

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie – technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Výroba formy pro kompozitní talířové pružiny

Autor: **Bc. Martin Mrázek**

Vedoucí práce: **Ing. Josef Sklenička, Ph.D.**

Akademický rok 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin MRÁZEK**

Osobní číslo: **S17N0045P**

Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Strojírenská technologie - technologie obrábění**

Název tématu: **Výroba formy pro kompozitní talířové pružiny**

Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

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

1. Úvod
2. Rozbor stávajícího stavu - specifikace požadavků
3. Návrh formy
4. Technologie výroby
5. Technicko - ekonomické hodnocení
6. Závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **50 - 70 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

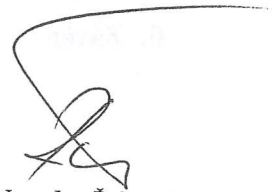
- MAZUMDAR, Sanjay, 2001. Composites Manufacturing: Materials, Product, and Process Engineering. B.m.: CRC Press. ISBN 978-1-4200-4198-9
- BARBERO, Ever J., 2010. Introduction to Composite Materials Design, Second Edition. 2 edition. Boca Raton: CRC Press. ISBN 978-1-4200-7915-9
- STANĚK, Jiří a NĚMEJC, Jiří. Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005. 58 s. ISBN 80-7043-363-9

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Josef Sklenička, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění
Konzultant diplomové práce: **Ing. František Sedláček**
Regionální technologický institut

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2018**
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2019**


Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 18. října 2018

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Výroba formy pro kompozitní talířové pružiny“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Plzeň

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Mrázek	Jméno Martin		
STUDIJNÍ OBOR	N2301 „Strojírenská technologie-technologie obrábění“			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Sklenička, Ing. Ph.D.	Jméno Josef		
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ		Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Výroba formy pro kompozitní talířové pružiny			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2019
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	114	TEXTOVÁ ČÁST	72	GRAFICKÁ ČÁST	44
---------------	-----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Diplomová práce se zabývá kompozitními talířovými pružinami určenými pro systém odpružení vozu Formula Student. První část je zaměřena na návrh pružin samotných a to včetně analýzy současného stavu a dat získaných v minulé závodní sezóně. Návrh pružin je realizován za pomoci výpočtů MKP a SW Matlab.</p> <p>Následující část zabývající se návrhem formy, zohledňuje velikost roční produkce, technologii výroby pružin a strojní zázemí dostupné studentskému týmu při ZČU.</p> <p>Třetí část je věnována vlastní výrobě formy, jejímu testování a testování prototypových pružin.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	<p>technologie výroby, uhlíkový kompozit, talířová pružina, odpružení vozu, Formula Student</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Mrázek	Name Martin	
FIELD OF STUDY	B2301 „Department of Machining Technology“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Sklenička, Ing. Ph.D.	Name Josef	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Manufacturing technology of mold for composite disc springs		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining Technology	SUBMITTED IN	2019
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	114	TEXT PART	72	GRAPHICAL PART	44
----------------	-----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The diploma thesis deals with composite disc springs designed for Formula Student suspension system. The first part is focused on the design of the springs, including the data analysis obtained in the last racing season. The design of springs is realized by calculations of FEM and SW Matlab. The next part deals with the design of the mold. The last part deals with the production of molds, production of springs and testing
KEY WORDS	manufacturing technology, carbon fiber composite, disc springs, suspension, Formula Student

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Josefu Skleničkovi, Ph.D., konzultantům Ing. Františku Sedláčkovi a Ing. Michalu Skovajsovi za odborné vedení a podnětné návrhy k práci.

Plzeň

.....

podpis autora

Obsah

Úvod	1
1.1 Formula Student	1
1.2 Plán řešení	2
2 Stav techniky	5
2.1 Talířové pružiny	5
2.2 Kompozitní materiály	7
2.2.1 Druhy kompozitních materiálů	7
2.2.2 Polymerní matrice	8
2.2.3 Vlákna	8
2.2.4 Pevnost rovinného ortotropního materiálu (ortotropní laminy)	11
2.3 Technologie výroby kompozitních dílů	12
2.3.1 Laminování do otevřené formy	12
2.3.2 Laminování do uzavřené formy	12
3 Stávající stav	14
3.1 Odpružení podvozku UWB05	14
3.2 Analýza zatížení stávajících pružin	17
3.2.1 Výpočtový algoritmus	17
3.2.2 Vyhodnocení	19
4 Návrh pružin	24
4.1 Specifikace požadavků	24
4.1.1 Předběžný CAD návrh disků	25
4.2 Návrh rozměrových parametrů	26
4.2.1 MKP výpočet a regresivní funkce	26
4.2.2 Návrh rozměrů v prostředí Matlab	31
4.2.3 Finální CAD návrh disků	34
5 Návrh technologie výroby	38
5.1 Laminování	38
5.2 Dohotovení	38
6 Návrh formy a potřebných přípravků	41
6.1 Návrh formy	41
6.1.1 Materiál formy	41
6.1.2 Základní koncepce formy	41
6.1.3 Návrh prototypové formy	43

6.1.4	Návrh finálních forem	45
6.2	Návrh přípravku pro řezání vodním paprskem	47
7	Výroba prototypových forem	49
7.1	Technologie výroby	49
7.2	Rozměrová kontrola	50
8	Výroba prototypových disků a testování	53
8.1	Laminace	53
8.2	Dohotovení	59
8.3	Testování	63
8.3.1	Provedené testy	63
8.3.2	Diskuze výsledků	66
9	Technicko - ekonomické hodnocení	70
10	Závěr	72
	Literatura	73
	Seznam příloh	75

Seznam obrázků

Obr. 1	Vývojový diagram postupu práce	3
Obr. 2	Časový plán řešení	4
Obr. 3	Základní rozměry talířových pružin	5
Obr. 4	Charakteristika talířových pružin [1]	6
Obr. 5	Řazení pružin, paralelní vlevo, seriové uprostřed, kombinované vpravo [2]	6
Obr. 6	Příklad vrstvení laminátu[3]	10
Obr. 7	Materiálové směry v lamině [4]	11
Obr. 8	Otevřené laminování [5]	13
Obr. 9	Uzavřené laminování [6]	13
Obr. 10	Přední náprava vozu UWB05	14
Obr. 11	Zadní náprava vozu UWB05	15
Obr. 12	Umístění tlumičů na voze UWB05	15
Obr. 13	Tlumič vozu UWB05	16
Obr. 14	Profil trati, boční přetížení - Endurance FSG 2018	17
Obr. 15	Zámky pružiny	24
Obr. 16	Disk s vnějším zámkem - obecný tvar	25
Obr. 17	Disk s vnitřním zámkem - obecný tvar	25
Obr. 18	Model pro výpočet MKP	27
Obr. 19	Zasítovaný model	27
Obr. 20	Okrajové podmínky	29
Obr. 21	Definice skladby materiálu	29
Obr. 22	Ukázka definice vstupních parametrů a okrajových podmínek	34
Obr. 23	Disk primární sady s vnějším zámkem	35
Obr. 24	Disk primární sady s vnitřním zámkem	35
Obr. 25	Disk sekundární sady s vnějším zámkem	36
Obr. 26	Disk sekundární sady s vnitřním zámkem	36
Obr. 27	Sestava s tlumičem	37
Obr. 28	Postup výroby pružiny	38
Obr. 29	Vylaminovaný díl vs. finální díl	39
Obr. 30	Perma-grit 19 mm [7]	39
Obr. 31	Problém delaminace při frézování [8]	40
Obr. 32	Schématické znázornění formy	43
Obr. 33	Schématické znázornění desky s více disky	43
Obr. 34	Výsledný návrh prototypové formy	44
Obr. 35	Navrtání důlku v prototypové formě pro přesné ustavení vyla- minovaného dílu na řezacím stroji	45

Obr. 36	Výsledný vylaminovaný díl	45
Obr. 37	Výsledný návrh finální formy pro primární sadu	46
Obr. 38	Výsledný návrh finální formy pro sekundární sadu	46
Obr. 39	Přípravek pro řezání vodním paprskem - primární sada	47
Obr. 40	Přípravek pro řezání vodním paprskem se založeným dílem - primární sada	48
Obr. 41	Detail čepu pro přesné uložení dílu v přípravku	48
Obr. 42	Umístění prvního nulového bodu	49
Obr. 43	Umístění druhého nulového bodu	50
Obr. 44	Obrobená forma upnutá v obráběcím stroji	50
Obr. 45	Porovnání vyrobené spodní části formy pro sekundární sadu s CAD modelem (CFDS06-01-00-001)	51
Obr. 46	Porovnání vyrobené horní části formy pro sekundární sadu s CAD modelem (CFDS06-01-00-002)	52
Obr. 47	Porovnání vyrobené horní části formy pro primární sadu s CAD modelem (CFDS06-01-01-002)	52
Obr. 48	Vývojový diagram laminace	54
Obr. 49	Výroba o-kroužku	54
Obr. 50	Výroba nástřihů	55
Obr. 51	Naseparované formy	55
Obr. 52	Kladení jednotlivých vrstev prepregu	56
Obr. 53	Formy umístěné v autoklávu	56
Obr. 54	Kontrolní obrazovka autoklávu	57
Obr. 55	Pohled na vytvrzený díl ve formě	58
Obr. 56	Vylaminovaný polotovár pro disky primární sady	59
Obr. 57	Vylaminovaný polotovár pro disky sekundární sady	59
Obr. 58	Polotovár pro disky primární sady zbavený přebytečné pryskyřice	60
Obr. 59	Polotovár pro disky sekundární sady zbavený přebytečné prys- kyřice	60
Obr. 60	Polotovár pro disky umístěný v řezacím stroji	61
Obr. 61	Vyřezané disky primární sady	61
Obr. 62	Vyřezané disky sekundární sady	62
Obr. 63	Body měření tloušťky	63
Obr. 64	Měření tuhosti - disk s vnějším zámkem	63
Obr. 65	Měření tuhosti - disk s vnitřním zámkem	64
Obr. 66	Měření charakteristiky disků	64
Obr. 67	Měření charakteristiky disků - detail	65
Obr. 68	Měření charakteristiky disků - report	68

Seznam tabulek

Tab. 1	Doporučené rozměry pružiny [2]	5
Tab. 2	Vliv tření na zatížení pružiny [2]	6
Tab. 3	Mechanické vlastnosti polymerních matric [9]	8
Tab. 4	Mechanické vlastnosti vláken [10]	10
Tab. 5	Vývoj hmotnosti pružin	16
Tab. 6	Charakteristiky pružin	18
Tab. 7	Rozměry disků a naměřené hodnoty pro primární sadu	28
Tab. 8	Rozměry disků a naměřené hodnoty pro sekundární sadu	28
Tab. 9	Hledané rozměrové parametry sady a disků	31
Tab. 10	Okrajové podmínky sekundární sady	31
Tab. 11	Okrajové podmínky primární sady	32
Tab. 12	Část vygenerovaných hodnot pro primární sadu	32
Tab. 13	Část vygenerovaných hodnot pro sekundární sadu	33
Tab. 14	Zvolené rozměry sad	33
Tab. 15	Srovnání vhodnosti metod dohotovení dílu	40
Tab. 16	Srovnání materiálů pro výrobu forem	42
Tab. 17	Měření tloušťky disků	67
Tab. 18	Hmotnost disků	67
Tab. 19	Označení vzorků	67
Tab. 20	Náklady na výrobu prototypových forem	70
Tab. 21	Náklady na výrobu prototypových disků	71

Seznam grafů

Graf 1	Rozdělení bodů disciplín v soutěži FSAE	2
Graf 2	Charakteristika sestavy pružin UWB05	16
Graf 3	Průběh stlačení tlumičů - Endurance FSG 2018	18
Graf 4	Průběh stlačení pružin, přední tlumič - Endurance FSG 2018	20
Graf 5	Průběh stlačení pružin, zadní tlumič - Endurance FSG 2018	20
Graf 6	Průběh síly v pružině, přední tlumič - Endurance FSG 2018	21
Graf 7	Průběh síly v pružině, zadní tlumič - Endurance FSG 2018	21
Graf 8	Kmity pružiny, přední tlumič, primární pružina, minimální amplituda 0,5 mm, počet kmitů v grafu=29.	22
Graf 9	Kmity pružiny, přední tlumič, sekundární pružina, minimální amplituda 1 mm, počet kmitů v grafu=48.	22
Graf 10	Kmity pružiny, zadní tlumič, primární pružina, minimální amplituda 0,5 mm, počet kmitů v grafu=16.	23
Graf 11	Kmity pružiny, zadní tlumič, sekundární pružina, minimální amplituda 1 mm, počet kmitů v grafu=44.	23
Graf 12	Průběh tlaku a teploty v průběhu vytvrzení	57
Graf 13	Průběh stlačení sekundárního disku s vnějším zámkem	68
Graf 14	Průběh stlačení sekundárního disku s vnitřním zámkem	69
Graf 15	Průběh stlačení primárního disku s vnějším zámkem	69
Graf 16	Průběh stlačení primárního disku s vnitřním zámkem	69

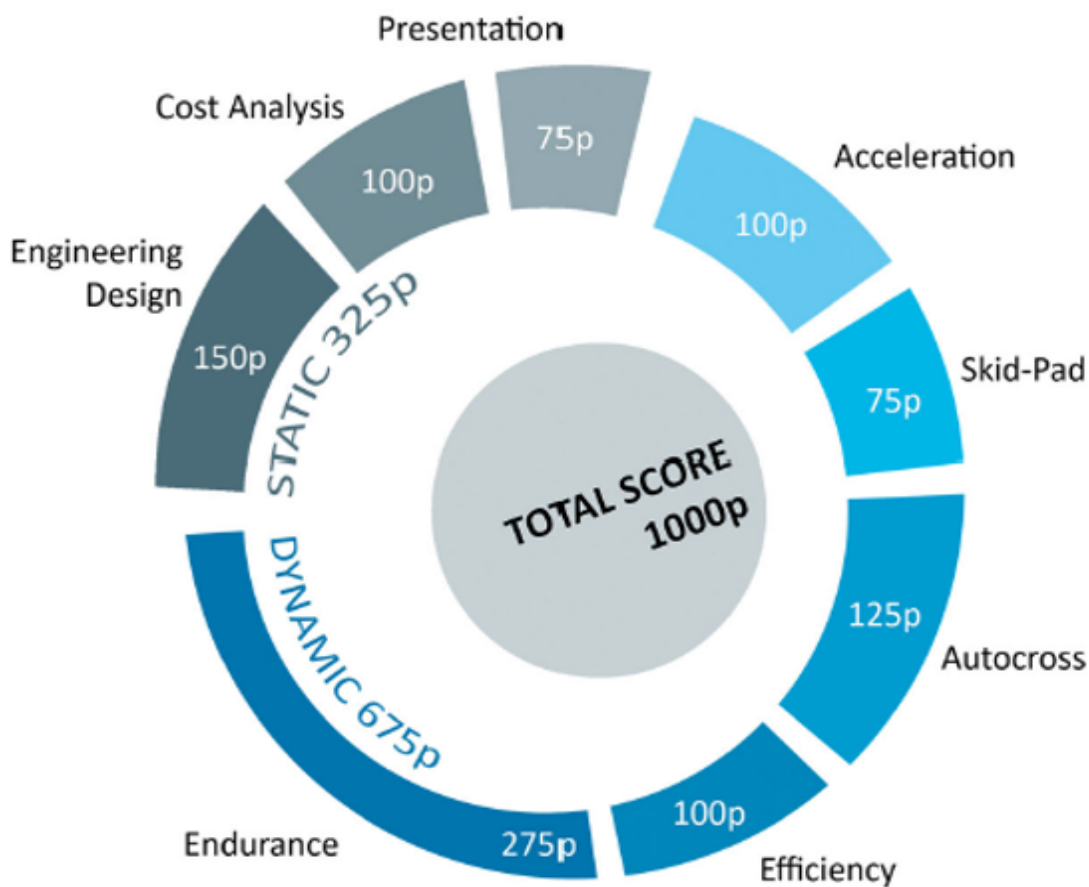
Úvod

Cílem této Diplomové práce je realizovat návrh a výrobu talířových kompozitních pružin pro odpružení podvozku vozu Formula Student (dále jen "FSAE") za účelem snížení hmotnosti vozu. Výsledný návrh musí zcela splňovat pravidla stanovená soutěží FSAE. V technologii výroby musí být zohledněny výrobní možnosti týmu UWB Racing Team Pilsen (dále jen "RTP") a objem roční produkce.

V úvodu práce bude proveden rozbor stávajícího řešení odpružení a analýza jízdnic dat naměřených v předešlé závodní sezóně. Tyto získané údaje a analýza budou hlavním východiskem pro návrh pružin. Následně bude proveden návrh forem, přípravků a technologie potřebných pro jejich výrobu. Dále bude realizována výroba forem a prototypových disků pružiny, na kterých budou provedeny testy. Na základě testů bude rozhodnuto, zda je možné přejít k výrobě finálních forem.

1.1 Formula Student

Formula SAE, v Evropě označovaná jako Formula Student, je mezinárodní konstruktérská univerzitní soutěž. Úkolem je navrhnout a postavit soutěžní monopost, který splňuje pravidla soutěže. Soutěž zahrnuje celkem tři kategorie. Kategorii pro vozy se spalovacím motorem, pro vozy s elektrickým motorem a pro bezpilotní vozy. Soutěž je hodnocena 1000 body, které může každý tým získat ze statických a dynamických disciplín (viz Graf 1). Mezi statické disciplíny se řadí Business Plan Presentation, Cost Analysis a Engineering design. Disciplíny Acceleration, Skid-Pad, Autocross, Endurance a Efficiency spadají do kategorie dynamické. Technická přejímka je rozdělena do několika fází. Během technické přejímky je detailně zkoumáno, zda je vůz postaven v souladu s pravidly soutěže, které mají rozsah přibližně 180 stran. Během Testu hluku (pro vozy se spalovacím motorem) se kontroluje, zda je provozní hluk ve stanovených limitech, a to jak při volnoběžných otáčkách motoru, tak v otáčkách provozních. Ty jsou definovány výpočtem na základě vrtání a zdvihu motoru. Při testu náklonu vozu je v první fázi (45°) kontrolován únik provozních kapalin. Druhá fáze (60°) simuluje boční přetížení vozu v zatáčce, přičemž nesmí dojít k odlehnutí pneumatiky vozu od testovací stolice. Během testu brzd se kontroluje schopnost vozu zablokovat všechna 4 kola a udržet při brzdění přímý směr jízdy. Bez úspěšného splnění technické přejímky není možné se s vozem účastnit dynamických disciplín.

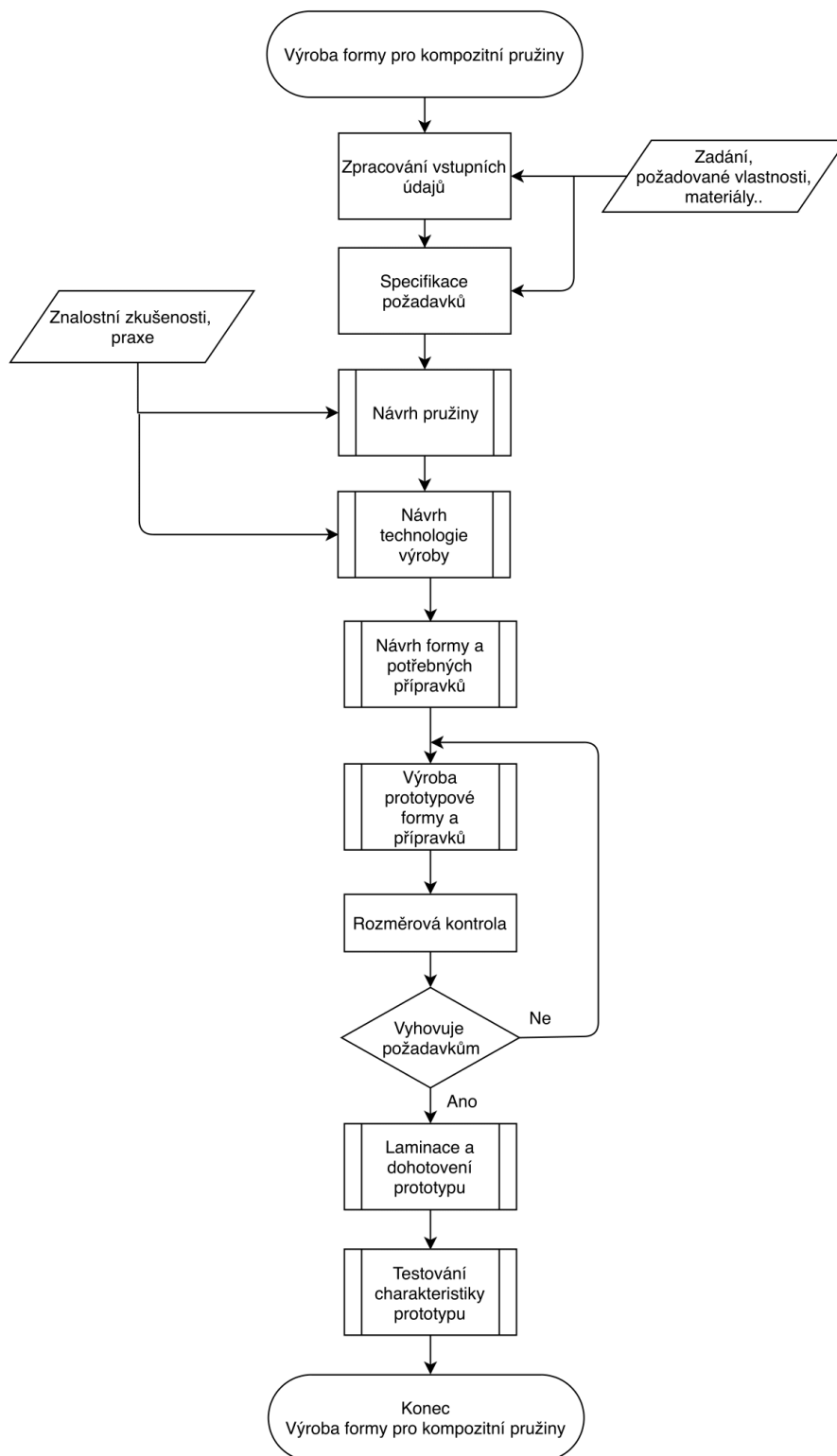


Graf 1: Rozdělení bodů disciplín v soutěži FSAE

1.2 Plán řešení

Na počátku byl navržen postup řešení v podobě vývojového diagramu, který je zobrazen na Obr. 1.

Pro tento postup byl navržen časový plán, který byl v průběhu řešení práce aktualizován a doplňován. Konečný časový plán je znázorněn na Obr. 2.



Obr. 1: Vývojový diagram postupu práce

	2018							2019																						
	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
Získání teoretického základu	■	■	■	■	■	■	■																							
Rešerše																														
Taliřové pružiny				■	■	■	■																							
Kompozitní materiály				■	■	■	■																							
Technologie výroby kompozitních dílů				■	■	■	■																							
Formy pro výrobu kompozitních dílů				■	■	■	■																							
Stávající stav																														
Odpružení podvozku UWB05								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Analýza zatížení stávajících pružin								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Návrh Pružin																														
Specifikace požadavků																														
Předběžný návrh pružiny																														
Návrh rozměrových parametřů																														
Finální CAD návrh																														
Návrh technologie výroby																														
Laminování																														
Dohotovění																														
Návrh formy a potřebných přípravků																														
Návrh formy																														
Návrh přípravků																														
Výroba prototypové formy a přípravků																														
Výroba formy																														
Rozměrová kontrola																														
Výroba prototypových dílů a testování																														
Laminace																														
Dohotovění																														
Testování prototypových pružin																														
Závěrečné úpravy a kontrola																														
Kontrola obsahu práce																														
Kontrola zdrojů a příloh																														
Korektura																														
Závěrečná kompletace																														
Plánovaná rezerva																														
Odevzdání DP																														

Obr. 2: Časový plán řešení

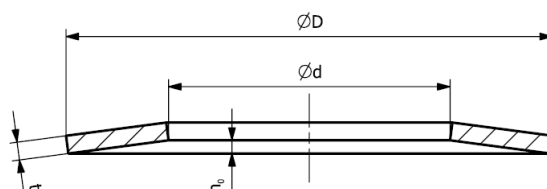
2 Stav techniky

2.1 Talířové pružiny

Mezikruhové prstence ve tvaru dutého komolého kužele, způsobilé přijímat vnější síly působící v jejich ose proti sobě. Průřez pružiny je zpravidla obdélníkový. Pružiny větších rozměrů ($t > 6 \text{ mm}$) se někdy provádějí s obroběnými dosedacími plochami.

Talířové pružiny jsou určeny pro velká zatížení při malých deformacích. Užívají se jednotlivě nebo v sadách. Při použití pružin v sadě je nutné vzít do úvahy vliv tření. Tření v sadě činí na každou vrstvu přibližně 3 až 5 % zatížení. O tuto sílu se pak musí zvýšit pracovní zatížení.

Napětí vznikající v talířové pružině je poměrně složité. Maximální napětí (tlakové) vzniká ve vnitřním horním okraji. Na vnější spodní hraně vzniká napětí tahové. Maximální tlakové napětí přitom slouží pro pevnostní kontrolu staticky zatížených pružin. U cyklicky (únavově) zatížených pružin se kontroluje průběh tahových napětí.[2].



Obr. 3: Základní rozměry talířových pružin

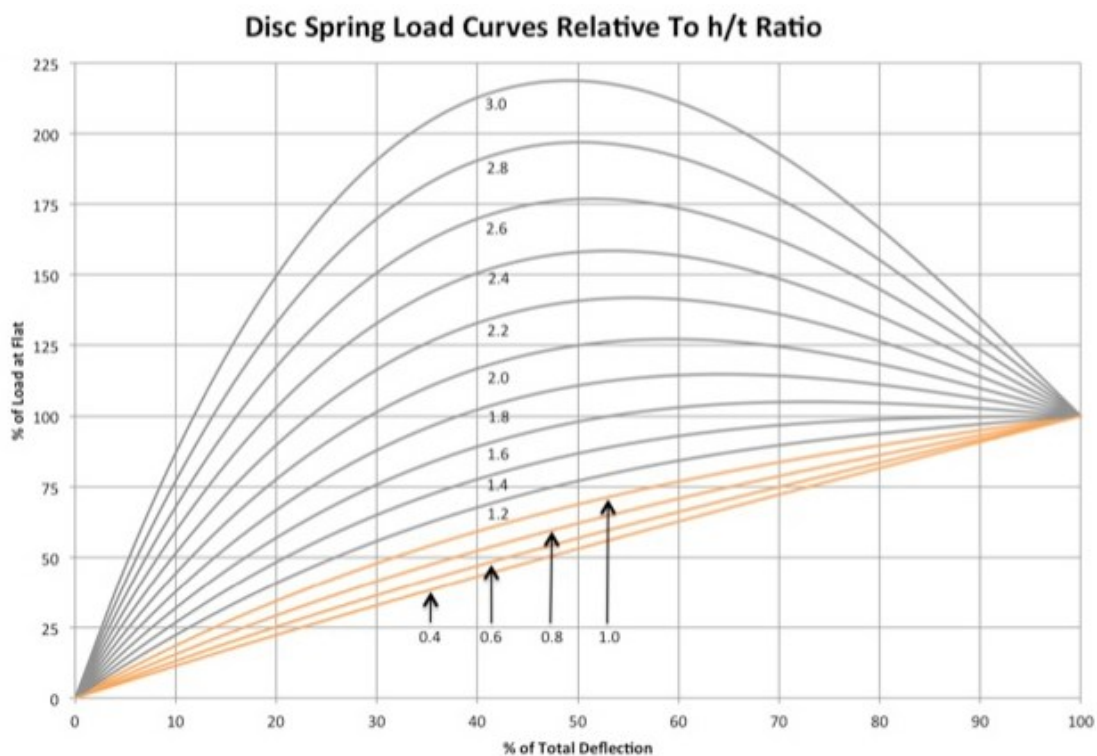
Základní rozměry jsou specifikovány na Obr. 3. Charakteristika talířových pružin je zobrazena na Obr. 4. Její průběh je výrazně závislý na poměru h_0/t . Pro malé hodnoty (přibližně do hodnoty 1) je charakteristika téměř lineární, se zvyšujícím poměrem se stává průběh degresivní. Při překročení poměru 1,4 se stává pružina nestabilní (při překročení deformace, při které je pružina schopna působit maximální silou, nabyde charakteristika negativní charakter, tj. při zvětšující se deformaci dochází ke snižování působící síly). [11]

Při návrhu pružin je doporučeno držet se rozměrů v mezích uvedených v Tab. 1.

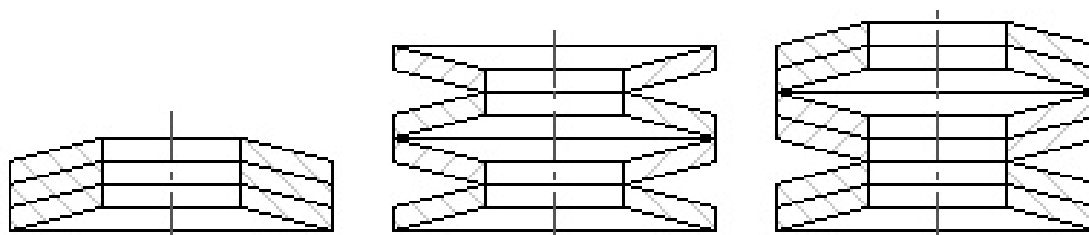
Tab. 1: Doporučené rozměry pružiny [2]

Poměr průměrů D/d	1,75 – 2,5
Poměr výšky k tloušťce h_0/t	0,4 – 1,4
Poměr D/t	16 – 40

Funkci talířových pružin výrazně ovlivňuje tření, a to jak tření v dosedací ploše, tak tření na povrchu pružiny při paralelním řazení (Obr. 5). Důsledkem tření je



Obr. 4: Charakteristika talířových pružin [1]



Obr. 5: Řazení pružin, paralelní vlevo, seriové uprostřed, kombinované vpravo [2]

hystereze výsledné síly pružiny. Velikost tření je závislá na mnoha faktorech a nelze jej teoreticky přesně stanovit. Přibližný vliv tření na výslednou sílu pružiny je uveden v Tab. 2 [2].

Tab. 2: Vliv tření na zatížení pružiny [2]

Samostatná pružina	$\pm 2 - 3\%$
2 Paralelně uložené pružiny	$\pm 4 - 6\%$
3 Paralelně uložené pružiny	$\pm 6 - 9\%$
4 Paralelně uložené pružiny	$\pm 8 - 12\%$
5 Paralelně uložených pružin	$\pm 10 - 15\%$

2.2 Kompozitní materiály

Kompozitní materiál je vytvořen smíšením dvou nebo více materiálů různých vlastností, jehož výsledné vlastnosti jsou lepší než u jednotlivých zdrojových složek.

Kompozitní materiál je zpravidla složen z matrice a výztuže. Výztuž, která je pevná/tuhá/tvrdá nespojitá složka, je spojena pomocí poddajné matrice.

Podle současného chápání pojmu kompozit musí být k zařazení vícefázového materiálu mezi kompozitní materiály splněny následující podmínky:

- *podíl výztuže musí být větší než 5*
- *vlastnosti výztuže a matrice (mechanické, fyzikální i chemické) se liší, výztuž je významně pevnější v tahu a obvykle tužší než matrice,*
- *kompozit musí být připraven smícháním složek.*

Podle těchto podmínek nelze za kompozit považovat plast, obsahující malá množství tuhých barviv, např. částic sazí (černý pigment) nebo oxidů (např. TiO_2 -bílý pigment) nebo částic (přidávaných pro zlepšení houževnatosti; nejde o výztuž, modul pružnosti materiálu se naopak zmenší), ani slitinu kovů, ve které během ochlazování nebo při tepelném zpracování došlo k vyloučení tvrdé fáze. [12]

2.2.1 Druhy kompozitních materiálů

Dle velikosti výztuže lze kompozitní materiály rozdělit na tři skupiny:

Nanokompozitní materiály

- Rozměr výztuže je v řádech nm.

Mikrokompozitní materiály

- Maximální příčný rozměr výztuže je v řádech μm (sklolaminát, uhlíkový kompozit).

Makrokompozitní materiály

- Maximální příčný rozměr výztuže je v řádech mm až cm (železobeton, asfaltový povrch vozovky, polymerbeton).

Dále se v této práci budeme zabývat mikrokompozitními materiály, které lze rozdělit dle druhu matrice na:

- kompozity s polymerní matricí - nejčastěji používané,
- kompozity s kovovou matricí,
- kompozity s keramickou matricí - vysoká teplotní odolnost,
- kompozity s uhlíkovou, skleněnou matricí apod.

Dále se tato práce bude věnovat vláknovým kompozitům s polymerní matricí.

2.2.2 Polymerní matrice

Polymerní matrice je nejvíce používaným typem u vláknových kompozitních materiálů. Rozdělení polymerních matic a jejich vlastností je zobrazeno v Tab. 3.

Tab. 3: Mechanické vlastnosti polymerních matic [9]

Matrice	R_m [MPa]	E [GPa]	A [%]	ρ [$g \cdot cm^{-3}$]	
Reaktoplastové matrice	Epoxidová	50-95	3,1	4,0	1,15
	Fenolická	40-70	8,4	0,4	1,45
	Polyimidová	55-180	4,0	1-60	1,40
	Bismaleimidová	45-90	4,0	1-25	1,30
Termoplastové matrice	Polyamid (PA6/6)	97	3,0	30	1,18
	Polypropylen (PP)	24,8	1,1	200	0,91
	Polystyren (PS)	23-70	1,0-3,2	2-50	1,05

Epoxidové pryskyřice Jedná se o nejrozšířenější druh matrice, mezi její výhody se řadí:

- dobrá voděvzdornost,
- dobré mechanické vlastnosti,
- dobré kohezní vlastnosti,
- malé smrštění v průběhu vytvrzení.

2.2.3 Vlákna

Nejpoužívanějším typem vláken v kombinaci s polymerní matricí jsou skelná, uhlíková a aramidová vlákna. Jejich průměr je v rozmezí 5 – 20 μm . Vlákna se dále spojují do celků s větším počtem vláken:

- **pramec** - svazek vzájemně nekroucených vláken,
- **příze (yarn)** - svazek vzájemně zkroucených vláken nebo pramenců,
- **roving** - soubor paralelních pramenců s malým nebo žádným zkroucením.

Vlákna je možné rozdělit podle délky na:

- **dlouhá** - (označení C - continuous),
- **krátká** - (označení D - discontinuous).

Podle uspořádání:

- **uspořádaná jednosměrně**,

- **uspořádaná dvojsměrně v podobě tkaniny.**

Tkanina je tvořena dvěma základními částmi:

- **osnova** (warp) - osnova rovnoběžných nití, do kterých je zanášen útek,
- **útek** (weft) - nit proplétaná osnovou ve směru příčném (nejčastěji kolmém)

Tkaniny mohou mít různou vazbu nití:

- **plátěnou,**
- **keprovou,**
- **saténovou.**

Na vazbě je závislá tvarovatelnost tkaniny. [9]

Aramidová vlákna Aramidová vlákna (zkratka aramid z "aromatický polyamid") mají vysokou pevnost, vysokou teplotní odolnost, malou teplotní roztažnost a dobře tlumí vibrace. Jejich nevýhodou je nízká pevnost v tlaku a pohlcování vlhkosti. Aramidová vlákna jsou známá pod obchodními značkami **Kevlar** a **Twaron**. Lze je rozdělit dle velikosti modulu:

- **aramid LM** - Low Modulus,
- **aramid HM** - High Modulus,
- **aramid UHM** - Ultra High Modulus.

Často se používají společně s uhlíkovými nebo skleněnými vlákny, která kompenzují nízkou tlakovou pevnost aramidových vláken.[9]

Skelná vlákna Mechanické vlastnosti skelných vláken jsou srovnatelné s kovy, jejichž hustota je však výrazně nižší. Chemická odolnost je přibližně do 400 °C. Pro jejich výrobu se používají následující druhy skla:

- **sklo E** - nejčastěji využívané, nízká cena, horší mechanické vlastnosti v porovnání se sklem S,
- **sklo S** - vhodné pro použití při vyšších nárocích na mechanické vlastnosti, 3x až 4x dražší než sklo E,
- **sklo D** - borovité sklo má dobré dielektrické vlastnosti[9]

Uhlíková vlákna Uhlíková vlákna jsou nejvíce používaná v leteckém průmyslu. Charakterizuje je vysoká pevnost, nízká hustota, vysoká únavová pevnost, dobrá elektrická vodivost, křehkost a vysoká cena.

Uhlíková vlákna se vyrábí z ropných produktů nebo pyrolýzou organických vláken polyakrylonitrolu. Výhodou pyrolytického procesu je možnost jeho řízení a získání vláken s požadovanými vlastnostmi:

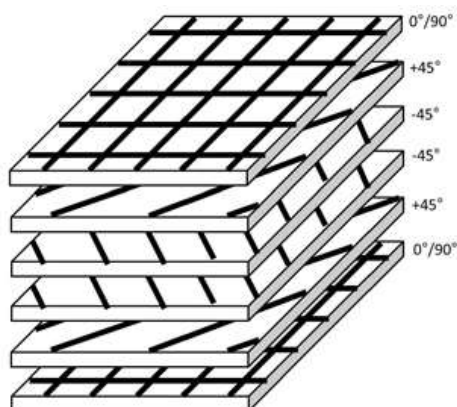
- **HT** (High Tenacity), **HS** (High Strength) vlákno - vysoká pevnost v tahu a tažnost, nižší modul pružnosti.

- **IM** (Intermediate Modulus) vlákno - střední modul pružnosti, vysoká pevnost a dobrá tažnost.
- **HM** (High Modulus) vlákno - vysoký modul pružnosti a nižší tažnost.
- **UHM** (Ultra High Modulus) vlákno - velmi vysoký modul pružnosti a velmi nízká tažnost[9].

Tab. 4: Mechanické vlastnosti vláken [10]

Typ vlákna	Sklo	Aramid	HS - uhlík	HM - uhlík
Modul pružnosti v podélném směru E_{fL} (MPa)	74 000	130 000	230 000	390 000
Modul pružnosti v příčném směru E_{fT} (MPa)	74 000	5 400	15 000	6 000
Modulu pružnosti ve smyku G_{fLT} (Mpa)	30 000	12 000	50 000	20 000
Pevnost v tahu σ_{fL} (MPa)	2 100	3 000	5 000	3 800
Hustota ρ (kgm^{-3})	2 500	1 500	1 600	1 700

Lamináty Laminát je druh kompozitního materiálu, který je tvořen nejméně dvěma vrstvami lamin. Tloušťka laminátu je vzhledem k ostatním rozměrům výrazně menší. Převážně se vyrábí kladením jednotlivých vrstev na sebe. Největší pevnost a tuhost vykazují vláknové kompozity s kontinuálními vlákny.

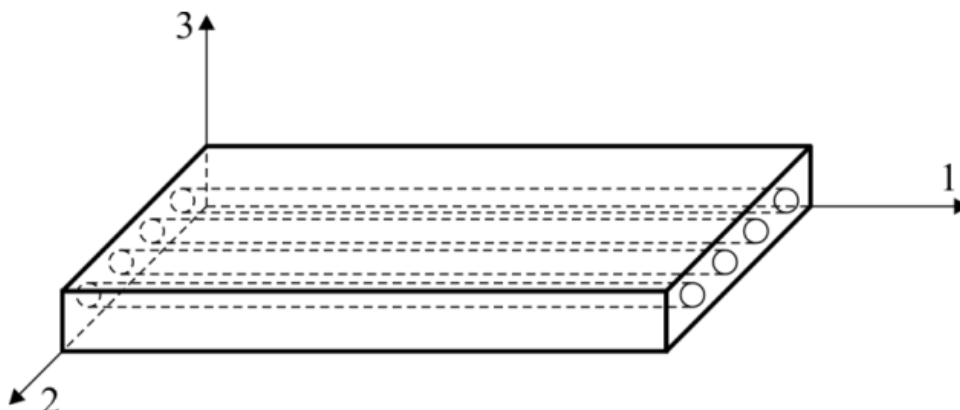


Obr. 6: Příklad vrstvení laminátu[3]

2.2.4 Pevnost rovinného ortotropního materiálu (ortotropní laminy)

Jelikož kompozitní materiál nemá izotropní vlastnosti, je potřeba definovat základní směry.

Směr vláken v lamině (podélný směr) je označován indexem 1, kolmý na vlákna a ležící v rovině vláken (příčný směr) indexem 2, směr kolmý na oba předešlé indexem 3 (Obr. 7) [4].



Obr. 7: Materiálové směry v lamině [4]

Existuje několik pevnostních kritérií, která jsou využívána v technické praxi. V této práci je detailně popsáno kritérium maximálních napětí, které se dle průzkumu provedeného AIAA řadí na druhé místo v četnosti používání.

Kritérium maximálního napětí Toto kritérium nezahrnuje vazbu mezi jednotlivými složkami napětí. V praxi se však jedná o jedno z nejpoužívanějších kritérií. A to z důvodu jeho snadného použití. Podle tohoto kritéria dojde k porušení v případě, kdy jedna ze složek dosáhne hodnoty meze pevnosti. Pro rovinou napjatost $(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_{12})$.

Pro vyjádření podmínek pevnosti je potřeba definovat pět pevnostních materiálových konstant [13]:

- podélná mez pevnosti v tahu σ_{Pt1} ,
- podélná mez pevnosti v tlaku σ_{Pd1} ,
- příčná mez pevnosti v tahu σ_{Pt2} ,
- příčná mez pevnosti v tlaku σ_{Pd2} ,
- smyková mez pevnosti σ_{P12} .

Pevnostní podmínky jsou:

$$\sigma_1 \leq \sigma_{Pt1} \quad \sigma_2 \leq \sigma_{Pt2} \quad |\sigma_{12}| \leq \sigma_{P12}$$

$$\sigma_1 \geq \sigma_{Pd1} \quad \sigma_2 \geq \sigma_{Pd2} \quad (2.1)$$

K poruše dojde, jestliže dojde k porušení alespoň jedné rovnice, ta zároveň udává charakter porušení. Například při porušení první rovnice je charakter porušení podélný tahový [13].

2.3 Technologie výroby kompozitních dílů

Existuje velké množství metod výroby kompozitních dílů. Zde se budeme zabývat pouze výrobou z prepregů vytvrzovaných v autoklávu.

Prepreg - polotovary k výrobě vláknových kompozitů (z anglického *preimpregnated fibres*). Jedná se tkaninovou výztuž, která je nasycena určitým procentem nevytvrzené matrice.

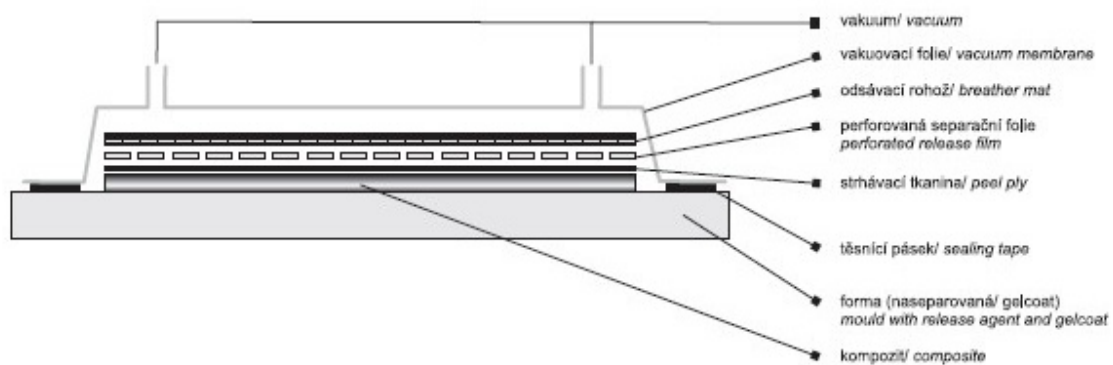
Autokláv - zařízení schopné vytvrdit předpřipravený kompozitní díl. Nejprve se provede vakuování formy, následně je v autoklávu řízen tlak a teplota dle nastavené procedury (až 10 bar a 200 °C).

2.3.1 Laminování do otevřené formy

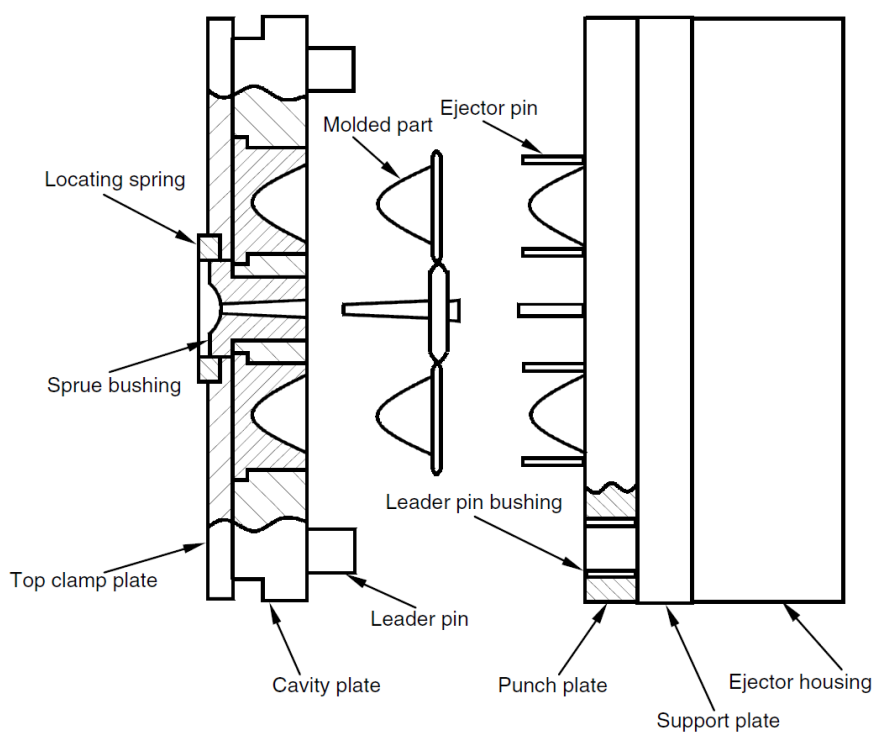
Na formu (negativní nebo pozitivní) je nanesena vrstva separátoru. Na separátor jsou nakladeny požadované vrstvy prepregu a další technologické vrstvy, které mají zajistit správné vakuování. Na závěr se na formu aplikuje vakuovací folie, která se pomocí těsnící pásky přilepí k formě, případně se celá forma umístí do vakuovacího pytle, díky němuž může být následně z formy odčerpán vzduch a tím zajištěn přítlak potřebný pro spojení jednotlivých vrstev. Tuto metodu lze použít pro malé až střední série, výsledný díl je ovšem hladký pouze ze strany přilehlé k formě.

2.3.2 Laminování do uzavřené formy

Při uzavřeném formování se forma skládá ze dvou dílů, které mají zajištěnou vzájemnou polohu (například pomocí vodících čepů). Obě části formy bývají utěsněné, aby bylo možné odčerpat z vnitřní části vzduch. Mezi oběma částmi formy je vytvořen tlak (za pomoci lisu, nebo okolního prostředí), který zajistí přítlak potřebný pro spojení jednotlivých vrstev. Takto vytvořený díl dosahuje vysoké rozměrové přesnosti a jakosti povrchu s obou stran zhotoveného dílu. Tento typ laminování se používá pro velké série, nebo tam, kde je kladen požadavek na vysokou jakost povrchu z obou stran dílu.



Obr. 8: Otevřené laminování [5]

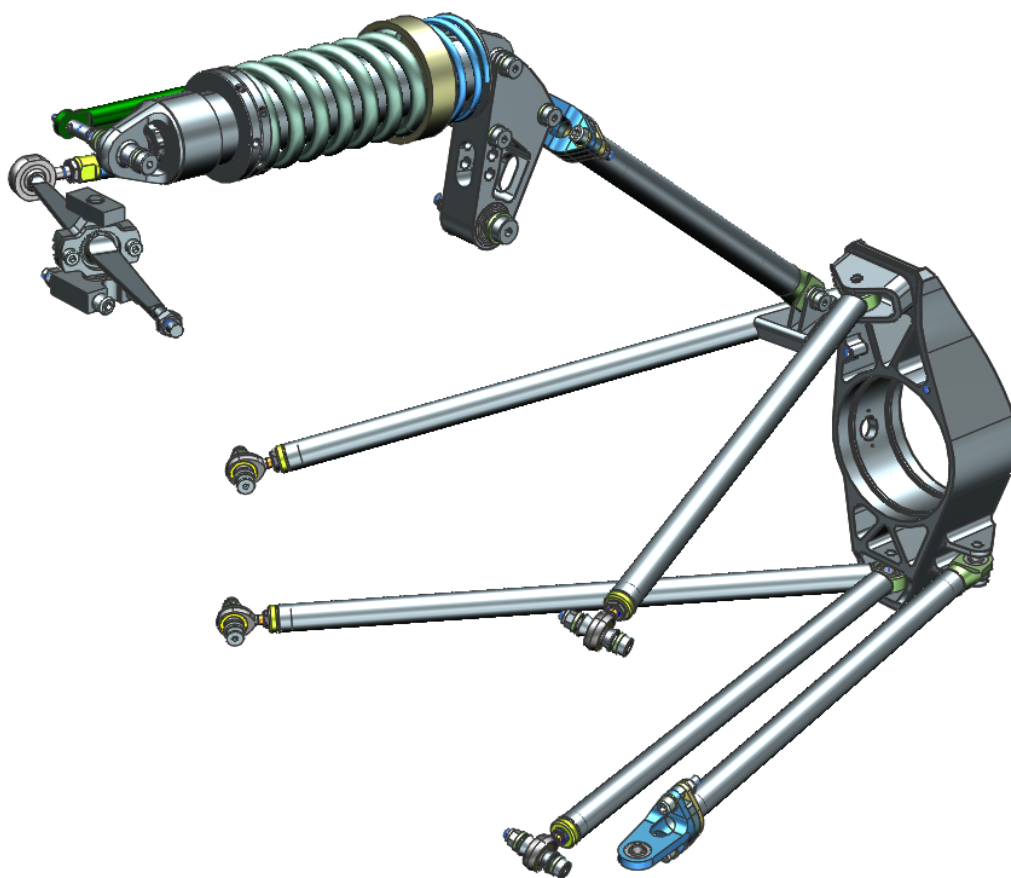


Obr. 9: Uzavřené laminování [6]

3 Stávající stav

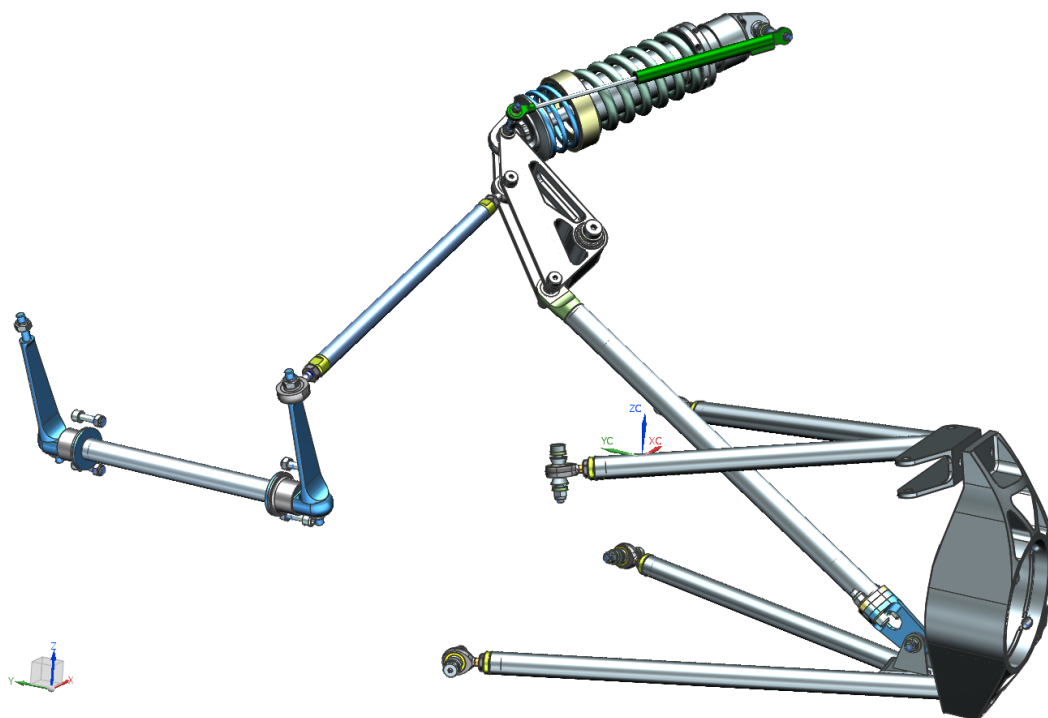
3.1 Odpružení podvozku UWB05

Na voze UWB05 bylo použito nezávislé zavěšení podvozku pomocí A-ramen a pushrodů (viz Obr. 10 a Obr. 11). Vzhledem k velké vzdálenosti tlumičů od vozovky a od těžiště vozu, (viz Obr. 12) je kladen zvýšený požadavek na minimalizaci hmotnosti a tím snížení nepříznivého momentu setrvačnosti, který snižuje ovladatelnost vozu při průjezdu zatáčkami a snížení celkového těžiště vozu.

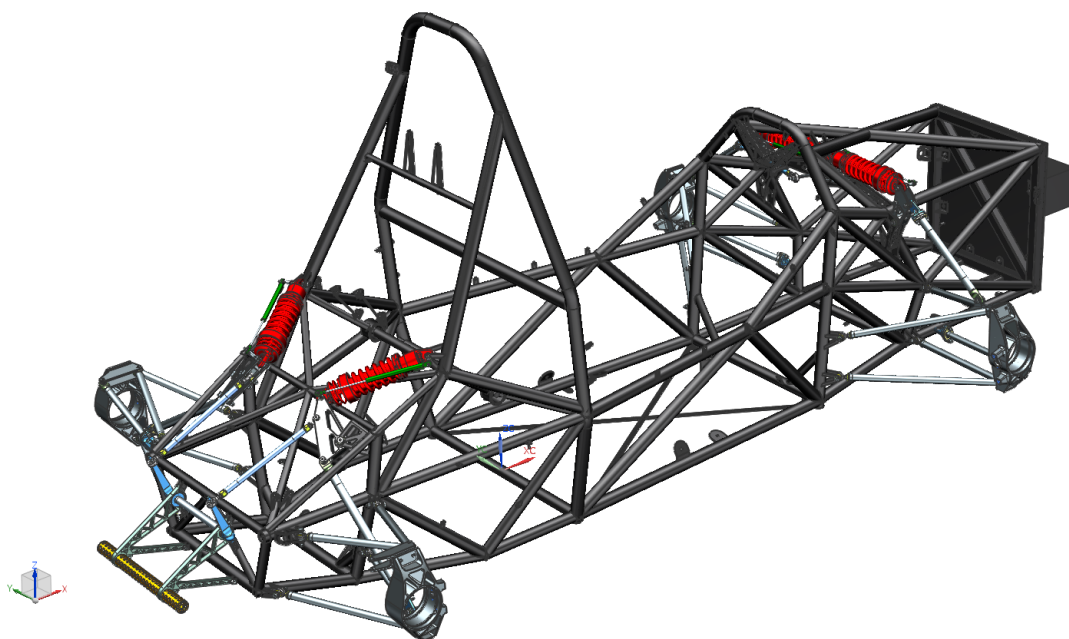


Obr. 10: Přední náprava vozu UWB05

Pro správné fungování zavěšení vozu je nezbytné správně navrhnout tuhost pružin. Tuhost pružin je limitována pravidly. V pravidlech je definována vzdálenost 25.4 mm, o kterou musí zavěšení propružit vlastní vahou (vč. řidiče). Pro správné fungování podvozku vozu **UWB05!** je však vhodná tuhost pružin, která by nesplňovala výše uvedené pravidlo. Z toho důvodu byl navržen systém, který se skládá ze dvou vinutých pružin kruhového průřezu rozdílných tuhostí (Obr. 13). Pro splnění



Obr. 11: Zadní náprava vozu UWB05



Obr. 12: Umístění tlumičů na voze UWB05

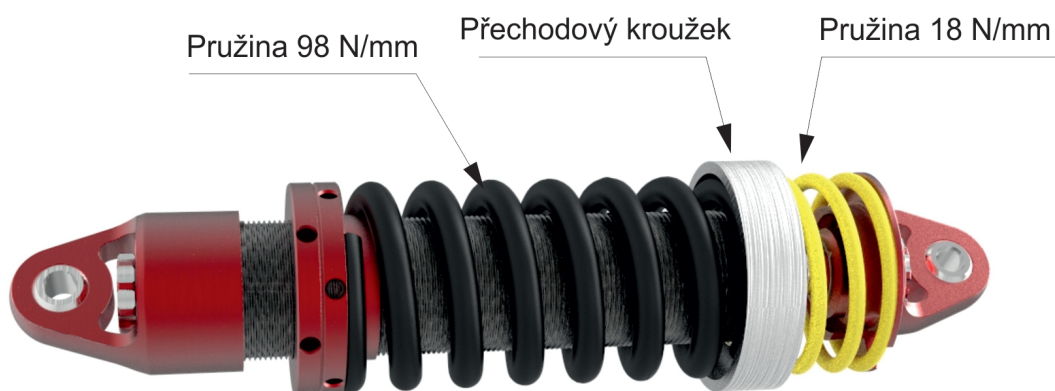
pravidla jsou využité pružiny o nízké tuhosti, v tomto případě o tuhosti 18 N mm^{-1} . Při vyčerpání maximální deformace pružiny (dosednutí jednotlivých závitů na sebe), začne fungovat pouze druhá pružina o tuhosti 98 N mm^{-1} , která zajistí požadované

Tab. 5: Vývoj hmotnosti pružin

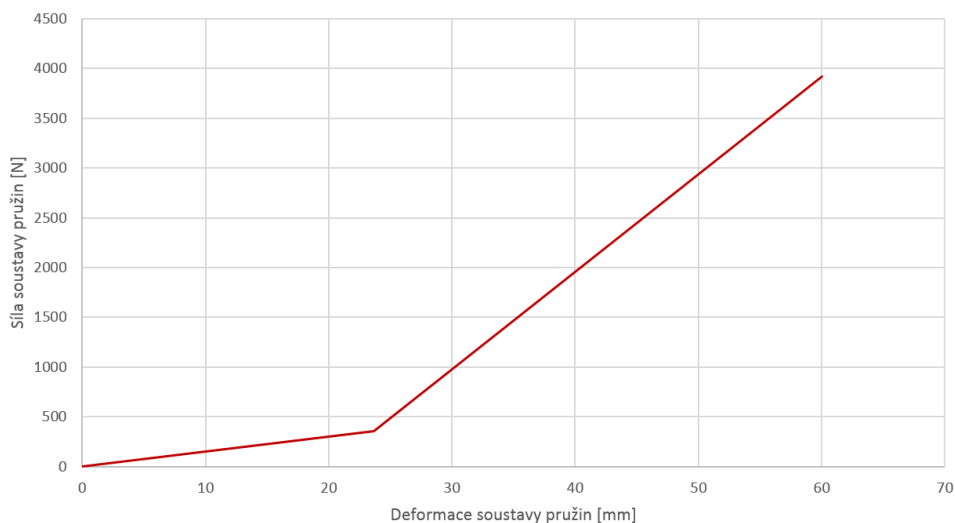
Vůz	UWB05	UWB04
Hmotnost pružin	476 g	334 g
Rozdíl	142 g	

jízdní vlastnosti (viz Graf 2).

Systém dvou pružin s sebou přináší nepříznivé zvýšení hmotnosti o 142 g na každém tlumiči (Tab. 5).



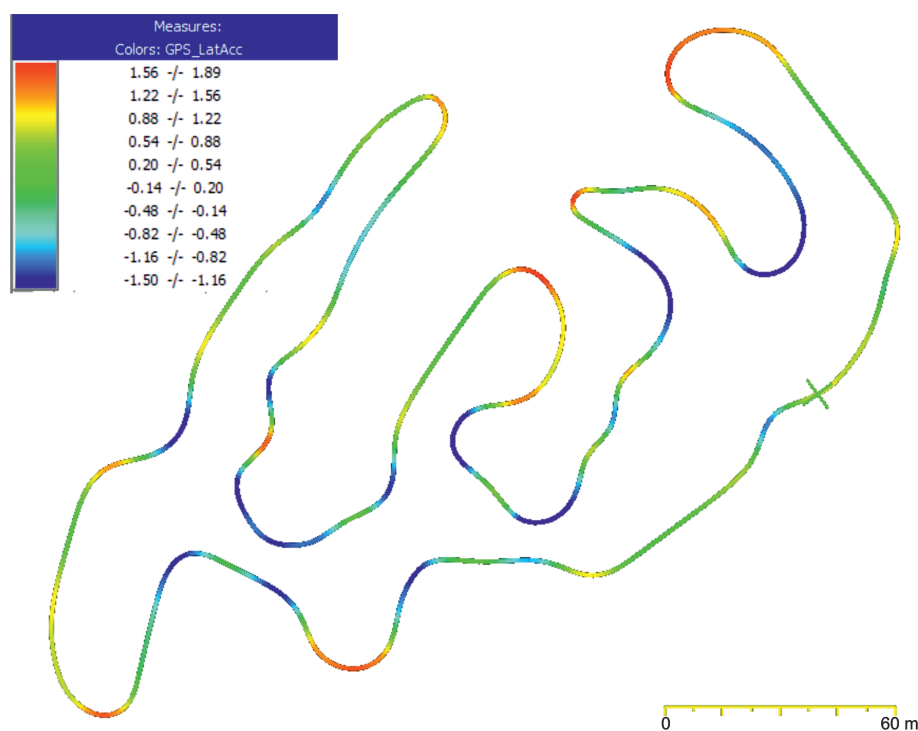
Obr. 13: Tlumič vozu UWB05



Graf 2: Charakteristika sestavy pružin UWB05

3.2 Analýza zatížení stávajících pružin

Díky tomu, že na voze UWB05 je každý tlumič osazen snímačem polohy, je možné provést analýzu průběhu stlačení pružiny během jízdy. Jako referenční vzorek bylo vybráno nejrychleji zajeté kolo v závodě Formula Student Germany 2018 v disciplíně Endurance. Délka měřeného úseku je 1200 m, hmotnost vozu včetně řidiče 303 kg. Profil trati a dosahované boční přetížení vozu je zobrazené na Obr.14.

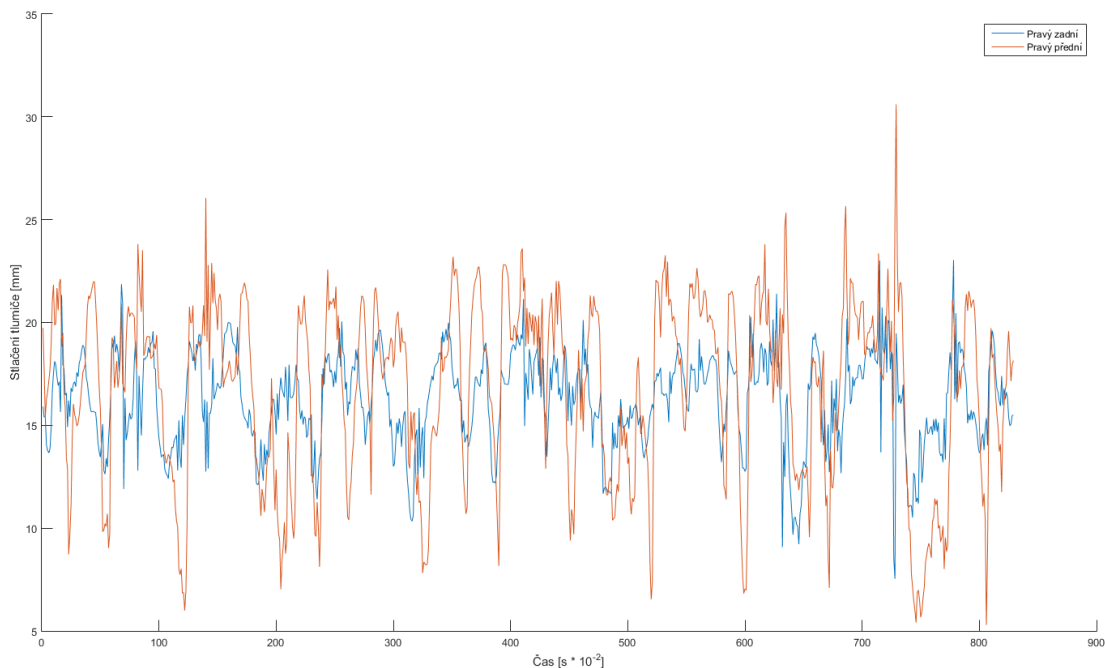


Obr. 14: Profil trati, boční přetížení - Endurance FSG 2018

Analýza byla provedena pro přední a zadní tlumič pravé strany vozu. Předpokládá se, že chování tlumičů na levé straně je obdobné. Záznam z průběhů stlačení tlumičů je zobrazen na Grafu 3. Analýza naměřených dat byla provedena v prostředí Matlab. V první fázi bylo z naměřených dat stlačení tlumiče vypočítáno separátní stlačení každé pružiny. Ve výpočtu bylo uvažováno předepnutí soustavy pružin, 5 mm pro přední i zadní (viz Tab. 6). Ve druhé fázi byl proveden výpočet počtů cyklů stlačení pružiny pro předem definovanou minimální amplitudu stlačení.

3.2.1 Výpočtový algoritmus

Nechť je stlačení tlumiče x , stlačení primární pružiny ΔL_1 , stlačení sekundární pružiny ΔL_2 , tuhost soustavy pružin K_c , síla v soustavě pružin F_c



Graf 3: Průběh stlačení tlumičů - Endurance FSG 2018

Tab. 6: Charakteristiky pružin

	Přední pružina 1	Přední pružina 2	Zadní pružina 1	Zadní pružina 2
Volná délka L_0 [mm]	44	103	44	110
Max stlačení ΔL_{max} [mm]	18	-	18	-
Tuhost K [N mm ⁻¹]	12	98	12	98
Předpětí ΔL_0 [mm]	6.5		6.5	

Díky známé tuhosti a maximálnímu stlačení primární pružiny (pružina 1 viz Tab. 6) je možné určit maximální sílu v pružině.

$$F_{1max} = K_1 \cdot \Delta L_{1max} \quad (3.1)$$

Stlačení sekundární pružiny při maximálním stlačení primární.

$$L_{2lim} = \frac{F_{1max}}{K_2} \quad (3.2)$$

Limitní stlačení tlumiče při maximálním stlačení primární pružiny, vč. uvažování předpětí soustavy.

$$x_{lim} = \Delta L_{1max} + L_{2lim} - \Delta L_0 \quad (3.3)$$

Pro primární pružinu za předpokladu $x < x_{lim}$ platí:

$$K_c = \frac{K_1 \cdot K_2}{K_1 + K_2} \quad (3.4)$$

$$F_c = K_c \cdot (x + \Delta L_0) \quad (3.5)$$

$$\Delta L_1 = \frac{F_c}{K_1} \quad (3.6)$$

Pro primární pružinu za předpokladu $x \geq x_{lim}$ platí:

$$\Delta L_1 = \Delta L_{1max} \quad (3.7)$$

Pro sekundární pružinu za předpokladu $x < x_{lim}$ platí:

$$K_c = \frac{K_1 \cdot K_2}{K_1 + K_2} \quad (3.8)$$

$$F_c = K_c \cdot (x + \Delta L_0) \quad (3.9)$$

$$\Delta L_2 = \frac{F_c}{K_2} \quad (3.10)$$

Pro sekundární pružinu za předpokladu $x \geq x_{lim}$ platí:

$$K_c = K_2 \quad (3.11)$$

$$\Delta L_2 = x - x_{lim} + L_{2lim} \quad (3.12)$$

$$F_c = \Delta L_2 \cdot K_2 \quad (3.13)$$

Na základě výše uvedených rovnic je možné určit průběh stlačení jednotlivých pružin a silové účinky v soustavě pružin.

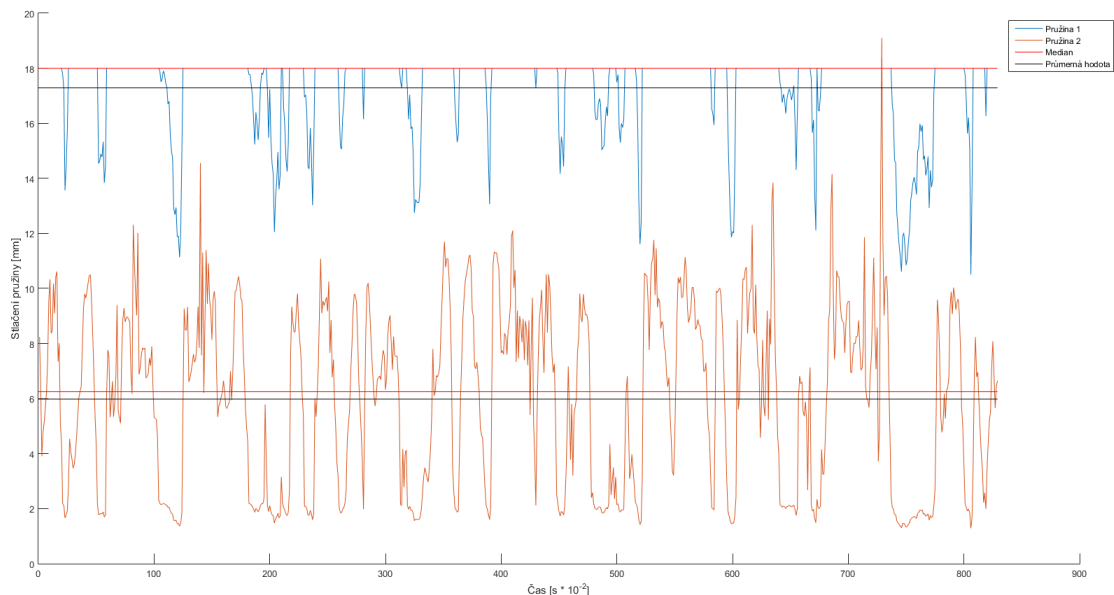
3.2.2 Vyhodnocení

Na Grafu 4 a Grafu 5, jsou zobrazeny vypočtené průběhy stlačení jednotlivých pružin. Dále je zde uveden medián a aritmetický průměr pro sledovaný úsek. graf 6 a graf 7 zobrazuje průběh silového účinky vyvozeného soustavou pružin. Grafické zobrazení výsledků druhé fáze je patrné na grafu 8 až grafu 11

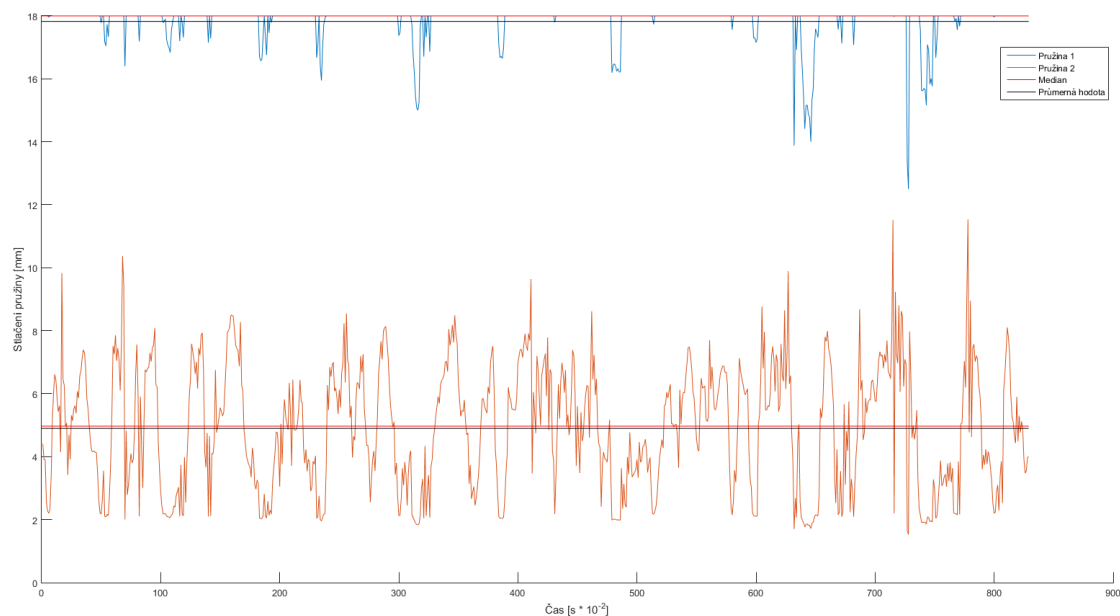
Na základě uvedených grafů je možné konstatovat tyto závěry:

- Soustava pružin na předním tlumiči je výrazně více silově i cyklicky namáhána než soustava pružin na zadním tlumiči.
- Chod tlumiče (50 mm) není využíván v celém rozsahu, maximální naměřená výchylka byla přibližně 32 mm.
- Medián stlačení obou primárních pružin je roven jejich maximálnímu stlačení, lze tedy říci, že po většinu času závodu není pružina využívána a jednotlivé závity doléhají na sebe.
- U přední primární pružiny bylo naměřeno 29 kmitů o amplitudě 0.5 mm nebo vyšší. Při délce kola 1200 m to odpovídá 531 kmitů za závod a 24166 kmitů za závodní sezónu vč. testování (1000 km).

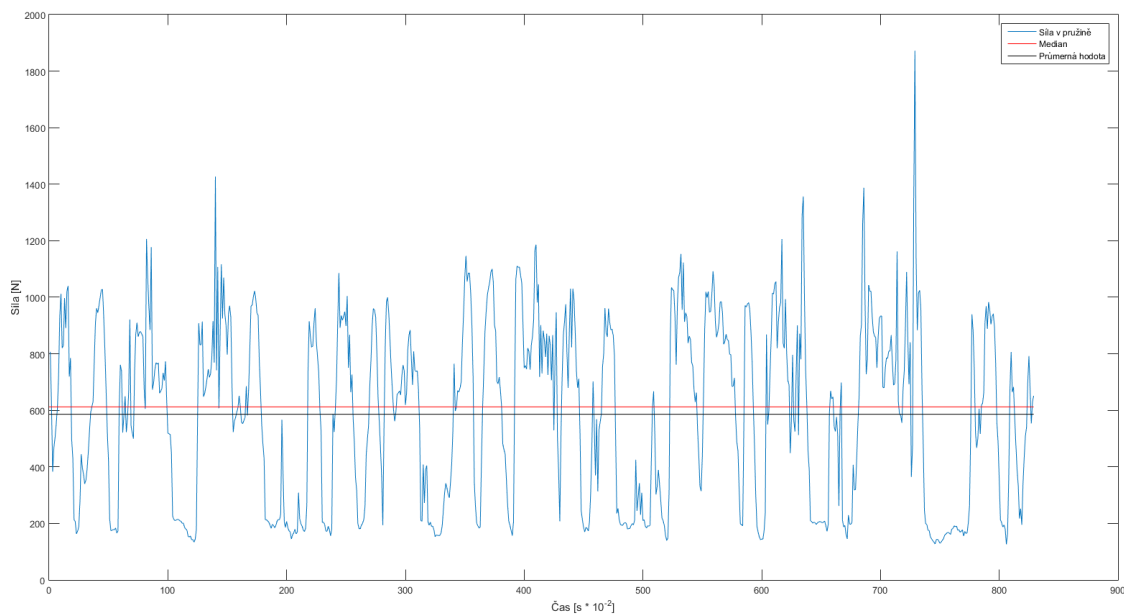
- U přední sekundární pružiny bylo naměřeno 48 kmitů o amplitudě 1 mm nebo vyšší. Při délce kola 1200 m to odpovídá 880 kmitů za závod a 40000 kmitů za závodní sezónu vč. testování (1000 km).
- Podle Schijve (2008) lze konstatovat, že počet cyklů odpovídá počáteční hranici vysokocyklické únavy.



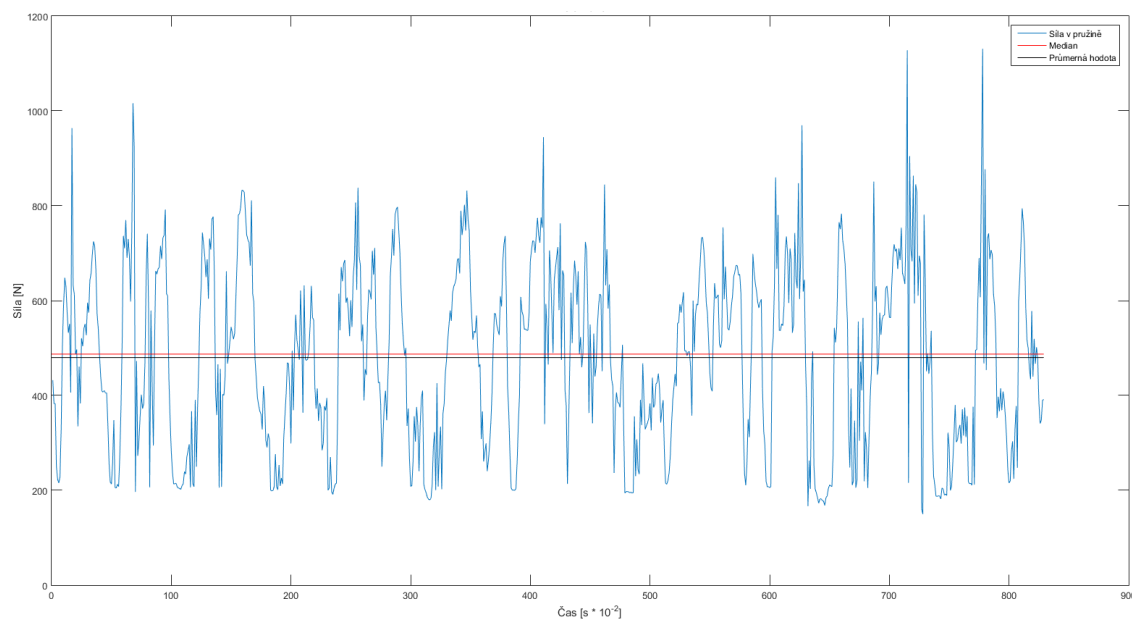
Graf 4: Průběh stlačení pružin, přední tlumič - Endurance FSG 2018



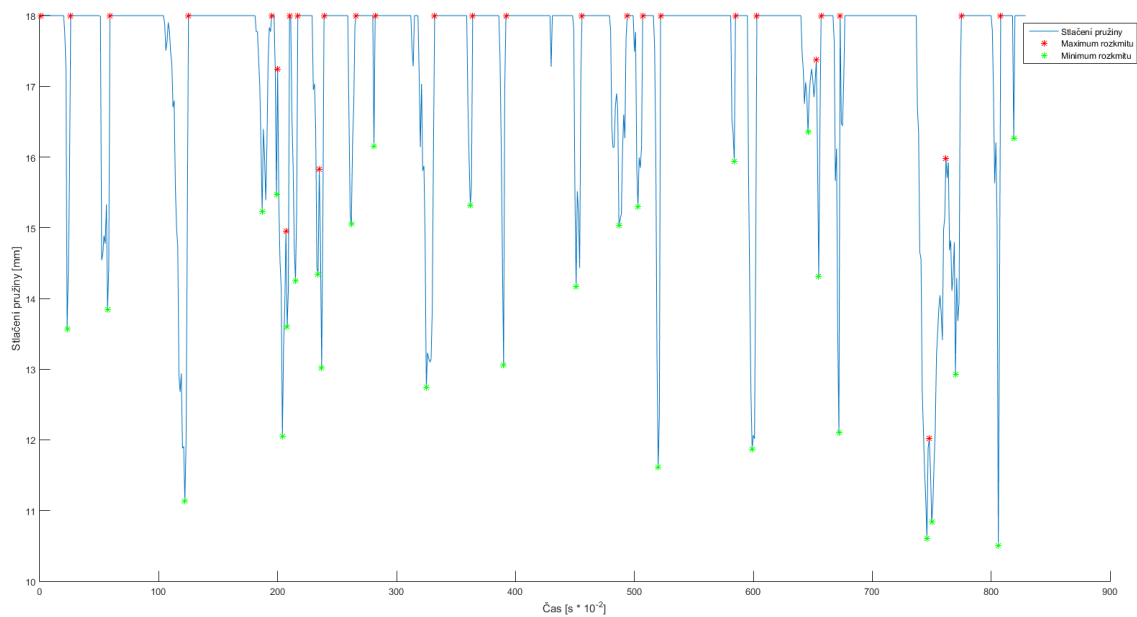
Graf 5: Průběh stlačení pružin, zadní tlumič - Endurance FSG 2018



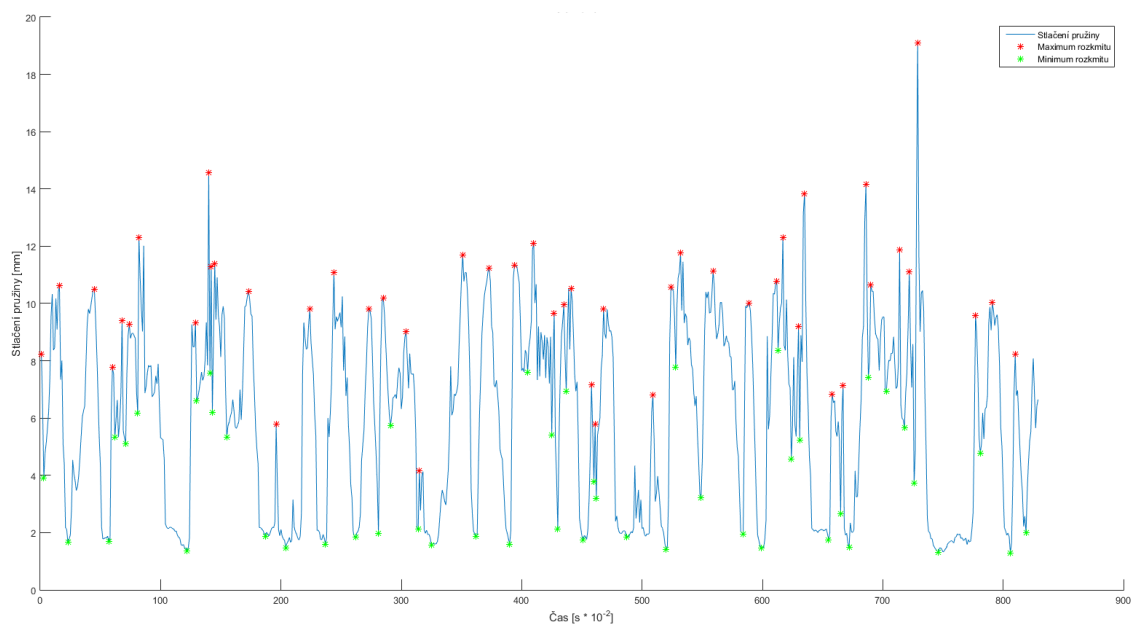
Graf 6: Pr \acute{u} b \acute{e} h s $\acute{ı$ ly v pru $\acute{z$ in \acute{e} , p \acute{r} edn \acute{i} tlumi \acute{c} - Endurance FSG 2018



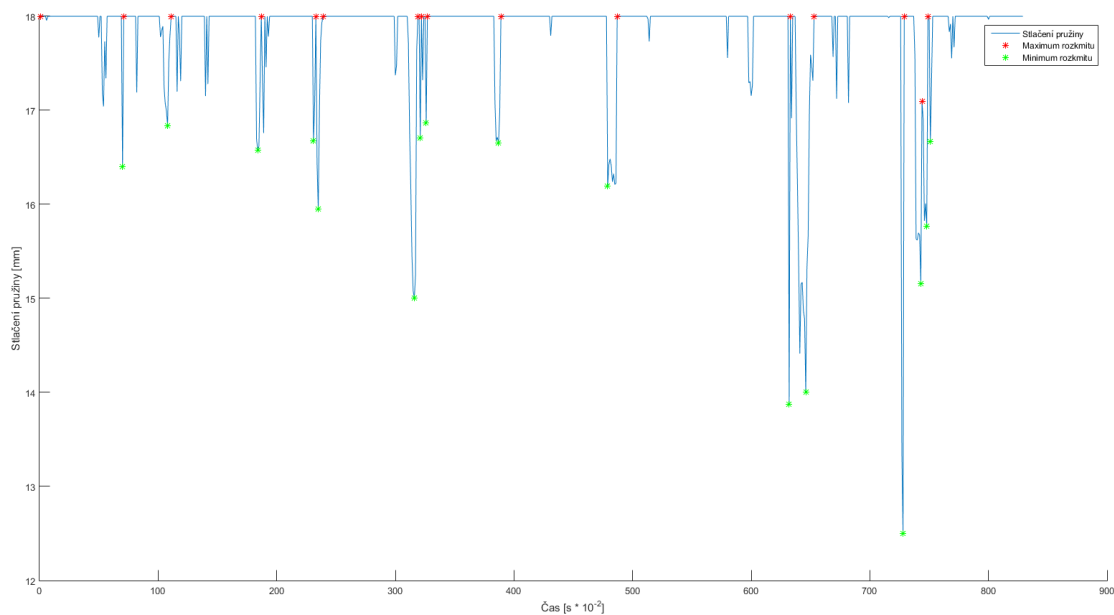
Graf 7: Pr \acute{u} b \acute{e} h s $\acute{ı$ ly v pru $\acute{z$ in \acute{e} , zadn \acute{i} tlumi \acute{c} - Endurance FSG 2018



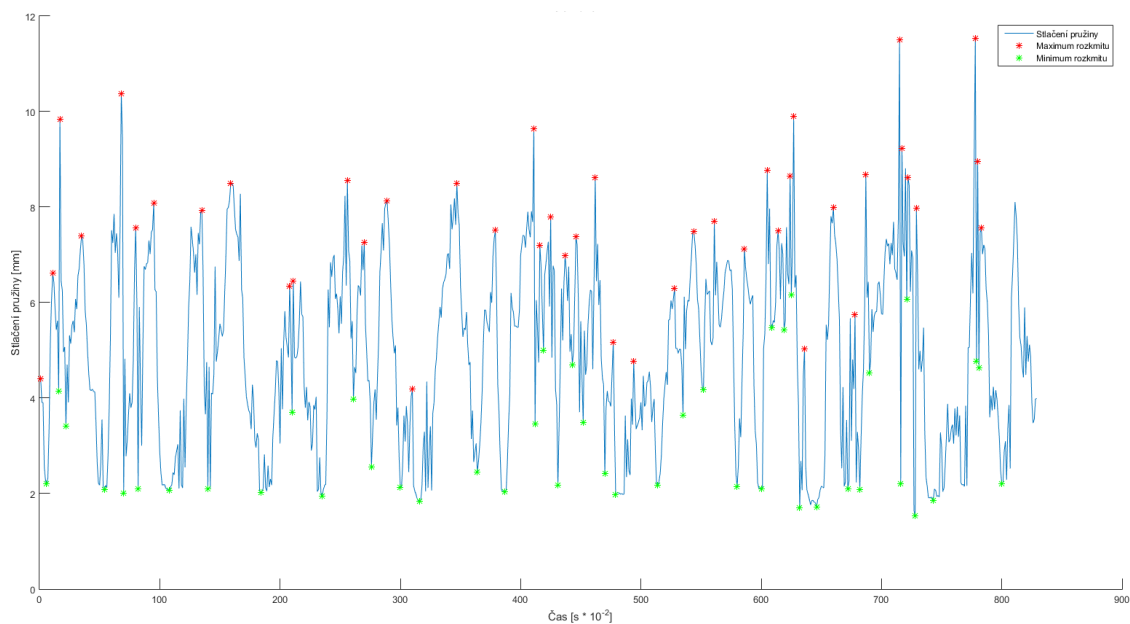
Graf 8: Kmity pružiny, přední tlumič, primární pružina, minimální amplituda 0,5 mm, počet kmitů v grafu=29.



Graf 9: Kmity pružiny, přední tlumič, sekundární pružina, minimální amplituda 1 mm, počet kmitů v grafu=48.



Graf 10: Kmity pružiny, zadní tlumič, primární pružina, minimální amplituda 0,5 mm, počet kmitů v grafu=16.



Graf 11: Kmity pružiny, zadní tlumič, sekundární pružina, minimální amplituda 1 mm, počet kmitů v grafu=44.

4 Návrh pružin

Pro explicitní chápání následujících částí jsou definovány tyto pojmy:

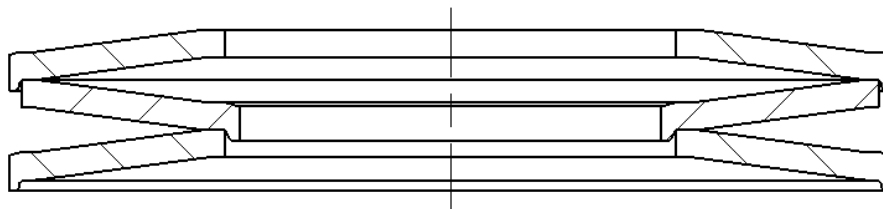
- **disk** - jeden talíř talířové pružiny,
- **sada** - sestava více disků talířových pružin o stejných parametrech,
- **sestava** - kompletní soustava disků a sad použita na tlumiči.

Návrh sad je vzhledem ke své komplexnosti rozdělen do několika etap. V první etapě je potřeba přesně specifikovat požadavky, následující etapa je zaměřena na předběžný návrh rozměrových parametrů sady a disků s cílem minimalizovat její hmotnost. Ve třetí etapě je proveden detailní návrh jednotlivých disků a v poslední etapě jsou jednotlivé disky ověřeny pomocí výpočtu MKP.

4.1 Specifikace požadavků

Na základě analýzy stávajících pružin a konzultací s týmem RTP byly definovány následující požadavky.

1. Návrh zaměřit na minimalizaci celkové hmotnosti.
2. Návrh sestavy musí zohledňovat použití spolu s tlumiči *ZF Formula Student Damper* a jejich maximální vnější průměr nesmí z důvodu zástavbových problémů přesáhnout 80 mm.
3. Sestava bude složena z talířových pružin pouze dvou různých tuhostí tak, aby bylo splněno pravidlo, které definuje pokles vozu o 25.4 mm (viz str. 14).
4. Výchozí materiál pro výrobu disků bude použit **GG200T**, který je v RTP používán pro výrobu většiny kompozitních dílů, jsou známy jeho vlastnosti na základě provedených testů a je v zázemí RTP dobře dostupný.
5. Jednotlivé disky musí být opatřeny "zámky" (obr. 15), aby je bylo možné sériově řadit bez použití vedení.
6. Životnost disků je požadována na dvě závodní sezóny (2000 km).

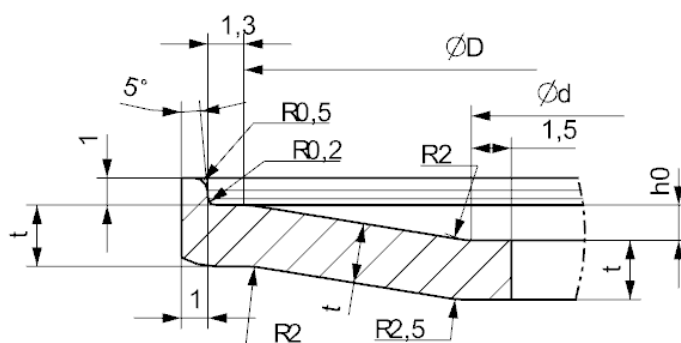


Obr. 15: Zámky pružiny

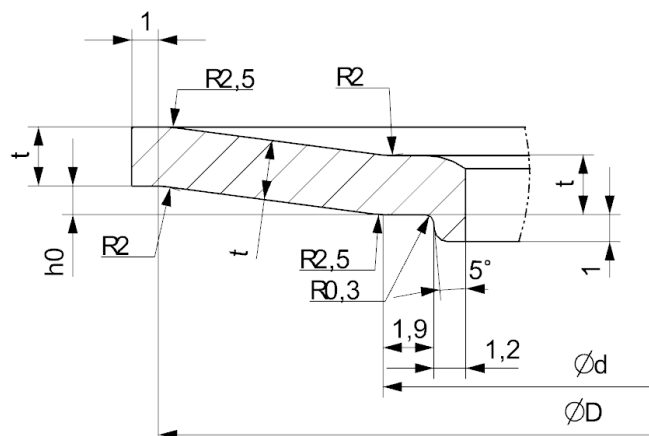
4.1.1 Předběžný CAD návrh disků

Základní tvar disku byl doplněn o dosedací plochy a zámky. Bylo tedy nutné navrhnout dva tvary disků. První disk se zámkem umístěným na vnějším průměru a druhý disk se zámkem umístěným na vnitřním průměru.

Tvar zámků byl navržen s ohledem na budoucí výrobu. Hrany byly opatřeny rádiusy a technologickými úkosi, které mají za cíl zjednodušit následnou laminaci a vyjímání laminovaného dílu z formy. Na Obr. 16 a Obr. 16 jsou zobrazeny obecné tvary disků.



Obr. 16: Disk s vnějším zámkem - obecný tvar



Obr. 17: Disk s vnitřním zámkem - obecný tvar

4.2 Návrh rozměrových parametrů

Jelikož kompozitní materiál nemá izotropní vlastnosti, není možné pro rozměrový návrh disků použít dostupných vzorců pro výpočet disků z ocelových materiálů. Bylo tedy nutné zvolit jinou metodu návrhu. V počáteční fázi návrhu byla uvažována metoda konečných prvků v softwaru Siemens NX s použitím geometrické optimalizace s cílem minimalizovat hmotnost celé sady. Z důvodu složitosti popisu hledaného řešení ovšem nebylo možné použít modul geometrické optimalizace. Z tohoto důvodu bylo MKP metodou vyhodnoceno pouze několik rozměrových profilů disku pružiny, ze kterých byly sestaveny regresivní funkce pro reakční sílu a *index porušení*. V prostředí Matlab byl navržen algoritmus, který se na základě těchto zjištěných funkcí snažil vyhledat parametry sady a disků, které splňují okrajové podmínky.

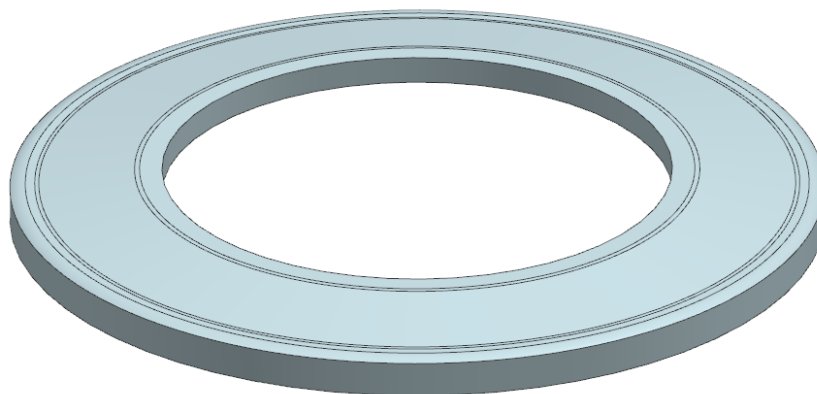
Index porušení Index porušení je bezrozměrná veličina definovaná jako poměr napětí σ ku pevnosti materiálu v daném smyslu zatěžování F .

$$F_I = \frac{\sigma}{F} \quad (4.1)$$

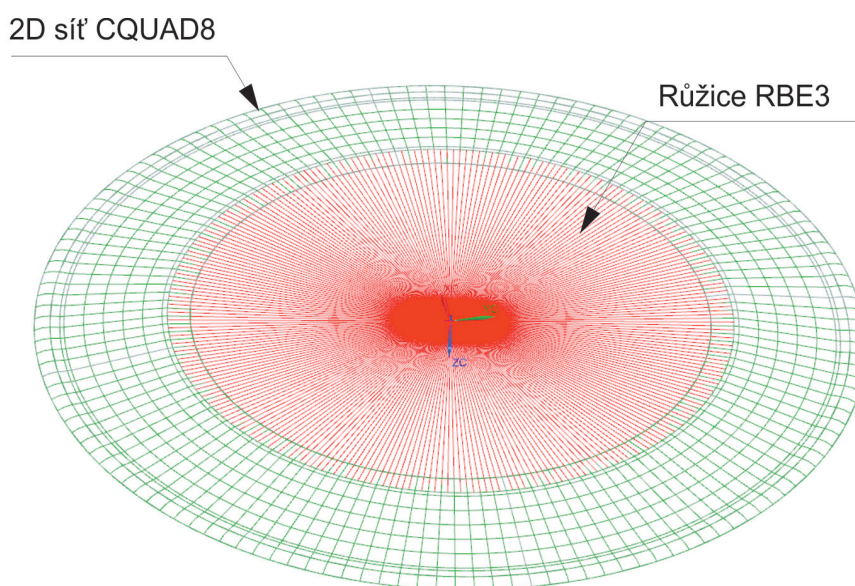
Při dosažení $F_I = 1$ tedy dojde k porušení materiálu. Při vyhodnocování pomocí MKP byl vždy uvažován index porušení ve směru s nejvyšší hodnotou.

4.2.1 MKP výpočet a regresivní funkce

Pro výpočet byl použitý model disku s vnějším zámkem, jehož plocha byla zasítována 2D sítí s typem elementů CQUAD8. Vnitřní hrana disku je spojena RBE3 ruzicí do jejího středu. Okrajové podmínky výpočtu byly definovány na středový bod disku, do kterého byla svedena ruzice, kde bylo odebráno posunutí ve směru osy x,y a zároveň zde bylo definováno zatížení ve formě počátečního posunutí v ose z . Dále bylo nutné definovat skladbu laminátu. Vzhledem k tomu, že je možné předpokládat největší napětí v okrajových vrstvách, byla skladba zjednodušena pouze na 4 vrstvy. Mimo dalších potřebných parametrů pro výpočet je potřeba definovat teorie porušení lamina. Ta byla definována podle teorie maximálního napětí viz Obr.21.



Obr. 18: Model pro výpočet MKP



Obr. 19: Zasítovaný model

Pro následný návrh bylo potřeba sestavit regresivní funkce pro reakční sílu F_z a maximální index porušení F_I . Tu bylo potřeba definovat pro primární i sekundární sadu zvlášť, s ohledem na jiné okrajové podmínky. Pro sestavení funkce bylo potřeba udělat vyhodnocení několika disků o různých rozměrech. Rozměrové parametry a výsledné naměřené hodnoty pro sekundární sadu jsou uvedené v Tab. 8, pro primární v Tab. 7.

Primární sada

Obecný tvar regresivní funkce pro reakční sílu F_z je:

$$F_z = b_0 \cdot D^{b_1} \cdot (h_0/t)^{b_2} \cdot t^{b_3}$$

Tab. 7: Rozměry disků a naměřené hodnoty pro primární sadu

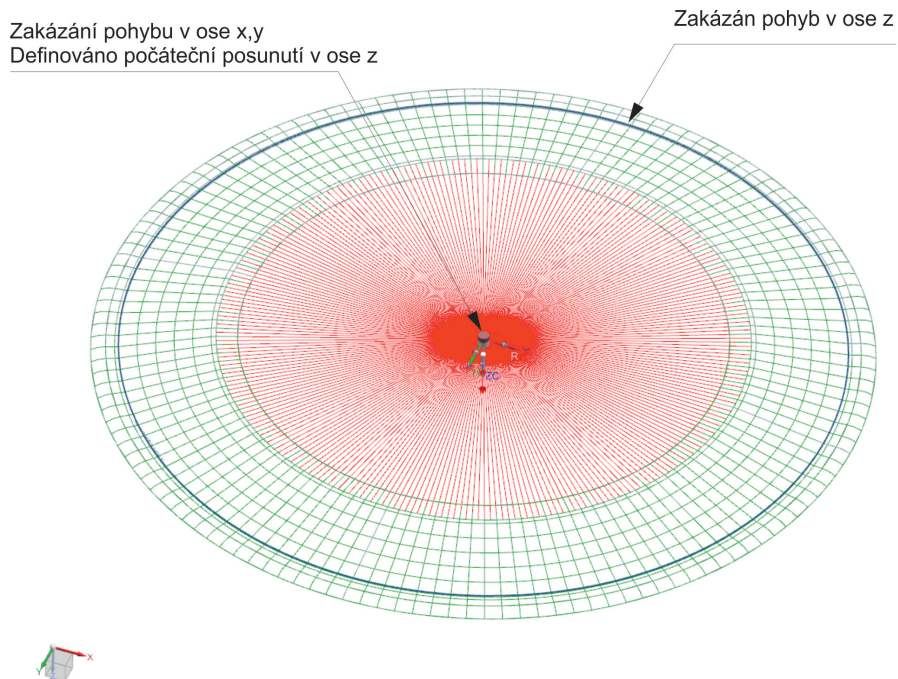
	d [mm]	D [mm]	h_0/t [-]	t [mm]	s_p [-]	F_z [N]	F_I [-]
1	48	60	0,5	0,8	100	85	0,301
2	48	60	0,5	1,6	100	633	1,406
3	48	60	1	0,8	100	311	0,730
4	48	60	1	1,6	100	2322	3,409
5	48	70	0,5	0,8	100	27	0,061
6	48	70	0,5	1,6	100	200	0,283
7	48	70	1	0,8	100	98	0,147
8	48	70	1	1,6	100	734	0,687

d vnitřní průměr disku, D vnější průměr disku, h_0/t poměr výšky disku ku tloušťce, t tloušťka disku, s_p procentuální stlačení pružiny vzhledem k h_0 , F_z naměřená reakční síla, F_I naměřený maximální index porušení

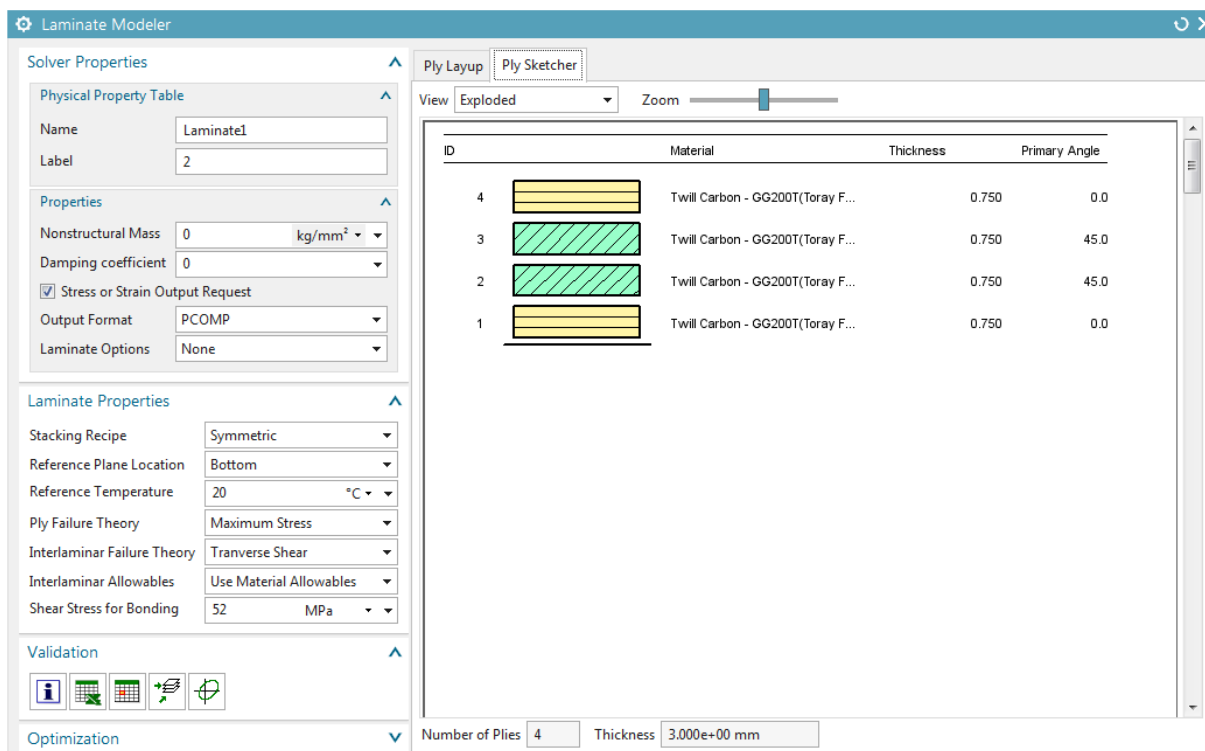
Tab. 8: Rozměry disků a naměřené hodnoty pro sekundární sadu

	d [mm]	D [mm]	h_0/t [-]	t [mm]	s_p [-]	F_z [N]	F_I [-]
1	48	70	0,5	1,5	60	201	0,155
2	48	70	0,5	1,5	95	318	0,247
3	48	70	0,5	3	60	2990	0,592
4	48	70	0,5	3	95	4736	0,937
5	48	70	0,8	1,5	60	435	0,298
6	48	70	0,8	1,5	95	689	0,47
7	48	70	0,8	3	60	6311	1,129
8	48	70	0,8	3	95	9993	1,787
9	48	60	0,5	1,5	60	460	0,268
10	48	60	0,5	1,5	95	729	0,425
11	48	60	0,5	3	60	6332	0,98
12	48	60	0,5	3	95	10026	1,558
13	48	60	0,8	1,5	60	1027	0,516
14	48	60	0,8	1,5	95	1626	0,817
15	48	60	0,8	3	60	8281	1,235
16	48	60	0,8	3	95	13112	1,955

d vnitřní průměr disku, D vnější průměr disku, h_0/t poměr výšky disku ku tloušťce, t tloušťka disku, s_p procentuální stlačení pružiny vzhledem k h_0 , F_z naměřená reakční síla, F_I naměřený maximální index porušení



Obr. 20: Okrajové podmínky



Obr. 21: Definice skladby materiálu

Obecný tvar regresivní funkce pro index porušení F_I je obdobný, s tím rozdílem,

že je nutné určit nové regresivní koeficienty:

$$F_I = c_0 \cdot D^{c_1} \cdot (h_0/t)^{c_2} \cdot t^{c_3}$$

Regresivní koeficienty byly určeny za pomoci online dostupného softwaru DESMOS.COM. Výsledná regresivní funkce pro reakční sílu je:

$$F_z = 1,1409 \cdot 10^{16} \cdot D^{-7,47004} \cdot (h_0/t)^{1,87382} \cdot t^{2,89853}$$

Výsledná regresivní funkce pro index porušení je:

$$F_I = 3,6412 \cdot 10^{18} \cdot D^{-10,3942} \cdot (h_0/t)^{1,27795} \cdot t^{2,22365}$$

Na základě výše uvedených rovnic lze konstatovat tato fakta:

- Reakční síla je výrazně negativně závislá na vnějším průměru disku.
- Reakční síla je výrazně závislá na tloušťce disku.
- Index porušení je výrazně negativně závislý na vnějším průměru disku.

Sekundární sada

Obecný tvar regresivní funkce pro reakční sílu F_z je:

$$F_z = b_0 \cdot (h_0/t)^{b_1} \cdot t^{b_2} \cdot s_p^{b_3} \cdot D^{b_4}$$

Obecný tvar regresivní funkce pro index porušení F_I je obdobný, s tím rozdílem, že je nutné určit nové regresivní koeficienty:

$$F_I = c_0 \cdot (h_0/t)^{c_1} \cdot t^{c_2} \cdot s_p^{c_3} \cdot D^{c_4}$$

Regresivní koeficienty byly určeny za pomoci online dostupného softwaru DESMOS.COM. Výsledná regresivní funkce pro reakční sílu je:

$$F_z = 240507 \cdot (h_0/t)^{0,868037} \cdot t^{3,39526} \cdot s_p^{1,00014} \cdot D^{-2,67542}$$

Výsledná regresivní funkce pro index porušení je:

$$F_I = 3,17252 \cdot (h_0/t)^{0,861713} \cdot t^{1,61125} \cdot s_p^{1,00126} \cdot D^{-1,59992}$$

Na základě výše uvedených rovnic lze konstatovat tato fakta.

- Reakční síla je nejvíce závislá na tloušťce disku.
- Reakční síla je téměř přímo úměrná na stlačení disku.
- Index porušení je téměř lineárně závislý na stlačení disku.
- Index porušení je negativně závislý na vnějším průměru disku.

Tab. 9: Hledané rozměrové parametry sady a disků

Rozměrový parametr	Popis
$d[\text{mm}]$	vnitřní průměr disku
$D[\text{mm}]$	vnější průměr disku
$h_0[\text{mm}]$	výška disku
$t[\text{mm}]$	tloušťka disku
$n[-]$	počet jednotlivých disků v sadě

Platí pro primární i sekundární sadu

Tab. 10: Okrajové podmínky sekundární sady

Parametr	Podmínka	Popis
$m[\text{kg}]$	min	Hmotnost
$F_I[-]$	$< 0,90$	Index porušení
$k[\text{N mm}^{-1}]$	$80 - 90$	Tuhost sady
$d[\text{mm}]$	48	Vnitřní průměr disku
$s[\text{mm}]$	$s < h_0$	Stlačení
$n[-]$	$6 - 40$	Počet jednotlivých disků v sadě
$t[\text{mm}]$	$1 - 3,0$	Tloušťka disku
$st[\text{mm}]$	$38,5$	Požadované stlačení sady

4.2.2 Návrh rozměrů v prostředí Matlab

Pro návrh primární i sekundární sady byl napsán algoritmus, který na základě podmínek (Tab.11 a Tab.10) hledá nejlehčí možné řešení. Algoritmus výpočtu projde veškeré možné variace zadaných rozměrů, spočte pro ně celkovou tuhost, index porušení a hmotnost. Dále je porovná se zadanými okrajovými podmínkami a hodnoty, které tyto podmínky splňují, zapíše do výsledného pole, které na závěr seřadí podle hmotnosti sady.

Algoritmus pro primární a sekundární sadu je mírně odlišný. Pro primární sadu musí při definovaném stlačení dosednout jednotlivé disky pružiny na sebe, kdežto u sekundární tato podmínka být splněna nemusí. Na Obr.22 je zobrazena úvodní část kódu pro návrh sekundární sady. Na základě vygenerovaných dat (Tab.12, Tab.13) byly zvoleny rozměry disků a sady, které jsou uvedené v Tab.14

Tab. 11: Okrajové podmínky primární sady

Parametr	Podmínka	Popis
m [kg]	min	Hmotnost
F_I [-]	$< 0,60$	Index porušení
k [N mm ⁻¹]	$16 - 25$	Tuhost sady
d [mm]	48	Vnitřní průměr disku
s [mm]	$s = h_0$	Stlačení
n [-]	$4 - 20$	Počet jednotlivých disků v sadě
t [mm]	$0,8 - 2,0$	Tloušťka disku
st [mm]	$18 - 20$	Maximální stlačení sady

Tab. 12: Část vygenerovaných hodnot pro primární sadu

m [kg]	F_I [-]	k [N mm ⁻¹]	n [-]	D [mm]	h_0 [mm]	t [mm]	s_t [mm]
0,053	0,58	22,8	16	64	1,13	0,8	18,0
0,053	0,58	23,0	16	64	1,13	0,8	18,1
0,053	0,59	23,3	16	64	1,14	0,8	18,2
0,053	0,59	23,5	16	64	1,14	0,8	18,3
0,053	0,59	23,7	16	64	1,15	0,8	18,4
0,053	0,60	24,0	16	64	1,16	0,8	18,5
0,053	0,58	22,8	16	64	1,13	0,8	18,0
0,053	0,58	23,0	16	64	1,13	0,8	18,1
0,053	0,59	23,3	16	64	1,14	0,8	18,2
0,053	0,59	23,5	16	64	1,14	0,8	18,3
0,053	0,59	23,7	16	64	1,15	0,8	18,4
0,053	0,60	24,0	16	64	1,16	0,8	18,5
0,053	0,60	24,2	16	64	1,16	0,8	18,6

m hmotnost pružiny, F_I naměřený maximální index porušení, k tuhost pružiny, n počet disků v pružině, D vnější průměr talíře, h_0 výška disku, t tloušťka talíře, s_t maximální stlačení pružiny

Tab. 13: Část vygenerovaných hodnot pro sekundární sadu

m [kg]	F_I [-]	k [N mm ⁻¹]	n [-]	D [mm]	h_0 [mm]	t [mm]
0,273	0,87	79,1	32	64	1,21	2,2
0,273	0,87	79,0	32	64	1,23	2,2
0,273	0,86	78,8	32	64	1,25	2,2
0,273	0,86	78,6	32	64	1,28	2,2
0,273	0,86	78,4	32	64	1,30	2,2
0,273	0,86	78,2	32	64	1,32	2,2
0,273	0,86	78,1	32	64	1,34	2,2
0,273	0,85	77,9	32	64	1,36	2,2
0,273	0,85	77,7	32	64	1,39	2,2
0,273	0,85	77,6	32	64	1,41	2,2
0,273	0,85	77,4	32	64	1,43	2,2
0,273	0,85	77,3	32	64	1,45	2,2
0,273	0,85	77,1	32	64	1,47	2,2
0,273	0,84	77,0	32	64	1,50	2,2
0,273	0,84	76,8	32	64	1,52	2,2
0,273	0,84	76,7	32	64	1,54	2,2
0,273	0,84	76,5	32	64	1,56	2,2

m hmotnost sady, F_I naměřený maximální index porušení, k tuhost sady, n počet disků v sadě, D vnější průměr disku, h_0 výška disku, t tloušťka disku

Tab. 14: Zvolené rozměry sad

Sada	d [mm]	D [mm]	h_0 [mm]	t [mm]	n [-]
primární	48	64	1,125	0,8	16
sekundární	48	64	1,3	2,2	32

d vnitřní průměr disku, D vnější průměr disku, h_0 výška disku, t tloušťka disku, n počet disků v sadě

```
close all;
clear all;
clc;

%vstupní parametry

rho=1750;           %hustota [kg/m^2] 1750 carbon
di=44;             %vnitřní průměr pružiny [mm]
do=60:1:70;        %rozmezí vnějšího průměru (doporučené DO/DI 1.75-2.5)
n=6:2:50;          %počet pružin v serii [-]
ho=0.3:0.025:1.2; %rozmezí poměru [ho/t]
t=1:0.2:3.5;       %rozmezí tloušťka pružiny [mm]
st=25.4;           %požadované stlačení sady [mm]

%okrajové podmínky

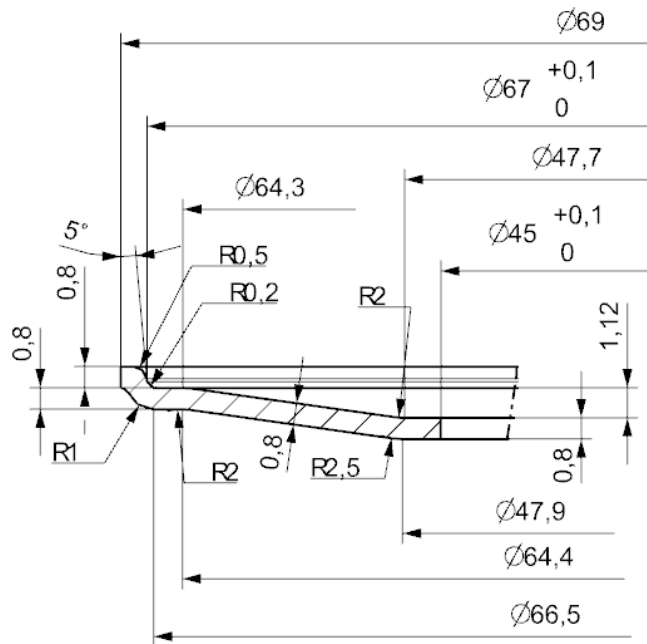
fiLim=0.8 ;        %limitní Failure index [/]
fiFilter=1;        %
kmax=95;           %celková maximální tuhost pružiny [N/mm]
kmin=80;           %celková minimální tuhost pružiny [N/mm]
kFilterEnable=1;  %aktivace (1) způsobí záznam výsledků pouze ve zvoleném rozsahu tuhostí
sFilterEnable=1;  %aktivace (1) vyfiltruje hodnoty kdy je požadované stlačení pružiny (st/n) vyšší než (ho)
```

Obr. 22: Ukázka definice vstupních parametrů a okrajových podmínek

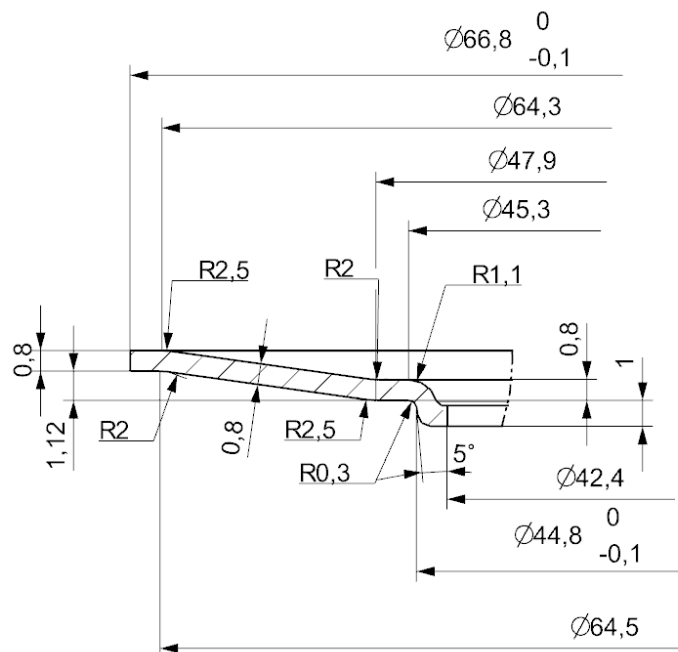
4.2.3 Finální CAD návrh disků

Předběžný návrh disků byl vhodně doplněn o finální rozměry a tolerance. Tolerance rozměrů obou disků musí být navrženy tak, aby bylo možné disky složit do sady. Na Obr. 23 až Obr. 26 jsou zobrazeny rozměry disků. Kompletní výkresová dokumentace je přílohou této práce.

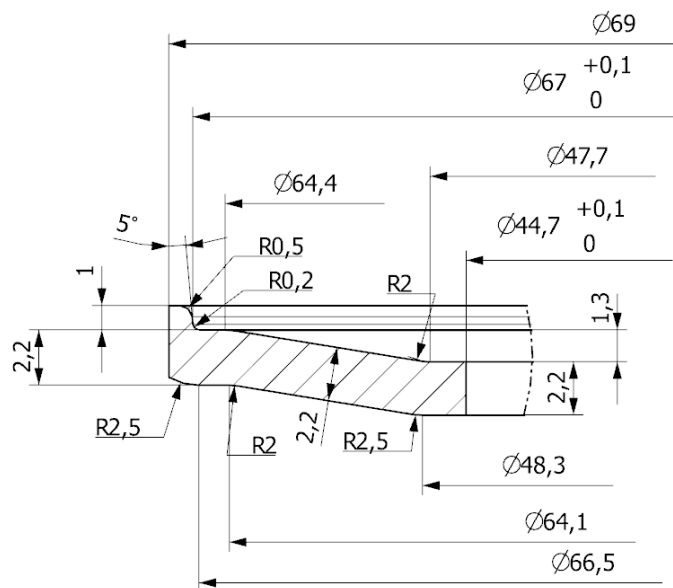
Vnitřní průměr disků byl navržen s ohledem na dostatečnou vůli s tělem tlumiče. Z tohoto důvodu by musel mít první a poslední disk umístěný na tlumiči atypický vnitřní průměr. Aby nebylo nutné vyrábět na každý tlumič dva disky se speciálními rozměry, byly do oblasti styku disků s tlumičem navrženy vymezovací kroužky z vysoce odolného technického plastu *PA66 GF30* (Obr. 27).



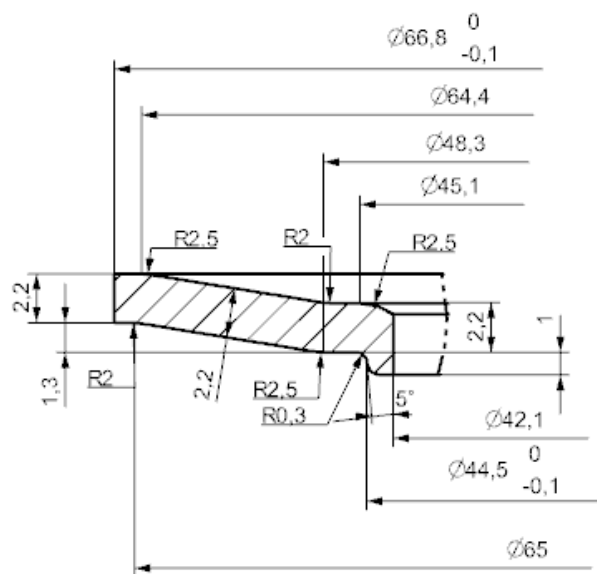
Obr. 23: Disk primární sady s vnějším zámekem



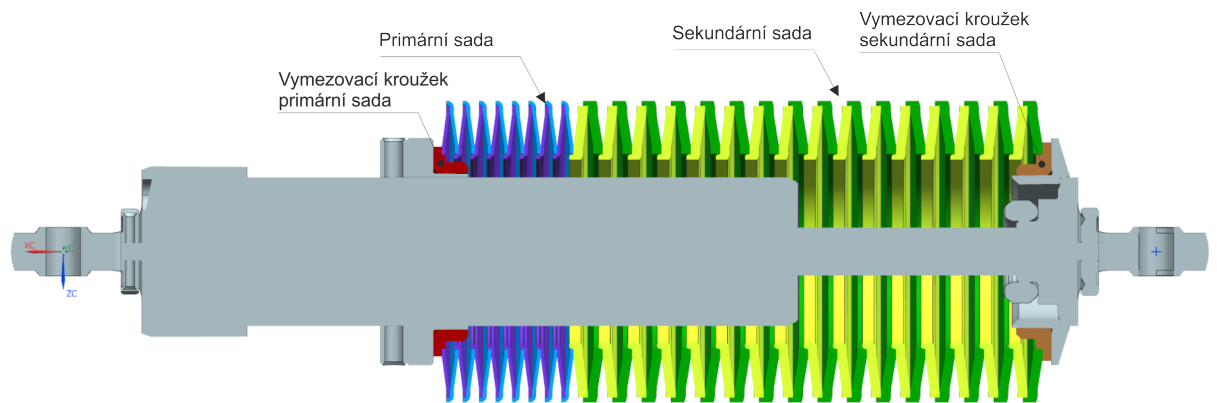
Obr. 24: Disk primární sady s vnitřním zámekem



Obr. 25: Disk sekundární sady s vnějším zámekem



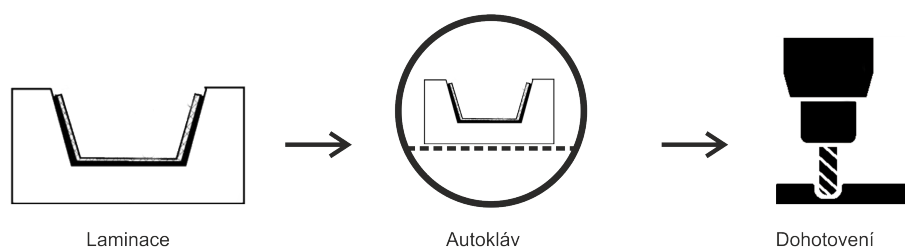
Obr. 26: Disk sekundární sady s vnitřním zámekem



Obr. 27: Sestava s tlumičem

5 Návrh technologie výroby

Výsledné talířové pružiny lze získat metodou laminování do formy, jejíž tvar odpovídá tvaru výsledného dílu. Z důvodu vysokého dynamického namáhání navržených pružin je vhodné volit metodu laminace v uzavřené formě, kde je výsledná kvalita (jak z pohledu mechanických vlastností, tak jakosti povrchu) dílu nejvyšší. Laminováním však není možné vyrobit finální díl bez nutnosti dalšího zásahu. Po laminaci je tedy nutné díl dohotovit (zbavit přídavek apod.). Celý výrobní proces je znázorněn na Obr. 28.



Obr. 28: Postup výroby pružiny

5.1 Laminování

Obecně je laminování v RTP jednou z kritických fází výroby vozu. Na voze je více než 40 laminovaných součástí. Časově náročná je jak příprava a laminování dílů, tak samotný proces laminace v autoklávu, který trvá více než 4 hodiny. V případě laminace více součástí zároveň a poškození vakuovacího pytle jedné součásti, dojde k úniku podtlaku ze všech ostatních součástí, tudíž k jejich zničení a nemalé časové a finanční ztrátě. Se vzrůstajícím počtem forem paralelně umístěných do autoklávu se toto riziko nepříjemně zvyšuje. Z tohoto důvodu je v RTP pravidlo, které definuje maximální počet dílů 3 na jeden cyklus laminace.

V případě, že by byla pro každou talířovou pružinu vyrobena separátní forma a při uvažování realistického scénáře 1 cyklus laminace denně a zohlednění výše uvedených pravidel, trvala by výroba všech talířových pružin potřebných pro vůz 64 dnů. To je nepříjemně dlouhá doba a je tedy nutné navrhnout formu ve které bude zhotoven větší počet pružin současně.

5.2 Dohotovení

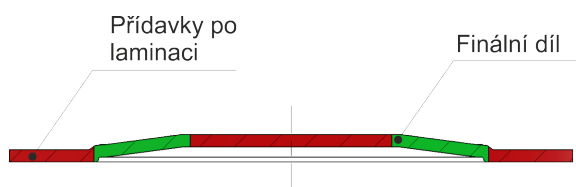
Pro přeměnu laminovaného dílu do finálního je potřeba odstranit přídávky, které vzniknou procesem laminace (Obr. 29). Tyto přídávky se nejčastěji odstraňují třísi-

kovým obráběním, případně řezáním vodním paprskem. V prototypové výrobě, jakou se zabývá RTP, se přídavky odstraňují ručně pomocí modelářské brusky a řezných kotoučů přímo určených pro řezání uhlíkového kompozitu (výrobce *Perma-Grit* Obr. 30). Tento dosud používaný postup ovšem není vhodný pro výrobu většího množství kusů a to zejména pro svoji časovou náročnost a nízkou přesnost.

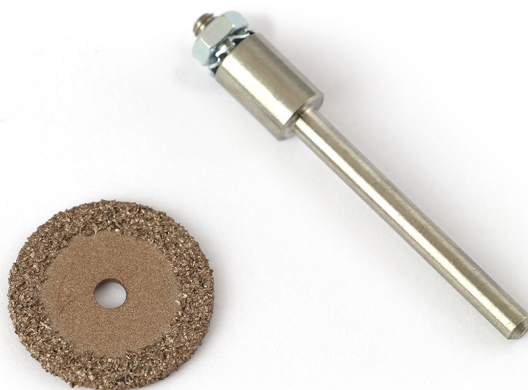
Frézování je hojně používanou metodou. Při této metodě je však výrazné riziko delaminace jednotlivých vrstev kompozitního materiálu (viz Obr. 31) a je tedy vhodné zvolit nástroje s optimalizovanou geometrií, (např. *SECO Jabro-Composite* která má tento problém eliminovat. Je nutné také zmínit že RTP nemá dosud žádnou zkušenost s frézováním kompozitních materiálů.

Řezání pomocí vodního paprsku je rychlá metoda, při které je možné vhodnými podmínkami eliminovat problém delaminace. Tato metoda je velkou měrou používána RTP pro výrobu deskových dílů z kompozitních materiálů. Jedná se tedy o ověřený postup.

Všechny zmíněné metody a jejich vlastnosti jsou uvedeny v Tab. 15.



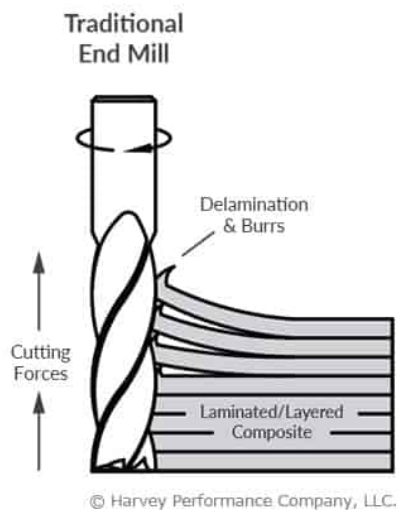
Obr. 29: Vylaminovaný díl vs. finální díl



Obr. 30: Perma-grit 19 mm [7]

Na základě výše řečeného se jeví jako nejvhodnější metoda pro dokončení řezání vodním paprskem.

Figure 1



Obr. 31: Problém delaminace při frézování [8]

Tab. 15: Srovnání vhodnosti metod dohotovení dílu

Metoda	Vysoký počet dílů	Dosahovaná přesnost	Kvalita obrobeneho povrchu	RTP zkušenosti
Modelářská bruska	3	3	2	1
CNC Frézování	2	1	1	2
Řezání vodním paprskem	1	2	1	1

Nižší číslo značí větší vhodnost použití

6 Návrh formy a potřebných přípravků

Cílem bylo navrhnout veškeré díly potřebné pro výrobu pružin, tak aby mohla být výroba uskutečněna v zázemí RTP v maximální možné míře, případně pomocí technologií dostupných na ZČU a u spřízněných firem. Důraz byl tedy kladen na minimalizování nutnosti kooperace.

Strojní vybavení dostupné v zázemí RTP:

- sloupová vrtačka,
- soustruh hrotový SU32,
- frézka TOS FN 40,
- CNC frézka DMU 35 M,
- CNC obráběcí centrum MCV 750 A,
- robot Staubli RX130 osazen frézovacím vřetenem.

Ostatní dostupné technologie:

- galvanické povrchové úpravy (zinkování, eloxování),
- řezání vodním paprskem,
- řezání laserovým paprskem.

6.1 Návrh formy

6.1.1 Materiál formy

Vhodnými materiály pro výrobu forem jsou například dřevo, MDF desky, PUR pěny, laminát, umělé dřevo, ocel, hliníkové slitiny. Volba materiálu je závislá na počtu vyráběných dílů a typu technologie. Z důvodu nízké teplotní odolnosti dřeva a nízké pevnosti PUR pěny nelze tyto dva materiály použít pro laminaci v autoklávech. MDF desky a umělé dřevo jsou vhodné pro výrobu forem jednoduchých tvarů s počtem řádově jednotek kusů. Ocelové a hliníkové slitiny jsou vhodné pro velké série a složité tvary.

Jako materiál pro výrobu formy byla zvolena hliníková slitina EN AW 6082, která disponuje dobrou obrobiteľnosťou, je vhodná k eloxování a v případě nutnosti opravy je tento materiál velmi dobře svařitelný. Srovnání materiálů pro výrobu formy je uvedeno v Tab. 16.

6.1.2 Základní koncepce formy

Pro urychlení výroby je vhodné navrhnout formu, pomocí které bude možné vyrobit více disků současně, v ideálním případě celou jednu potřebnou sadu. Finální forma musí být kompromisem mezi co možná největším počtem disků obsažených

Tab. 16: Srovnání materiálů pro výrobu forem

Materiál	Možnost použití v autoklávu	Opracování	Náročnost přípravy	Životnost	RTP zkušenosti
Dřevo	Ne	Snadné	Vysoká	Neznámá*	Ne
MDF	Ano	Snadné	Vysoká	Nízká	Ano
PUR pěna	Ne	Snadné	Vysoká	Neznámá*	Ne
Laminát	Ano	Obtížné	Střední	Vysoká	Ano
Umělé dřevo	Ano	Snadné	Střední	Nízká	Ano
Ocel	Ano	Obtížné	Střední	Vysoká	Ano
Hliníkové slitiny	Ano	Středně obtížné	Nízká	Vysoká	Ano

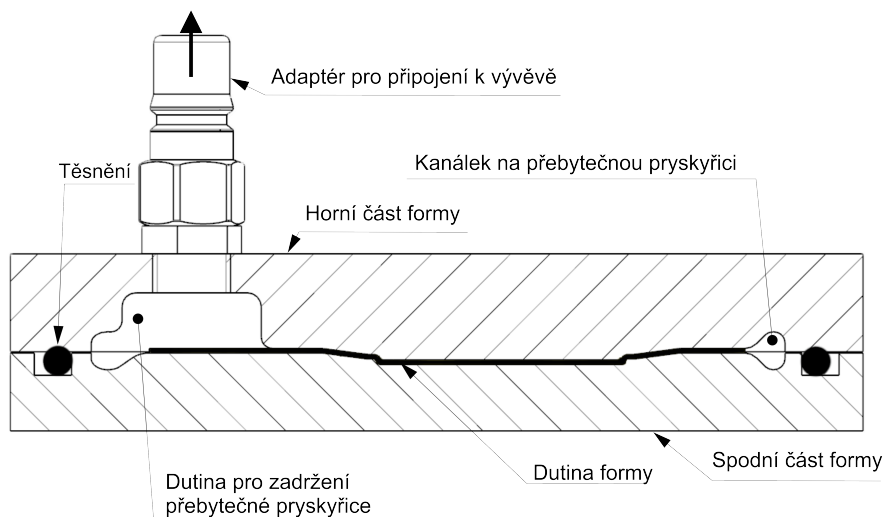
Náročností přípravy se rozumí dohotovení po obrábění: broušení, lakování apod.

** Vzhledem k nulovým zkušenostem s materiálem není známá jeho životnost při použití pro výrobu kompozitních dílů*

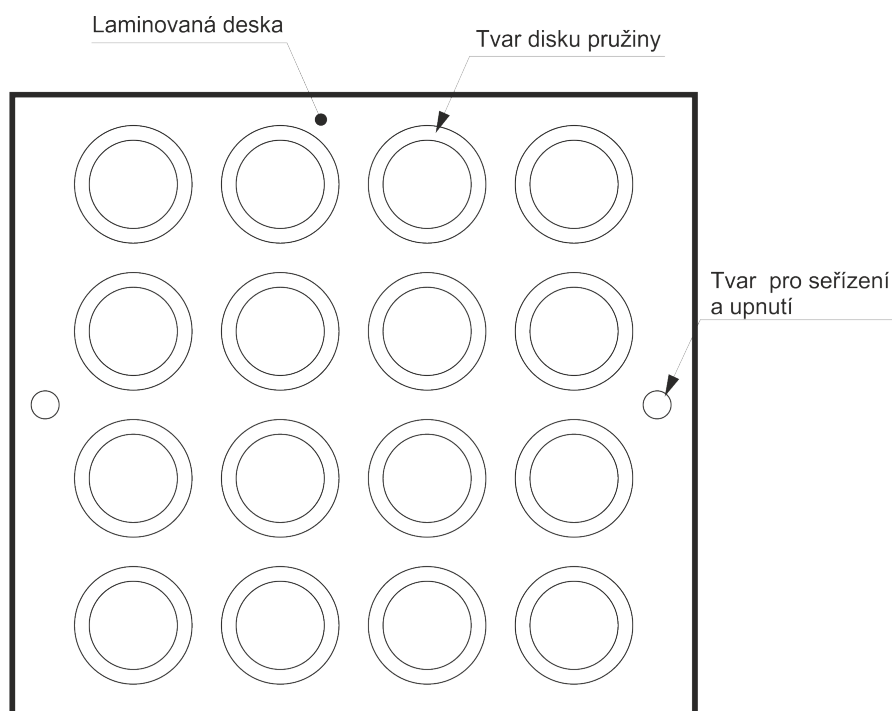
ve formě, přiměřenou cenou polotovaru a přiměřenou časovou náročností výroby formy. Limitou rozměru formy se v tomto případě jeví pracovní rozměr obráběcího stroje na kterém bude výroba formy probíhat. CNC frézka DMU 35 M disponuje maximálním rozjezdem os x/y 350 mm/240 mm, CNC obráběcí centrum MCV 70 A disponuje rozjezdem os x/y 750 mm/500 mm. Pro výrobu je tedy vhodné použít MCV 750 A a pro bezproblémové obrobení celé formy je nutné zvolit maximální rozměr formy menší než jsou maximální rozjezdy os obráběcího stroje. Maximální rozměry formy tedy byly omezeny na 400 mm x 600 mm.

Schématická koncepce formy je znázorněna na Obr. 32. Forma se skládá ze dvou částí, které jsou od okolního prostředí utěsněny vhodným těsnícím elementem. Jako nejvhodnější těsnící element se jeví použití těsnění typu o-kroužek. Dutina formy, do které se vkládají vrstvy tkaniny je dokola oddělena kanálkem, který má funkci akumulace přebytečné pryskyřice, která se tlakem vytlačí z preimpregnované tkaniny. Tento kanálek je pomocí adaptéru a flexibilní hadice připojen k vývěvě. Vývěva je součástí autoklávu a má za cíl zajistit podtlak uvnitř formy.

Aby bylo možné zhotovit více disků naráz a bylo usnadněno dohotovení dílů, je vhodné zhotovit dutinu formy jako "plato". Tj. výsledným laminovaným dílem bude deska, která bude obsahovat množství oblastí, ze kterých se následně pomocí vodního paprsku vyřezou disky pružiny o finálních rozměrech. Na desce musí vzniknout tvary, za které bude možné upnout desku do pracovního prostoru řezacího stroje a zároveň je potřeba zajistit požadovanou polohu desky Obr. 33.



Obr. 32: Schématické znázornění formy



Obr. 33: Schématické znázornění desky s více disky

6.1.3 Návrh prototypové formy

Celkem byly navrženy dvě prototypové formy pro primární disky a sekundární disky. Formy se od sebe liší pouze tvarem vnitřní dutiny pro laminovaný díl. Základní tvary a rozměry byly navrženy totožné. Výsledný návrh prototypové formy je zobrazen na Obr. 34.

Každá forma se skládá ze dvou částí o základních rozměrech 210 mm x 130 mm. Po obvodu formy jsou umístěny šrouby pro vyvození předběžného zatížení a zajištění

přítlačení těsnících ploch k o-kroužku. Pro zajištění vzájemné polohy obou částí jsou použity dva válcové kolíky DIN 6325 8 x 16.

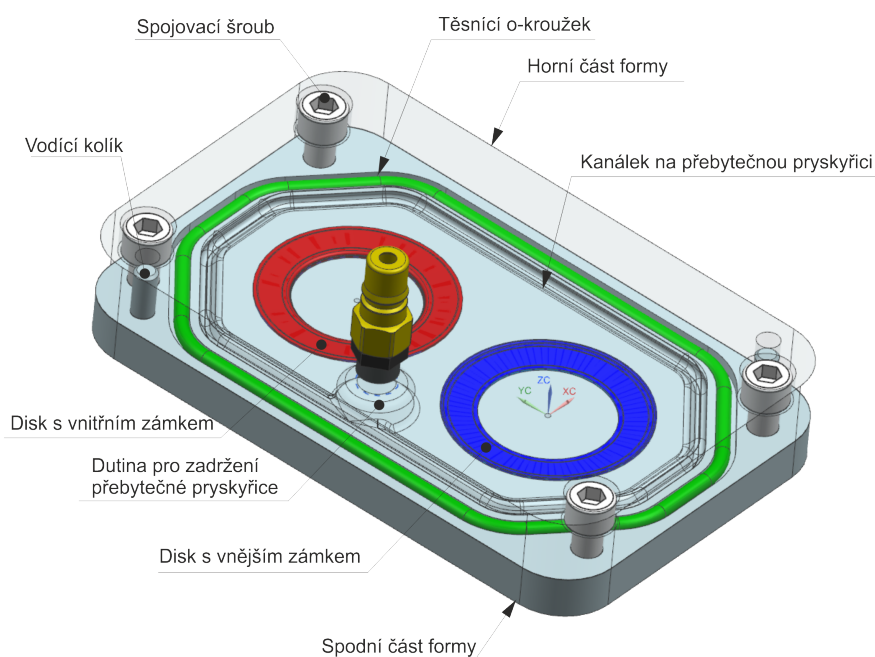
Kanálek a dutina pro přebytečnou pryskyřici jsou navrženy tak, že jejich objem je alespoň 40 % z objemu vylaminované desky. Tento objem je navržen s velkou bezpečností. V případě, že by unikla pryskyřice z formy, došlo by s velkou pravděpodobností ke zničení ventilů, vedení a vývěvy umístěných na autoklávu.

O-kroužek pro těsnění byl zvolen z materiálu NBR70 o průměru 5 mm. Drážka pro o-kroužek byla rozměrově navržena dle doporučených rozměrů v katalogu výrobce [15].

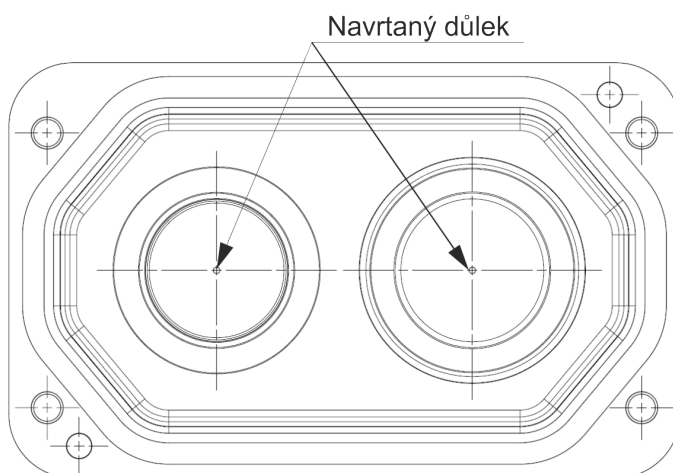
Adaptér pro připojení k vývěvě je vyroben s vnitřním závitem 1/4 NPT pro jeho připojení k formě je použita redukce. Ve formě je tedy zhotoven vnitřní závit M14x1,5.

Ve spodní části formy, ve středu každého disku je navrtán důlek, do kterého zateče přebytečná pryskyřice. Vzniklý výstupek by měl sloužit pro ustavení vylaminovaného dílu na řzacím stroji (Obr. 34). Vzniklý vylaminovaný díl je zobrazen na Obr. 36.

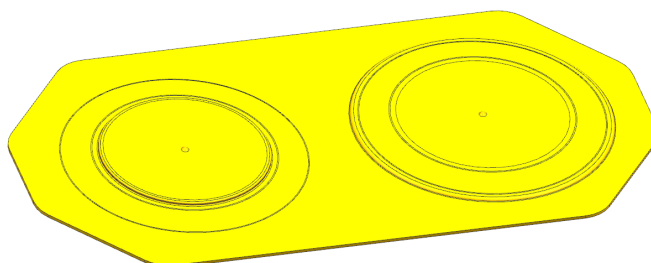
Výrobní výkresy prototypových forem jsou přílohou této práce.



Obr. 34: Výsledný návrh prototypové formy



Obr. 35: Navrtání důlku v prototypové formě pro přesné ustavení vylaminovaného dílu na řezacím stroji



Obr. 36: Výsledný vylaminovaný díl

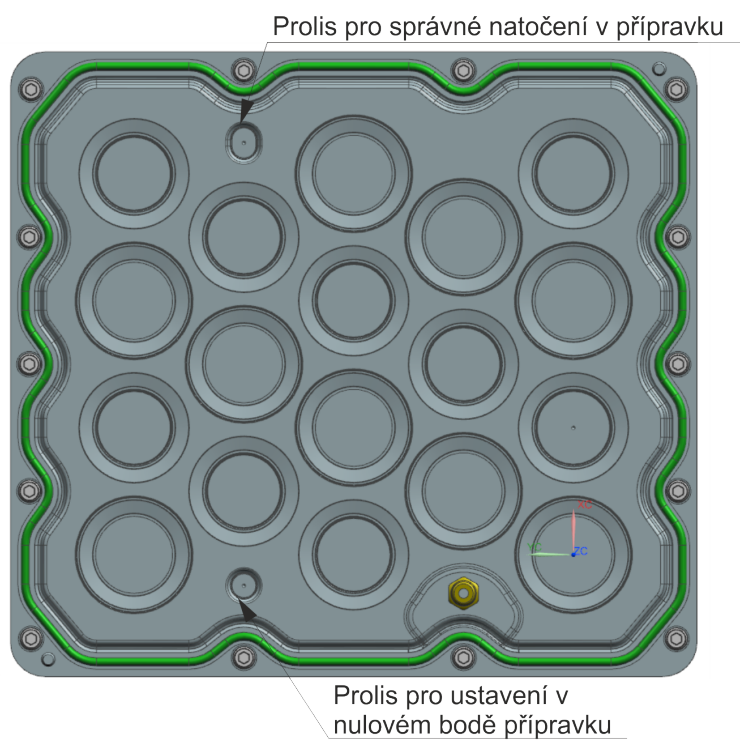
6.1.4 Návrh finálních forem

Návrh finálních forem vychází z návrhu forem prototypových. Zachovány byly všechny zásadní konstrukční prvky ať už se jedná o průměr a materiál zvoleného těsnícího okroužku, tvar drážky pro odvod přebytečné pryskyřice, připojovací rozměry k vývěvě autoklávu, minimální objem kanálku a dutiny na zadržení přebytečné pryskyřice a pod.

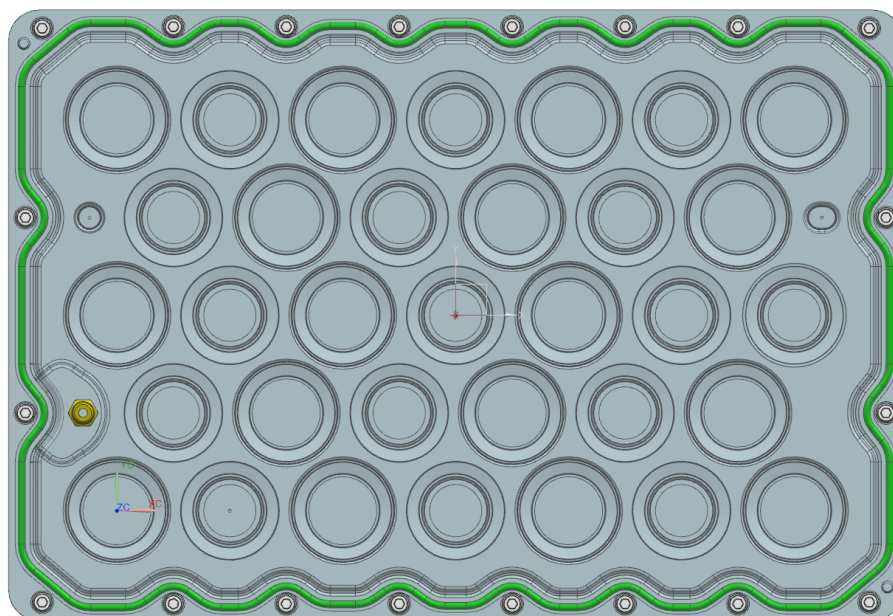
Při návrhu byl zohledněn počet disků potřebných pro jednu sadu pružiny (viz str. 33, Tab. 14). Forma pro disky primární sady je tedy navržena na celkový počet disků 19. Forma pro disky sekundární sady na počet 33 disků. Vnější rozměry formy pro primární sadu jsou 400 mm x 364 mm, pro sekundární 400 mm x 600 mm a splňují tedy požadavky specifikované v kapitole 6.1.2.

V dutině formy jsou vytvořeny dva prolisy, které mají zajistit přesné uložení vylaminovaného dílu do přípravku v řezacím stroji. První prolis je kruhového tvaru a má zajistit přesné ustavení v nulovém bodě přípravku. Druhý prolis má tvar zaoblené drážky, ta již plní pouze funkci správného natočení na přípravku a zajišťuje možnost tepelné dilatace vylaminovaného dílu oproti upínacímu přípravku. Vizualizaci forem

je možné vidět na Obr. 37.



Obr. 37: Výsledný návrh finální formy pro primární sadu



Obr. 38: Výsledný návrh finální formy pro sekundární sadu

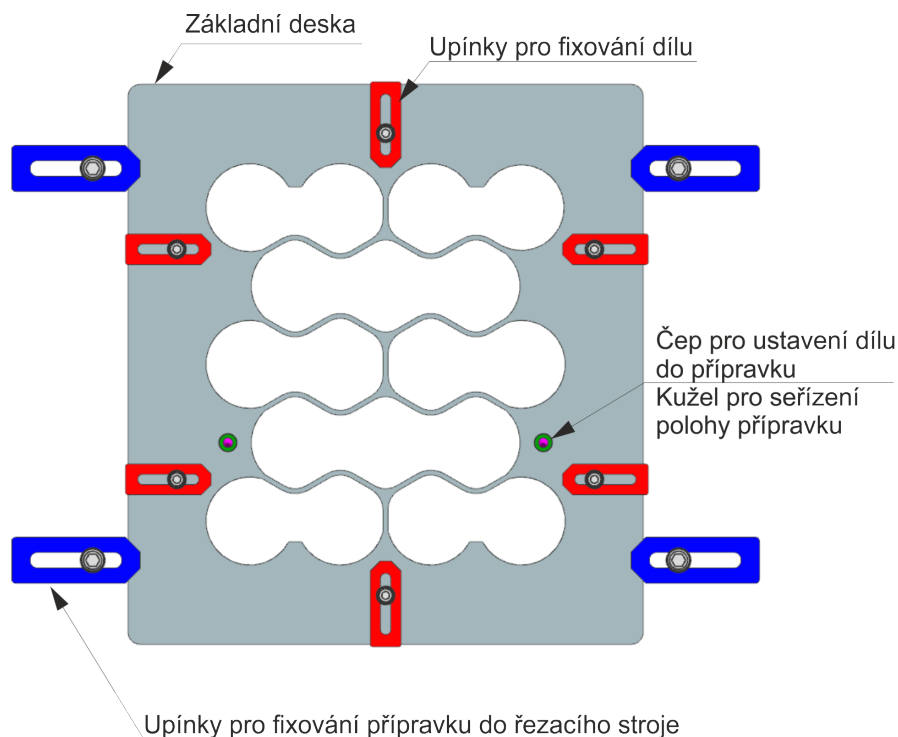
6.2 Návrh přípravku pro řezání vodním paprskem

Do řezacího stroje se běžné polotovary upínají na ocelový rošt pomocí upínek. Tímto způsobem by bylo možné upnout i vylaminovaný díl, avšak při založení nového dílu by bylo nutné znovu seřídít jeho polohu, což při řezání většího počtu dílů přináší nemalou časovou zátěž. Z tohoto důvodu byl navržen upínací přípravek, který zajistí při vložení nového dílu jeho přesnou polohu (Obr. 39 a Obr. 40).

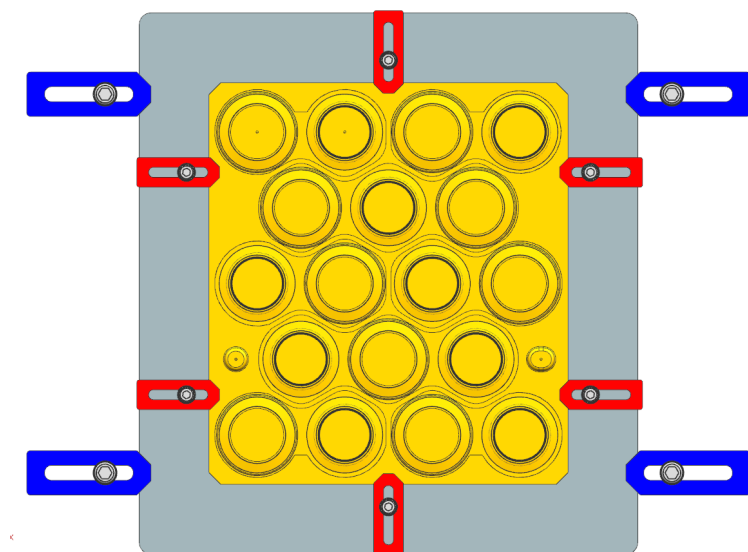
Základna přípravku je navržena jako výpalek z ocelového plechu tl. 8 mm, ve kterém jsou zhotoveny závitové otvory pro upínky a otvory do kterých se vloží čepy, které přesně zapadnou do prolisu vytvořeného v dílu, a tím zajistí jeho přesnou polohu. V základně jsou pod místem řezu vodního paprsku vytvořeny dutiny, tak, aby jimi mohl vodní paprsek volně projít a nedocházelo tak k řezání do přípravku.

Seřizování polohy a orientace dílu na stroji probíhá pomocí kužele, který se nasadí na řezací trysku a najede se s ním na místo pomyslného nulového bodu dílu. Z tohoto důvodu je možné do přípravku vložit kuželový čep, proti kterému se najede kuželem umístěným ve stroji (Obr. 41).

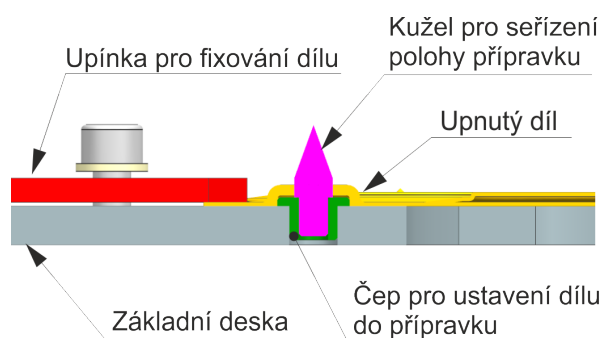
Na obrázcích níže je vyobrazen přípravek pro primární sadu disků. Přípravek pro sekundární sadu je obdobné konstrukce, přičemž zohledňuje tvar a rozmístění disků ve formě pro sekundární sadu.



Obr. 39: Přípravek pro řezání vodním paprskem - primární sada



Obr. 40: Přípravek pro řezání vodním paprskem se založeným dílem - primární sada



Obr. 41: Detail čepu pro přesné uložení dílu v přípravku

7 Výroba prototypových forem

7.1 Technologie výroby

Výroba prototypových forem probíhala kompletně na obráběcím centru MCV 750A (Obr. 44). Obrábění všech forem probíhalo dle obdobného postupu.

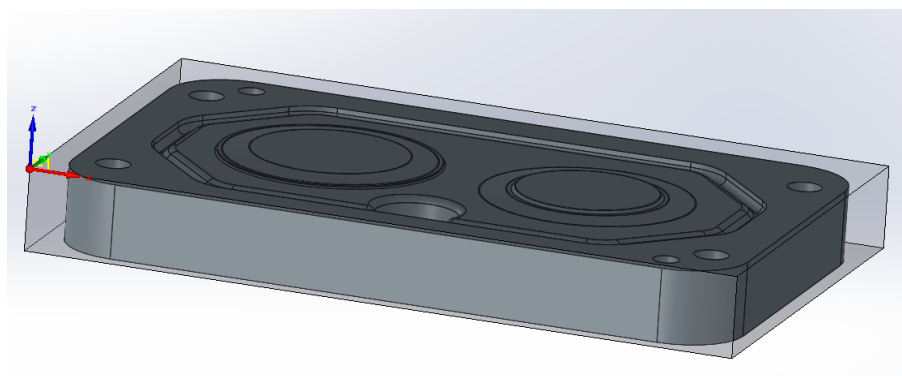
První strana:

- Polotovar upnutý do svěráku za 3 mm, nulový bod umístěný na horním rohu polotovaru (Obr. 42).
- Obrobena kompletně 1. strana, mimo obvodu. Obvod obrobený do hloubky, při které nedojde ke kolizi se svěrákem.

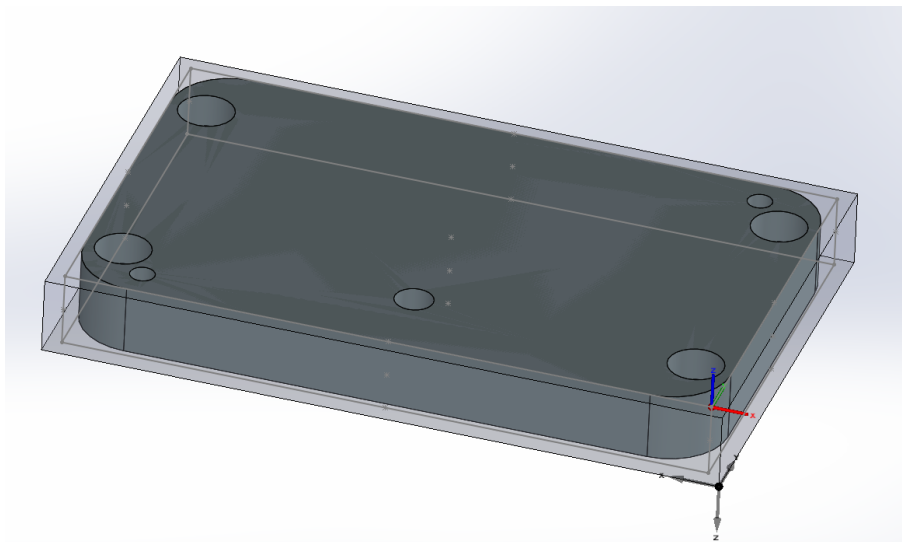
Druhá strana:

- Polotovar upnutý do svěráku za 3 mm, nulový bod umístěný na horním rohu polotovaru (Obr. 43).
- Obroben obvod.
- Sražení všech hran.
- Díl značen dle požadavcích na výkresu.

Obráběcí program byl vytvořen v CAM softwaru SolidCAM. Seřizovací listy pro formu pro primární disky jsou přílohou této práce. Seřizovací listy pro formu pro sekundární disky jsou totožné se seřizovacími listy pro primární disky. Simulovaný čas obrábění pro horní část formy (CFDS06-01-01-002) byl 49 min. Simulovaný čas obrábění pro spodní část formy (CFDS06-01-01-001) byl 57 min.



Obr. 42: Umístění prvního nulového bodu



Obr. 43: Umístění druhého nulového bodu



Obr. 44: Obrobená forma upnutá v obráběcím stroji

7.2 Rozměrová kontrola

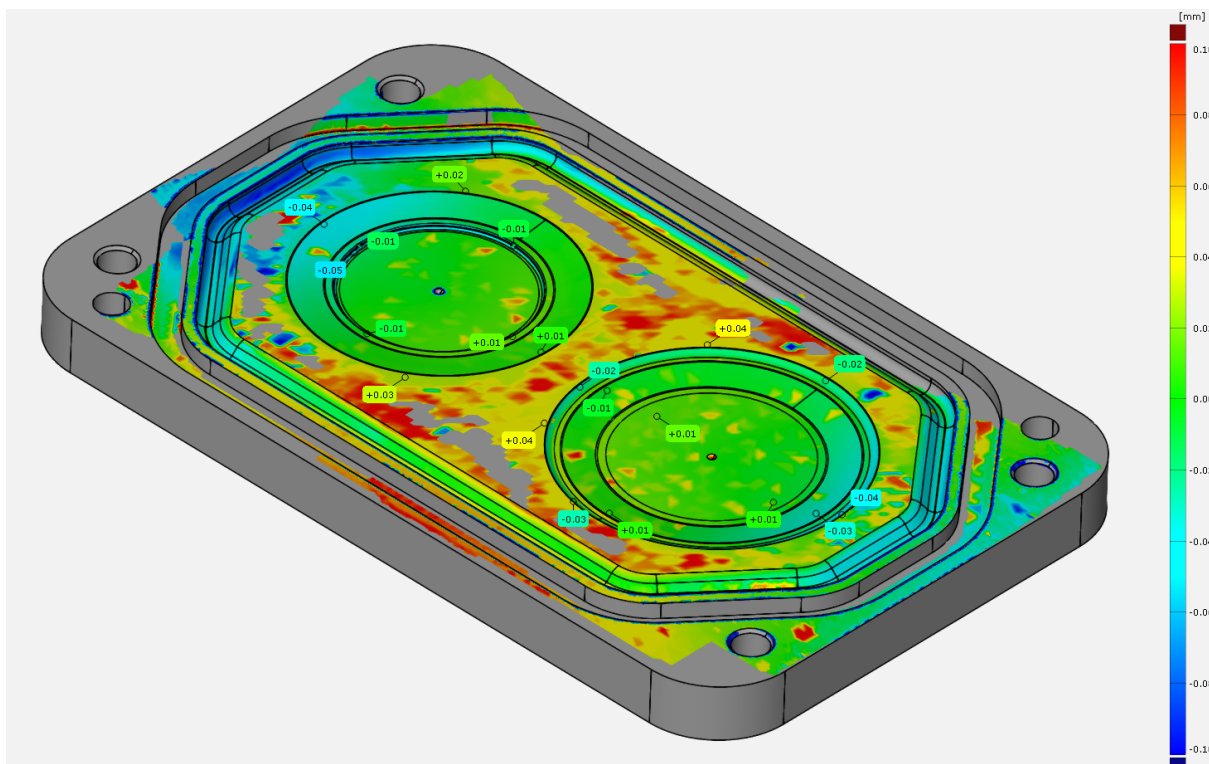
Rozměrová kontrola vyrobených forem byla zaměřena na kontrolu tvarů, které mají přímý vliv na finální tvar disku pružiny. Jedná se tedy o střední část forem, tato část byla naskenována pomocí 3D skeneru ATOS Triple Scan. Formy bylo nutné před samotným skenováním opatřit nástřikem oxidu titanu. Ten zajišťuje zmatnění skenovaného dílu a zároveň poskytuje ze všech ostatních možných nástřiků nejmenší tloušťku vrstvy (0.010 mm až 0.013 mm) a dosahuje nejkonstantnější tloušťky [16].

Porovnání naskenovaných forem s navrženým modelem formy bylo provedeno v softwaru GOM Inspect. Výsledné porovnání je zobrazeno na Obr. 45 až Obr. 47. Při

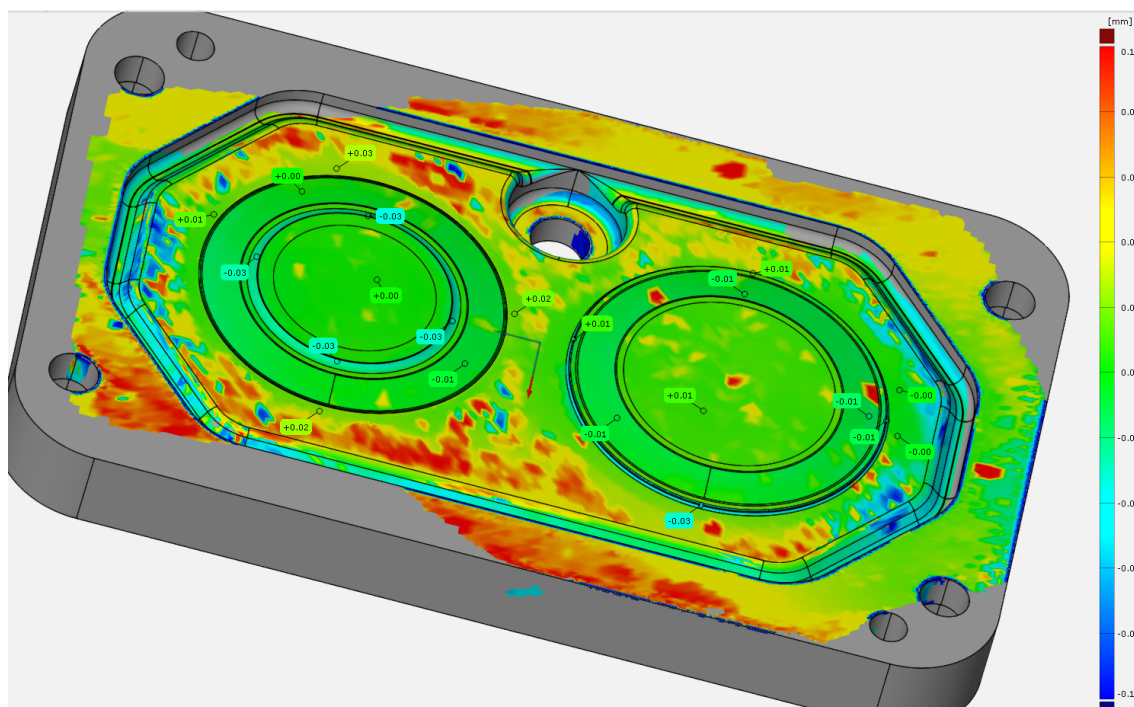
porovnání nebyla zohledněna vrstva nástřiku oxidu titanu.

Při vlastním skenování došlo k poškození skenu u spodní části formy pro primární pružinu (CFDS06-01-01-001). Z časových důvodů již nebylo možné skenování opakovat, a tak zde porovnání této části formy není uvedeno.

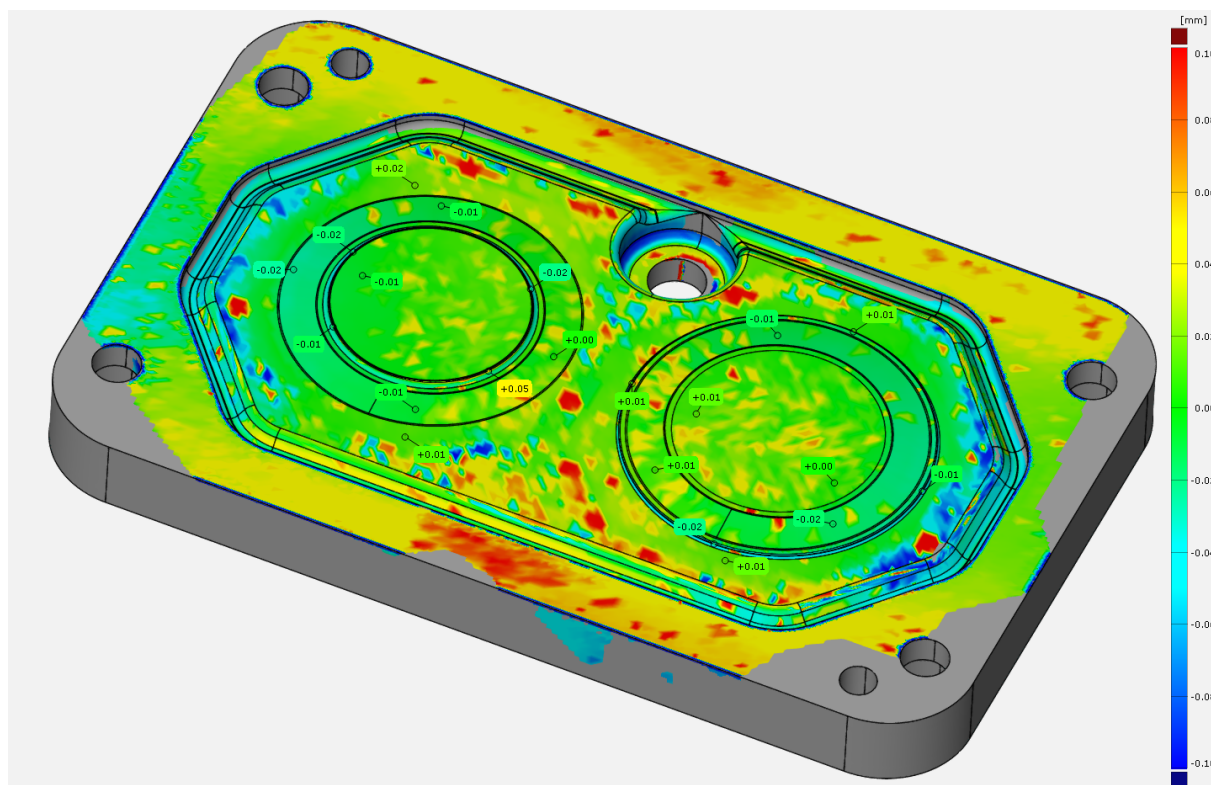
Při porovnání naměřených odchylek a předepsaných dovolených odchylek na výrobních výkresech lze konstatovat, že všechny posuzované vyrobené části jsou vyrobené v předepsané odchylce tvaru plochy 0.05 mm (viz výkresy v příloze práce).



Obr. 45: Porovnání vyrobené spodní části formy pro sekundární sadu s CAD modelem (CFDS06-01-00-001)



Obr. 46: Porovnání vyrobené horní části formy pro sekundární sadu s CAD modelem (CFDS06-01-00-002)



Obr. 47: Porovnání vyrobené horní části formy pro primární sadu s CAD modelem (CFDS06-01-01-002)

8 Výroba prototypových disků a testování

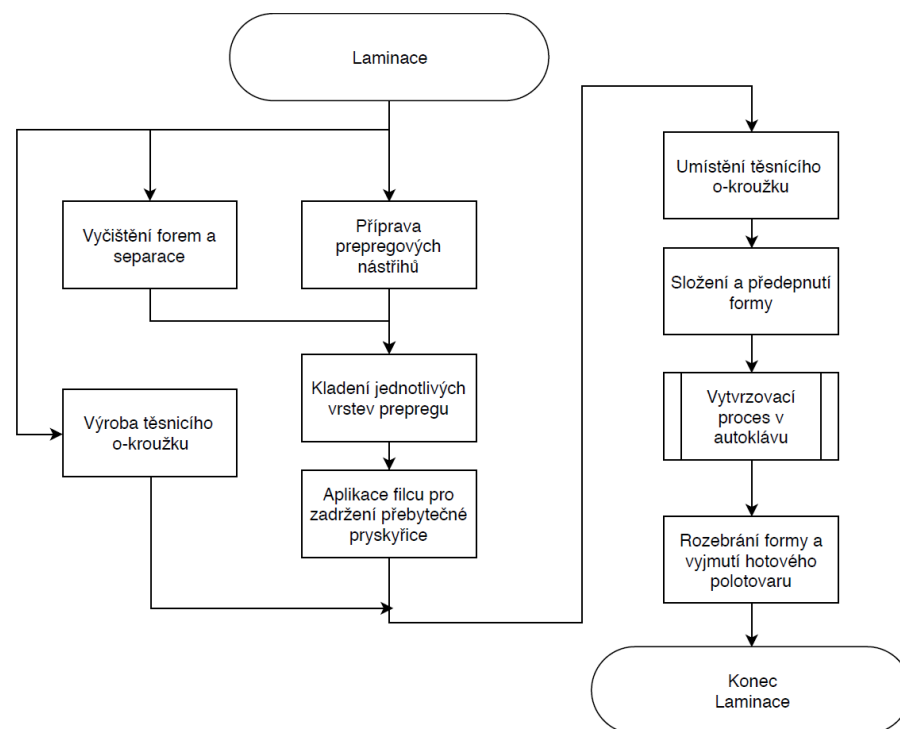
Výroba dílů je složena ze dvou dílčích částí. První část je výroba laminátového polotovaru ze kterého jsou následně vyřezány prototypové disky. Ty byly následně podrobeny testům za účelem zjištění jejich charakteristiky.

8.1 Laminace

Samotný proces laminace nejlépe vystihuje vývojový diagram zobrazený na Obr. 48. Aplikace separačního přípravku *LOCTITE 770-NC Frekote* se provádí proto, aby nedošlo ke spojení pryskyřice se samotnou formou. Bez použití separátoru by tedy nebylo možné vyjmout díl z formy. Celkem se provádí 7 nátěrů separátoru s časovým odstupem 7 min.

Po nanesení separátoru (Obr. 51) a zhotovení nástřihů (Obr. 50) bylo možné do formy vložit prepregové (Obr. 52) nástřihy v přesně definovaném pořadí (viz příložený výkres CFDS06-02-03-000). Po vložení prepregu následovalo vložení filcu do dutiny v horní části formy, který zadržuje přebytečnou pryskyřici.

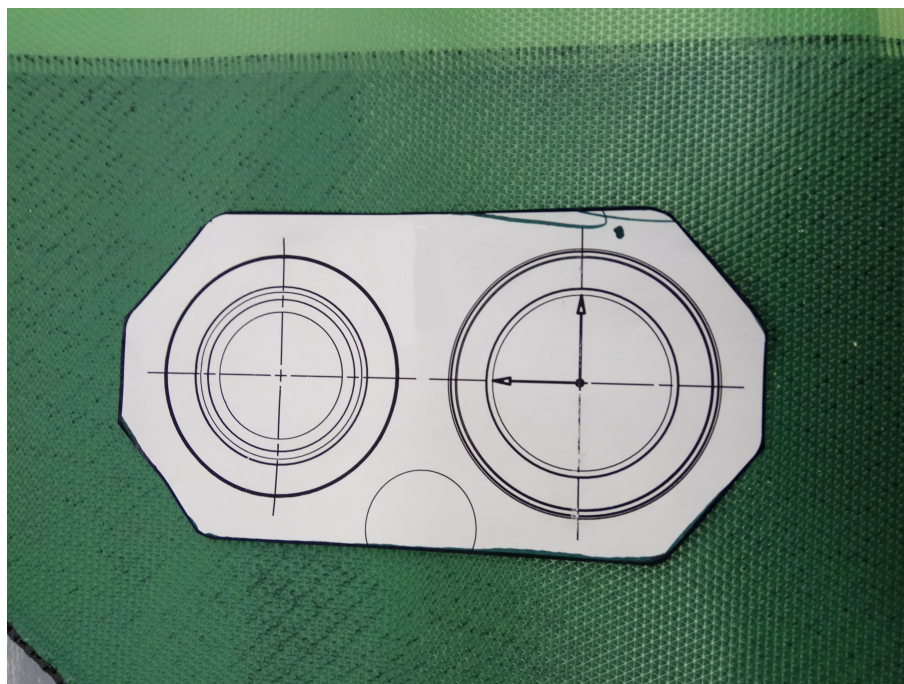
Dále bylo nutné zhotovit těsnící o-kroužek, v tomto rozměru není běžně dostupný. Polotovar o-kroužku je nejdříve zaříznut na požadovanou délku a následně slepen pomocí lepidla *LOCTITE 4850* (Obr. 49). Po vložení o-kroužku do formy a její kompletaci je nutné ověřit její těsnost. To je provede po vložení a připojení forem do autoklávu (Obr. 53). V manuálním režimu se provede spuštění vývěvy a sleduje se vytvořený podtlak uvnitř forem. Po této zkoušce je možné spustit vytvrzovací proces dle stanovené receptury. Průběh během vytvrzení je možné sledovat na kontrolní obrazovce (Obr. 54). Záznam z celého procesu je zobrazen ve Grafu. 12.



Obr. 48: Vývojový diagram laminace



Obr. 49: Výroba o-kroužku



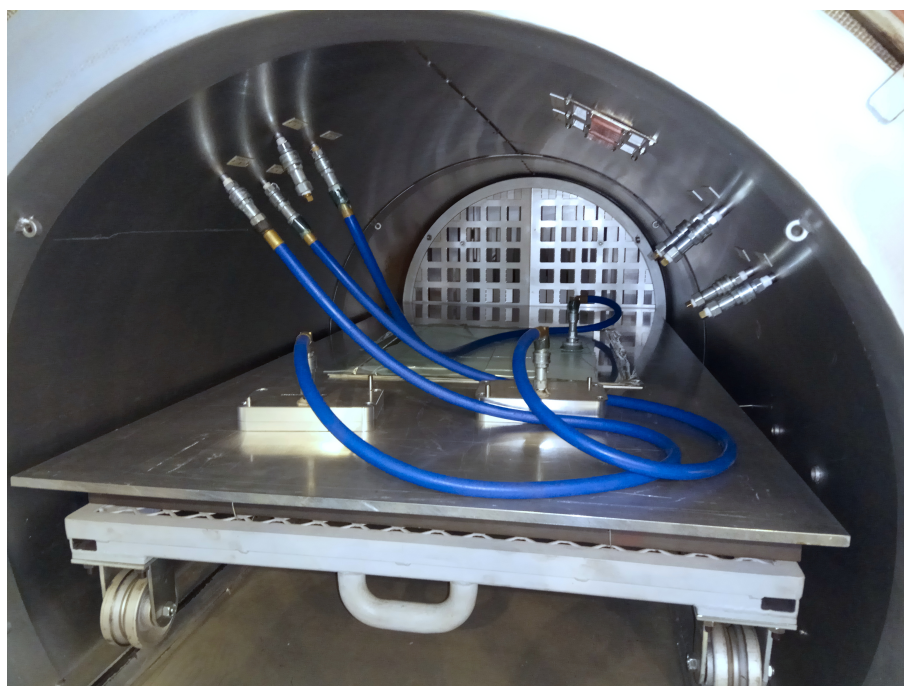
Obr. 50: Výroba nástřihů



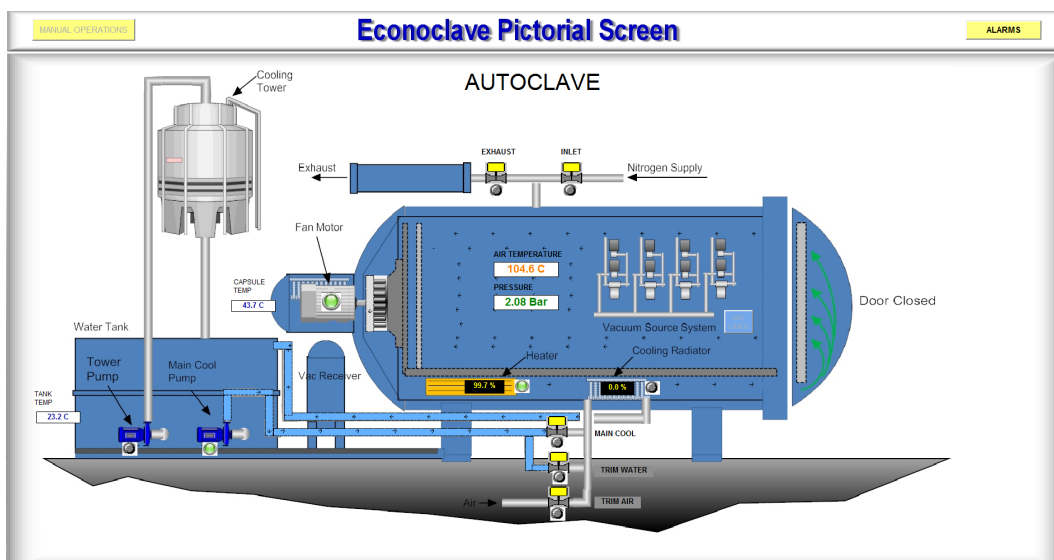
Obr. 51: Naseparované formy



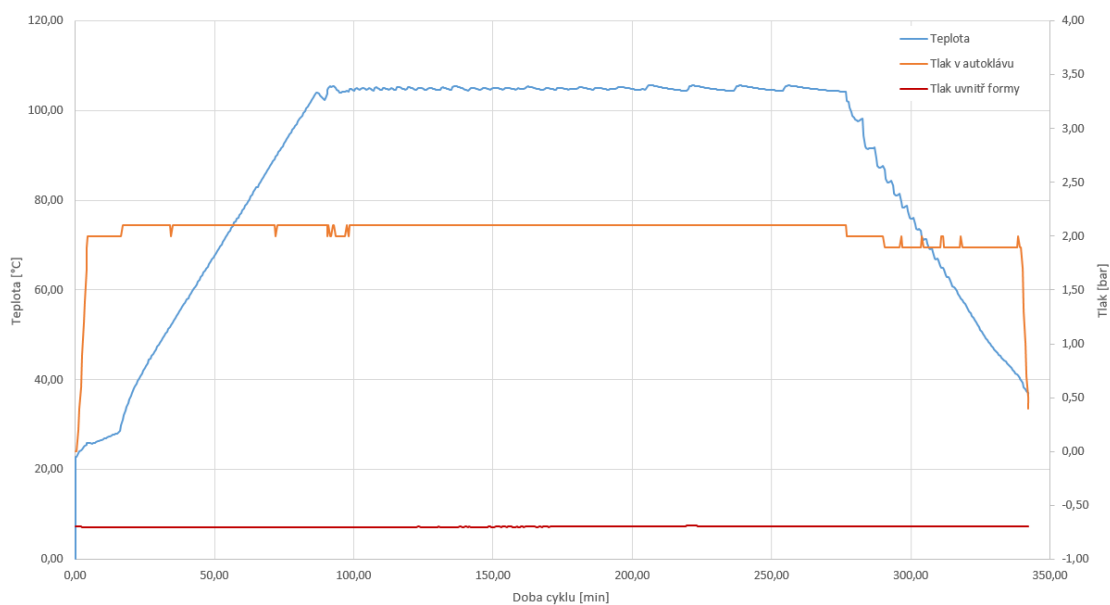
Obr. 52: Kladení jednotlivých vrstev prepregu



Obr. 53: Formy umístěné v autoklávu



Obr. 54: Kontrolní obrazovka autoklávu



Graf 12: Průběh tlaku a teploty v průběhu vytvrzení

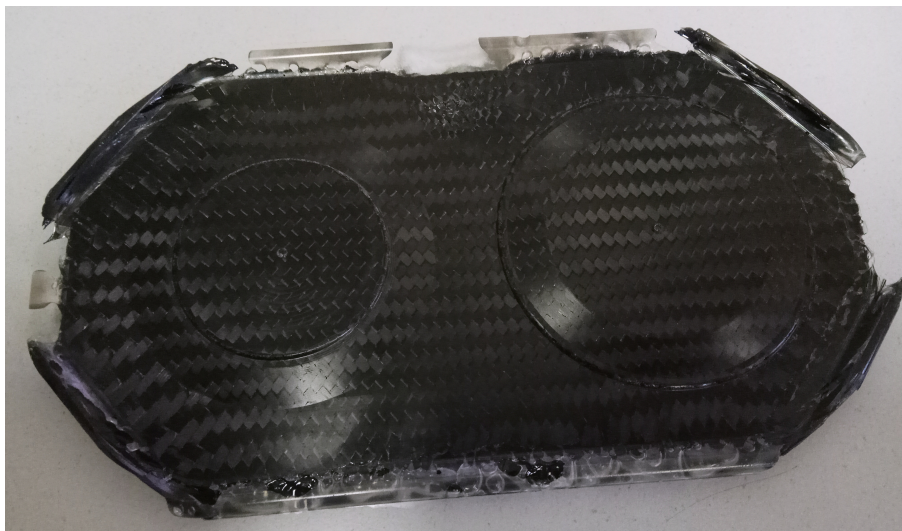


Obr. 55: Pohled na vytvrzený díl ve formě

8.2 Dohotovení

Po vyndání dílů z forem na jejich okrajích zůstala vytvrzená přebytečná pryskyřice (Obr. 56, Obr. 57). Tu bylo nutné před řezáním vodním paprskem odstranit, neboť by způsobovala problémy s upínáním do pracovního prostoru řezacího stroje. Odstranění bylo provedeno pomocí úhlové brusky (Obr. 58, Obr. 59).

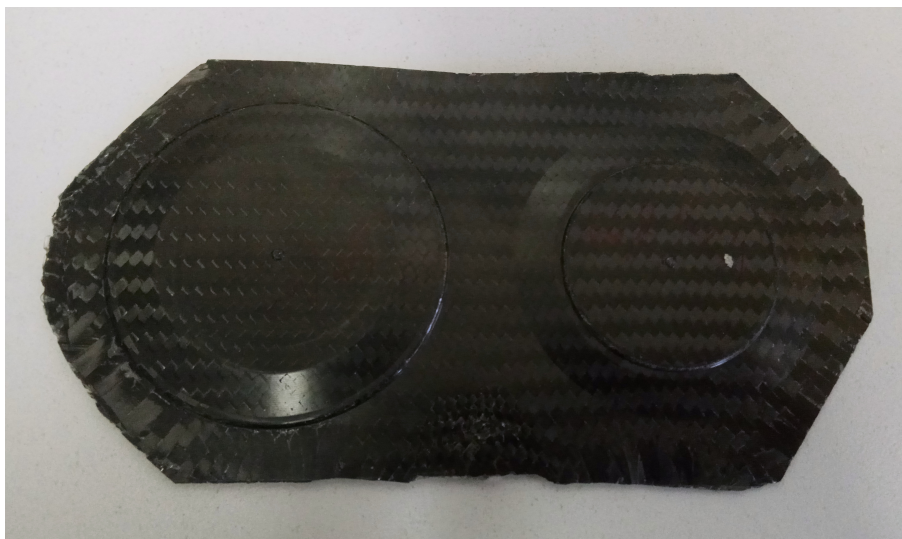
Upnutí do pracovního prostoru bylo provedeno pomocí upínek (Obr. 60). Vyřezané disky jsou zobrazeny na Obr. 61 a Obr. 62.



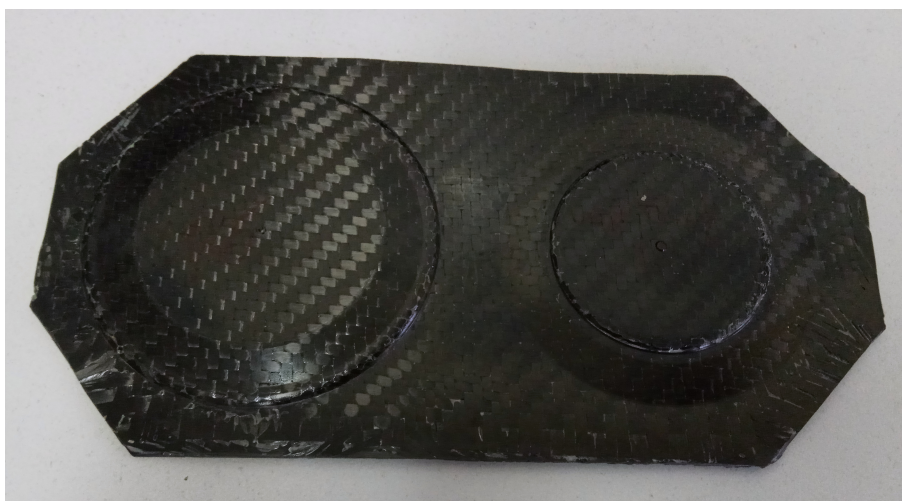
Obr. 56: Vylaminovaný polotovar pro disky primární sady



Obr. 57: Vylaminovaný polotovar pro disky sekundární sady



Obr. 58: Polotovary pro disky primární sady zbavený přebytečné pryskyřice



Obr. 59: Polotovary pro disky sekundární sady zbavený přebytečné pryskyřice



Obr. 60: Polotovar pro disky umístěný v řezacím stroji



Obr. 61: Vyřezané disky primární sady



Obr. 62: Vyřezané disky sekundární sady

8.3 Testování

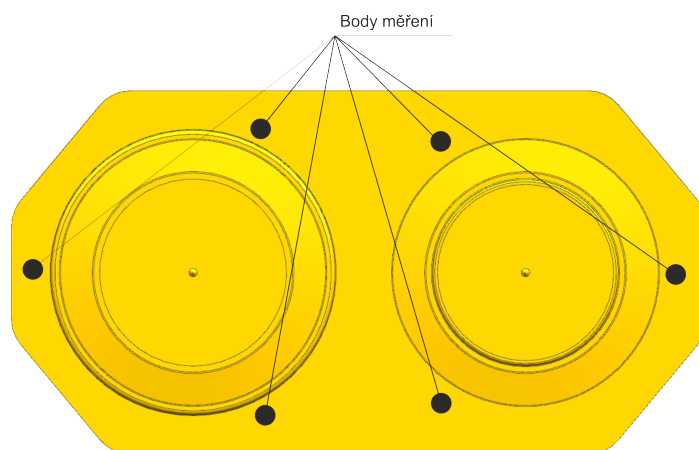
8.3.1 Provedené testy

Na zhotovených discích bylo provedeno měření jejich tloušťky, měření jejich charakteristiky a byla vážena jejich hmotnost.

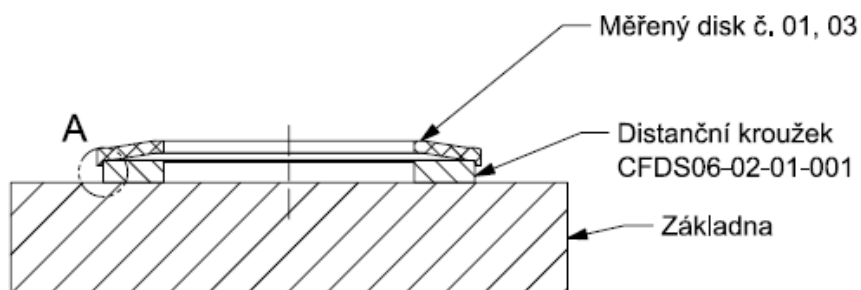
Měření tloušťky bylo provedeno na rovinné ploše laminovaného polotvaru (Obr. 63) pomocí třmenového mikrometru. Výsledné naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 17.

Měření charakteristiky bylo provedeno na stroji *Zwick/Roell Z250* s laserovým extenzometrem. Umístění disků do stroje a okrajové podmínky měření jsou patrné na Obr. 65 - Obr. 67 a na přiloženém výkrese CFDS06-02-01-000. Pro vyloučení chyby měření bylo každé měření charakteristiky bylo provedeno celkem 2x.

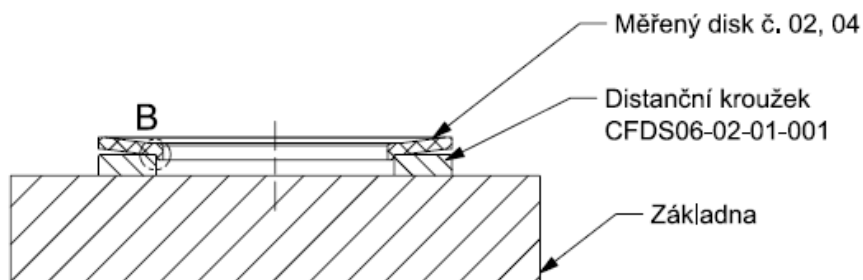
Vážení bylo provedeno na analytických váhách s přesností měření 0.0001 g. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 18.



Obr. 63: Body měření tloušťky



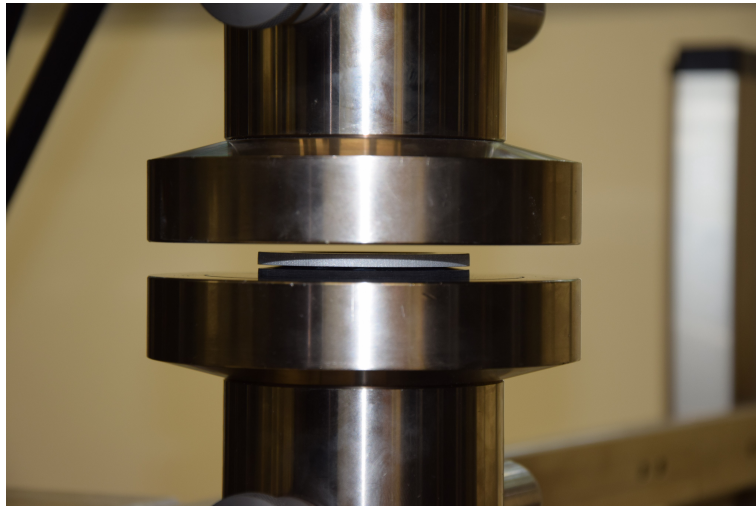
Obr. 64: Měření tuhosti - disk s vnějším zámekem



Obr. 65: Měření tuhosti - disk s vnitřním zámekem



Obr. 66: Měření charakteristiky disků



Obr. 67: Měření charakteristiky disků - detail

8.3.2 Diskuze výsledků

Při porovnání naměřené tloušťky disků s navrženou lze konstatovat, že odchylka tloušťky u všech vyrobených disků nepřesahuje 0.05 mm. Tuto odchylku lze považovat za přijatelnou.

Na základě zvážených hmotností disků lze predikovat hmotnost primární sady 55 g a hmotnost sekundární sady 264 g. Tyto hmotnosti odpovídají vypočteným hmotnostem při rozměrovém návrhu (Tabulka. 12 a Tabulka. 13).

Z reportu měření charakteristik disků (Obr. 68) a grafů 13 až 16 jsou jasně patrné tyto závěry:

- žádný z měřených vzorků nesplňuje minimální stlačení specifikované v kapitole 4.2.2 (str. 31),
- disky primární sady vykazují rozdílnou tuhost (v lineární oblasti) o více než 12 %, a rozdíl v reakční síle při maximálním stlačení je přibližně 33 %,
- charakteristika disků primární sady je výrazně degresivní,
- po přepočtu naměřené tuhosti sekundárního disku s vnějším zámkem na tuhost celé sady (89 N mm^{-1}) tato hodnota odpovídá požadované tuhosti $80\text{--}90 \text{ N mm}^{-1}$ specifikované v kapitole 4.2.2 (str. 31),
- po přepočtu naměřené tuhosti sekundárního disku s vnitřním zámkem na tuhost celé sady (93 N mm^{-1}) tato hodnota neodpovídá požadované tuhosti $80\text{--}90 \text{ N mm}^{-1}$ specifikované v kapitole 4.2.2 (str. 31).

Při podrobnějším zkoumání bylo zjištěno několik pochybení během návrhu disků a forem.

Při CAD návrhu disků s vnitřním zámkem bylo využito provázání s modelem disku s vnějším zámkem za pomoci *Interpart Expressions*. V průběhu návrhu ovšem došlo ke změně jedné proměnné, která již nebyla navázána. U výroby obou forem je z toho důvodu disk s vnitřním zámkem vyroben se špatnou výškou h_0 . Primární disk byl vyroben s výškou 1.05 mm místo navržených 1.125 mm, Sekundární disk byl vyroben s výškou 1.05 mm místo navržených 1.3 mm.

Navržené disky primární sady mají poměr $h_0/t = 1,41$, tento poměr vede k velmi degresivní charakteristice a může způsobit nestabilitu pružiny (viz str. 5).

Tab. 17: Měření tloušťky disků

Disk	t_1	t_2	t_3	\bar{t}	σ_t
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Sekundární s vnějším zámkem	2,27	2,25	2,22	2,247	0,021
Sekundární s vnitřním zámkem	2,27	2,25	2,25	2,257	0,009
Primární s vnějším zámkem	0,75	0,76	0,78	0,763	0,012
Primární s vnitřním zámkem	0,75	0,75	0,76	0,753	0,005

\bar{t} aritmetický průměr, σ_t směrodatná odchylka

Tab. 18: Hmotnost disků

Vzorek	Hmotnost [g]
01	8,585
02	7,947
03	3,565
04	3,299

Tab. 19: Označení vzorků

Disk	Označení vzorku
Sekundární s vnějším zámkem	01
Sekundární s vnitřním zámkem	02
Primární s vnějším zámkem	03
Primární s vnitřním zámkem	04

Zwick / Roell

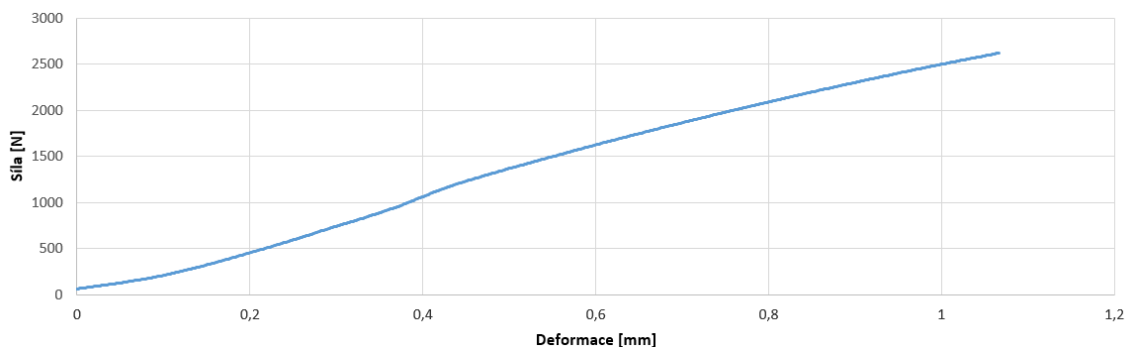
Test report

Customer :
Type and designation : Carbon Spring Tester :
Machine data : Z250
Pre-load : 50 N
Speed, Youngs Modulus : 1 mm/min
Test speed : 1 mm/min

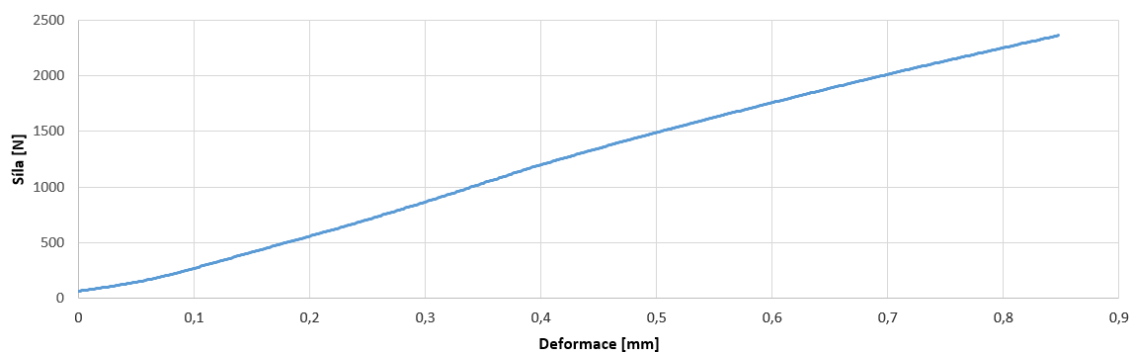
Test results:

No.	Specimen ID	E_{mod} N/mm	F_{max} N	dL at F_{max} mm	Notes
1	01+extens.	2850	2630	1,1	E(300-2000N)
2	01+extens.	2850	2620	1,1	E(300-2000N)
3	02+extens.	2980	2370	0,8	E(300-2000N)
4	02+extens.	2980	2350	0,8	E(300-2000N)
5	03+extens.	463	237	0,8	E(60-160N)
6	03+extens.	473	237	0,7	E(60-160N)
7	04+extens.	408	357	0,8	E(60-160N)
8	04+extens.	405	356	0,8	E(60-160N)

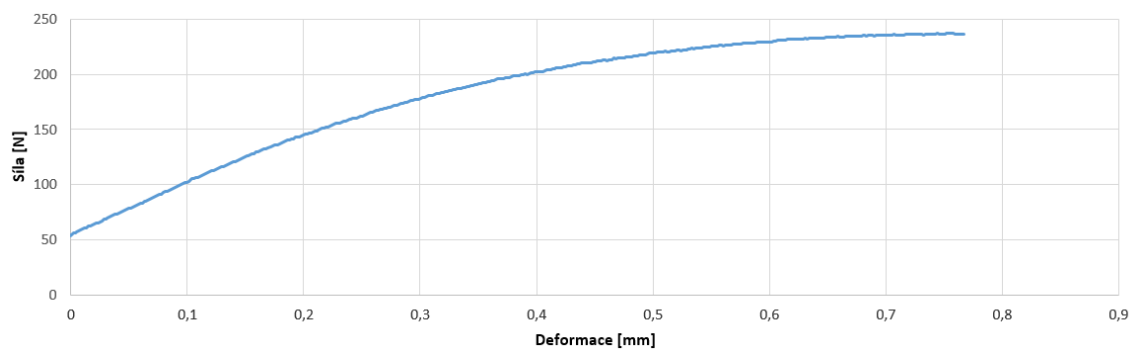
Obr. 68: Měření charakteristiky disků - report



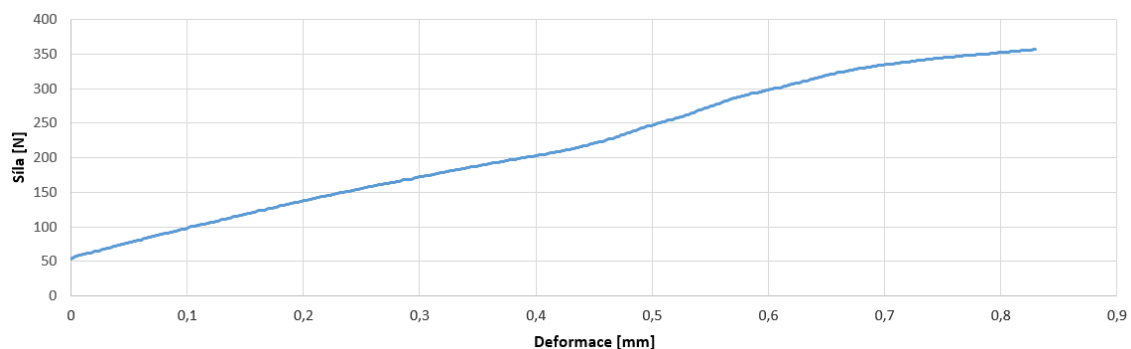
Graf 13: Průběh stlačení sekundárního disku s vnějším zámkem



Graf 14: Průběh stlačení sekundárního disku s vnitřním zámkem



Graf 15: Průběh stlačení primárního disku s vnějším zámkem



Graf 16: Průběh stlačení primárního disku s vnitřním zámkem

9 Technicko - ekonomické hodnocení

Provedené ekonomické hodnocení vyčísluje pouze přibližné vlastní náklady na výrobu prototypových forem a testovaných dílů. V kalkulaci nejsou zahrnuty náklady na vlastní návrh forem a dílu a náklady na provedené testy. Dále kalkulace neobsahuje správní a odbytovou režii.

Ceny jednotlivých nakupovaných položek byly zjištěny na základě reálných nákupů dílů. Časy jednotlivých operací byli měřeny při výrobě. Hodinové sazby jednotlivých operací byly pouze odhadnuty na základě průzkumu ceny u dodavatelů této služby na trhu. V Tabulce 20 jsou uvedeny jednotlivé položky a operace potřebné pro výrobu prototypových forem. V Tabulce 21 jsou uvedeny všechny operace a materiál spojený se samotnou laminací a dohotovením prototypových disků.

Celkové náklady na výrobu prototypových forem byly stanoveny na 9181,52 Kč. Je třeba brát v potaz, že formy je možné použít opakovaně, jedná se tedy o náklady fixní. Zatímco náklady spojené s výrobou disků jsou variabilní a v případě opakované výroby úměrně narůstají s počtem vyráběných kusů (za předpokladu výroby stejné dávky). Vypočtené náklady na výrobu disků se vztahují k dávce 4 ks.

Tab. 20: Náklady na výrobu prototypových forem

Operace/ Nakupovaná položka	ks	hod/ks	Cena [Kč]/hod	Cena [Kč]/ks	Cena [Kč] bez DPH
Polotovar EN AW 6082 140x220x15	2	-	-	157	314
Polotovar EN AW 6082 140x220x25	2	-	-	263	526
Šroub M10x25	8	-	-	2,44	19,52
O-kroužek	2	-	-	45	90
Válcový kolík	4	-	-	2,5	10
Redukce M14x1,5 - 1/4NPT	2	-	-	45	90
Obrábění forem	4	1,5	800	-	4800
Tvorba programu obrábění	4	1,35	680	-	3672
Ruční dohotovení	1	1	500	-	500
Celkové náklady	-	-	-	-	9181,52

Tab. 21: Náklady na výrobu prototypových disků

Operace/Materiál	Množství	hod	Cena [Kč]/hod	Jednotková cena [Kč]	Cena [Kč] bez DPH
Nástřihy	0.25 m ²	-	-	729	182,25
File	0.02 m ²	-	-	21,2	0,424
Separátor	0.05 l	-	-	1513	75,65
Laminace	-	2	500	-	1000
Vytvrzení v autoklávu	-	5,7	4000	-	22800
Příprava dílů pro řezání vodním paprskem		0,5	500	-	250
Řezání vodním paprskem	-	0,5	1200	-	600
Celkové náklady	-	-	-	-	24908,32

Ceny se vztahují k výrobě celkem 4 prototypových disků

V této fázi bohužel není možné stanovit náklady na výrobu kompletních sad disků pro jeden tlumič a porovnat je s cenou dosavadního řešení odpružení podvozku.

Lze ale předpokládat, že náklady na výrobu finálních forem budou vzhledem k jejich rozměrům několikanásobně vyšší než náklady na výrobu prototypových. Dále by bylo nutné stanovit náklady na výrobu upínacího přípravku. Náklady na výrobu disků z majoritní části představují náklady spojené s provozem autoklávu. Zde lze tedy očekávat snížení nákladů na výrobu jednoho kusu disku a to z důvodu výroby většího počtu disků na jeden cyklus vytvrzení v autoklávu.

10 Závěr

Cílem práce bylo navrhnout kompozitní talířovou pružinu, kterou by bylo možné použít pro odpružení podvozku studentské formule včetně forem, přípravků a technologie pro její následnou výrobu. Důraz byl kladen na minimalizaci hmotnosti tohoto řešení.

Teoretická část práce se zabývá rozбором, charakteristikou talířových pružin a kompozitních dílů.

Před vlastním návrhem pružin byl proveden rozbor stavu odpružení podvozku vozu UWB05 a analýza jízdnicích dat získaných v průběhu minulé závodní sezóny. Zjištěné údaje byly hlavním východiskem pro specifikaci okrajových podmínek potřebných pro samotný návrh pružiny.

Na základě definovaných okrajových podmínek byl proveden návrh rozměrových parametrů za pomoci numerických simulací a programu napsaného v prostředí Matlab. Podle navržených rozměrů jednotlivých disků byly vytvořeny CAD modely forem a potřebných přípravků pro jejich následnou výrobu.

Pro navržené prototypové formy byla stanovena technologie výroby, následně byla výroba realizována a to včetně výroby prototypových disků pružiny. Vyrobené formy byly podrobeny rozměrové kontrole a na vyrobených discích byly zkoumány jejich základní charakteristiky, a ty následně porovnány s okrajovými podmínkami specifikovanými před samotným návrhem.

Závěrečná část práce byla věnována technicko-ekonomickému hodnocení. Byla zde provedena kalkulace nákladů spojených s výrobou prototypových forem a výrobou prototypových disků.

Při analýze naměřených charakteristik byla zjištěna pochybení při návrhu forem a disků, která by měla přímý vliv na funkčnost výsledné pružiny. Z tohoto důvodu je potřeba před výrobou finálních forem, která již není předmětem této práce, provést korekci rozměrových parametrů disků a případně provést výrobu prototypových disků na základě navržených korekcí.

Literatura

- [1] Josh Winkler. Composite Spring Capabilities, 2018. URL: <https://www.mw-ind.com/composite-spring-capabilities/>.
- [2] Mitcalc Pružiny vzorce, December 2018. URL: <http://www.mitcalc.com/doc/springs/help/cz/springstxt.htm>.
- [3] Pre-consolidated, multiaxial, thermoplastic composite structures, 2018. URL: <https://www.compositesworld.com/>.
- [4] Ing Jan Krystek. PEVNOSTNÍ KRITÉRIA PRO KOMPOZITNÍ MATERIÁLY, 2012.
- [5] Havel Composites - technologie jejich popis a schémata, 2018. URL: <https://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html>.
- [6] Sanjay Mazumdar. *Composites Manufacturing: Materials, Product, and Process Engineering*. CRC Press, December 2001. Google-Books-ID: UfrO7pIo3H0C.
- [7] Perma-Grit 19mm rotary tungsten carbide cutting disc with arbor - Easy Composites. URL: <https://www.easycomposites.co.uk/#!/tools-equipment-and-supplies/perma-grit-tools/19mm-rotary-disc-with-arbor.html>.
- [8] delamination-end-mill.jpg (480×480). URL: <https://www.harveyperformance.com/wp-content/uploads/2017/09/delamination-end-mill.jpg>.
- [9] Dalibor Vlček. *Technická dokumentace částí vyrobených z kompozitních materiálů*. Bakalářská práce, VUT, BRNO, 2011.
- [10] Vladislav Laš. *Mechanika kompozitních materiálů 1 - Úvod do modelování v mechanice*, 2006.
- [11] C. K. H. Dharan and Jesse A. Bauman. Composite disc springs. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38(12):2511–2516, December 2007. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X07001406>, doi:10.1016/j.compositesa.2007.08.008.
- [12] Zdeněk Kořínek. *Kompozity*, 2018. URL: <https://kompozity.webnode.cz/>.
- [13] Jan Vrbka. *Mechanika kompozitů*, 2008. URL: https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=83340.

- [14] J. Schijve. *Fatigue of Structures and Materials*. Springer Science & Business Media, December 2008. Google-Books-ID: PFsJhYgvOG8C.
- [15] Rubena. Těsnící prvky, 2015. URL: https://www.rubena.eu/underwood/download/files/tesnici-prvky_2015.pdf.
- [16] Barbora Levínská. *Vliv zmatňujících nástřiků na přesnost optické 3D digitalizace*. Diplomová práce, Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2017.
- [17] VUT v Brně, Brno. *Úprava, odevzdávání a zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací na VUT v Brně*, 2009. Směrnice rektora č.2/2009. URL: <https://www.vutbr.cz/uredni-deska/vnitri-predpisy-a-dokumenty/smernice-rektora-f34920/>.
- [18] P. Boldiš. Bibliografické citace dokumentů podle ČSN ISO 690 a ČSN iso 690-2. [online], 11 2004. URL: <http://www.boldis.cz/citace/citace.html>.
- [19] Zdeněk Smékal. Aktuální trendy architektury signálových procesorů. *Sdělovací technika*, 2002(4,5):3–6,16–18, 2002.
- [20] J. Uhlíř and P. Sovka. *Číslíkové zpracování signálů*. Vydavatelství ČVUT, Praha, 1 edition, 1995.
- [21] J. Psutka, L. Müller, J. Matoušek, and V. Radová. *Mluvíme s počítačem česky*. Academia, Praha, 1 edition, 2006.
- [22] Martin Plšek. *Extrakce řečového signálu z hluku pozadí ve spektrální oblasti*. PhD thesis, Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2004.
- [23] Pavel Rajmic. Method for real-time signal processing via wavelet transform. In *Proceedings of the 3th International Conference on Non-Linear Speech Processing*, pages 214–223, Barcelona, 2005. Escola Universitaria Politecnica de Mataró.
- [24] Spectrum Digital. *TMS320C6416T DSK: Technical Reference*, November 2004. URL: http://c6000.spectrumdigital.com/dsk6416/V3/docs/dsk6416_TechRef.pdf.
- [25] Texas Instruments Inc. *TMS320C6000 DSP Enhanced Direct Memory Access (EDMA) Controller Reference Guide*, November 2006. spru234c.
- [26] A. J. Coulson and R. G. Vaughan. Improvement in microphone performance through using a microphone array. Technical report, Industrial Research Ltd, June 1993.

Seznam příloh

- Příloha č. 1 - Seřizovací list pro CFDS06-01-00-001 a CFDS06-01-01-001
- Příloha č. 2 - Seřizovací list pro CFDS06-01-00-002 a CFDS06-01-01-002
- Příloha č. 3 - Výkresová dokumentace

PŘÍLOHA č. 1

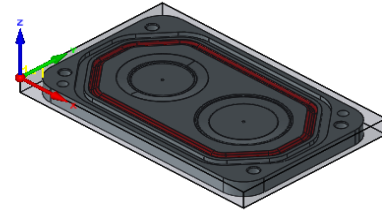
Seřizovací list pro CFDS06-01-00-001 a CFDS06-01-01-001



Nastavení projektu pro:


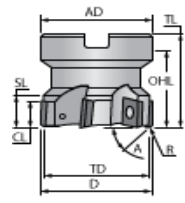
M05

Jednotky	mm
Typ obrobku	Frézování
CNC-řízení	MCV_750_ZCU
Číslo programu	1
Subroutine number	1
Adaptér nástroje	ISO40
Obráběný materiál	EN AW 6082
Operace	34
číslo výkresu	CFDS06-01-00-001 / CFDS06-01-01-001


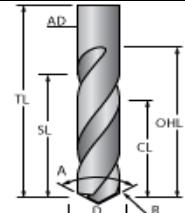


Velikost polotovaru	X:220 Y:140 Z:15				
Model	D:\SynologyDrive\NAVRH\CAM\UWB06\M05\M05.SLDASM				
Adresář	D:\SynologyDrive\NAVRH\CAM\UWB06\M05\M05.prz				
Poznámky k obrobku					
Název projektu	M05				
X min	X max	Y min	Y max	Z min	Z max
-55	245	-131.5	149.198	-23	10.201
Celkový čas:					0:30:00


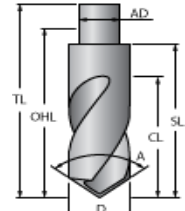
T1	Popis nástroje: fr50				
-----------	-----------------------------	--	--	--	--


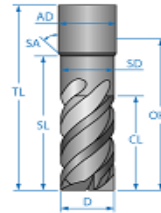

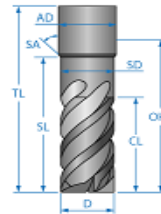

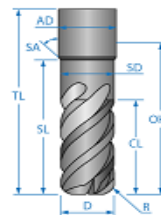

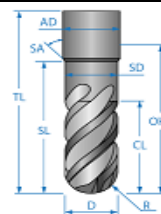

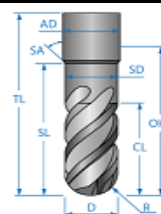

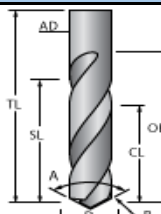
 Čelní fréza - ID:		D=50	R=0	Počet zubů: 4
		AD=32	A=0	
		OHL=40		
		TD=50		
		SL=30		
		CL=20		Cutting time: 0:02:35
		TL=60	H=100	mm


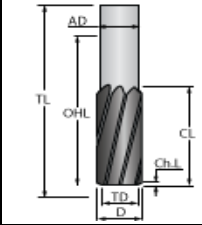

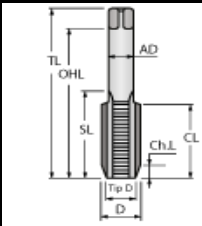

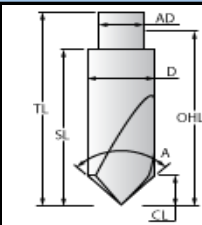

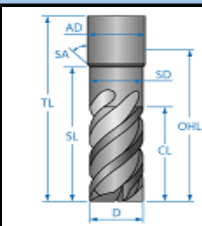
T3-Spindle-1A	Popis nástroje: vrt_m10				
----------------------	--------------------------------	--	--	--	--

 Vrták - ID:		D=8.5		Počet zubů: 1
		AD=8.5	A=118	
		OHL=60		
		SL=30		
		CL=24		Cutting time: 0:00:00
		TL=80	H=100	mm

T4-Spindle-1A	Popis nástroje: sr6				
----------------------	----------------------------	--	--	--	--

 Srážeč - ID:		D=6		Počet zubů: 1
		AD=10	A=90	
		OHL=40		
		SL=20		
		CL=10		Cutting time: 0:05:17
		TL=60	H=100	mm

T5-Spindle-1B	Popis nástroje: fr6		
		D=6 AD=6 OHL=60 SL=30 CL=24 TL=80	SA=0 Počet zubů: 3 SD=6 Cutting time: 0:03:29 <i>mm</i>
Válcová fréza - ID:			
T6-Spindle-1B	Popis nástroje: fr4		
		D=4 AD=4 OHL=60 SL=30 CL=24 TL=80	SA=0 Počet zubů: 3 SD=4 Cutting time: 0:04:33 <i>mm</i>
Válcová fréza - ID:			
T7-Spindle-1B	Popis nástroje: fr6_05r		
		D=6 AD=6 OHL=60 SL=30 CL=24 TL=80	R=0.5 SA=0 Počet zubů: 3 SD=6 Cutting time: 0:01:32 <i>mm</i>
Toroidní fréza - ID:			
T8-Spindle-1B	Popis nástroje: fr5r		
		D=5 AD=5 OHL=60 SL=30 CL=24 TL=80	R=2.5 SA=0 Počet zubů: 2 Cutting time: 0:00:00 <i>mm</i>
Kulová fréza - ID:			
T9-Spindle-1B	Popis nástroje: fr4r		
		D=4 AD=4 OHL=60 SL=30 CL=24 TL=80	R=2 SA=0 Počet zubů: 2 SD=4 Cutting time: 0:08:01 <i>mm</i>
Kulová fréza - ID:			
T11-Spindle-1B	Popis nástroje: vrt_8H7		
		D=7.8 AD=7.8 OHL=60 SL=30 CL=24 TL=80	A=118 Počet zubů: 1 Cutting time: 0:00:24 <i>mm</i>
Vrták - ID:			

T12-Spindle-1B		Popis nástroje: 8H7			
 Výstružník - ID:		D=8	Počet zubů: 1		
		AD=8	ChL=2		
		OHL=55			
		TD=2			
		CL=25	Cutting time: 0:00:18		
		TL=75	H=100	mm	
T13-Spindle-1B		Popis nástroje: M10			
 Závitník - ID:		D=10	Počet zubů: 1		
		AD=8	ChL=2	Stoupání=1.5 mm	
		OHL=40			
		TD=8			
		CL=17	Cutting time: 0:01:01		
		TL=60	H=100	mm	
T20-Spindle-1A		Popis nástroje: navr10			
 Středící vrták - ID:		D=10	Počet zubů: 1		
		AD=10	A=90		
		OHL=40			
		SL=30			
		CL=5	Cutting time: 0:00:12		
		TL=60	H=100	mm	
T22-Spindle-1A		Popis nástroje: fr16			
 Válcová fréza - ID:		D=16	SA=0	Počet zubů: 4	
		AD=16			
		OHL=60			
		SL=30	SD=16		
		CL=24	Cutting time: 0:02:27		
		TL=80	H=100	mm	

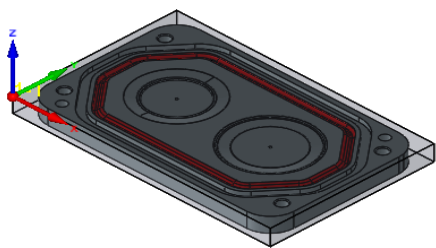
Index	Název operace - (Typ Operace)					
	Nul. Bod		Otáčky Dok.	Posuv XY/Posuv	Posuv Z/Posuv pro Do	Čas
	Číslo nástroje		Chlazení nástroje			
	Popis					
	X min	X max	Y min	Y max	Z min	Z max
1	Celo - (Čelní frézování) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)		471.239	0.05	0.025	0:02:35
	-55	245	28.75	125	0	3
2	obrys_hrubuje - (iMachining) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)		8000	2581	6000	0:01:11
	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina					
	-5.989	226.333	-6.215	149.198	-9.7	2
3	obrys_dokoncuje - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)		8000	6400	300	0:01:16
	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina					
	-17.6	228	-17.6	148	-10	2

4	drazka_tesneni_hrubuje - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	150.796	1000	300	0:03:29	
	5-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	12.65	207.35	12.65	127.35	-4	2
5	drazka_tesneni_dokoncuje_levy_bok - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	0.042	0.013	0:00:51	
	7-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	12.3	207.7	12.3	127.7	-4	2
6	drazka_tesneni_dokoncuje_pravy_bok - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	0.042	0.013	0:00:41	
	7-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	13	207	13	127	-4	2
7	Hrubuje bok drazky - (Rovnoběžně s křivkou) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	300	1000	0:04:33	
	6-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	21.267	198.733	21.267	118.733	-1.45	10.201
8	Fr 4r hrubuje z rezy drazku - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	1000	300	0:01:29	
	9-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	21	199	21	119	-2	2
9	HSS_dokoncuje_drazku - (Rovnoběžně s křivkou) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	600	1600	0:06:32	
	9-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	21.177	198.823	21.177	118.823	-2.995	1.996
10	Fr 4r dokoncuje_drazku - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	1000	300		
	9-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
11	hrubuje_prvni_kapsu - (3D iMachining) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	6650	3282	6000		
	22-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
12	dokoncuje_dno_kapsy - (Rovnoběžně s křivkou) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	0.013	0.042		
	7-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
13	dokoncuje_kuzel_kapsy - (Rovnoběžně s křivkou) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	0.019	0.1		
	8-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
14	dokoncuje_vnejsi_radius_kapsy - (Rovnoběžně řezy: Konstantní Z) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	0.013	0.042		
	7-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0

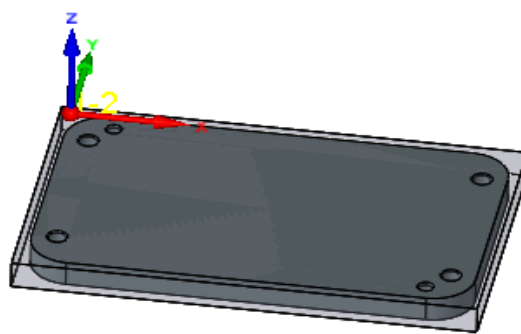
15	hrubuje_druhou_kapsu - (3D iMachining) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	6650	3282	6000		
	22-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
16	dokoncuje_vnitrii_radius_kapsy - (Rovnoběžně řezy: Konstantní Z) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	0.013	0.042		
	7-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
17	dokoncuje_dosedaci_plochu_kapsy - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	0.042	0.013		
	7-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
18	dokoncuje_dno_kapsy_2 - (Rovnoběžně s křivkou) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	0.013	0.042		
	7-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
19	dokoncuje_kuzel_kapsy_2 - (Rovnoběžně s křivkou) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	0.019	0.1		
	8-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
20	vratani_pod_M10 - (Vrtání) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	2621.38	300.001	300.001		
	3-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
21	vrta pod H7 - (Vrtání) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	50	375	375	0:00:24	
	11-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	27	193	15	125	-18.343	2
22	srazeni_8H7 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	800	300	0:00:16	
	4-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	24.7	195	12.7	127	-2	2
23	vystruzeni 8H7 - (Vrtání) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	795.775	300	300	0:00:18	
	12-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	27	193	15	125	-13	2
24	srazeni_M10 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	800	300	0:00:25	
	4-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	14	206	24	116	-2	2
25	srazeni_ostatni - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	800	300	0:02:28	
	4-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	11.1	208.9	11.1	128.9	-2	2

26	srazeni_vnejsi_obvod - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	800	300		
	4-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
27	navrtani_dulek - (Vrtání) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	3500.01	300	300	0:00:12	
	20-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	70	150	70	70	-3.017	0.083
28	zavit M10 - (Vrtání) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	200	300	300	0:01:01	
	13-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	17	203	27	113	-23	2
29	hrubuje_obrys_2 - (iMachining) :					
	Nulový bod 1 (2- Poloha)	8000	2581	6000		
	22-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
30	dokoncuje_obrys_2 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (2- Poloha)	8000	6400	300		
	22-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
31	srazeni_M10_1 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (2- Poloha)	8000	800	300	0:00:25	
	4-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	10.2	206	-106.8	116	-12	2
32	srazeni_obvod - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (2- Poloha)	8000	800	300	0:01:03	
	4-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	-3.3	216.5	-131.5	136.5	-11.5	2
33	srazeni_8H7_1 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (2- Poloha)	8000	800	300	0:00:06	
	4-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	20.2	194.9	-119.9	126.9	-11.7	2
34	znaceni - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (2- Poloha)	8000	800	300	0:00:34	
	4-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	55.527	100.305	-60.914	65.914	-13.8	2





Nulový bod 1 (1- Poloha):
Nulový bod na rohu polotovaru



Nulový bod 2
Nulový bod na rohu dílu

PŘÍLOHA č. 2

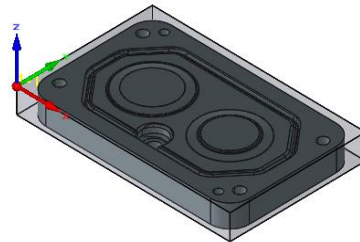
Seřizovací list pro CFDS06-01-00-002 a CFDS06-01-01-002



Nastavení projektu pro:


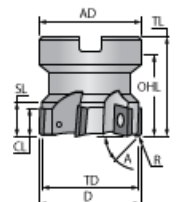
M06

Jednotky	mm
Typ obrobku	Frézování
CNC-řízení	MCV_750_ZCU
Číslo programu	1
Subroutine number	1
Adaptér nástroje	ISO40
Obráběný materiál	EN AW 6082
Operace	36
číslo výkresu	CFDS06-01-00-002 / CFDS06-01-01-002


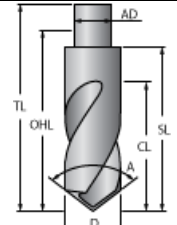


Velikost polotovaru	X:220 Y:140 Z:25				
Model	D:\SynologyDrive\NAVRH\CAM\UWB06\M06\M06.SLDASM				
Adresář	D:\SynologyDrive\NAVRH\CAM\UWB06\M06\M06.prz				
Poznámky k obrobku					
Název projektu	M06				
X min	X max	Y min	Y max	Z min	Z max
-221.286	226.208	-14.198	146.158	-30	2
Celkový čas:				0:10:39	


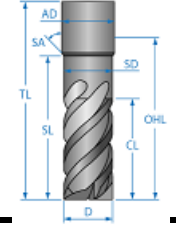
T1-Spindle-1A Popis nástroje: **fr50**


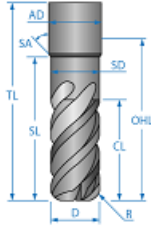

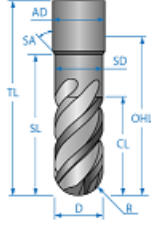

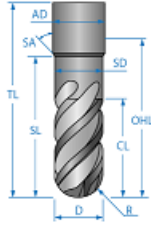

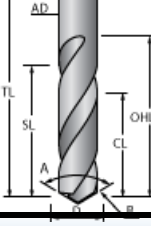

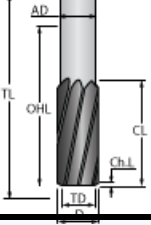

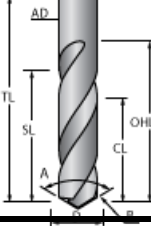
		D=50	R=0	Počet zubů: 4
		AD=32	A=0	
Čelní fréza - ID:		OHL=40		
		TD=50		
		SL=30		
		CL=20		Cutting time: 0:00:00
		TL=60	H=100	mm


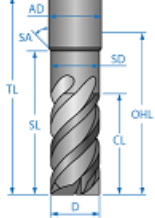

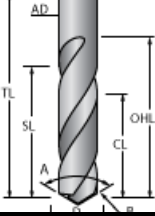

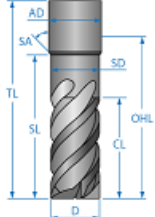
T4-Spindle-1A Popis nástroje: **sr6**

		D=6	A=90	Počet zubů: 1
		AD=10		
Srážeč - ID:		OHL=40		
		SL=20		
		CL=10		Cutting time: 0:05:09
		TL=60	H=100	mm

T6-Spindle-1B Popis nástroje: **fr4**

		D=4	SA=0	Počet zubů: 3
		AD=4		
Válcová fréza - ID:		OHL=60		
		SL=30	SD=4	
		CL=24		Cutting time: 0:00:00
		TL=80	H=100	mm

T7-Spindle-1B	Popis nástroje: fr6_05r		
 Toroidní fréza - ID:		D=6 AD=6 OHL=60 SL=30 CL=24 TL=80	R=0.5 SA=0 Počet zubů: 3 SD=6 H=100 Cutting time: 0:00:00 <i>mm</i>
T8-Spindle-1B	Popis nástroje: fr5r		
 Kulová fréza - ID:		D=5 AD=5 OHL=60 SL=30 CL=24 TL=80	R=2.5 SA=0 Počet zubů: 2 SD=5 H=100 Cutting time: 0:00:00 <i>mm</i>
T9-Spindle-1B	Popis nástroje: fr4r		
 Kulová fréza - ID:		D=4 AD=4 OHL=60 SL=30 CL=24 TL=80	R=2 SA=0 Počet zubů: 2 SD=4 H=100 Cutting time: 0:00:00 <i>mm</i>
T11-Spindle-1B	Popis nástroje: vrt_8H7		
 Vrták - ID:		D=7.8 AD=7.8 OHL=60 SL=30 CL=24 TL=80	Počet zubů: 1 A=118 H=100 Cutting time: 0:00:24 <i>mm</i>
T12-Spindle-1B	Popis nástroje: 8H7		
 Výstružník - ID:		D=8 AD=8 OHL=55 TD=2 CL=25 TL=75	Počet zubů: 1 ChL=2 H=100 Cutting time: 0:00:26 <i>mm</i>
T14-Spindle-1A	Popis nástroje: vrt M14		
 Vrták - ID:		D=12.5 AD=12.5 OHL=60 SL=30 CL=24 TL=80	Počet zubů: 1 A=118 H=100 Cutting time: 0:00:00 <i>mm</i>

T15-Spindle-1A	Popis nástroje: fr12				
		D=12 AD=10 OHL=60 SL=30 CL=24 TL=80	SA=0 SD=10 H=100	Počet zubů: 4	Cutting time: 0:00:00 <i>mm</i>
Válcová fréza - ID:					
T17-Spindle-1A	Popis nástroje: vr10.5				
		D=10.5 AD=6 OHL=60 SL=30 CL=24 TL=80	A=118 H=100	Počet zubů: 1	Cutting time: 0:00:00 <i>mm</i>
Vrták - ID:					
T22-Spindle-1A	Popis nástroje: fr16				
		D=16 AD=16 OHL=60 SL=30 CL=24 TL=80	SA=0 SD=16 H=100	Počet zubů: 4	Cutting time: 0:04:33 <i>mm</i>
Válcová fréza - ID:					

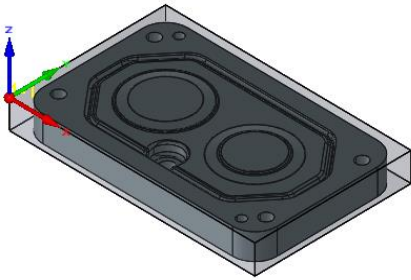
Index	Název operace - (Typ Operace)					
	Nul. Bod	Otáčky Dok.	Posuv XY/Posuv	Posuv Z/Posuv pro Do	Čas	
	Číslo nástroje	Chlazení nástroje				
	Popis					
	X min	X max	Y min	Y max	Z min	Z max
1	Celo - (Čelní frézování) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	471.239	0.05	0.025		
	1-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
2	celo_obvod - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	471.239	0.05	0.025		
	1-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
3	obrys - (iMachining) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	2581	6000	0:01:11	
	22-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	-6.242	225.864	-9.143	146.112	-19.7	2
4	obrys_hotove - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	6400	300		
	22-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
5	vrta_10.5 - (Vrtání) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	1515.76	300.001	300.001		
	17-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0

6	Vrtta_pod_M14 - (Vrtání) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	40	0.295	0.295		
	14-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
7	hrubuje odtah - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	0.2	0.009	0:01:01	
	22-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	105.6	114.4	27.1	35.9	-10.5	1.049
8	hrubuje odtah01 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	0.2	0.009	0:00:09	
	22-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	108	112	29.5	33.5	-13	-0.5
9	vnitřní_celo - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	1600	300		
	15-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
10	vnitřní_celo1 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	1600	300		
	15-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
11	vnitřní_celo2 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	1600	300		
	15-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
12	hrubuje_bok_drazky - (Rovnoběžně s křivkou) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	300	1000		
	6-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
13	hrubuje_bok_drazky2 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	1000	300		
	9-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
14	dokončuje_drazku - (Rovnoběžně s křivkou) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	600	1600		
	9-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
15	dokončuje_drazku2 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	1000	300		
	9-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
16	dkončuje_bok_odtahu - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	0.05	0.019		
	8-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0

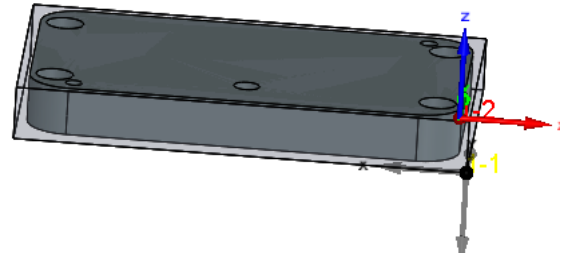
17	dkoncuje_zaobleni_odtahu - (Rovnoběžně řezy: Konstantní Z) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	500	1500		
	9-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
18	celo_1.disk - (Čelní frézování) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	1600	300		
	15-Spindle-1A					
	0	0	0	0	0	0
19	dokoncuje_vnejsi_radius_1.disk - (Rovnoběžně řezy: Konstantní Z) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	0.013	0.042		
	7-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
20	dokoncuje_plochu_1.disk - (Rovnoběžně s křivkou) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	0.019	0.1		
	8-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
21	celo_2.disk - (Čelní frézování) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	1600	300		
	15-Spindle-1A					
	0	0	0	0	0	0
22	dkoncuje_plochu_2disk - (Rovnoběžně s křivkou) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	0.019	0.1		
	8-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
23	dokoncuje_radius_2disk - (Rovnoběžně řezy: Konstantní Z) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	0.013	0.042		
	7-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
24	dokoncuje_dosedaci_plochu_2disk - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	0.042	0.013		
	7-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
25	vrta pod H7 - (Vrtání) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	50	375	375	0:00:24	
	11-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	27	193	15	125	-18.343	2
26	srazeni_8H7 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	800	300	0:00:31	
	4-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	14.25	205.75	13.5	126.5	-5.2	-0.4
27	vystruzeni 8H7 - (Vrtání) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	795.775	300	300	0:00:26	
	12-Spindle-1B	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	27	193	15	125	-30	2

28	srazeni_ostatni - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	800	300	0:00:56	
	4-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	21.5	198.5	21.5	118.5	-5.1	-0.4
29	srazeni_vnejsi - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (1- Poloha)	8000	800	300	0:01:03	
	4-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	3	218	3	137	-4.7	-0.4
30	obrys_1 - (iMachining) :					
	Nulový bod 1 (2- Poloha)	8000	2581	6000	0:02:12	
	22-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	-221.286	226.208	-14.198	146.158	-19.08	2
31	dokoncuje_obrys - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (2- Poloha)	8000	6400	300		
	22-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
32	zhloubeni_pro M10 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (2- Poloha)	8000	500	300		
	22-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	0	0	0	0	0	0
33	srazeni_obvod - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (2- Poloha)	8000	800	300	0:01:13	
	4-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	-211.75	216.75	-3.55	136.75	-22.25	2
34	srazeni_8H7_1 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (2- Poloha)	8000	800	300	0:00:29	
	4-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	-198	209.5	9.4	126.5	-22.2	2
35	srazeni_M14 - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (2- Poloha)	8000	800	300	0:00:04	
	4-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	-106.8	114.25	27.25	35.75	-22.2	2
36	znaceni - (Kontura) :					
	Nulový bod 1 (2- Poloha)	8000	800	300	0:00:53	
	4-Spindle-1A	Chlazení vřetene/hlavy:Kapalina				
	-158.654	163.654	73.505	82.683	-24.9	2





Nulový bod 1 (1- Poloha):
Nulový bod na rohu polotovaru



Nulový bod 2
Nulový bod na rohu dílu

PŘÍLOHA č. 3

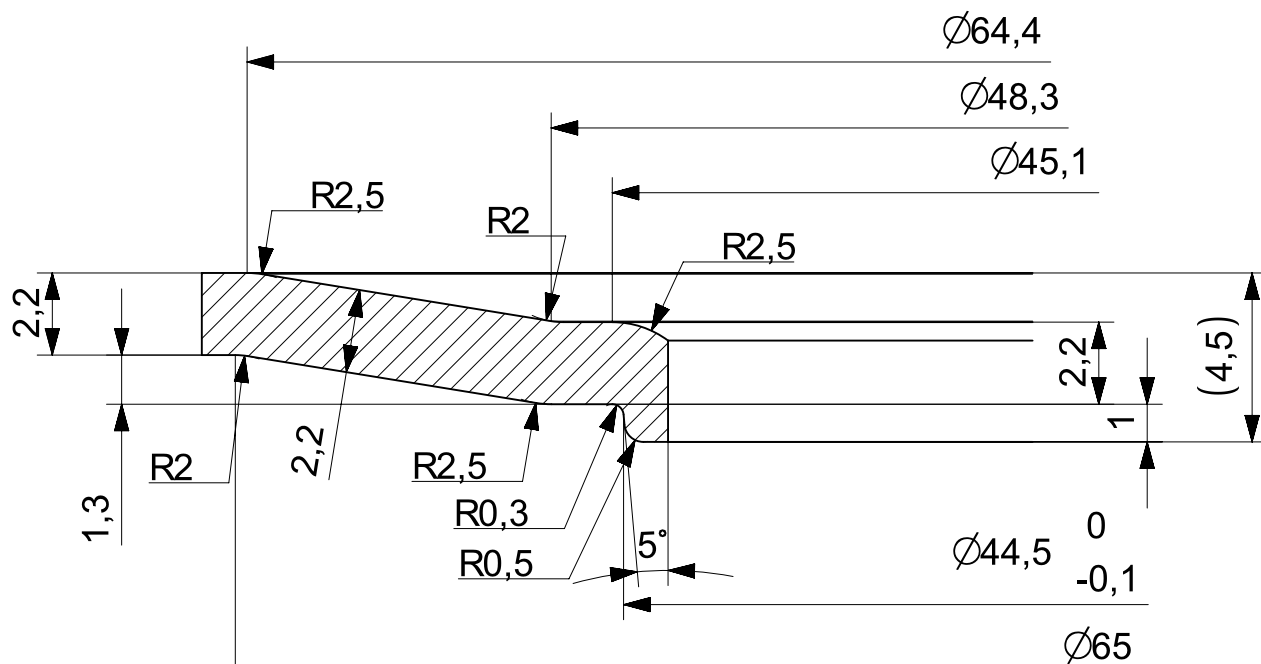
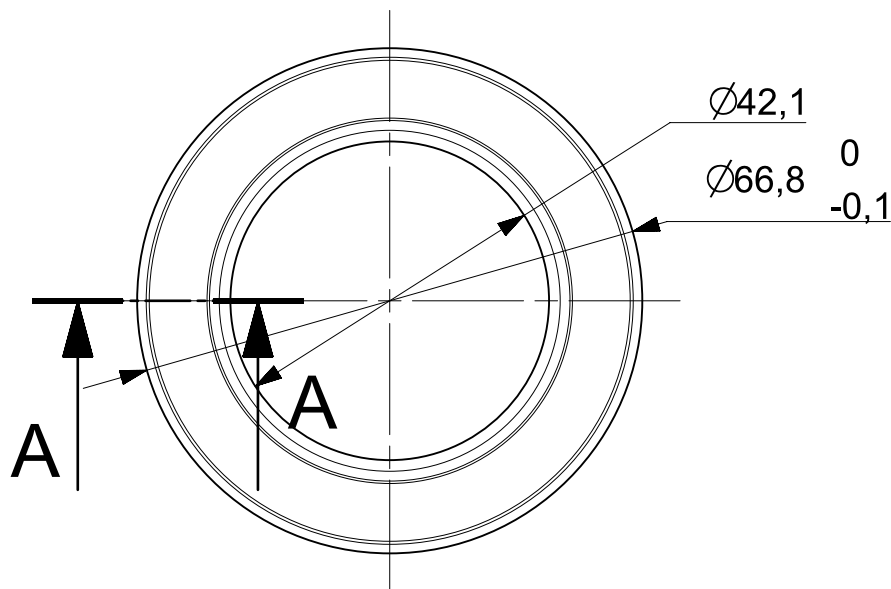
Výkresová dokumentace

4

3

2


1




SECTION A-A
SCALE 5:1

	<input checked="" type="checkbox"/>		GG 200T					
Pocet ks.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material	T.O.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo vykresu sestavy	Poz.
Quant.	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	R. weight	Assembly drawing no.	Pos.

CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name		
Kreslil / Drawn by	24.5.2019	MM		
Prezkousel / Checked by				
Schválil / Approved by				
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature




UNIVERSITY
OF WEST BOHEMIA



Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved

Poznámka / Note:

 Tolerance / Tolerovani ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file	Projekt / Project:	FS - UWB06	Meritko / Scale 1:1
	Soubor-vykres / DRW-file	C.sestavy / Assembly No.		
Nazev / Title		Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.	Format
SECONDARY DISC SPRING - INNER RING			CFDS06-01-00-005	A4
		List / sheet no.	1	Pocet listu / sheets
				1

4

3

2

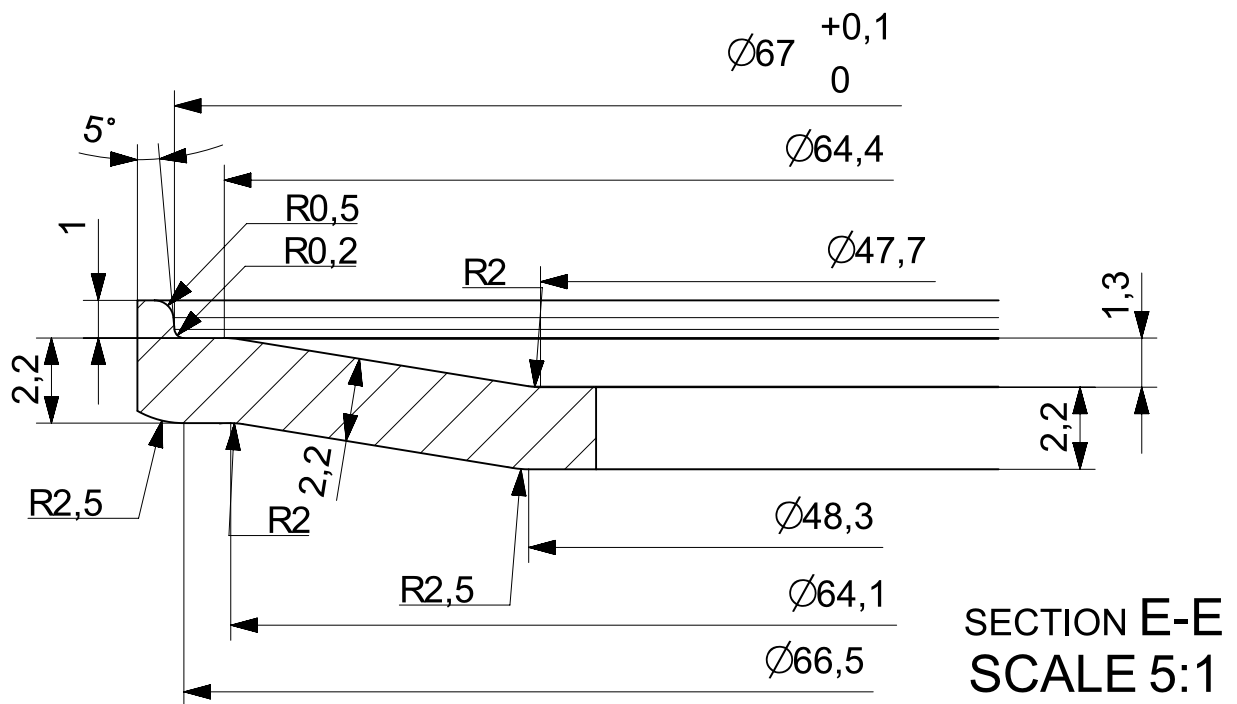
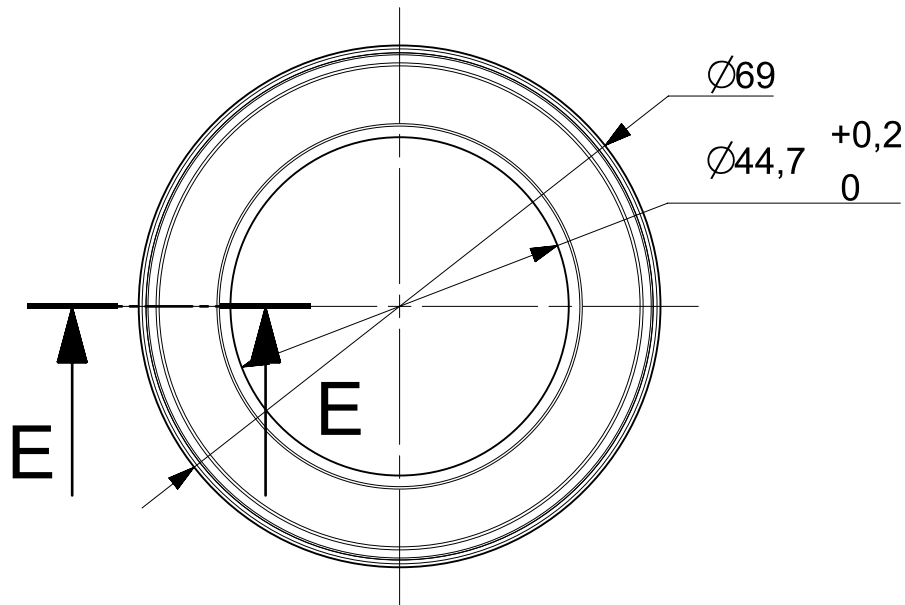
1




4

3

2

1



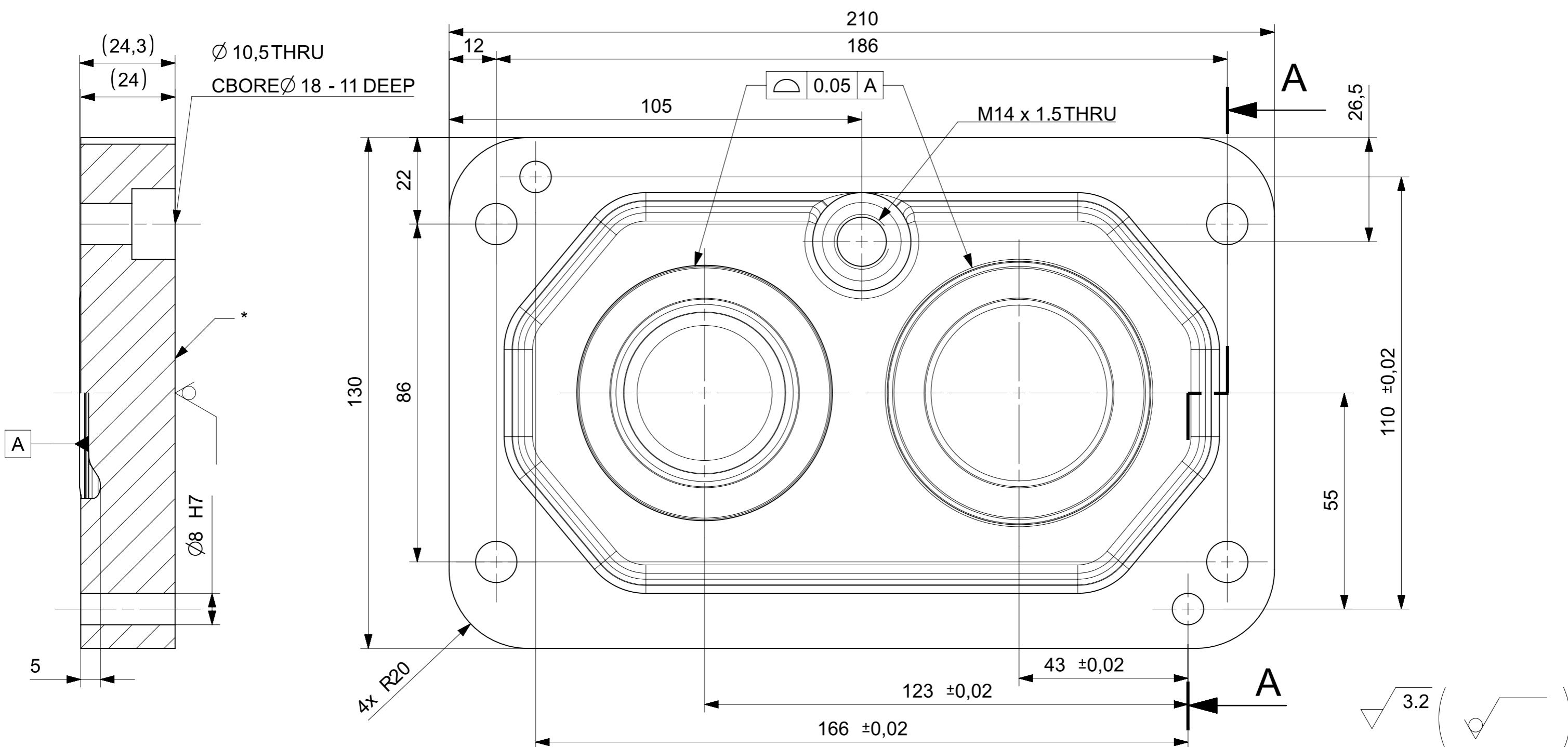
				GG 200T					
Pocet ks.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material	T.O.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo vykresu sestavy	Poz.	
Quant.	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	R. weight	Assembly drawing no.	Pos.	
CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name			  <small>Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved</small>				
Kreslil / Drawn by	25.5.2019	MM							
Prezkousel / Checked by									
Schvalil / Approved by									
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:				
 Tolerance / Tolerovani ISO 8015 ISO 2768mK		Soubor-model / ASM-file CF_spring_master_DRW			Projekt / Project: FS - UWB06			Meritko / Scale	
		Soubor-vykres / DRW-file CF_spring_master_DRW			C.sestavy / Assembly No.			1:1	
Nazev / Title				Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.			Format	
SECONDARY DISC SPRING - OUTER RING					CFDS06-01-00-004			A4	
				List / sheet no.	1	Pocet listu / sheets		2	

4

3




2

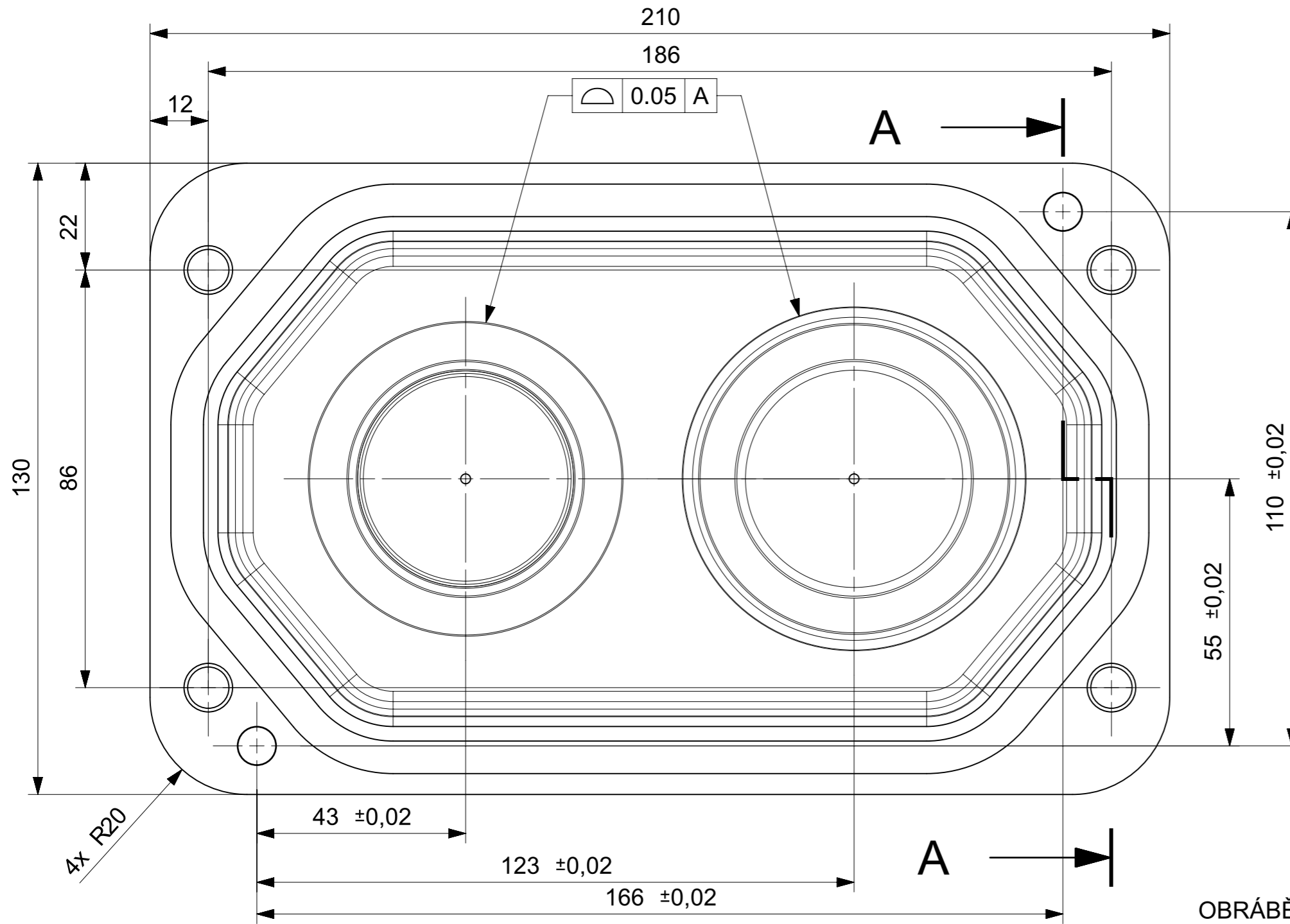
1



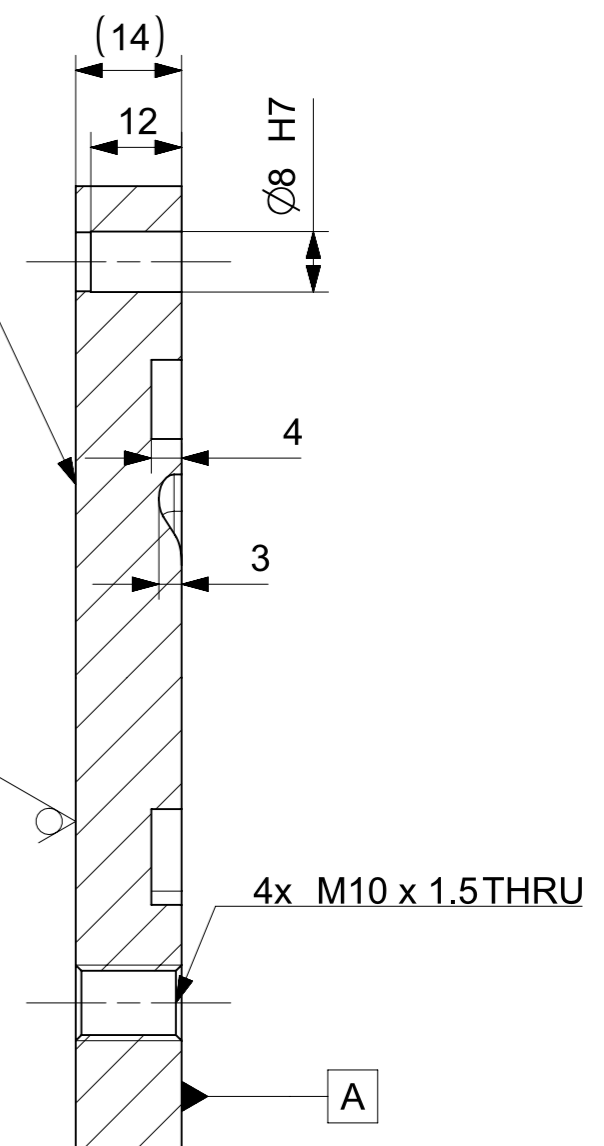
SECTION A-A

OBRÁBĚT DLE 3D DAT
 * ZNAČIT: "číslo výkresu - SECONDARY"

		140x220x25		EN AW 6082					
Pocet ks.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material	T.O.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo vykresu sestavy	Poz.	
Quant.	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	R. weight	Assembly drawing no.	Pos.	
CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name							
Kreslil / Drawn by		MM							
Prezkousel / Checked by					  <small>Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved</small>				
Schvalil / Approved by									
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:				
 Tolerance / Tolerovani ISO 128 ISO 8015 ISO 2768mK		Soubor-model / ASM-file CFDS06-01-00-002_Mold_Upper_DRW		Soubor-vykres / DRW-file CFDS06-01-00-002_Mold_Upper_DRW		Projekt / Project: FS - UWB06		Meritko / Scale 1:1	
Nazev / Title MOLD SECONDARY UPPER PROTOTYPE				Rev. Cislo vykresu / Drawing No. CFDS06-01-00-002		List / sheet no. 1		Pocet listu / sheets 1	
								Format A3	





ZNAČIT
ČÍSLO
VÝKRESU



SECTION A-A

OBRÁBĚT DLE 3D DAT

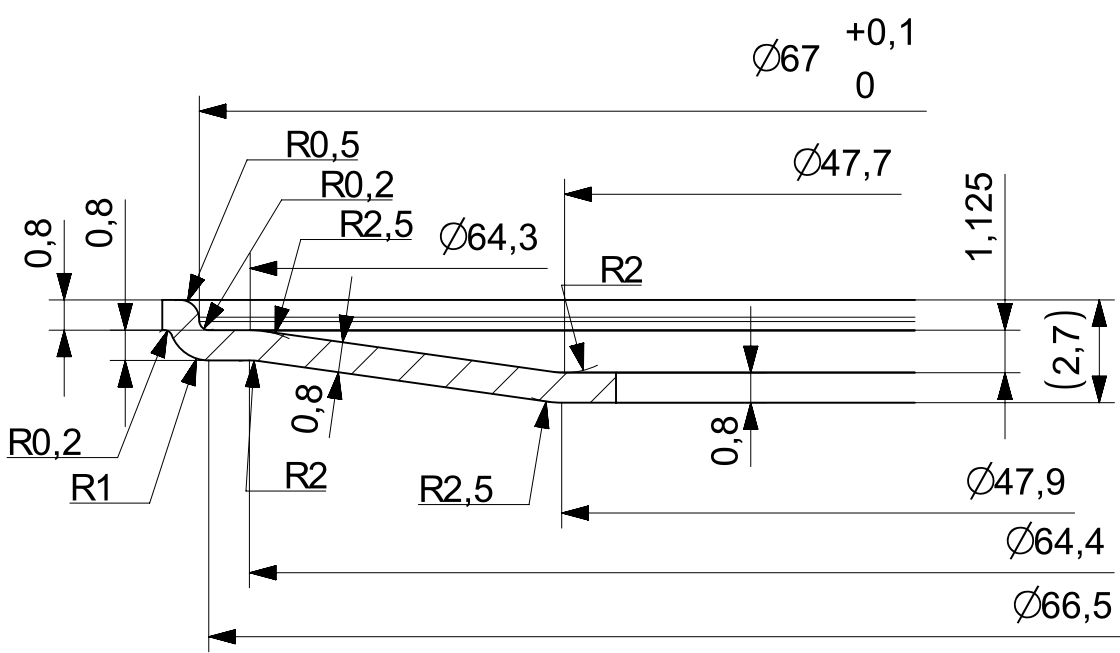
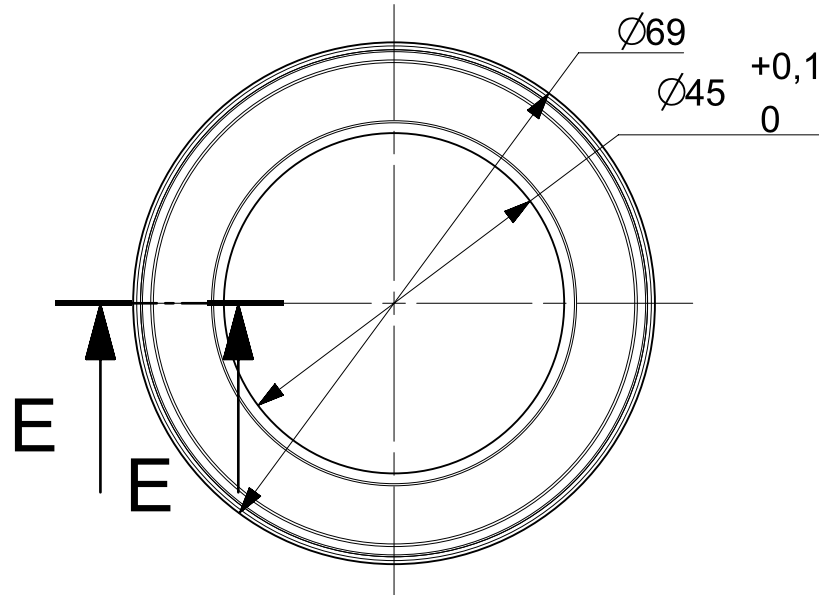
		140x220x15		EN AW 6082					
Pocet ks.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material	T.O.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo vykresu sestavy		Poz.
Quant.	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	R. weight	Assembly drawing no.		Pos.
CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name							
Kreslil / Drawn by	30.4.2019	MM			 <small>Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved</small>				
Prezkousel / Checked by									
Schvalil / Approved by									
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:				
 Tolerance / Tolerovani ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file		Projekt / Project:		Meritko / Scale				
	CFDS06-01-00-001_Mold_Lower_DRW		FS - UWB06						
	Soubor-vykres / DRW-file		C.sestavy / Assembly No.						
CFDS06-01-00-001_Mold_Lower_DRW									
Nazev / Title MOLD SECONDARY LOWER PROTOTYPE				Rev. Cislo vykresu / Drawing No. CFDS06-01-00-001		Format A3			
		List / sheet no. 1		Pocet listu / sheets 1					

4

3

2



1




SECTION E-E
SCALE 5:1

	<input checked="" type="checkbox"/>		GG 200T					
Pocet ks.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material	T.O.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo vykresu sestavy	Poz.
Quant.	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	R. weight	Assembly drawing no.	Pos.

CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name		
Kreslil / Drawn by	24.5.2019	MM		
Prezkousel / Checked by				
Schvalil / Approved by				
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature


UNIVERSITY OF WEST BOHEMIA


Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved

 Tolerance / Tolerovani ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file	Projekt / Project:	FS - UWB06	Meritko / Scale
	Soubor-vykres / DRW-file	C.sestavy / Assembly No.		
Nazev / Title		Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.	Format
PRIMARY DISC SPRING - OUTER RING			CFDS06-01-01-005	A4
		List / sheet no.	2	Pocet listu / sheets
			2	

4

3

2

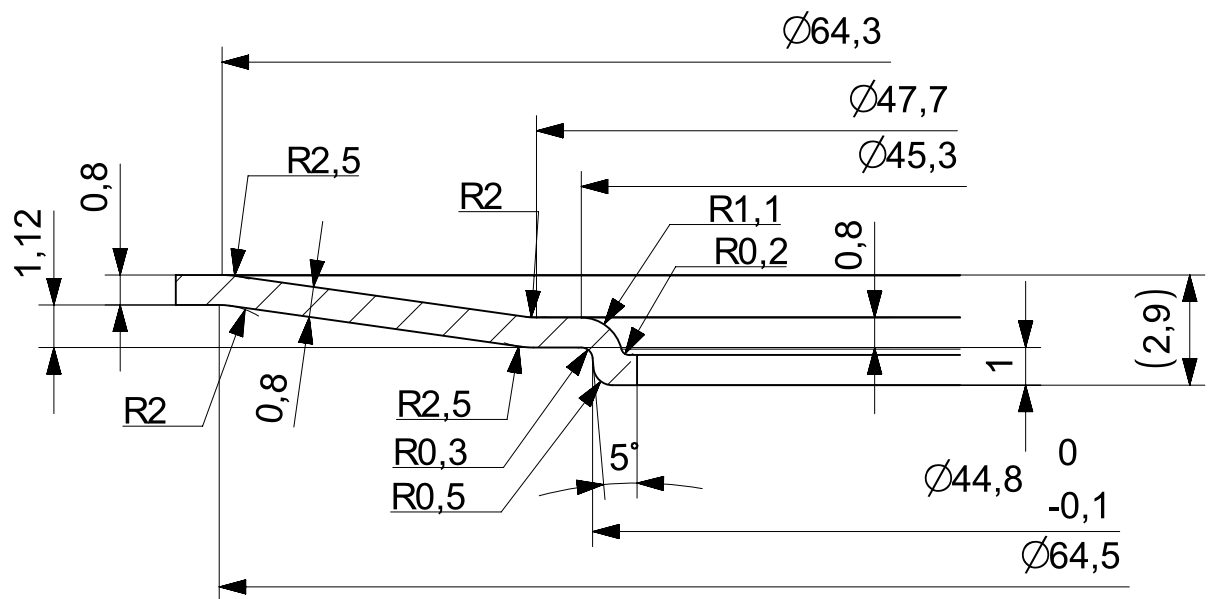
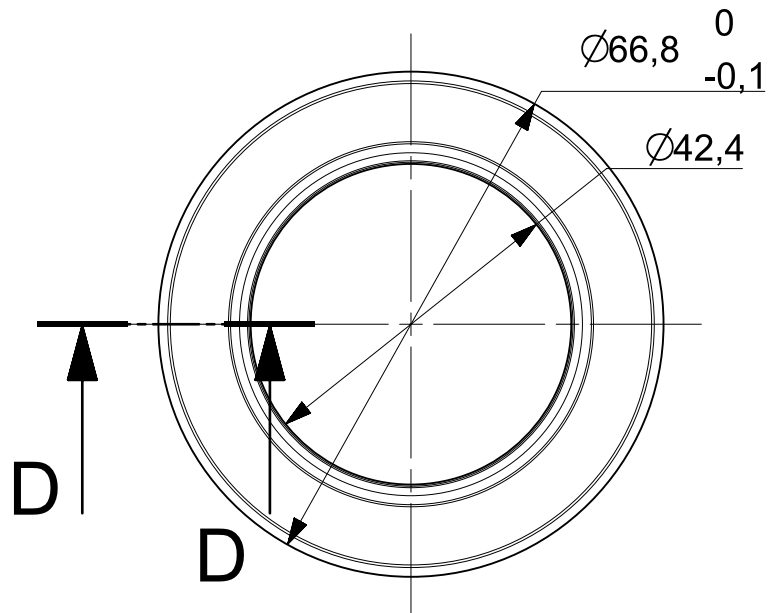
1

4

3

2

1



SECTION D-D
SCALE 5:1



GG 200T

Pocet ks.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material	T.O.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo vykresu sestavy	Poz.
Quant.	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	R. weight	Assembly drawing no.	Pos.

CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name		
Kreslil / Drawn by	24.5.2019	MM		
Prezkousel / Checked by				
Schvalil / Approved by				
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature

UNIVERSITY
OF WEST BOHEMIA

Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved

Poznámka / Note:

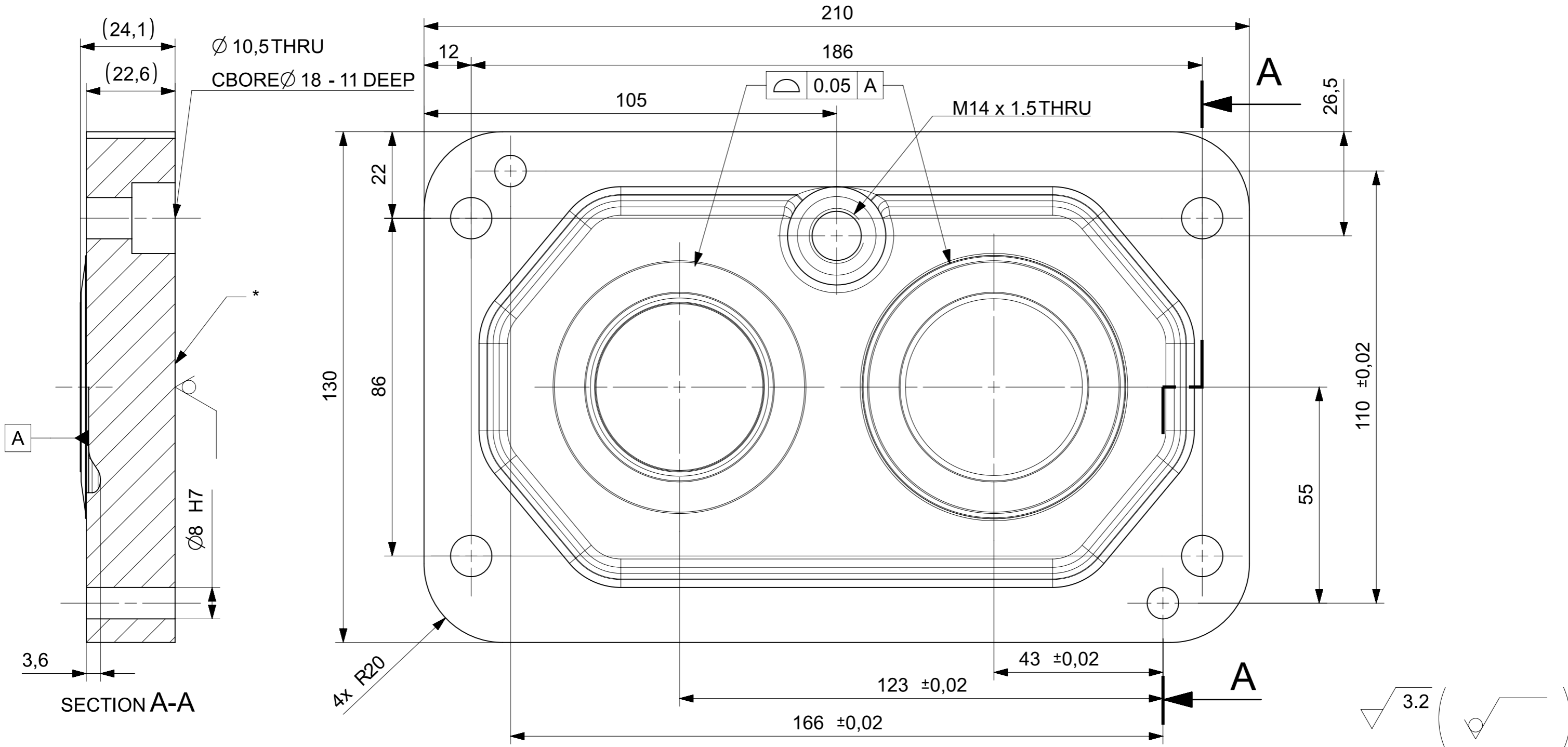
 Tolerance / Tolerovani ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file	Projekt / Project:	FS - UWB06	Meritko / Scale 1:1
	Soubor-vykres / DRW-file	C.sestavy / Assembly No.		
Nazev / Title		Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.	Format
PRIMARY DISC SPRING - INNER RING			CFDS06-01-01-006	A4
		List / sheet no.	2	Pocet listu / sheets
			2	

4

3

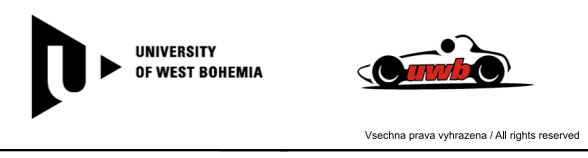
2

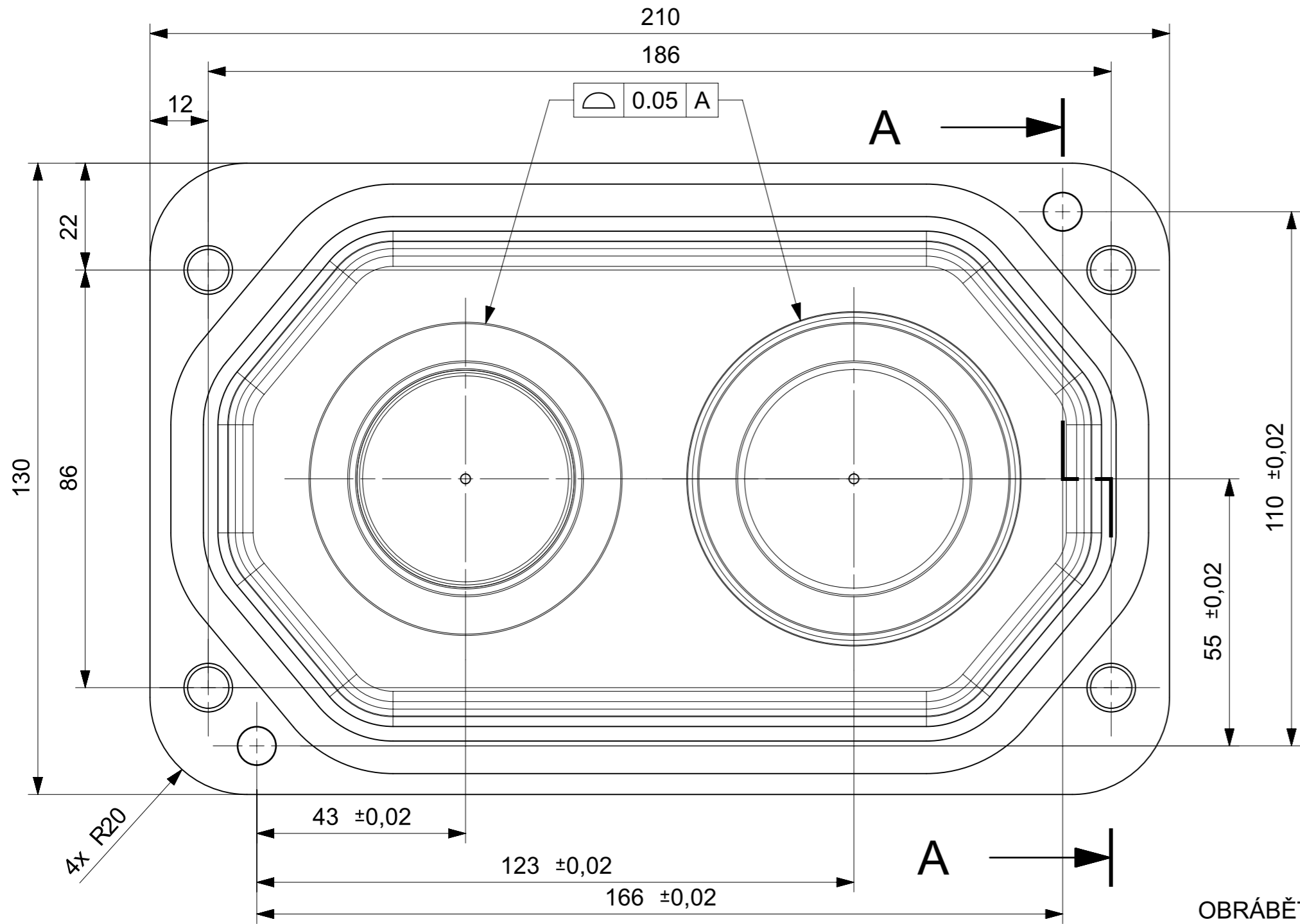
1



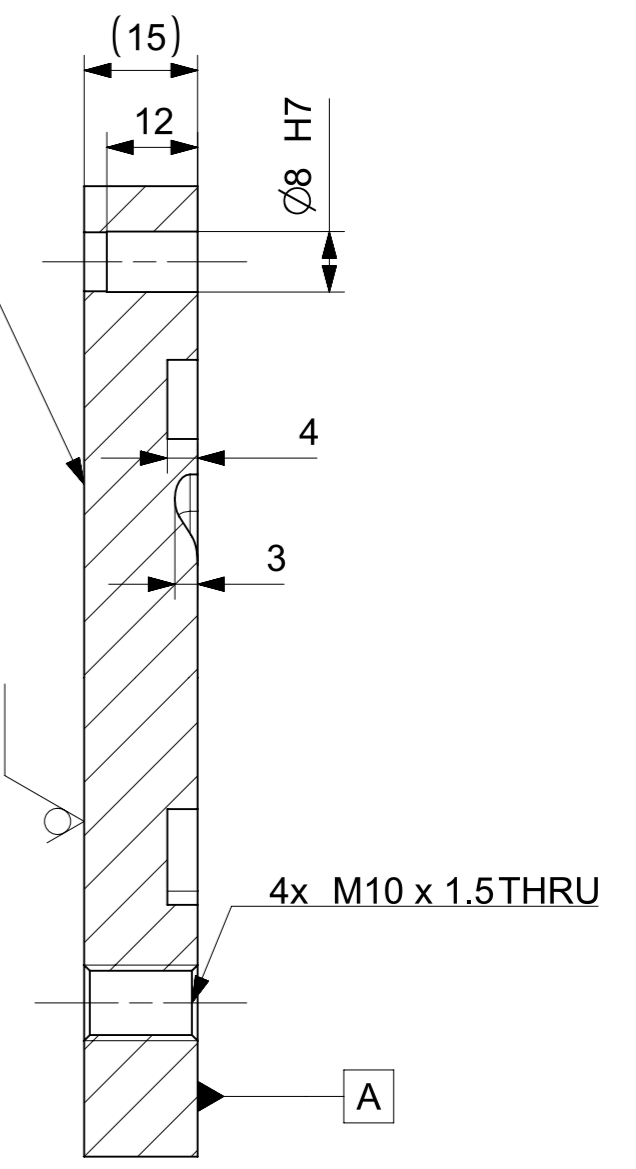
		140x220x25		EN AW 6082					
Pocet ks.	Nazev - rozmer	Polotovary	Material	T.O.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo vykresu sestavy		Poz.
Quant.	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	R. weight	Assembly drawing no.		Pos.
CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name							
Kreslil / Drawn by		MM							
Prezkousel / Checked by									
Schvalil / Approved by									
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:				
Tolerance / Tolerovani		Soubor-model / ASM-file			Projekt / Project:		FS - UWB06		Meritko / Scale
ISO 128		CFDS06-01-01-002_Mold_Upper_DRW			C.sestavy / Assembly No.				1:1
ISO 8015 ISO 2768mK		Soubor-vykres / DRW-file			CFDS06-01-01-002_Mold_Upper_DRW		Cislo vykresu / Drawing No.		Format
Nazev / Title		MOLD PRIMARY UPPER PROTOTYPE			Rev.		CFDS06-01-01-002		A3
		List / sheet no. 1		Pocet listu / sheets 1					

OBRÁBĚT DLE 3D DAT
 * ZNAČIT: "číslo výkresu - PRIMARY"



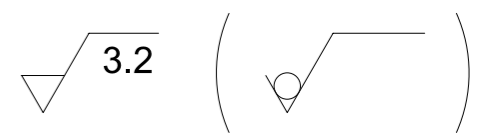





ZNAČIT
ČÍSLO
VÝKRESU

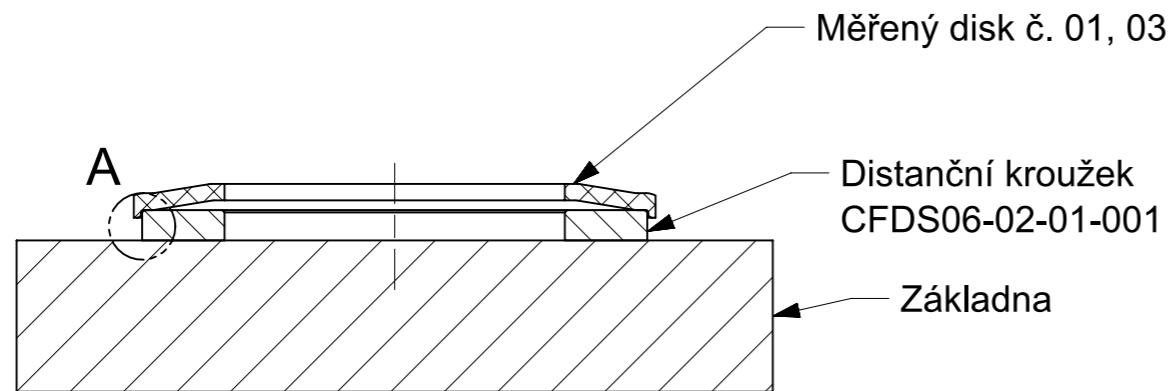


SECTION A-A

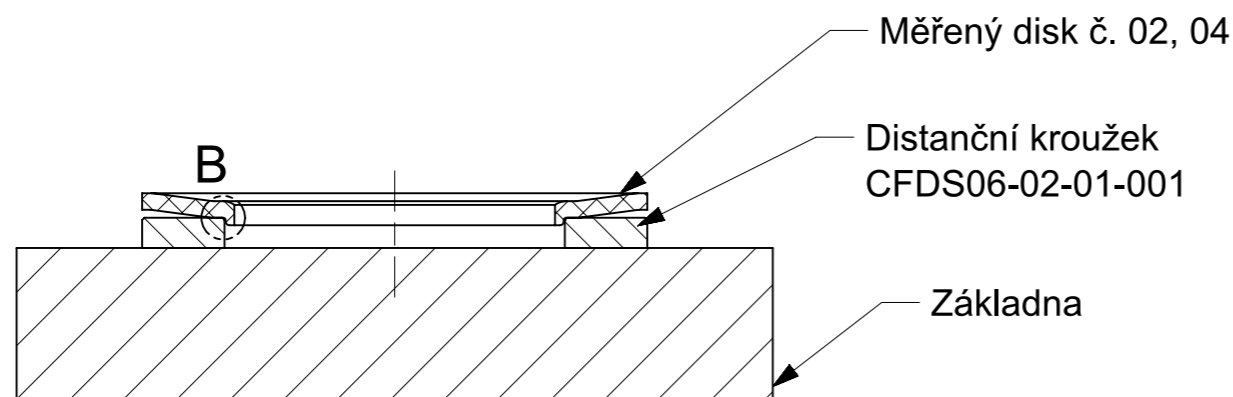
OBRÁBĚT DLE 3D DAT



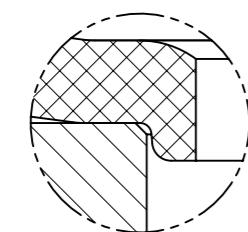
		140x220x15		EN AW 6082					
Pocet ks.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material	T.O.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo vykresu sestavy	Poz.	
Quant.	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	R. weight	Assembly drawing no.	Pos.	
CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name							
Kreslil / Drawn by	30.4.2019	MM			  <p>Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved</p>				
Prezkousel / Checked by									
Schvalil / Approved by									
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:				
 Tolerance / Tolerovani ISO 8015 ISO 2768mK		Soubor-model / ASM-file CFDS06-01-01-001_Mold_Lower_DRW Soubor-vykres / DRW-file CFDS06-01-01-001_Mold_Lower_DRW			Projekt / Project: FS - UWB06		Meritko / Scale A3		
Nazev / Title MOLD PRIMARY LOWER PROTOTYPE				Rev. Cislo vykresu / Drawing No. CFDS06-01-01-001		Format A3			
		List / sheet no. 1		Pocet listu / sheets 1					



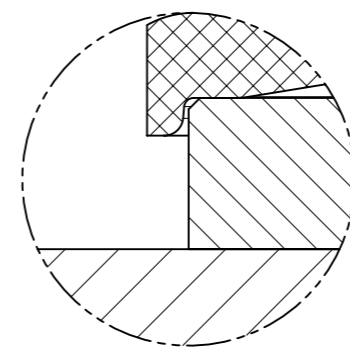
Sestavena pro disky s vnějším zámkem



Sestavena pro disky s vnitřním zámkem



DETAIL B
SCALE 5:1



DETAIL A
SCALE 5:1

Disk	Označení vzorku	Teoretické maximální stlačení [mm]	Předpokládaná maximální síla při max stlačení [N]
sekundární s vnějším zámkem	01	1,3	2893
sekundární s vnitřním zámkem	02	1,3	2893
primární s vnějším zámkem	03	1,125	518
primární s vnitřním zámkem	04	1,125	518

<input checked="" type="checkbox"/>									
Pocet ks.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material	T.O.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo vykresu sestavy	Poz.	
Quant.	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	R. weight	Assembly drawing no.	Pos.	
CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name							
Kreslil / Drawn by	15.5.2019	MM							
Prezkoušel / Checked by									
Schválil / Approved by									
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:				
	Tolerance / Tolerovani	Soubor-model / ASM-file			Projekt / Project:			Meritko / Scale	
ISO 128	ISO 8015 ISO 2768mK	CFDS06-02-01-000_mereni_tuhosti_assy_DRW			C.sestavy / Assembly No.			1:1	
Soubor-vykres / DRW-file		CFDS06-02-01-000_mereni_tuhosti_assy_DRW			Rev.			Cislo vykresu / Drawing No.	
Nazev / Title		Mereni tuhosti			CFDS06-02-01-000			Format	
					1			A3	
					1			1	



Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved

4

3

2

1

D

D

C

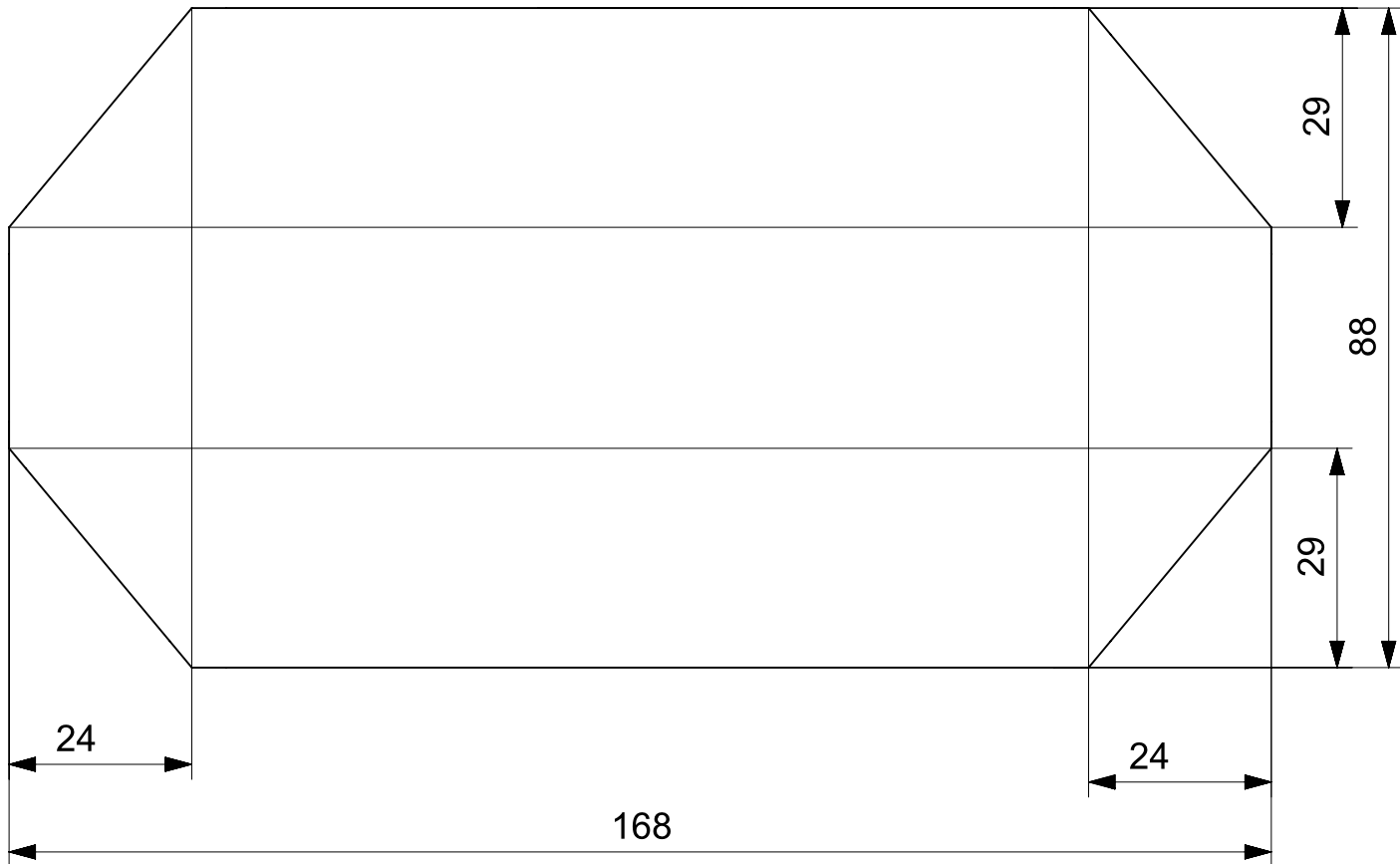
C

B

B



A


A



Skladba pro CFS06-01-00-001/CFS06-01-00-002: [0/45]₆
 Skladba pro CFS06-01-01-001/CFS06-01-02-002: [0/45]_s

	<input type="checkbox"/>		GG200T					
Pocet ks.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material	T.O.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo vykresu sestavy	Poz.
Quant.	Title - size	Blank	Material	C.W.	Weight	R. weight	Assembly drawing no.	Pos.

CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name			  <small>Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved</small>
Kreslil / Drawn by	30.4.2019	MM			
Prezkousel / Checked by					
Schvalil / Approved by					
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:

 ISO 128 Tolerance / Tolerovani ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file	Projekt / Project:	FS - UWB06	Meritko / Scale 1:1	
	Soubor-vykres / DRW-file	C.sestavy / Assembly No.			
Nazev / Title LAYUP		Rev.	Cislo vykresu / Drawing No. CFDS06-02-03-000	Format 297.0 x 210.0	
		List / sheet no.	2	Pocet listu / sheets	2

4

3

2

1