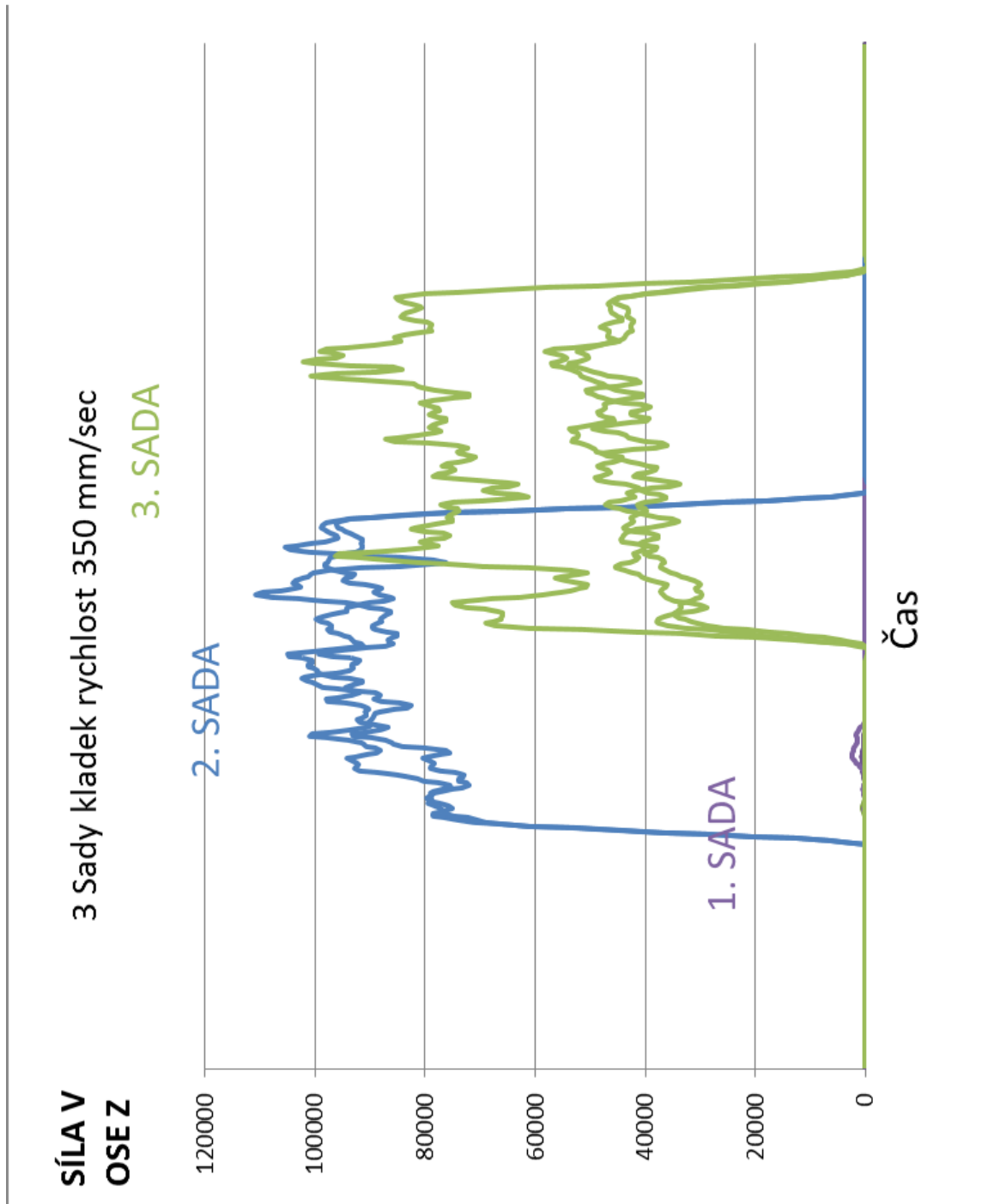




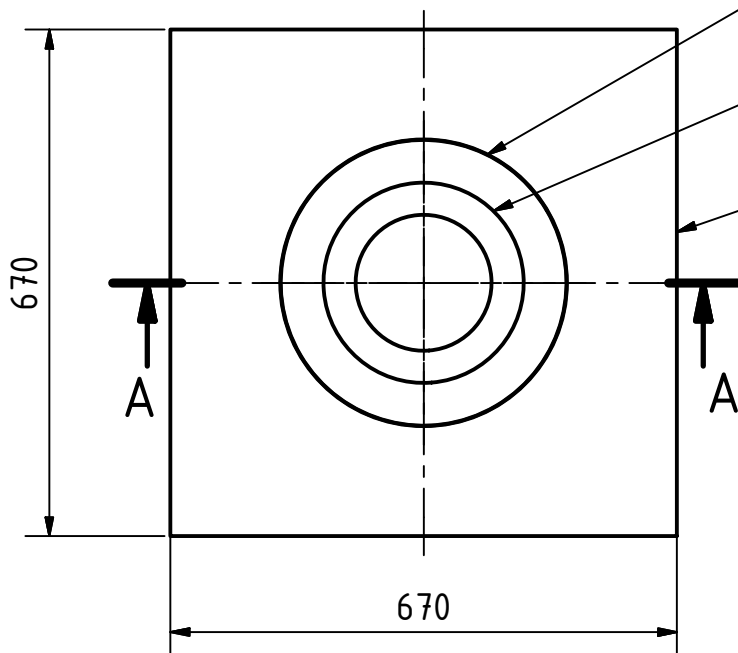
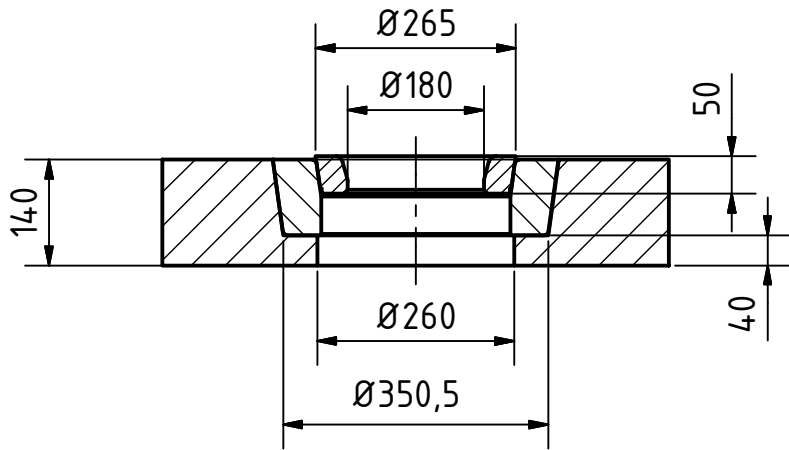




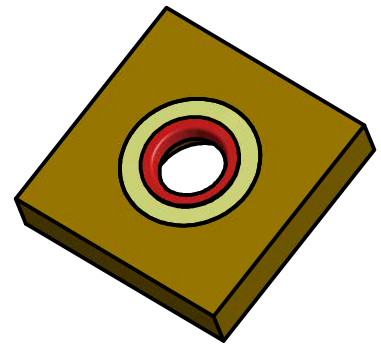




A-A (1 : 10)



POHLED 4 (1 : 20)

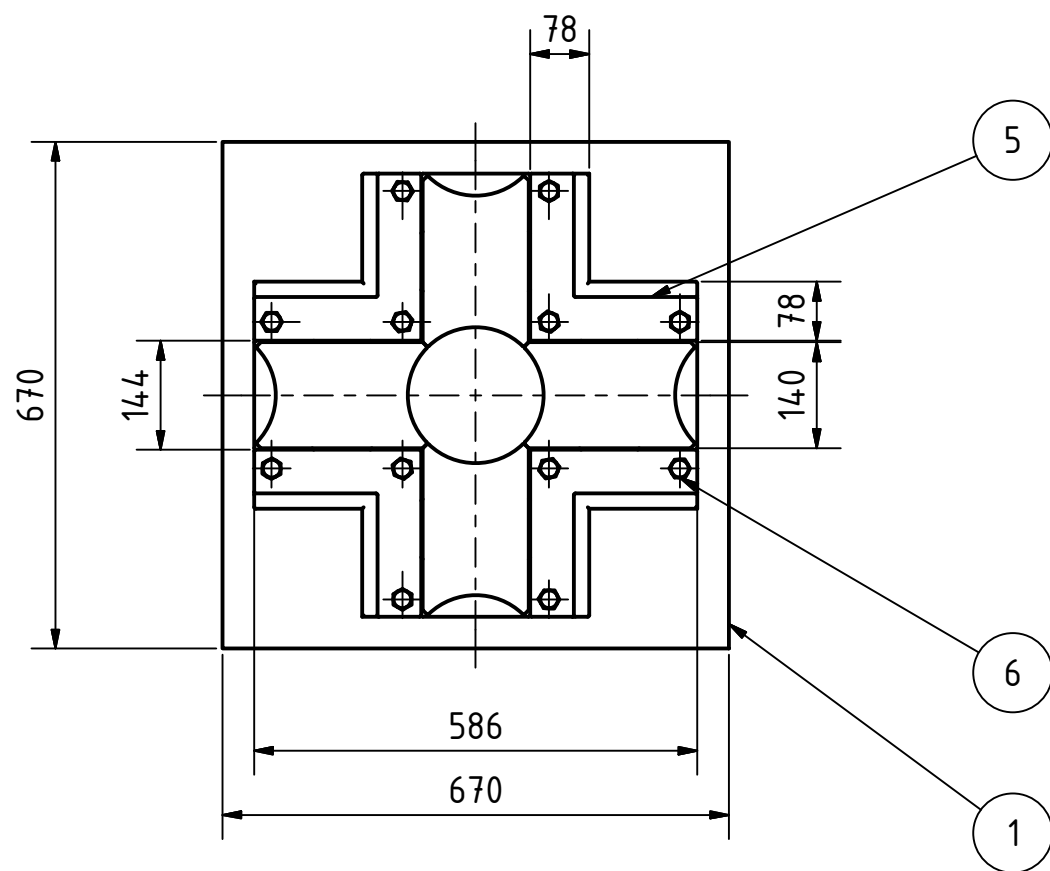


3	1	KROUZEK	23-5-17-21-003	9,688 kg	19 554
2	1	DESKA_PRO_KROUZEK	23-5-17-21-002	38,045 kg	Ocel
1	1	KAZETA_MATRICE	23-5-17-21-001	394,694 kg	11 600
POZICE	KS	NÁZEV SOUBORU	ČÍSLO SOUČÁSTI	HMOTNOST	MATERIÁL

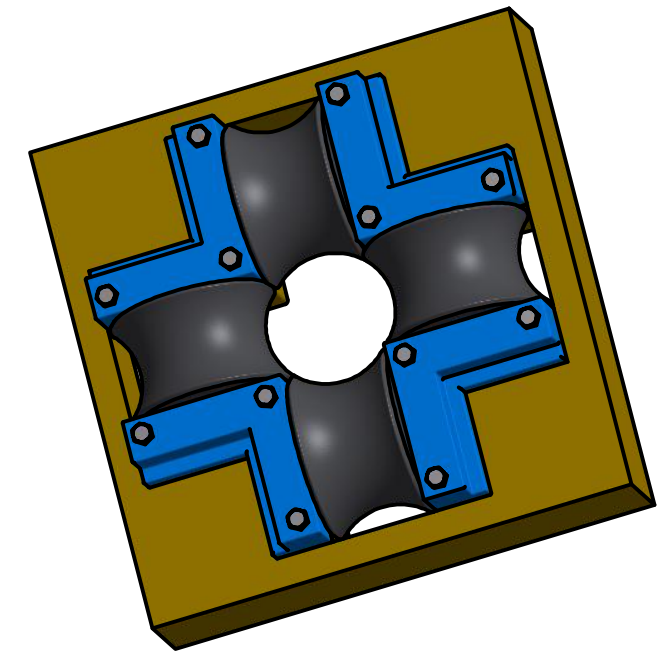
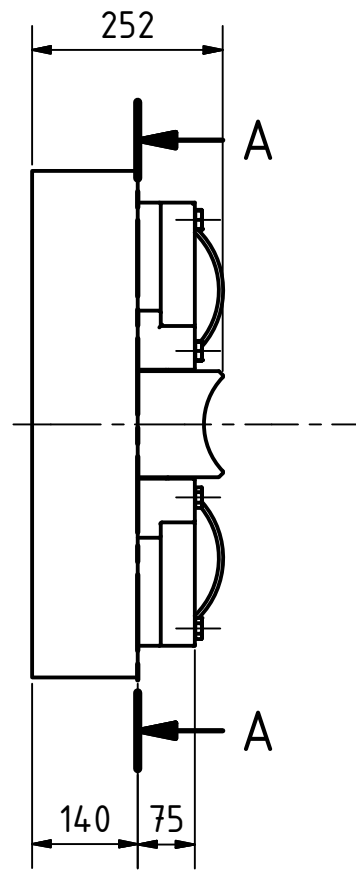
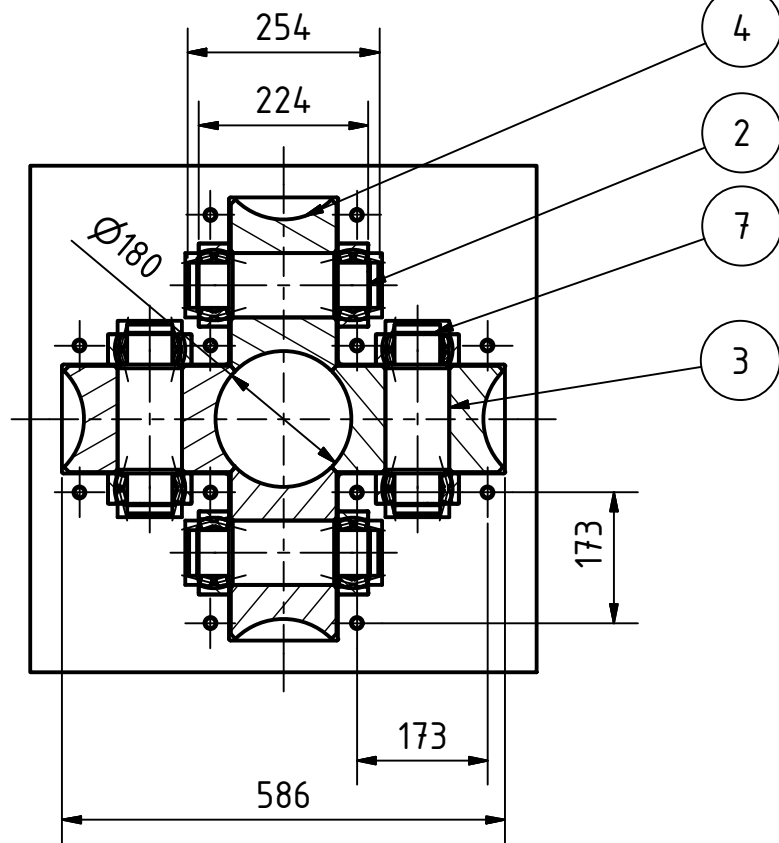
KUSOVNÍK

Měřítko	1:10	Hmotnost (kg)	442	Promítání		Formát	A4
---------	------	---------------	-----	-----------	--	--------	----

<p>FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI</p>	Kreslil	KREJČÍ	Název SES_MATRICE_90
	Datum	23. 5. 2017	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil		Číslo dokumentu 23-5-17-21
	Datum		
	Druh dokumentu	VÝKRES SESTAVY	



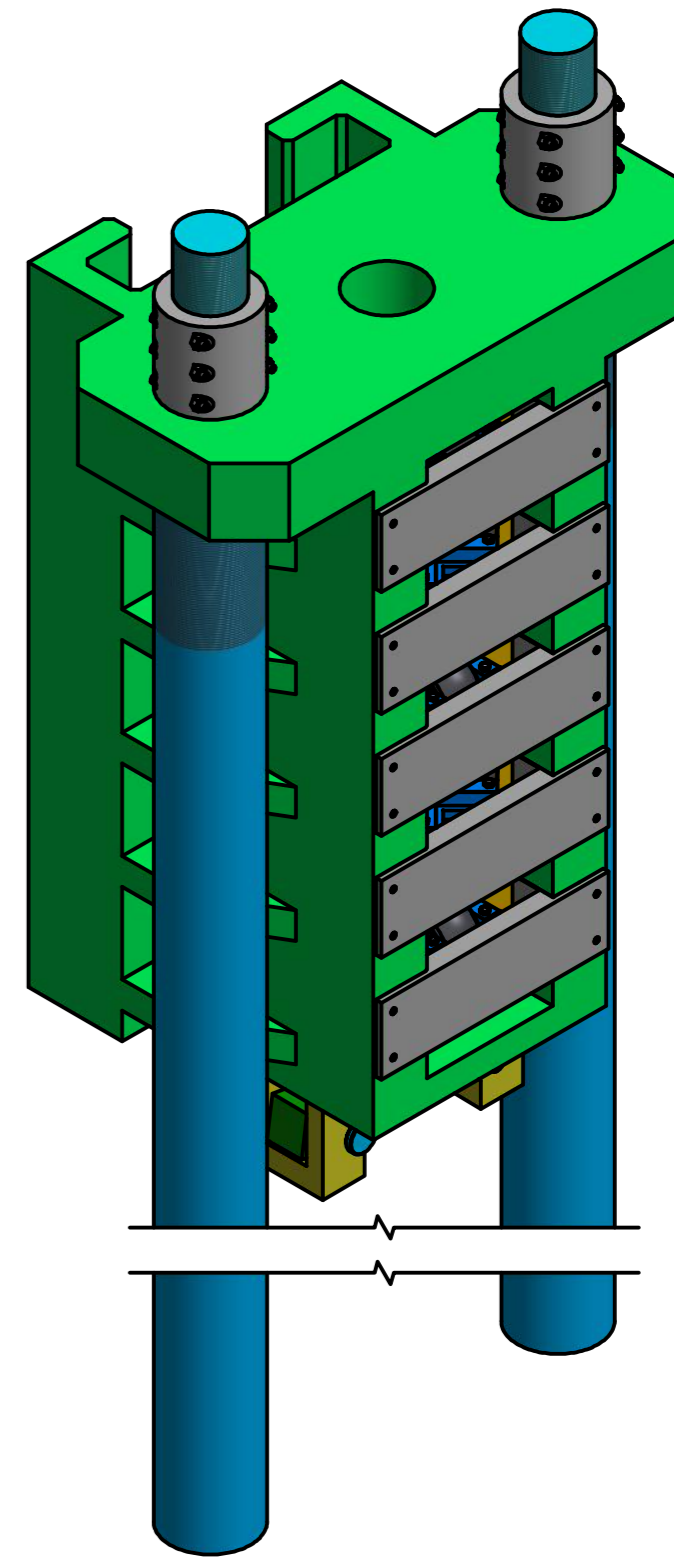
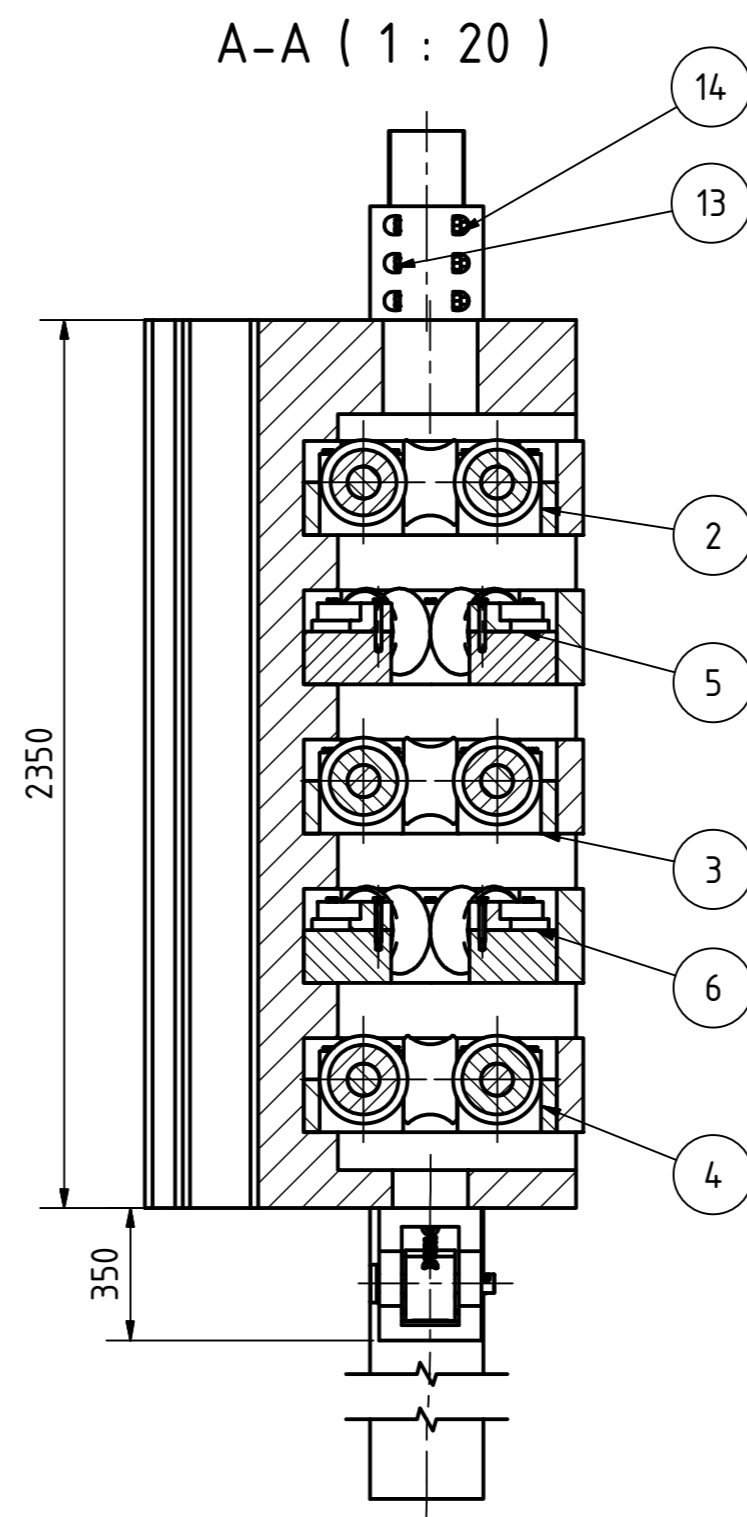
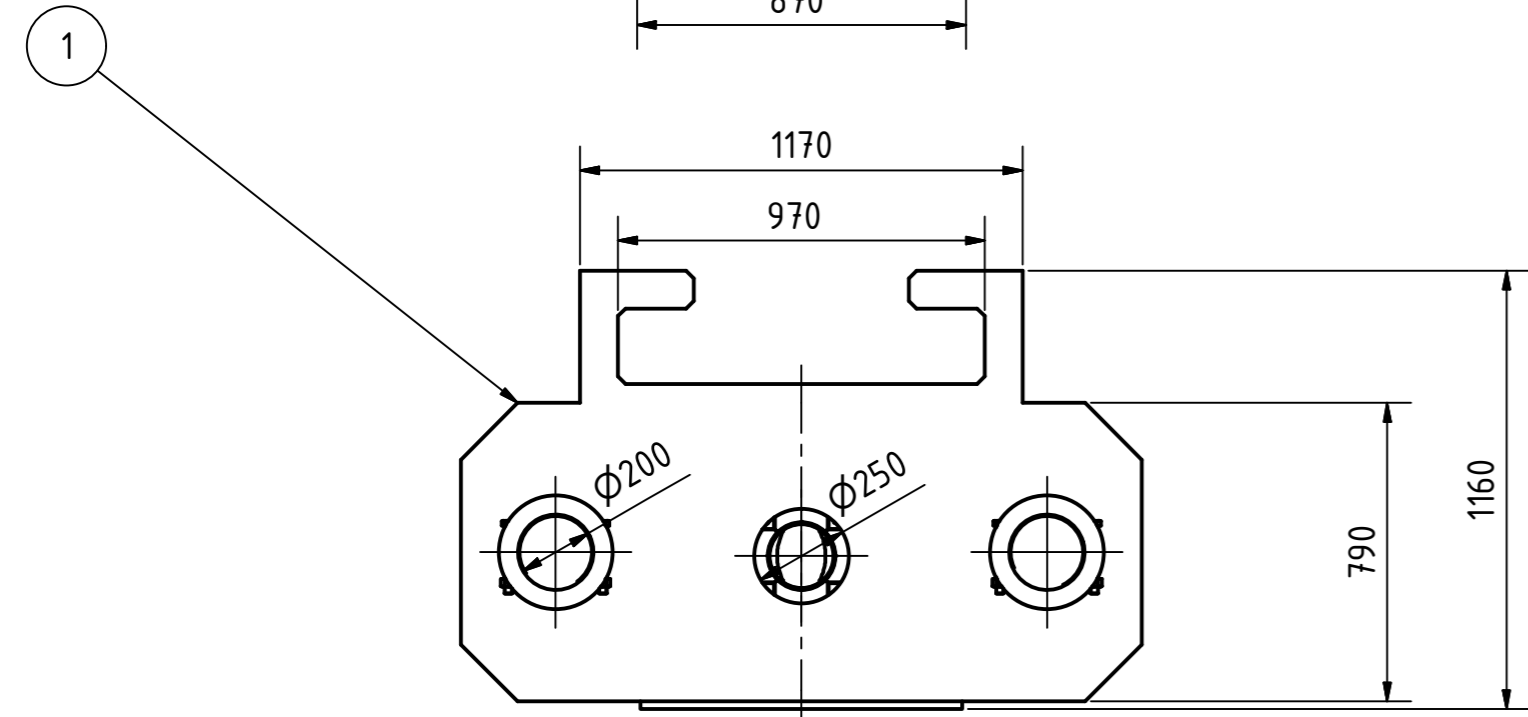
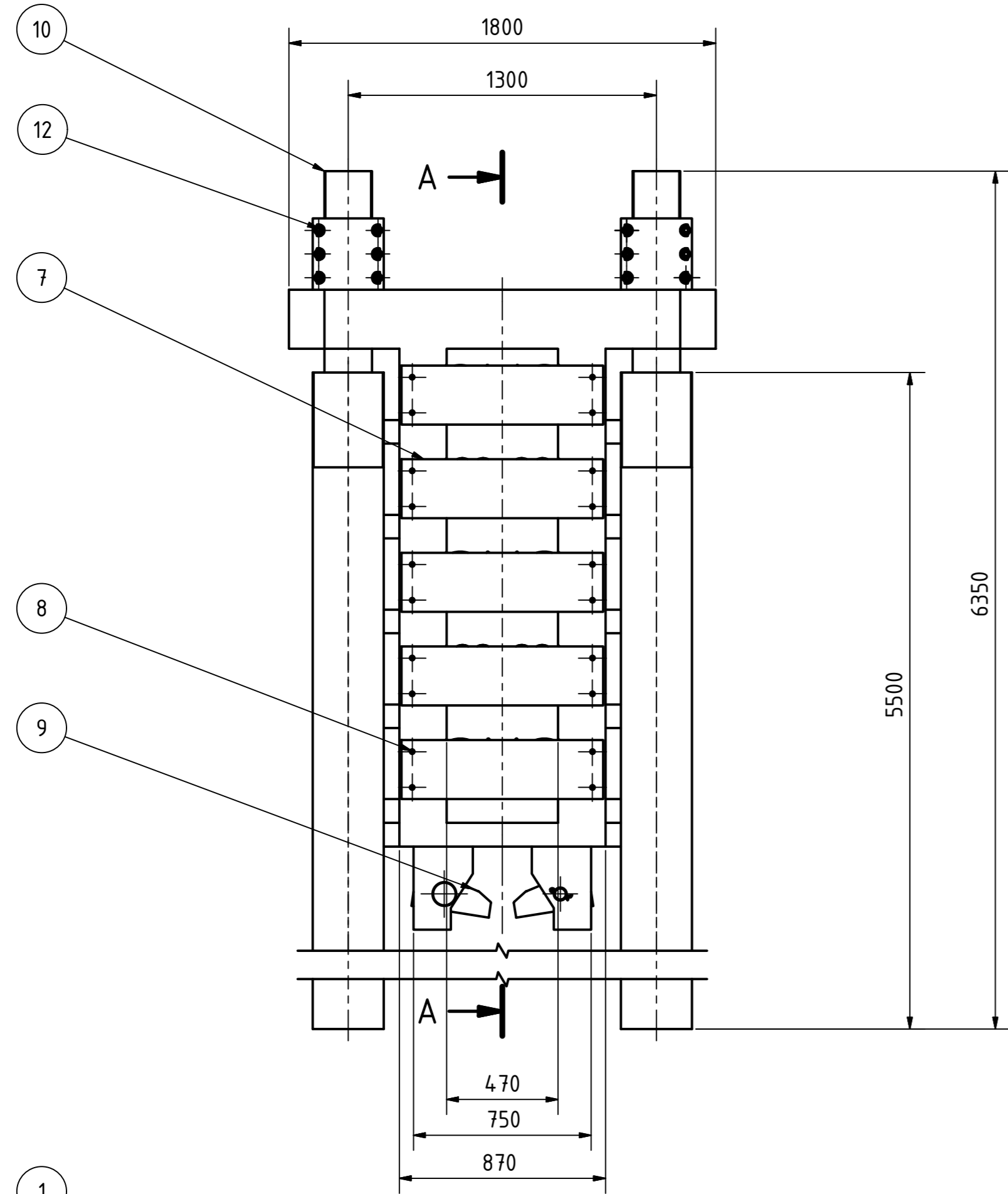
A-A (1 : 10)



7	8	POJISTNY KR 27.7M	ANSI B 27.7M	0,01241 kg	Ocel, měkká
6	12	SROUB - M16 x 120	DIN 933	0,227 kg	Ocel, měkká
5	4	DRZAK_LOZISEK	22-5-17-2-004	10,563 kg	12 050
4	1	KLADKY_90	22-5-17-18	96,639 kg	19 554
3	4	OSA	22-5-17-2-002	8,787 kg	11 600
2	8	LOŽISKO - SKF 22310 E	JIS B 1535 SKF	1,789 kg	Ocel, měkká
1	1	KAZETA_KLADKY	23-5-17-2-001	314,767 kg	11 600
POZICE	KS	NÁZEV SOUBORU	ČÍSLO SOUČÁSTI	HMOTNOST	MATERIÁL

KUSOVNÍK

Měřítko	1:10	Hmotnost (kg)	505	Promítání		Formát	A3
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil	KREJČÍ		Název			
	Datum	22. 5. 2017		SES_KLADKY_90			
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil			Číslo dokumentu			
	Datum			22-5-17-2			
Druh dokumentu			VÝKRES SESTAVY				



14	12	MATICE M20 x 2.5 - 0,8	ANSI-M20x2.5	0,122 kg	Ocel, měkká
13	12	SROUB M20 x 180 - 30	ANSI-M20x2,5x180	0,522 kg	Ocel, měkká
12	2	MATICE_PIST	22-5-17-1-005	11,245 kg	11 600
11	2	PRAC_VALEC	22-5-17-1-004	1695,478 kg	12 050
10	2	PIST	22-5-17-1-003	1338,103 kg	12 050
9	2	SES_SHAZOVACE	22-5-17-7	133,188 kg	11 600
8	20	SROUB M12 x 60	DIN 6912 -M12x60	0,064 kg	Ocel, měkká
7	5	KRYT	22-5-17-1-002	105,170 kg	12 050
6	1	SES_KLADKY_86_OTOC	22-5-17-6	518,443 kg	Ocel
5	1	SES_KLADKY_88_OTOC	22-5-17-5	508,617 kg	Ocel
4	1	SES_kladky_85	22-5-17-4	515,446 kg	Ocel
3	1	SES_KLADKY_87	22-5-17-3	519,183 kg	Ocel
2	1	SES_KLADKY_90	22-5-17-2	503,784 kg	Ocel
1	1	POHYBLIVY_RAM	22-5-17-1-001	9939,607 kg	Železo, lité
POZICE	KS	NÁZEV SOUBORU	ČÍSLO SOUČÁSTI	HMOTNOST	MATERIÁL

KUSOVNÍK					
Měřítko	1:20	Hmotnost (kg)	19320	Promítání	Formát
					A2
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil	KREJČÍ		Název	
	Datum	23. 5. 2017		PROTAHOVACÍ STROJ	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil			Číslo dokumentu	
	Datum			23-5-17-S-01	
Druh dokumentu				VÝKRES SESTAVY	
List 1 Listů 1					