



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**NÁVRH A VÝROBA BŘITU STABILIZÁTORU PRO
FORMULI STUDENT**

DESIGN AND MANUFACTURING OF A BLADE STABILIZER FOR FORMULA STUDENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tibor Marko

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Slaný, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Tibor Marko**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Martin Slaný, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh a výroba břitu stabilizátoru pro formuli student

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se zaměřuje na návrh, konstrukci a technologii výroby břitu stabilizátoru pro formuli student. Návrh břitu bude vytvořen z výstupních hodnot programu Matlab a dané hodnoty budou integrovány do modelovacího programu CREO 3.0 a následně bude model břitu a sestavy stabilizátoru zatížen v programu ANSYS 14.5. Po vyhodnocení správnosti konstrukce břitu bude vytvořen technologický postup výroby, zvolena vhodná výrobní strategie a výběr řezných nástrojů. V poslední řadě bude ukázáno užití břitu ve formuli student a porovnání uložení a výroby z předchozích formulí.

Cíle diplomové práce:

1. Druhy stabilizátoru a jeho využití
2. Návrh, design a konstrukční řešení
3. Volba materiálu a technologie výroby břitu
4. Užití břitu ve formuli student a porovnání břitů z předchozích formulí

Seznam literatury:

SHIGLEY, Joseph E. MISCHKE, Charles R. ; BUDYNAS, Richard G. . Konstruování strojních součástí. vyd.1. Brno: VUTUM , 2010. 1186 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

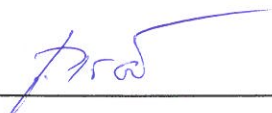
FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav . Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vydání Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

SHAW, M.C. Metal Cutting Principles. Oxford University Press, 2nd ed., 2005, pp. 651, ISBN 0-19-514206-3

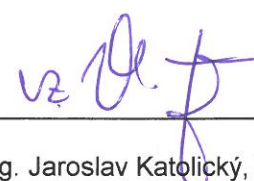
PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. CERM 1.vyd. 246 s. 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 25. 11. 2015



prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce pojednává o návrhu a výrobě břitu stabilizátoru. Budou stanoveny okrajové podmínky pro návrh břitu a následné analyzování působení napětí a deformace na prut břitu a sestavu stabilizátoru při různých nastavení. Pro výrobu břitu bude vybrán materiál polotovaru, výrobní postup a obráběcí podmínky s výběrem řezných nástrojů a obráběcího stroje. Na závěr dojde k porovnání břitů z let minulých formulí od monopostu Dragon 2 po Dragon 6.

Klíčová slova

Břit, stabilizátor, CAD, obrábění, formule

ABSTRACT

The master's thesis discuss about design and manufacture of blade stabilizer. It will be sets limit conditions for design blade and subsequent analysis of effects of stress and strain on the rod of blade and assembly of the stabilizer in various settings. For manufacturing of blade it will design materiál of the blank, manufacturing proces and machining conditions with the choice of cutting tools nad cutting machine. In conclusion will be comparison blades from formulas of last years from monopost Dragon 2 to Dragon 6.

Key words

Blade, anti roll bar, CAD, machining, formula

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MARKO, Tibor. *Návrh a výroba břitu stabilizátoru pro formuli student*. Brno 2016. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 96 s. 12 příloh. Vedoucí práce Ing. Martin Slaný, PhD.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Návrh a výroba bříty stabilizátoru pro formuli student** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Tibor Marko

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Martinu Slanému, PhD. za vedení diplomové práce, kolegům z týmu TU Brno racing, firmě IMI CCI za umožnění obrábění a panu Ing. Pavlovi Doležalovi, PhD. za poskytnutí tepelného zpracování a rodině za jejich pevné nervy.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	8
1 FORMULA STUDENT.....	9
1.1 Soutěž Formula student	9
1.2 Tým TU Brno racing	10
2 STABILIZÁTOR MOTOROVÉHO VOZU	11
2.1 Funkce stabilizátoru.....	11
2.2 Druhy a využití stabilizátoru.....	12
3 NÁVRH A KONSTRUKCE STABILIZÁTORU	14
3.1 Měření tuhosti břitu stabilizátoru.....	15
3.2 Dynamické zatížení.....	22
3.3 Návrh sestavy stabilizátoru	24
3.4 Výpočet a pevnostní analýza prutu stabilizátoru	27
3.5 Návrh a konstrukce stabilizátoru	33
4 TECHNOLOGIE VÝROBY BŘITU STABILIZÁTORU.....	42
4.1 Volba materiálu.....	42
4.2 Vhodnost polotovaru.....	43
4.3 Volba obráběcích strojů a řezných nástrojů.....	46
4.4 Výrobní postup, řezné podmínky a celkové časy	50
4.5 Tepelné zpracování	56
4.6 Dokončovací operace.....	60
5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VÝROBY	63
6 POROVNÁNÍ NÁVRHU A VÝROBY JEDNOTLIVÝCH BŘITŮ Z MONOPOSTŮ DRAGON	64
DISKUSE.....	67
ZÁVĚR	68
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	70
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	74
SEZNAM PŘÍLOH.....	78

ÚVOD

Jedním ze základních prvků podvozkových souprav vozidel od osobních, závodních až po nákladní vozy jsou stabilizátory. Tento prvek spojuje obě nosné části náprav, přes které přechází působící síly ovlivňující jízdní vlastnosti vozu. V motorsportu je dbán zřetel na dokonalé nastavení podvozku, pro vytvoření maximálního výkonu v závodním režimu, ale v osobní dopravě se jedná o bezpečnost a komfort jízdních vlastností vozu. V této práci je zaměření na prototypovou výrobu sestavy stabilizátoru v motorsportu, zvláště úkaz na nejdůležitější prvek této sestavy a to bříty stabilizátoru. Sestava stabilizátoru bude použita v podvozkové části formule Dragon 6. K vytvoření modelu sestavy jsou potřeba kinematické body podvozku, na které je sestava navázána a poté vytvořen CAD model. Pro vstupní parametry výpočtů MKP bříty bude vytvořen přípravek pro měření tuhosti bříty a velikosti působící síly na břit. Z výsledků bude možné vytvořit model bříty stabilizátoru odpovídající maximální velikosti napětí na mezi kluzu. Hodnota meze kluzu, kterou je nepřipustné překročit, bude odečtena z tepleného zpracování zušlechťováním. Jelikož je břit stabilizátoru cyklicky namáhanou součástí, bude brán zřetel na výběr vhodného materiálu. Následně bude vypracován výrobní postup, vybrány vhodné řezné podmínky, velikost polotovaru a rozměry přídavek pro hrubovací a dokončovací operace. Na závěr dojde k porovnání designu a výroby bříty z předchozích formulí a ekonomické zhodnocení výroby bříty. V diskusi budou rozebrána možná zlepšení návrhu a výroby bříty.



Obr. 0. 1 Sestava břítového stabilizátoru

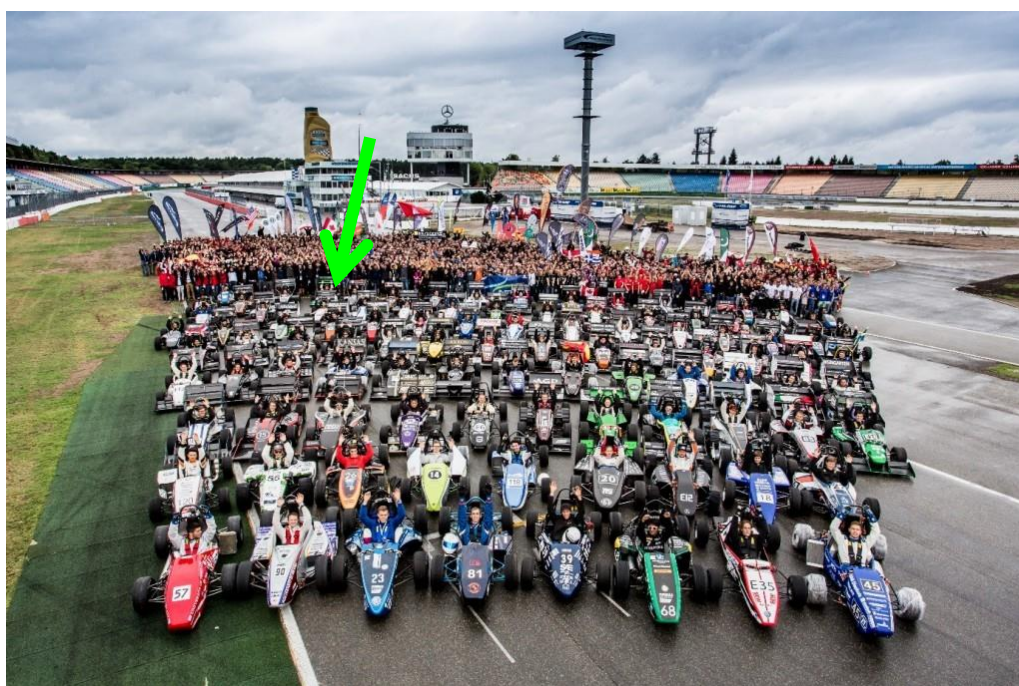
1 FORMULA STUDENT

1.1 Soutěž Formula student

Formula Student (FS), je Evropskou odnoží americké soutěže Formula SAE. Jedná se o prestižní soupeření univerzitních týmů složených pouze ze studentů z daných univerzit. Soutěž FS vznikla v roce 1981, kdy se skupina studentů holdující motorsportu rozhodla pod záštitou univerzity postavit závodní studentskou formuli. Od té doby se do projektu začali zapojovat univerzity z celého světa a v současné době je na světě okolo 600 týmů.

Aby mohli studenti mezi sebou soupeřit, je nutné postavit funkční a pojízdnou formuli. Tento proces trvá přibližně 9-10 měsíců a zbytek času do závodů je věnován testování, sběru cenných dat a přípravou na statické disciplíny. Stavba je omezena pravidly FSAE, takže není možné postavit libovolnou formuli, dle finančních možností. Závodů FS jsou rozděleny do tří skupin, z nichž hlavní bodované jsou dvě. První skupina je přejímka formule. Jedná se o vhodnost formule schopné závodního a hlavně bezpečného režimu jízdy. Druhá skupina jsou statické disciplíny (design presentation, cost report, bussines presentation), kde se hodnotí inženýrský postoj k vývoji formule, celková cena na stavbu formule a prodej formule potenciálnímu víkendovému závodníkovi. Poslední skupina jsou dynamické disciplíny, kde se porovnávají výkony a spolehlivosti formulí. Jedná se o disciplíny akcelerační, skidpad, autocross a endurance. Nejdůležitější je závod endurance, který se jede na 22 km s výměnou řidičů v polovině závodu. Při výhře této disciplíny dostane vítěz téměř polovinu bodů z celkového hodnocení a zde se rozhoduje o celkovém vítězi.

V FS nejde jen o stavbu formule a závodění, ale o zlepšení softskills a navázání kontaktu s lidmi z ostatních týmů. Každý člen týmu má možnost se rozvinout ve svých prezentačních schopnostech, vedení týmu, komunikace se sponzory a mnoho další. Tyto zkušenosti jsou bohaté pro výběr budoucího zaměstnání. [1]

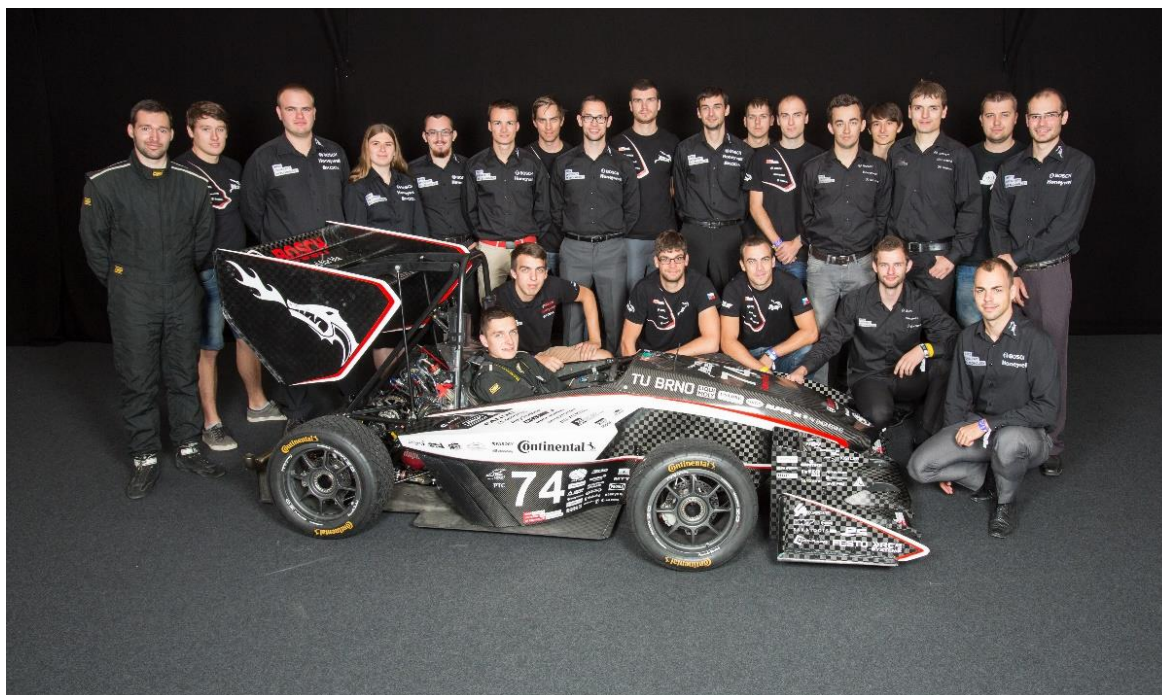


Obr. 1. 1 Panoramatická fotografie ze závodu FS z Německého okruhu Hockenheim ring [2]

1.2 Tým TU Brno racing

Tým vznikl v roce 2009, který čítal 5 studentů, kteří dali základ dalším generacím pro stavbu formule. Momentálně v týmu působí 25 aktivních členů, kteří se podílejí na stavbě monopostu Dragon 6. Každým rokem postupuje tým technicky vzhůru a lze to vidět na dosahovaných výsledcích a také světovém žebříčku, kde se tým minulý rok umístil na 48. pozici. Letošní sezonu chce tým navázat na úspěchy z minulé sezóny a být ještě lepší a také se porovnávat se světovou špičkou o přední příčky.

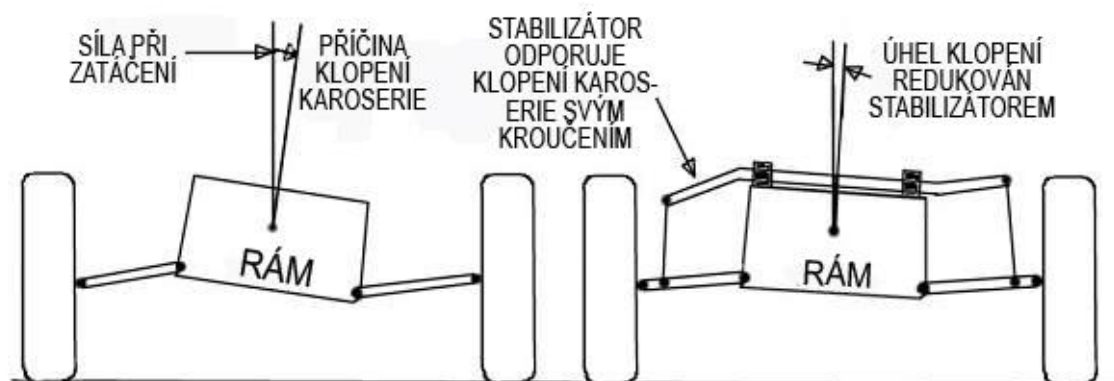
Tým je rozdělen do sekce technical a bussines. Sekce technical je ještě rozdělena na podskupiny powertrain, suspension, chassis, electronics a aero. Jednotlivé sekce musí mezi sebou kooperovat, protože nezáleží jen na jedné, ale na všech, tím by pak slovo "tým" postrádalo smysl. Bussines sekce se zabývá finančními záležitostmi, sháněním a starání se o sponzory. Bez sponzorů by tým nemohl formuli postavit a účastnit se závodů. Každým rokem odchází z týmu čerství absolventi a nahrazují je nováčci, kteří přijdou na náborovou kampaň a stávají se členy týmu, kde dostávají cenné zkušenosti jako absolventi školy. Je to stálý cyklus obměňování studentů v týmu a přínos nových a nových poznatků ve vývoji formule Dragon. Tým se každým rokem zúčastní závodů v Evropě a také domácího závodu v ČR. Na těchto závodech členové získávají největší možnost zkušeností jak z prostředí závodů, tak hlavně osobních pro budoucí vzdělání a zaměstnání.



Obr. 1. 2 Tým TU Brno racing ze závodu v Německu [3]

2 STABILIZÁTOR MOTOROVÉHO VOZU

Stabilizátor je prvek zavěšení, který spojuje pravou a levou část nezávisle odpružené nápravy. V motorsportové minulosti, kdy nebyly stabilizátory vyvinuty, docházelo ke značnému klopení karoserie při průjezdu zatáčkou (obr. 2. 1). Tím se přenášelo značné množství síly na zatěžovanou nápravu, což mělo nepříznivý vliv na kinematiku zavěšení a postavení kola vůči vozovce. Po zavedení stabilizátoru nedocházelo k přenosu celé síly na nápravu, ale jen její část. Tím se zmenšilo klopení karoserie, zvýšila se bezpečnost a ovladatelnost vozidla. Stabilizátor také ovlivňuje přetáčivost či nedotáčivost vozidla v zatáčce a k tomuto jevu dochází při nastavení tuhosti stabilizátoru na přední či zadní nápravě. Důsledkem užití stabilizátoru dochází ke změně zatížení kol na nápravě. [4][5][6]



Obr. 2. 1 Klopení vozidla a funkce stabilizátoru [7]

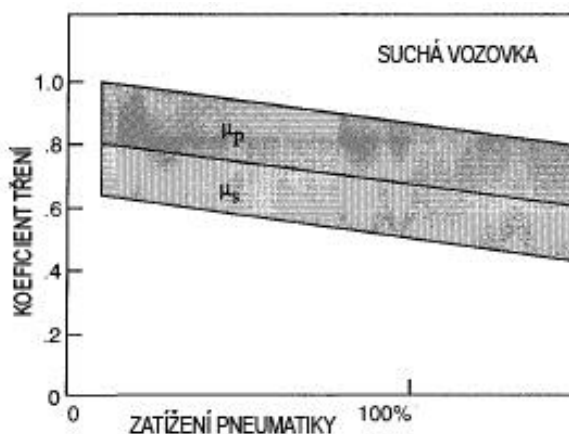
2.1 Funkce stabilizátoru

Hlavní funkcí stabilizátoru u vozidla je zmenšovat klopení karoserie během průjezdu zatáčkou a tím zlepšit jízdní vlastnosti a ovladatelnost vozu. Zmenšení klopení je dosaženo zvětšením klopné tuhosti nápravy. Stabilizátor je navržen tak, aby docházelo ke zvětšení tuhosti odpružení jen při jízdě zatáčkou. [4][5][6]

Při přejezdu nerovnosti na vozovce dojde ke stejnoměrnému pohybu kol, tudíž se u náprav projeví vyvážení nebo komprese a na stabilizátor působí z obou směrů stejné síly. Síly jsou symetrické vůči ose vozu a tím dojde k vyrušení těchto sil, takže na stabilizátor nepůsobí žádné zatížení. [4][5][6]

Při jízdě zatáčkou vzniká v těžišti odstředivá síla, která je zachycována pneumatikami přenášející tuto sílu na vozovku. Síla zachycující pohyb vozidla na vozovce a síla odstředivá, která působí v těžišti, neleží ve stejné výšce a vzniká tak moment, který klopí karoserii během průjezdu zatáčkou. Během klopení dochází k nestejnomořnému pohybu kol, kdy na tento nestejnomořný pohyb působících sil a momentů reaguje stabilizátor, který je částečně deformován a částečně přenáší síly na kolo na vnitřní straně zatáčky. [4][5][6]

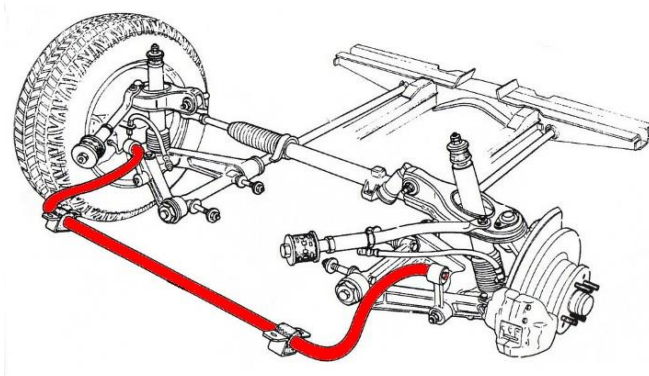
Síly přenesené pneumatikou závisí na zatížení pneumatiky a na koeficientu tření (obr. 2. 2). S rostoucí hmotností vozu roste lineárně zatížení pneumatiky a koeficient tření lehce klesá. Klesání koeficientu tření je nepříznivé pro udržení pneumatiky ve směru jízdy. Nejlepším poměrem mezi hmotností vozu a silami přenositelnými pneumatikou lze dosáhnout při co nejnižším možném zatížení náprav (nejmenší váze vozu). [4][5][6]



Obr. 2. 2 Závislost koeficientu tření na zatížení pneumatiky [8]

2.2 Druhy a využití stabilizátoru

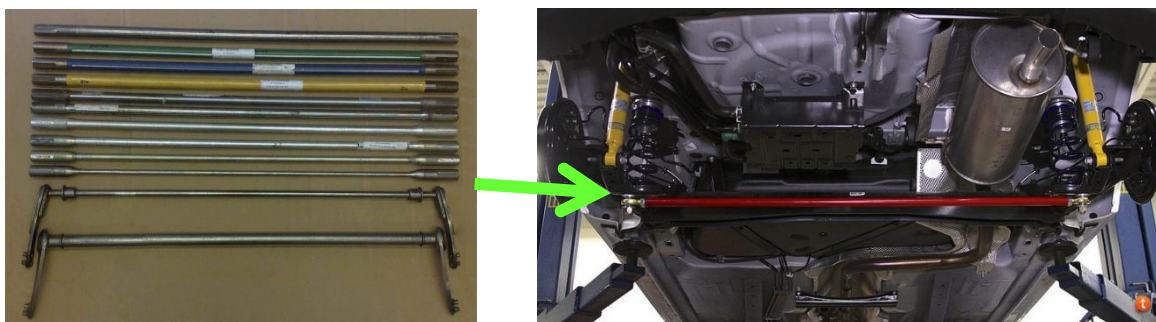
Stabilizátory ve tvaru U jsou v dnešní době používány v každém osobním voze. Hlavní výhodou je konstrukční jednoduchost a nízké výrobní náklady. Stabilizátor na obr. 2. 3 reprezentuje červená zkrutná tyč. Při stejnosměrném pohybu kol se tyč otáčí v pryžovém uložení, které je přimontováno ke karoserii. Při nestejnosměrném pohybu je tyč na obou krajích zatěžována opačně orientovanými silami. Tyto síly vyvolávají namáhání ohybem (krajní ramena) a krutem (střední část). Tuhost stabilizátoru závisí na velikosti deformace tyče a tato deformace je závislá na geometrických parametrech tyče. [4][5][6]



Obr. 2. 3 Stabilizátor ve tvaru U [9]

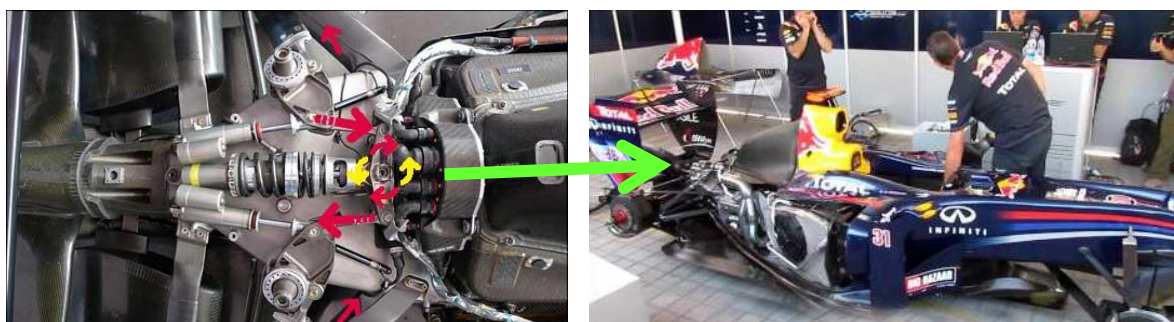
Pro stabilizátory závodních vozů je kladen větší důraz na jízdní vlastnosti, než je tomu u osobních vozů. U závodních vozů oproti osobním nejde o komfort, ale o maximální využití stabilizátoru na hranici svého maxima a vysoké technické úrovni návrhu a výroby. U takových vozů se využívají zkrutné tyče, pro které jsou různé podmínky povrchu tratě a klimatických podmínek. Pro různé povrchy tratí ať asfalt či rozbitá šotolina, je potřeba různých druhů zkrutných tyčí pro stabilizátor. Každá tato tyč má odlišné vlastnosti tuhostí a nastavení. Pro závodní vozy rallye (obr. 2. 4) je možné tyto tyče měnit během servisní přestávky, a pro závodní okruhové speciály je možnost nastavovat tuhost elektronicky přes volant. Pilot si na volantu zvolí určitou tuhost

stabilizátoru, následně je vydán signál řídící jednotce, která nastaví vahadla na stabilizátoru do dané polohy, aby se dosáhlo přesně dané tuhosti vyžadované pilotem. [4][5][6]



Obr. 2. 4 Zkrutné tyče pro vozy rallye [10][11]

Stabilizátory formulových monopostů jsou dvou typů. Stabilizátor typu T a U. Stabilizátory typu T se využívají u monopostů Formule 1. Při stejnosměrném propružení se stabilizátor typu T pohybuje v ose tlumiče. Nestejnosměrný chod kol vede k pochodům označených na obr. 2. 5. Červené šipky ukazují pohyb jednotlivých komponent, žluté šipky ukazují torzní namáhání stabilizátoru. [4][5][6]



Obr. 2. 5 Stabilizátor typu T [12][13]

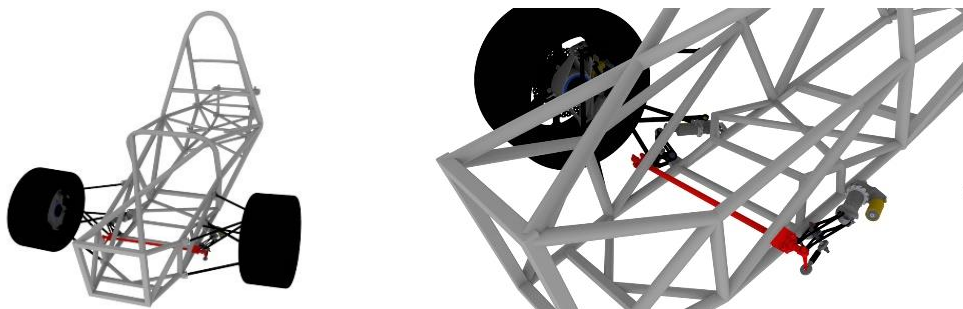
Dále se využívají stabilizátory tvaru U, kde jsou použity břity jako ohybový element náhradou za zkrutnou tyč. Stabilizátor funguje na principu změny průřezového modulu. Břítový stabilizátor se může vůči působící síle různě natočit a změnit svoji tuhost. Výhodou tohoto řešení je možnost přidat do systému táhla, kterými je upravována tuhost stabilizátoru během jízdy. Břítový stabilizátor je nejpoužívanější druh u formule student (obr. 2. 6). [4][5][6]



Obr. 2. 6 Břítový stabilizátor typu U [14]

3 NÁVRH A KONSTRUKCE STABILIZÁTORU

Samotný základ pro tvorbu stabilizátoru je jeho konstrukční řešení, které je omezeno mnoha faktory. Od kinematického navržení je omezení pro zdvih kola, stlačení pružiny a tuhosti pružiny, přes které je potřeba vypočítat motion ratio (přepákování), u kterého se stanoví hodnota chodu stabilizátoru. Následuje omezení vzhledem k usazení sestavy stabilizátoru vůči ostatním komponentám formule. Tato část je časově nejnáročnější a pracná, aby se shodly skupiny z rámu, podvozku a aera. Na obr. 3. 1 je ukázána sestava přední nápravy s rámem, kde lze vidět usazení stabilizátoru.



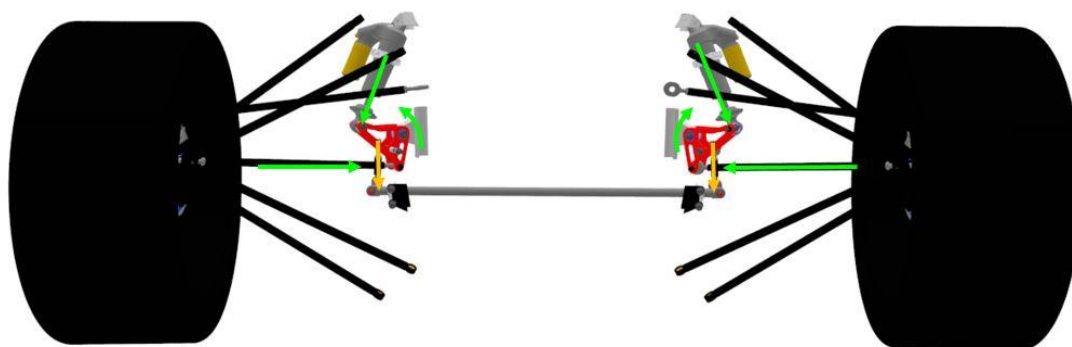
Obr. 3. 1 Sestava přední nápravy s rámem

Působení síly na kolo je přenášeno přes pullrod, který je uchycen na horním rameni a rameno je uchyceno k těhlici kola. Pullrod je na svém druhém konci uchycen k vahadlu (rocker), který je přichycen k rámu a veškeré působící síly přenáší do tlumiče a pružiny a také přes pushrod uchycený k břítu stabilizátoru. Tento chod přenosu sil je naznačen na obr. 3. 2.



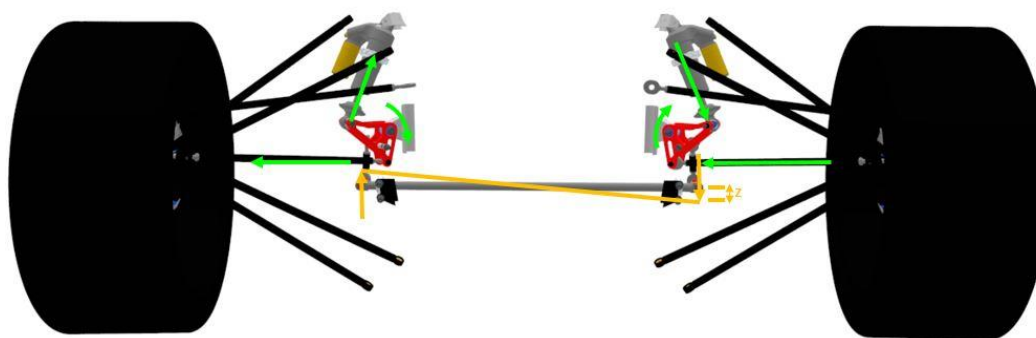
Obr. 3. 2 Chod kol a působení sil

Pro obr. 3. 3 a obr. 3. 4, které pokračují působením sil z obr. 3. 2 v půdorysném pohledu, nastávají dvě situace kinematiky pohybu stabilizátoru. Dojde-li k rovnoměrnému propružení nápravy při rovnoměrném pohybu formule, působí na břity a celou sestavu stabilizátoru stejná síla, která se symetricky vyruší a tudíž na břity nepůsobí žádná vnější zatížení (obr. 3. 3).



Obr. 3. 3 Rovnoměrné působení sil

Při průjezdu zatáčkou nebo nerovném terénu dochází k nerovnoměrnému působení sil na nápravu, které se projevují různým zdvihem kol. To má za následek stlačení nebo vytažení tlumiče, který svou kinematikou působí na rocker a přes něj přechází síly na břity stabilizátoru. Dojde-li ke stlačení jednoho tlumiče a vytažení druhého, tak působení vektoru sil je různé a tím dojde k deformaci břitu, který se ohýbá. Princip nerovnoměrného působení sil a posunutí břitu je znázorněn na obr. 3. 4.



Obr. 3. 4 Nerovnoměrné působení sil a ohyb břitu stabilizátoru

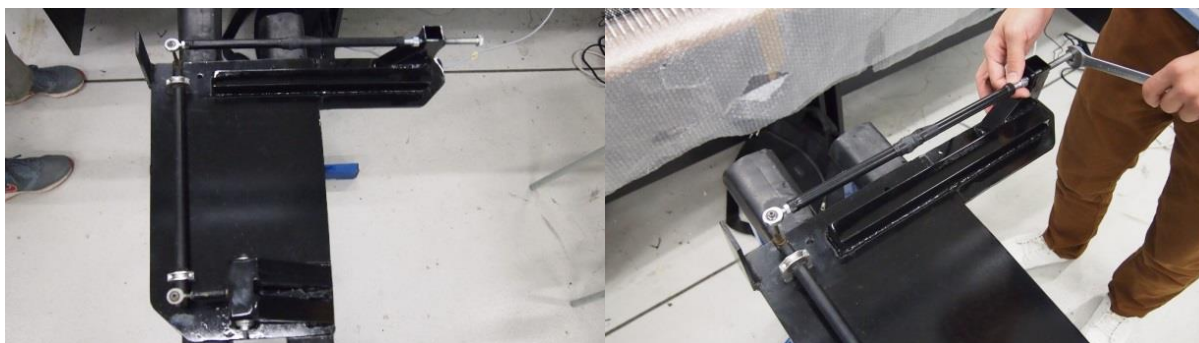
3.1 Měření tuhosti břitu stabilizátoru

V minulých letech u monopostů Dragon, byl návrh břitu stabilizátoru vytvořen pomocí simulací v programu ADAMS, znázorňující působící sílu na kolo. Z tohoto návrhu se vycházelo pro stanovení okrajových podmínek pro výpočet rozměrů prutu břitu a následnému výpočet tuhosti. Výpočtové modely v PC se lišily odchylkou od skutečnosti. Tudíž byl břít stabilizátoru předimenzován, což mělo zásah do vyšší hmotnosti nebo byl poddimenzován, což vedlo k porušení břitu (obr. 3. 5) a následným opravám či výměně.



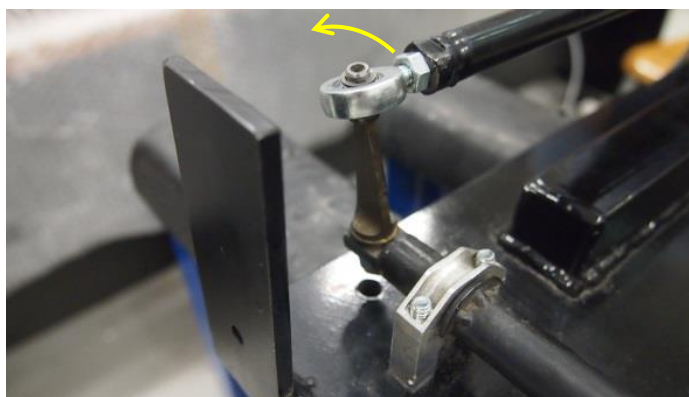
Obr. 3. 5 Únavové porušení břitu v závodním režimu

Aby bylo dosaženo přesnějších výsledků pro simulaci, byl vytvořen přípravek pro měření tuhosti břitu a sestavy stabilizátoru (obr. 3. 6).



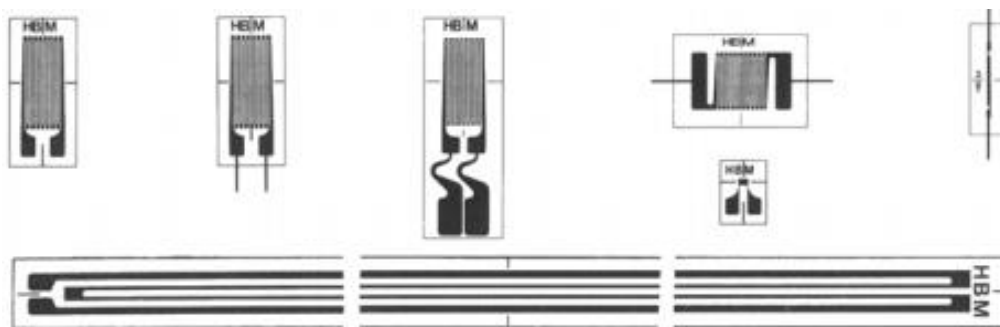
Obr. 3. 6 Přípravek na měření tuhosti břitu

Přípravek byl vytvořen v provizorních dílenských podmínkách fakulty. Podmínkou přípravku byla jeho funkční a jednoduchá ovladatelnost. Muselo být dosaženo simulačních podmínek na trati při průjezdu zatačkou, tudíž sestava stabilizátoru byla na pevně uchycena do přípravku, jeden břit byl uchycen napevno a u druhého docházelo k deformaci (obr. 3. 7). U břitu, u kterého docházela deformace, byl uchycen pushrod se stupněm volnosti, takže přes otáčení šroubu, došlo k pohybu bodu uchycení břitu s pushrodem, čímž bylo simulováno napínání břitu při průjezdu zatačkou. Aby byly vyhodnoceny výsledky, byly na pushrod přiletovány tenzometry zapojené do Wheatstonova můstku.



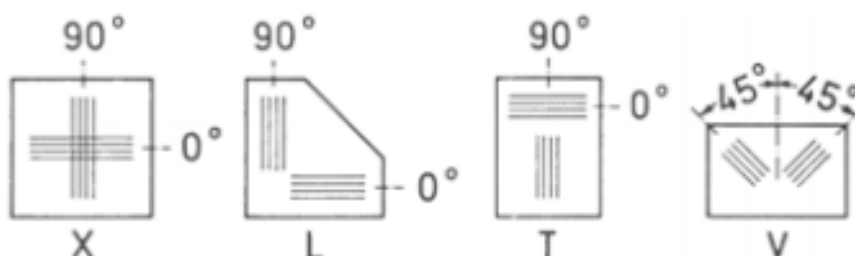
Obr. 3. 7 Průhyb a posunutí bodu uchycení břitu

Pro měření byly použity odporové tenzometry, které se vyrábějí v různých typech a velikostech. Také se mohou lišit druhem uložení měřicí mřížky a pájecími kontakty. Existují tenzometry pro běžné použití a pro speciální aplikace např. v tepelně extrémních podmínkách. Velký počet druhů tvarů a délek tenzometrů, je výsledkem na požadavky rozmanitého množství rozdílných aplikací tenzometrů (obr. 3. 8). [15]



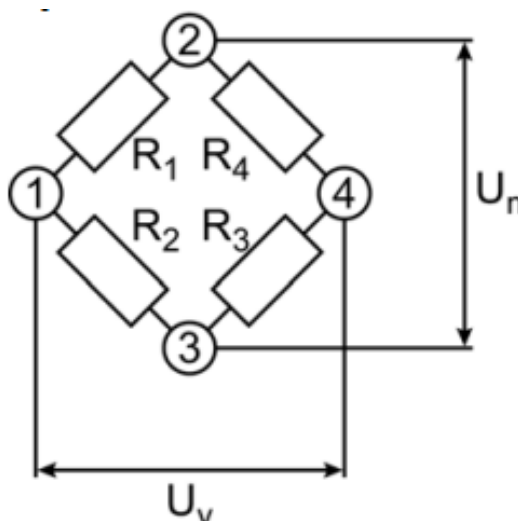
Obr. 3. 8 Aplikace a použití odporových tenzometrů [15]

Aby bylo možné zjistit rovinnou napjatost, je nutné měřit deformaci ve více směrech. Pro měření více směrů hlavních napětí se používají tenzometrické kříže, které mají dvě nezávislá vinutí pod úhlem 90° . Nejznámějšími druhy tenzometrických křížů jsou typy X, L, T a V, pojmenované podle tvaru křížení (obr. 3. 9). [15]



Obr. 3. 9 Druhy tenzometrických křížů [16]

Pro měření napjatosti při deformaci pushrodu byl použit tenzometr tvaru X, který byl zapojen do Wheatstonova můstku (obr. 3. 10) při napájení konstantním napětím. [15]



Obr. 3. 10 Zapojení Wheatstonova můstku [15]

Čtyři odpory označení R_1 , R_2 , R_3 a R_4 jsou uspořádány do můstku. Napájecí diagonála mezi uzly 2 a 3 je připojena ke zdroji konst. napětí U_n . Výstupní napětí můstku U_v mezi uzly 1 a 4 je připojeno k zesilovači s teoreticky nekonečným odporem. [15]

Výstupní napětí U_v je dáno vztahem

$$U_v = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)} \quad (1)$$

kde: $R_{1,2,3,4} [\Omega]$ - odpory tenzometrů

$U_v [V]$ - výstupní napětí

V praxi se vzhledem k nepodstatnému vlivu nelinearity používá ve zjednodušeném stavu rovnice (2) popisující pro běžnou praxi dostatečně přesné chování můstkového zapojení v závislosti na relativních změnách odporů v jeho ramenech: [15]

$$\frac{\Delta U_v}{U_n} = \frac{k}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) \quad (2)$$

kde: $U_n [V]$ - napájecí napětí

$\Delta U_v [V]$ - změna výstupního napětí

$k [-]$ - deformační součinitel tenzometru

$\varepsilon [-]$ - poměrné přetvoření

Po úpravě $\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4$ bylo získáno výsledné přetvoření ε_v a po další úpravě rovnice (3.2) byla dosaženo rovnice (3), kde výsledné přetvoření transformovalo na ε_i indukované přetvoření. [15]

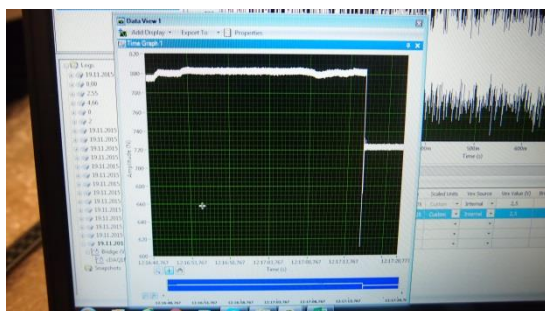
$$\varepsilon_i = \frac{4}{k} \cdot \frac{\Delta U_v}{U_n} \quad (3)$$

kde: $\varepsilon_i [\mu m/m]$ - indukované přetvoření

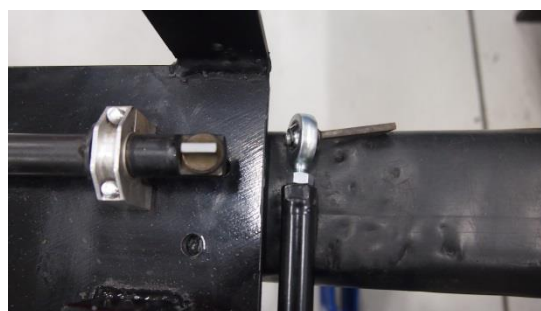
V praxi bývá obvykle zapojení dvou tenzometrů z obou stran proti sobě, tudíž by byl výsledek dvojnásobný. Výsledný vzorec pro výpočet indukovaného přetvoření vychází z rovnice (4). [16]

$$\varepsilon_i = 2 \cdot \frac{\Delta U_v}{U_n} \quad (4)$$

Síla působící na pushrod jej deformuje a tím také dochází k deformaci připojených tenzometrů, které generují elektrické signály, přecházející do daného programu v PC. V programu jsou vyhodnoceny pouze frekvenční závislosti (obr. 3. 11), které bylo potřeba přehodnotit na funkční závislost působení síly na břit. Maximální naměřená hodnoty byla v místě, kdy došlo k úplné poruše břitu (zlomení) (obr. 3. 12).



Obr. 3. 11 Frekvenční závislost odporů tenzometrů



Obr. 3. 12 Porušení břitu po překročení maximální přípustné hodnoty

Aby bylo možné vyhodnotit frekvenční závislost bylo potřeba vytvořit algoritmus v programu Matlab (obr. 3. 13). Po vytvoření daného algoritmu bylo možné vykreslit výsledné závislosti a vyhodnotit maximální působící sílu na břit. Jelikož je břit namáhán dynamicky, systematicky maximálního působení síly v delším časovém úseku nedojde. Síla by byla dosažena na zlomek sekundy při prudkém přejetí nerovnosti při zatáčení.

```

1
2 -   clc
3 -   close all
4
5 -   data = xlsread('ARB_mekky.xlsx','A2:B800001');
6
7 -   t = data(:,1);
8 -   magn = data(:,2);
9
10 -  t1 = find(t>=1,1,'first');
11
12 -  fs = t1-1; %[Hz]
13
14 -  M = 5000; % prvky jadra - tzn 'prumeruji' pres interval 0.2 sekundy
15 -  A = 5; % sirka gaussovky
16 -  gaussovka = gausswin(M,A);
17 -  jadro = gaussovka/sum(gaussovka);
18
19 -  N = length(magn); % prvky na vstupu
20
21 -  magn_f = conv(magn,jadro);
22 -  Nf = length(magn_f);
23 -  magn_f = magn_f((Nf-N+1):end);
24
25 -  t_gap = M/fs;
26
27 -  %t_f = t(2:end);
28
29 -  plot(t,magn)
30 -  hold on
31 -  plot(t+t_gap/2,magn_f, 'r', 'LineWidth',2)
32 -  xlabel('time [s]')
33 -  ylabel('magnitude [-]')
34 -  legend('raw','filtered')
35
36 -  t2 = find(t>26.7, 1, 'first')
37
38 -  UH_1 = mean(magn_f(M:t2))

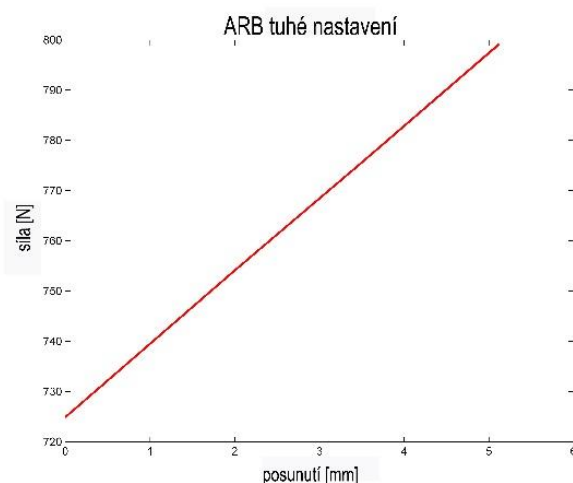
```

Obr. 3. 13 Algoristmus výpočtu působící síly

Po vytvoření algoritmu v programu Matlab byly dosaženy výsledky závislosti na působící síle na břit vůči délce průhybu břitu. Tato závislost byla měřena ve 3. specifikacích, pro jednotlivá simulační nastavení na formuli. Pro první specifikaci byla sestava stabilizátoru nastavena natvrdo (obr. 3. 14), kdy nedošlo k porušení břitu a tudíž nebyla změřena maximální síla (obr. 3. 15) pro porušení při daném nastavení sestavy. Bohužel vybavení přípravku neuskutečňovalo dosáhnout takových výsledků, aby byl břit porušen.

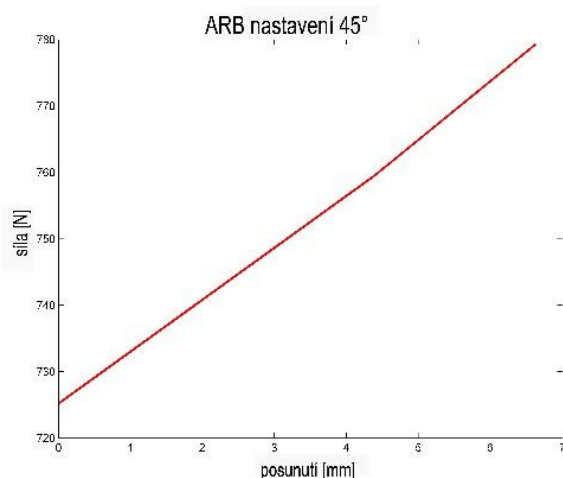


Obr. 3. 14 Tuhé nastavení bříty



Obr. 3. 15 Velikost působící síly závislosti na posunutí pro tuhé nastavení

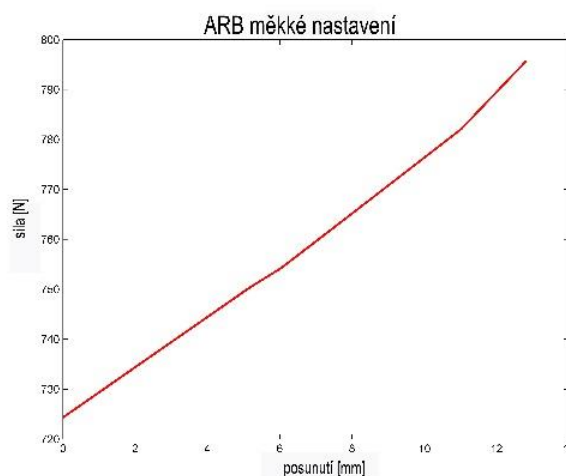
U druhé specifikace nastavení sestavy (obr. 3. 16), byly bříty nastaveny o 45° vůči působící síle. Zde bylo možné vidět dosaženou větší působící sílu a také větší změnu délky posunutí bříty vůči tuhému nastavení (obr. 3. 17). Ale stále nedošlo k porušení bříty.

Obr. 3. 16 Nastavení na 45° Obr. 3. 17 Velikost působící síly závislosti na posunutí pro natočení o 45°

U třetí a poslední specifikace byla sestava nastavena na měkké nastavení (obr. 3. 18), které se nejobvykleji používá ve formuli student. Toto nastavení je nejrizikovější vzhledem k působící síle a nejmenšímu průřezovému modulu bříty. Nejvýhodnější při daném nastavení jsou podmínky, při kterých lze dosáhnout výsledků působící síly při porušení bříty stabilizátoru. Jakmile byl břit zatěžován, došlo k největšímu možnému přijatelnému zatížení bříty, kdy došlo k jeho poruše. Výsledkem bylo největší posunutí bříty v místě uchycení a také byla naměřena velikost maximální působící síly (obr. 3. 19), která byla použita pro základní zatěžování MKP.

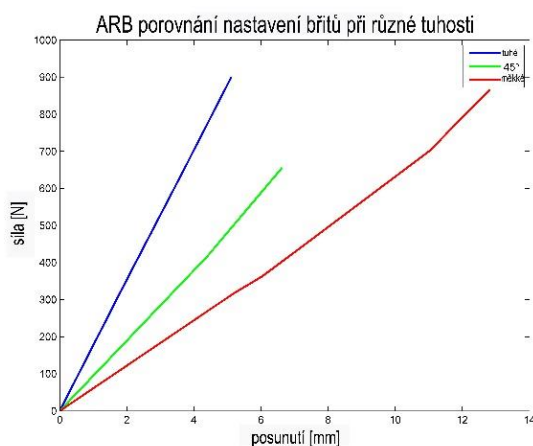


Obr. 3. 18 Měkké nastavení břitů

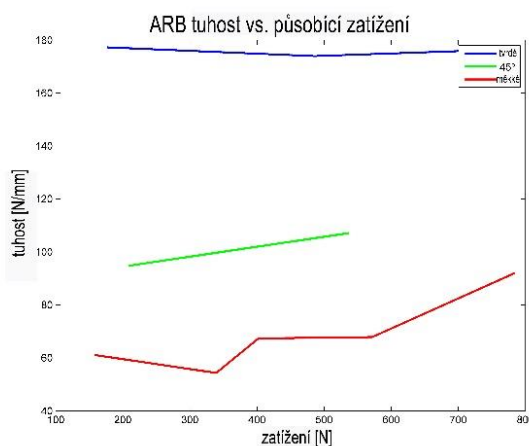


Obr. 3. 19 Velikost působící síly závislosti na posunutí pro měkké nastavení

Z jednotlivých výsledků měření tuhosti břitů byly dosaženy výsledky působící síly na břit a vzdálenosti vyložení břitů v místě uchycení (délka průhybu břitů). Na obr. 3. 20 je znázorněn graf síly na délce posunutí bodu uchycení, kde lze vidět působení při různých nastavení. Modrá křivka znázorňuje tvrdé nastavení, zelená nastavení pod úhlem 45° a červená pro měkké nastavení břitů. Pro obr. 3. 21 platí závislost tuhosti břitů na působící síle, z které vychází hraniční výpočty pro prut břitů. Hlavní výpočty napětí, průhybu a rozměrů jsou zaměřeny na nastavení stabilizátoru do měkkého režimu, který je také nejrizikovější pro porušení břitů.



Obr. 3. 20 Graf působící síly na posunutí bodu uchycení břitů



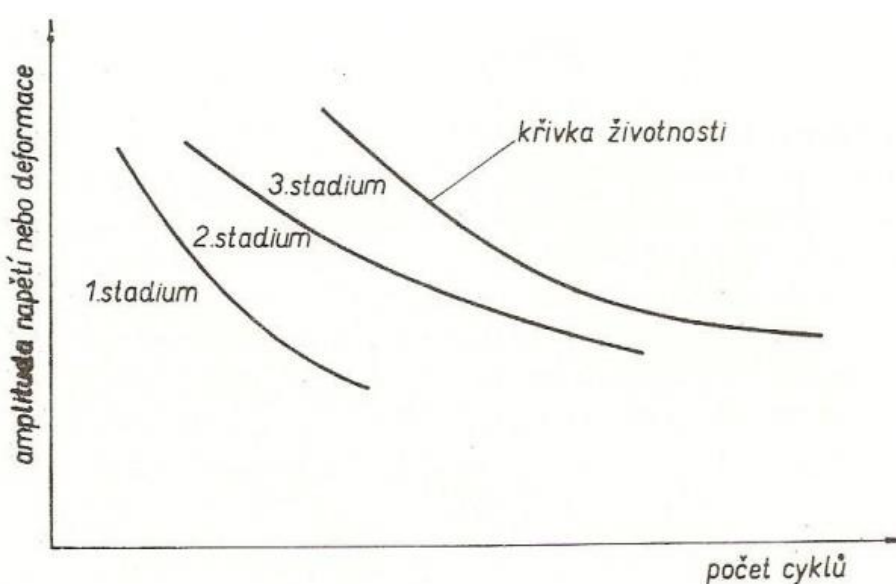
Obr. 3. 21 Graf tuhosti nastavení břitů závislosti na velikosti zatěžující síly

Jako materiál byla použita pružinová ocel 1.7102 (14 260) zušlechťena na 45 HRC. Jelikož je břit stabilizátoru při svém použití a funkčnosti namáhán cyklicky, nebylo možné tuto situaci simulovat při daných podmínkách. Bylo dosaženo měření při jednom statickém zatížení. Z minimální působící síly na porušení břitů nelze plně vycházet a je potřeba tuto velikost síly převést na dynamické namáhání.

3.2 Dynamické zatížení

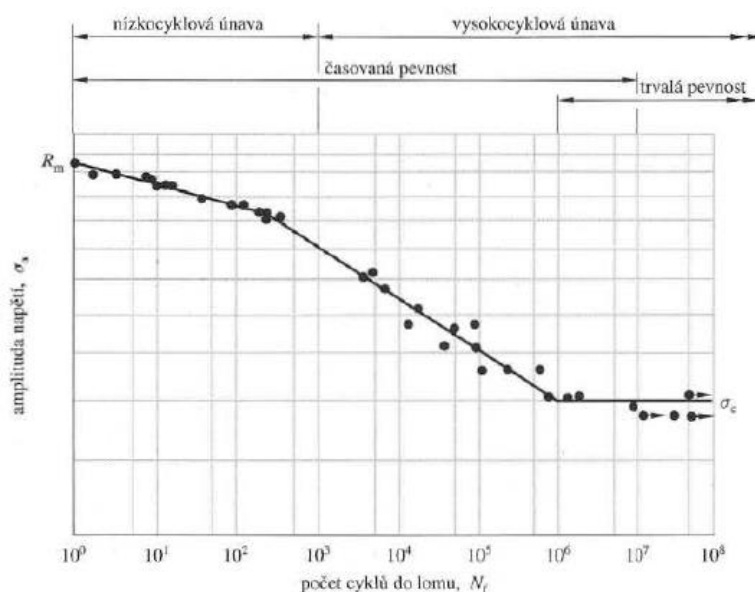
Jelikož u břitu dochází k cyklickému zatížení, je potřeba se zmínit o napětí a deformaci při dynamickém zatížení břitu. I když dochází k zatížení pod mezí kluzu, dochází ke kumulaci mírné plastické deformace. Tato plastická deformace má za následek existenci únavy a vede k nevratným strukturním změnám v materiálu, změně jeho vlastností a v závěru dojde k únavovému lomu. Nevratné změny materiálu, při plastické deformaci lze rozdělit na 3 časově na sebe navazující stádia (obr. 3. 22). [16][18][19]

1. stádium změn mechanických vlastností
2. stádium nukleace trhlin
3. stádium šíření trhlin



Obr. 3. 22 Stádia únavového procesu [17]

Křivka životnosti je označovaná také jako Wöhlerova křivka (obr. 3. 23). Tato křivka udává závislost amplitudy napětí σ_a na počtu cyklů do lomu N a byla sestrojena na základě experimentů. Pro některé materiály se křivka přibližně od řádu 10^6 začíná asymptoticky přibližovat své mezní hodnotě nazývané mez únavy σ_c . Přibližně od počtu cyklů 10^7 až 10^8 vznikne nekonečný počet cyklů, kdy nedojde k lomu materiálu. Jelikož u takových materiálů není možné zjistit mez únavy, musí se určit smluvně a to počtem cyklů $N = 5 \cdot 10^7$. Tato mez únavy pak označuje σ_c . [16][18][19]



Obr. 3. 23 Wöhlerova křivka [16]

U cyklického namáhání dochází k závažným změnám u mechanických vlastností. Tyto změny popisují charakteristiky odporu materiálu vůči deformaci vyvolané vnějšími silami. Pokud odpor materiálu vzrůstá, dochází k cyklickému zpevňování, pokud naopak klesá, jedná se o cyklické změkčování. Jedná-li se o cyklické zpevnění či změkčení, lze zjistit z poměru hodnot meze pevnosti a meze kluzu určených z tahového diagramu. [16][18][19]

Pokud:

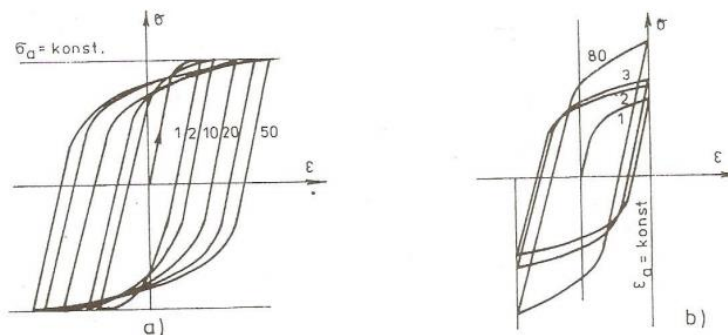
$$\frac{R_m}{R_e} > 1,4 \quad - \text{materiál cyklicky zpevňuje}$$

$$\frac{R_m}{R_e} < 1,2 \quad - \text{materiál cyklicky změkčuje}$$

kde: R_m [MPa] - mez pevnosti

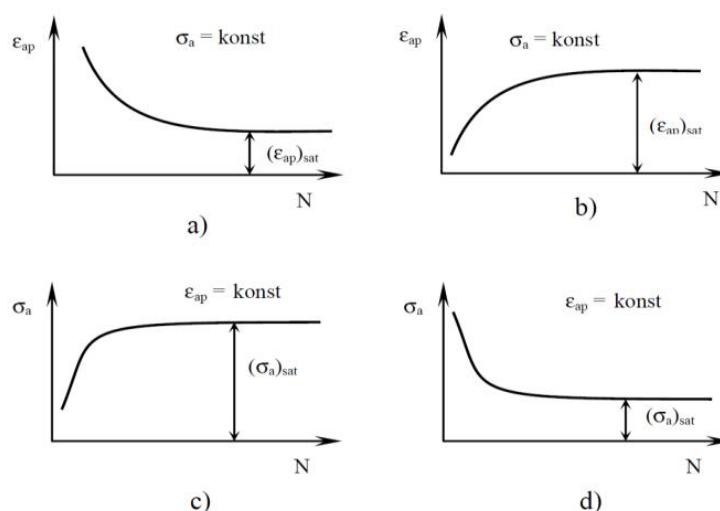
R_e [MPa] - mez kluzu

Nejpraktičtější způsobem určování změn mechanických vlastností materiálu je rozbor hysterezních smyček, které představují závislost $\sigma(\epsilon)$ při cyklickém zatěžování. U těchto smyček lze proložit hraniční hodnoty, kdy nastane konstantní amplituda napětí σ_a nebo konstantní amplituda deformace ϵ_a (obr. 3. 24). [16][18][19]



Obr. 3. 24 a) Hysterezní smyčka pro zatěžování při konstantní amplitudě napětí b) Hysterezní smyčka pro zatěžování při konstantní amplitudě deformace [17]

Pokud s rostoucím počtem cyklů dochází k poklesu amplitudy deformace, jedná se o případ cyklického zpevnění (obr. 3. 25a). Pokud naopak amplituda deformace vzrůstá, jedná se o cyklické změkčení (obr. 3. 25b). Při cyklickém zatěžování s konstantní amplitudou deformace dochází oproti předchozímu případu pouze ke změně amplitudy napětí. Cyklické zpevňování se pak projevuje zvyšováním amplitudy napětí (obr. 3. 25c) a cyklické změkčování se projevuje naopak snižováním amplitudy napětí (obr. 3. 25d). [16][18][19]



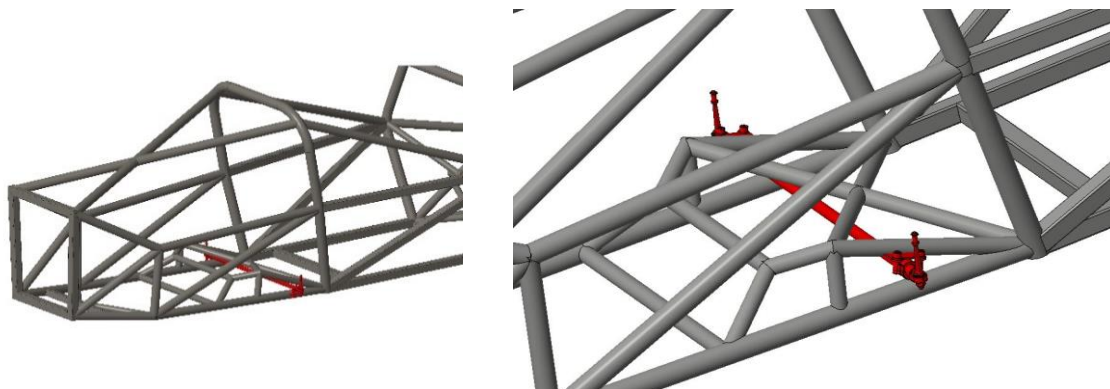
Obr. 3. 25 Cyklické zpevnění a změkčení pro různé režimy zatěžování [17]

3.3 Návrh sestavy stabilizátoru

Při návrhu sestavy stabilizátoru je nutné znát 3 hlavní aspekty, bez kterých nelze sestavu zkonstruovat. Jedná se o tuhost pružiny, vzdálenost stlačení pružiny a přepákování z rockeru na břit stabilizátoru (motion ratio). Jelikož se návrh sestavy stabilizátoru vytváří až v poslední fázi při návrhu podvozku, je tím nepříznivě ovlivněno polohování sestavy k rámu formule. Nutné je také dávat pozor na soubor pravidel vydaných komisaři FSAE, týkající se především kontrolních šablon a vzdáleností od povrchu vozovky. Také je potřeba sestavu napolohovat k rámu a komponentám podvozku tak, aby plnila dostačující podmínky funkčnosti stabilizátoru. Má-li jiná komponenta formule vyšší prioritu v umístění a polohování, je nutné této komponentě dát přednost a přizpůsobit tak model sestavy stabilizátoru.

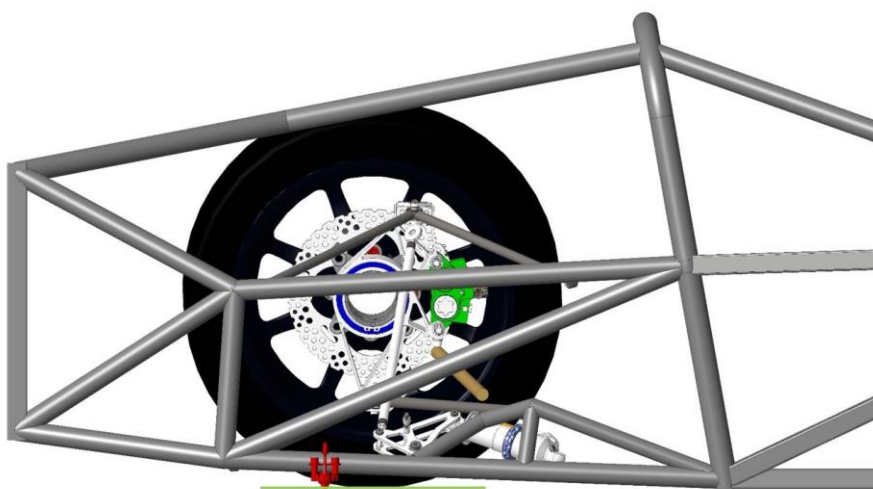
Aby bylo možné zachovat 3 základní pravidla úspěchu ve formuli student, jako je redukce hmotnosti, snížení těžiště a nížení moment kolem těžiště, bylo nutné tomu přizpůsobit sestavu a její napolohování v rámu formule.

První a neoptimálnější řešení napolohování sestavy je zobrazeno v obr. 3. 26. Pro tuto verzi bylo příznivé dodržení 3 základních pravidel úspěchu, ale bylo nutné se podvolit napolohování tlumičů, které mají větší prioritu k poloze usazení.



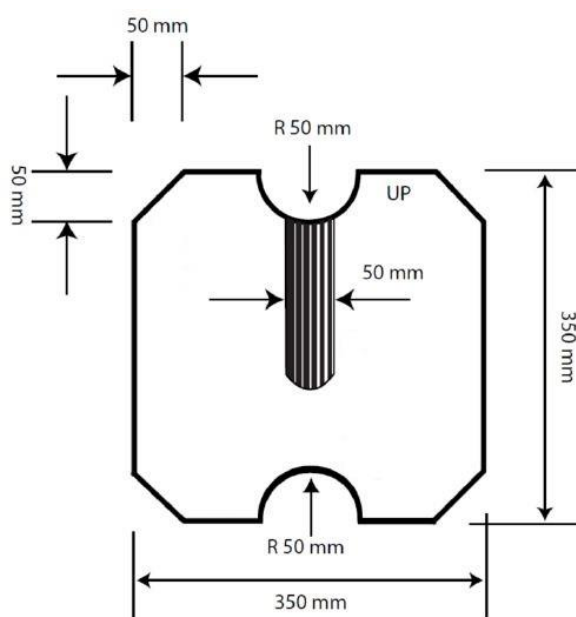
Obr. 3. 26 První varianta uložení sestavy předního stabilizátoru

Bylo tedy nutné zvolit jinou alternativu polohy usazení sestavy stabilizátoru. Sestava byla posunuta dále od těžiště, čímž bylo eliminováno jedno pravidlo (obr. 3. 27). Jelikož docházelo v průběhu návrhu ke změnám polohy trubek rámu, bylo nutné také přizpůsobovat polohu sestavy stabilizátoru. Sestava byla uložena pod trubky rámu, tak aby byla dodržena nízká poloha těžiště, ale jelikož docházelo ke snižování polohy rockeru, měnilo se tím i přepákování na břit, což mělo nepříznivý důsledek na návrh břitu stabilizátoru. Byla také zjištěna komplikace polohy sestavy stabilizátoru, při prokývání zdvihu kol, kdy se ukázalo, že při maximálním propnutí monopostu by při přejezdu nerovností došlo ke kontaktu sestavy s povrchem vozovky.



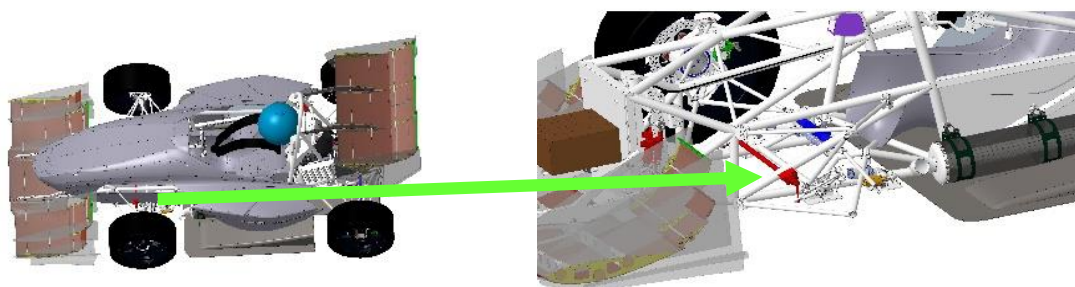
Obr. 3. 27 Druhá varianta uložení sestavy předního stabilizátoru

Poslední možnou variantou jak umístit sestavu stabilizátoru k přední nápravě, bylo anulování poslední varianty úspěchu a to snížení těžiště. Z toho plyne, že sestava stabilizátoru byla posunuta ve vertikálním směru nahoru do prostoru rámu. Tím se také eliminovala možnost styku sestavy s vozovkou a následnému poškození. Při poslední variantě musela být brána v úvahu procházející šablona s danými rozměry dle pravidel FSAE (obr. 3. 28), kterou se kontroluje bezpečná oblast řidičových nohou, kde nesmí dojít ke kontaktu při havárii. Výjimkou je tyč řízení.



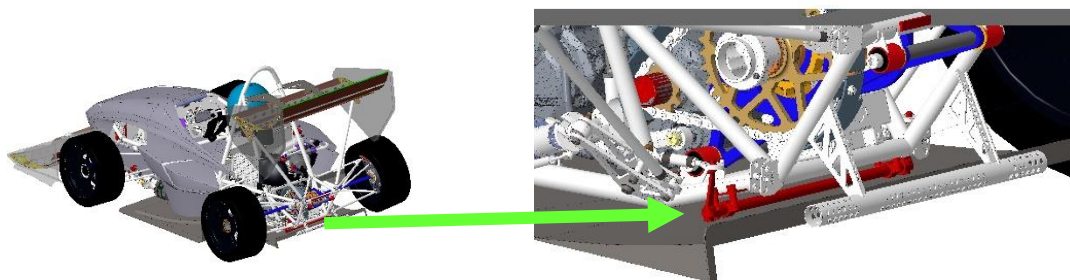
Obr. 3. 28 Šablona pro vymezení prostoru v rámu pro bezpečnost pilota [20]

Poslední varianta umístění sestavy stabilizátoru nejlépe koresponduje s pravidly, kinematikou podvozku, bezpečným umístěním a nepřekáží ostatním komponentám. Uložení sestavy lze vidět na Obr. 3. 29.



Obr. 3. 29 Třetí varianta uložení sestavy předního stabilizátoru

Uložení sestavy zadního stabilizátoru je při polohování jednodušší než pro přední sestavu stabilizátoru. Zde bylo potřeba počítat s usazením sestavy stabilizátoru, komponenty motoru a podlahou aeropaketu. Návrh sestavy je obdobný jako u přední sestavy stabilizátoru a byla také dodržena koncepce kinematiky podvozku. Z kinematiky bylo potřeba umístit sestavu tak, aby vznikl optimální návrh bříty a splňoval své pracovní podmínky při provozu monopostu. Uložení zadní sestavy stabilizátoru je naznačen na obr. 3. 30.



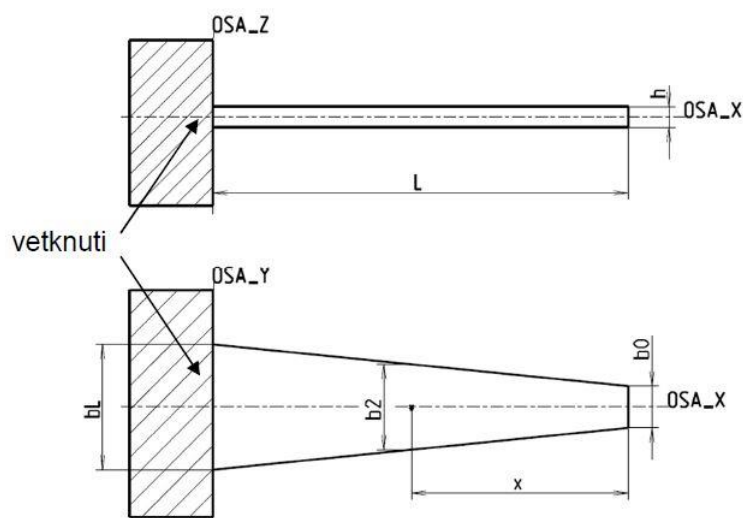
Obr. 3. 30 Uložení sestavy zadního stabilizátoru

Aby byly dosaženy, co nejlepší výsledky v závodním režimu je nutné brát v potaz 2. Newtonovu rovnici, z čehož plyne, že zvětšující se působící síla na monopost nepříznivě ovlivňuje chování a řízení vozu. Je-li konstantní působící zrychlení, je třeba snížit hmotnost, aby bylo dosaženo co nejmenší působící síly, a tím je nutné redukovat hmotnost jednotlivých komponent monopostu. Toto je bráno v úvahu i při návrhu sestav stabilizátoru. Každý gram rozhoduje mezi úspěchem a neúspěchem, proto byly součásti sestav stabilizátoru navrženy na mez únosnosti v pracovním režimu, které budou objasněny v následujících kapitolách.

3.4 Výpočet a pevnostní analýza prutu stabilizátoru

K získání optimální varianty rozměrů břitu stabilizátoru je zapotřebí znát hraniční podmínky pro daný výpočet. Pro monopost Dragon 2 vytvořil absolvent Ing. Jan Ševčík výpočtový model v programu MATLAB. Tento model se používá dodnes a během dědičného předávání dalším studentům byl postupně modifikován a odladěn, aby došlo k přesnějším výsledkům výpočtu. Pro urychlení počátečního návrhu břitu stabilizátoru se využilo zjednodušení břitu na prut s proměnným průřezem. Pro další zjednodušení výpočtu bylo využito roviny symetrie.

Z výpočtového modelu a zadaných hodnot lze dosáhnout výsledné tuhosti a následně působení maximálních sil. Tyto síly jsou přímo závislé na jeho tuhosti. Při znalosti maximálních působících sil je možné zjistit napětí působící v prutové náhradě (obr. 3. 31). Výpočtem maximálního napětí v průřezu stabilizátoru umožňuje optimalizovat návrh z hlediska pružnosti a pevnosti.



Obr. 3. 31 Prutová náhrada pro základní výpočet břitu [6]

Aby bylo možné vytvořit výpočtový model v programu MATLAB, je třeba nejprve vytvořit 3D model v programu CREO 3.0. Tento model je postupně optimalizován z odečtených výsledků výpočtu. Zároveň je nutné dávat pozor na grafické znázornění výsledků působícího napětí a maximální síly na konci prutu. Tato síla je poté použita při pevnostní analýze MKP výpočtů. Ze zjištěných napětí na prut jsou následně přenastaveny vstupní rozměry prutu do doby, než bude mít prut optimální hodnoty při působení maximálního napětí a nepřekročení meze kluzu. Rovněž je třeba brát ohled na výsledky měření tuhosti břitu stabilizátoru, který se prováděl na přípravku. Tyto síly jsou porovnány s ohledem na odchylku naměřené síly a vypočítané síly. Jelikož se jedná o dynamické namáhání, nebude projev maximální síly stálý, ale dojde k dosažení takové hodnoty pouze tehdy, dojde-li k maximálnímu stlačení pružiny. Průměrně lze počítat s působící silou, která je $2/3$ z maximální síly. Pro výpočet je potřeba brát v úvahu koeficient bezpečnosti, tudíž zvolená působící síla je 650 N.

Na obr. 3. 32 lze vidět základní vstupní hodnoty pro vytvoření modelu prutové náhrady. Hodnoty b_L a b_0 jsou znázorněny na předchozím obr. 3. 31. Mez kluzu materiálu se určí podle materiálových tabulek pro vybraný materiál po tepelném zpracování. Hodnota síly pro výpočet tuhosti není síla působící přímo na stabilizátor, ale je to hodnota vyhlazující výslednou křivku působení síly. Čím vyšší hodnota bude nastavena, tím vyšších vyhlazení budou dosažena, ale je potřeba brát v úvahu aproximaci mezi body, čím může dojít při velké hodnotě nastavení k procházení křivky body a výpočet se stává nepřesným. Optimální hodnota nastavení je $F = 1000$ N. Modul pružnosti se volí podle vybraného materiálu, což je v daném případě ocel. Délka prutu se volí od místa vetknutí až do místa působení síly. Čím nižší je mezikrok, tím hladší křivky budou zobrazeny, ale jak bylo uvedeno, je potřeba brát v úvahu aproximaci křivky mezi body. Zde byla volena hodnota 4 mm kroku.

```

%%-----ZADANE HODNOTY-----

%%modul pružnosti materialu
E = 2.1e5;
%%sirka na konci prutu
bL = 12; %16
%%sirka na začátku prutu
b0 = 5;
%%síla pro výpočet tuhosti
F = 1000;
%%mez kluzu materialu v MPa
simax = 1300;
%%tloušťka prutu
h = 2.8;
%%delka prutu
L = 22.6:4:47.6

%%vektor x jdoucí od síly na konci prutu k vetknutí
x0 = 0:4:max(L);

```

Obr. 3. 32 Vstupní rozměrové hodnoty prutové náhrady

V dalším kroku zadávání potřebných hodnot pro výpočet náhrady prutu se budou zadávat 4 hodnoty (obr. 3. 33). Hodnota potřebného posuvu je stanovena z kinematického výpočtu od zdvihu kola, stlačení pružiny a přepákování od rockeru. Kinematickou studii a výpočty vytvořil kolega zabývající se kinematikou a dynamikou vozidla. Potřebná tuhost prutu se určí z naměřených hodnot tuhosti z přípravku měření velikosti síly a posuvu, kterého bylo dosaženo při poruše břitu. Hmotnost vozidla nelze přesně dopředu vědět, ale z minulých sezón lze typově určit kolik bude monopost vážit včetně hmotnosti jezdce. V poslední řadě je zadána velikost bezpečnosti pro výpočet.

```

%% prevracení vektoru
x00= fliplr(x0);
%%misto působení síly
x= 0;
%%Hodnota potrebného posuvu
pos_stab=19.43;
%%hodnota potrebné tuhosti N/mm
k_nom=41.18;
k_max=k_nom*2;
k_min=k_nom*0.4;

%%UDAJE PRO VYPOCET PUSOBICICH SIL

%%hmotnos vozu Kg
hmot=260;
%%bezpečnost (navýšení celkové hmotnosti spadající na nápravu)
bezp=1.3;

```

Obr. 3. 33 Vstupní hodnoty pro posuv a tuhost stabilizátoru z prutové náhrady

V posledním kroku zadávání hodnot pro výpočet (obr. 3. 34) jsou potřeba 4 hodnoty. Zdvih kola, který je také spočítán přes dynamiku vozidla, přepákování kolo – pružina, což je poměr stlačení pružiny ke zdvihu kola. Přepákování kolo – stabilizátor je poměr potřebného posuvu ke zdvihu kola. Jako poslední je tuhost pružiny, která se určí z kinematického návrhu a možností výroby pružiny s vypočítanou tuhostí.

```

%% sila na predni napravu včetně bezpečnosti [N]
Force_f=(260*bezp/2)*9.81;

%%Zdvih na kole v mm
zd=70;

%%prepakovani kolo pruzina tlumice
pkp=0.7;
%%prepakovani kolo stabilizator
pks=0.2785;
%%tuhost pruzina na tlumici N/mm
kpt=76.43;

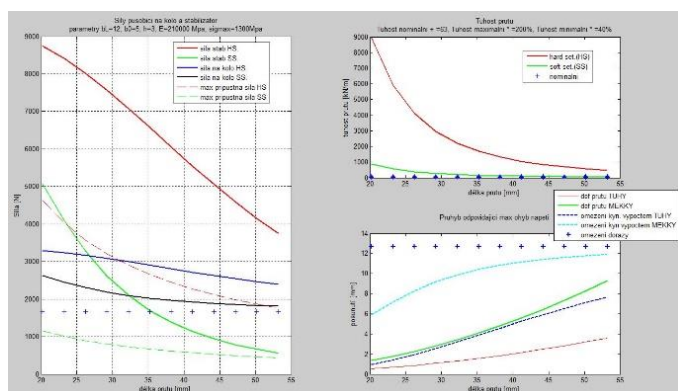
%%-----VYPOCET-----
%сила odpovídající max napeti
n = length(L);
Fymax = (simax*h*bL^2) ./ (6*L)
Fzmax = (simax*h^2*bL) ./ (6*L)
%%prirustek sirky
bp=bL-b0
%%kontrola zuzeni po prut
b2=b0+(bp.*x0) ./max(L) ;

```

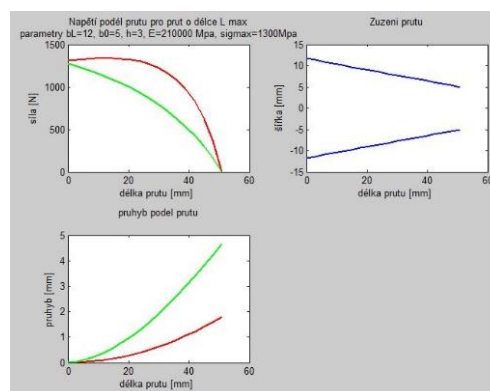
Obr. 3. 34 Vstupní hodnoty zdvihu kola a přepákování

Z vygenerovaných výsledků z programu MATLAB (obr. 3. 35) lze vidět v prvním grafu (vlevo) závislost působící síly na břit v zadané délce velikosti prutu. Z grafu se vybere minimální síla, která je porovnávána s výsledky měření na přípravku. Tato síla se dále použije pro pevnostní zatížení prutu. Pokud výsledná síla nevychází, je třeba zadat nové hodnoty rozměrů prutu, popř. chodu bříty stabilizátoru. Z grafu znázorňujícího tuhost prutu (vpravo nahoře), lze odečíst případnou tuhost prutu při tvrdém a měkkém nastavení bříty. Tyto hodnoty se bohužel nezobrazují v nominálních hodnotách, jelikož by došlo k výraznému předimenzování výsledného bříty. Poslední graf (vpravo dole) znázorňuje posunutí bodu uchycení prutu v jeho zadané délce.

Na obr. 3. 36 lze vidět také 3 grafy, ze kterých lze vyčíst výsledky zadaných hodnot pro tvorbu výsledného bříty. Z grafu působícího napětí na prut (vlevo nahoře), lze odečíst maximální přípustnou hodnotu napětí vznikající na prutu při zatěžování. Pokud dojde k překročení požadovaného napětí a tudíž překročení meze kluzu, musí být opraveny vstupní parametry. Graf umístěný vlevo dole ukazuje na průhyb podél prutu, což naznačuje vzdálenost bodu působící síly při ohybu prutu v dané délce.



Obr. 3. 35 Závislost působící síly

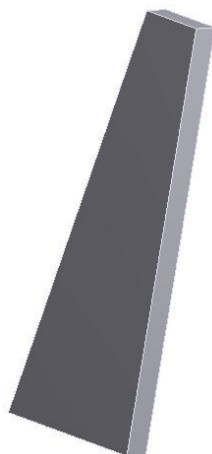


Obr. 3. 36 Půhyb a geometrie prutu

Po výpočtech a kontrole správnosti hodnot odečtených z grafů MATLABu následuje napěťová analýza MKP v programu ANSYS 14.5. Při zkoumání působení napětí v celé délce prutu bude zjištěno, zda-li je návrh prutu vhodný pro tvorbu modelu břitu. Pokud se tento fakt nepotvrdí, následuje přemodelování prutu, zadání nových vstupních hodnot do MATLABu a následně znovu zatížení a odečtení vzniklého napětí na prutu. Tento proces se opakuje, dokud nevznikne vhodný model odpovídající zadaným hodnotám pro bezpečnou funkci stabilizátoru.

Program ANSYS 14.5 je nejznámější program pro vyhodnocování proměnlivých působících závislostí zavedených do výpočtů MKP. V tomto programu lze vyhodnocovat mechanické charakteristiky působení i elektromagnetické, fluidní a termodynamické závislosti. V daném případě výpočtu napětí pro prut bude použit ansys mechanical.

Nejprve byl vybrán druh výpočtu – structural. Následně byl do programu nahrán soubor s modelem prutu (obr. 3. 37), kterému byl přiřazen materiál ocel s tabulkovými vlastnostmi. Aby bylo možné docílit výsledku vzniklého napětí působící síly, je potřeba zavést velikost a směr síly a také tzv. mesh (obr. 3. 38), který vykreslí síť bodů, přes které prochází měnící se síla. Čím jemnější je síť, tím přesnější hodnoty lze dostat, ale za cenu zvýšeného času výpočtu. Z obr. 3.38 lze vidět zvýšenou koncentraci bodů a tím jemnější síť v místě vetknutí. V tomto místě vzniká největší napětí a je třeba jej co nejvíce redukovat a zaměřit se na okolí maximálního napětí, kde vzniká skutečné napětí. I tento program má své chyby a po konzultaci s odborníkem zpracovávajícím MKP výpočty bylo řečeno, že není nutné se dívat na nejmenší bod s nejvyšším napětím, ale je nutno se poohlížet na okolí maximálního napětí.

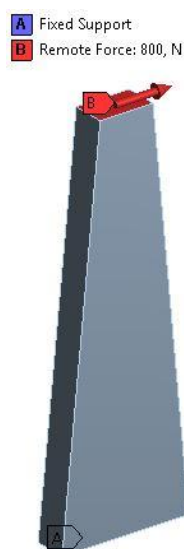


Obr. 3. 37 CAD model prutu vzniklého z rozměrů vycházejících pro výpočet z MATLABu



Obr. 3. 38 Tvorba deformační sítě pro MKP výpočet

Na obr. 3. 39 a obr. 3. 40 jsou vyznačeny směry působících sil a bod A, kde je pevné vetknutí prutu. Toto grafické znázornění kopíruje příkladný obr. 3. 35, ze kterého vyplývá, že maximální ohybový moment se projeví v místě vetknutí a tudíž zde bude největší působící napětí.



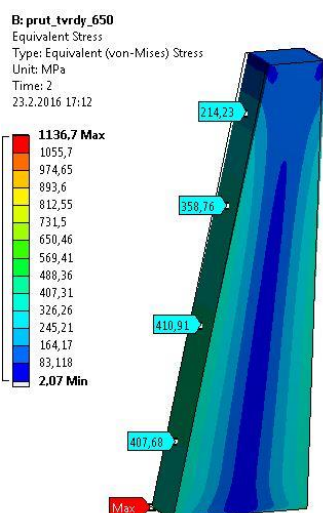
Obr. 3. 39 Počáteční podmínka směru a velikosti síly pro tvrdé nastavení



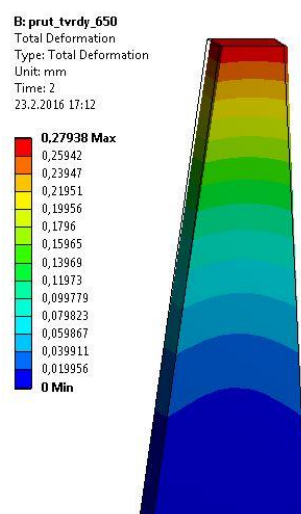
Obr. 3. 40 Počáteční podmínka směru a velikosti síly pro měkké nastavení

Jakmile jsou vybrány všechny potřebné vstupní hodnoty pro výpočet, je následně spuštěn výpočet. Výsledky napětí (MPa) pro tvrdé nastavení jsou zobrazeny na obr. 3. 41 a pro měkké nastavení na obr. 3. 43. Deformace prutu (mm) pro tvrdé nastavení je zobrazeno na obr. 3. 42 a pro měkké nastavení na obr. 3. 44.

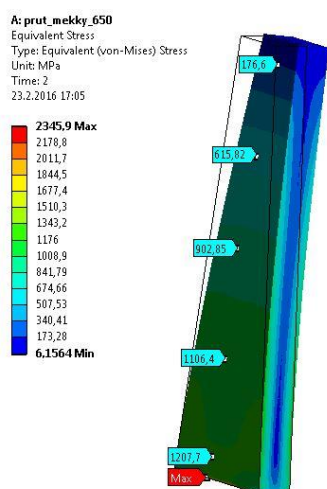
Pro výpočet bylo zvoleno redukované napětí von Mises. Na obr. 3. 41 a obr. 3. 43 lze vidět jednotlivé body působícího napětí na prut, přičemž u tvrdého nastavení se hodnoty pohybují do mezi kluzu i v maximální hodnotě. Pro měkké nastavení představuje maximální napětí překročení meze kluzu, ale jak již bylo avizováno, není podstatné se dívat na téměř neviditelný bod, ale na okolí tohoto bodu. V jednotlivých vyznačených bodech napětí nedojde k překročení meze kluzu a v závěru bylo dosaženo ideálního prutu pro tvorbu břitu stabilizátoru.



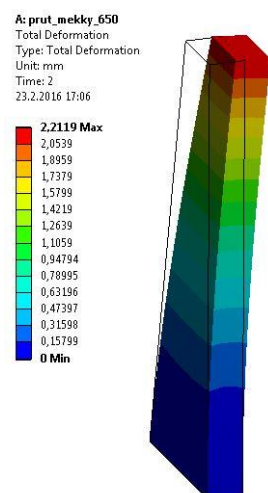
Obr. 3. 41 Napětí prutu při tvrdém nastavení



Obr. 3. 42 Deformace prutu při tvrdém nastavení



Obr. 3. 43 Napětí prutu při měkkém nastavení



Obr. 3. 44 Deformace prutu při měkkém nastavení

3.5 Návrh a konstrukce stabilizátoru

V předchozích kapitolách byla zobrazena sestava přední a zadní sestavy stabilizátoru a nyní v této kapitole bude ukázáno, jak byl volen koncept sestavy, návrh dílů s ohledem na nízkou hmotnost a samotné MKP výpočty sestavy a břitu stabilizátoru. Koncept sestavy stabilizátoru se na první pohled zdá velmi jednoduchá, ale je třeba volit takový systém, aby docházelo k co nejmenšímu tření sestavy při pohybu posunutí bodu uchycení břitu. Dále musí být volena velikost držáku břitu tak, aby byl držák schopen jednoduché montáže a snesl přenesená zatížení z břitu na držák. Také je nutné vybrat vhodnou rozpěrnou tyč mezi držáky břitu. Tyto tyče musí mít vhodný modul průřezu, aby nedocházelo ke kroucení během působení síly na břit. Část síly se přenáší i přes rozpěrnou tyč, kdy při tvrdém nastavení břit pohltí minimum síly a zbytek se přenáší přes tyč, kde dochází ke krutu, které musí být co nejmenší.

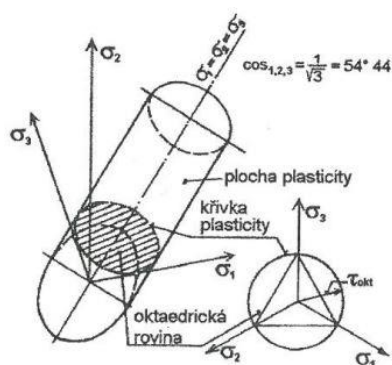
Pro MKP výpočty byl vybrán program ANSYS 14.5, který je celosvětově nejuznávanější program pro výpočty napětí při mechanickém zatížení. Vstupní podmínky pro výpočet výsledného napětí budou ukázány dále ve výpočtech napětí v břitu. Ale přece je potřeba se pozastavit u výběru vyhodnocení napětí. Pro výpočet napětí bylo zvoleno redukované napětí von Mises. Jedná se o energetickou podmínku plasticity, kterou nezávisle definovali K. Huber, R. Mises a H. Hencky. K první plastické deformaci dochází v okamžiku, kdy efektivní napětí dosáhne meze kluzu.[21][22]

$$\sigma_{ef} = \sqrt{3 \cdot I_{2D}^{\sigma}} = \sigma_k \quad (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2 \cdot \sigma_k^2 \quad (3.5)$$

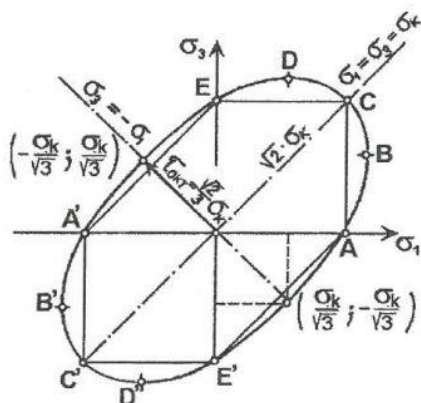
kde:	σ_{ef} [MPa]	-	efektivní napětí
	σ_k [MPa]	-	kritické napětí
	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ [MPa]	-	osové napětí
	I_{2D}^{σ} [MPa]	-	kvadratický invariant deviátoru napjatosti

Rovnice představuje v Haighově prostoru válcovou plochu plasticity s osou $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$, obr. 3 45. Křivkou plasticity je kružnice v oktaedrické rovině o poloměru τ_{okt} . Tato

podmínka respektuje rozhodující význam smykových napětí pro plastické deformace. Uvnitř válce je pružná napjatost, povrch válce splňuje podmínku plasticity. Čím větší bude kritické napětí na mezi kluzu materiálu, tím větší bude poloměr válce τ_{okt} . [21][22]



Obr. 3. 45 Plocha plasticity podmínky HMM [21]



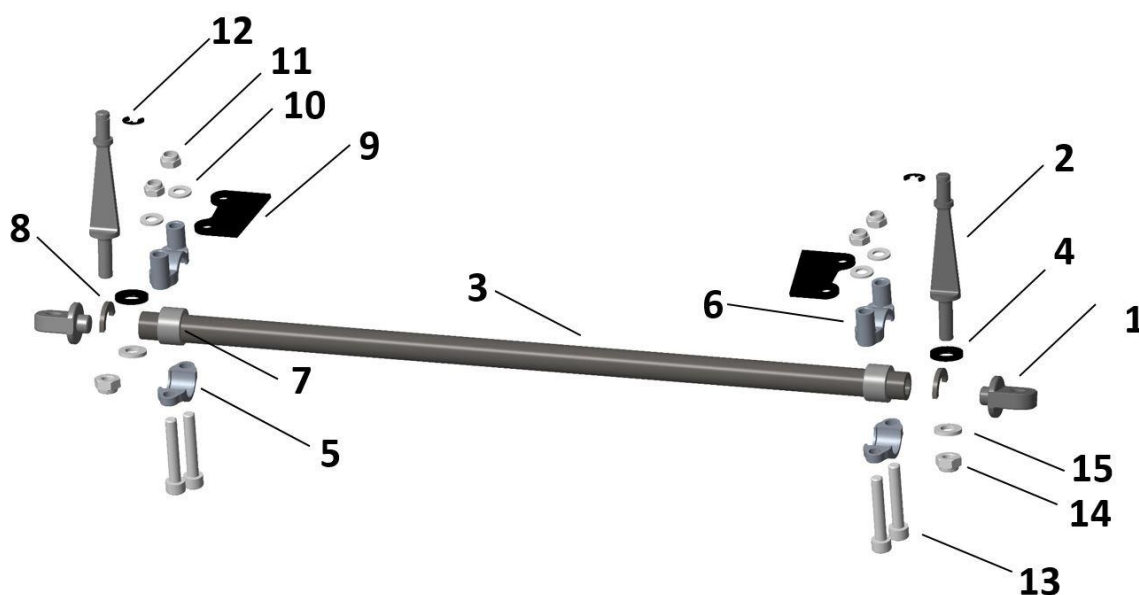
Obr. 3. 46 Elipsa pro rovinnou napjatost [21]

Pro rovinný stav napjatosti, kdy $\sigma_2 = 0$ obdržíme z podmínky plasticity HMM (3.5) rovnici elipsy, obr. 3. 46 s hlavními osami ve směrech $\sigma_1 = \sigma_3$ a $\sigma_3 = -\sigma_1$. Tato elipsa je křivkou plasticity a je identická se šestiúhelníkem plasticity v bodech $\sigma_1 = 0, \sigma_3 = 0$ a $\sigma_1 = \sigma_3$. Pro rovinný stav deformace platí rovnice (3.6). Dosazením do podmínky plasticity HMM, obdržíme po úpravě podmínku plasticity pro rovinný stav deformace (3.7). [21][22]

$$\sigma_2 = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) \quad (3.6)$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_k \quad (3.7)$$

Nyní budou postupně představeny díly sestavy stabilizátoru, jejich návrh a výsledky MKP. Na obr. 3. 47 je zobrazeno rozložení sestavy stabilizátoru a označeny jednotlivé díly.

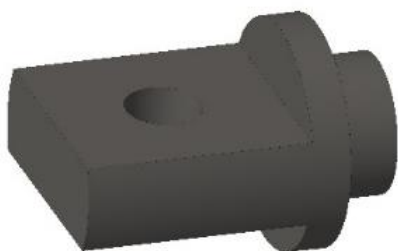


Obr. 3. 47 Sestava stabilizátoru

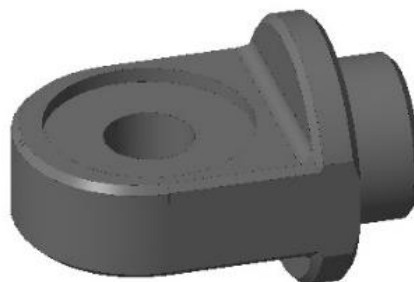
1- držák břitů; 2- břit; 3- rozpěrná tyč; 4- podložka pod břit; 5- horní domek ložiska; 6- spodní domek ložiska; 7- ložisko SKF; 8- vymežovací plech proti radiálnímu posunu; 9- pelch držáku sestavy stabilizátoru; 10- podložka M5; 11- matice M5 nylon; 12- pojistná podložka; 13- šroub M5x27; 14- matice M6 nylon; 15- podložka M5

1. Držák břitů stabilizátoru

Jedná se o součást, na které je usazen břit stabilizátoru a také je na tuto součást přivařena rozpěrná tyč, takže se jedná o velmi důležitý nosný prvek. Základní koncepce držáku je jednoduchá – usazení břitů a uchycení na rozpěrnou tyč. Ale je potřeba volit takové rozměry držáku, aby byl schopen vykonávat správně svou funkci a byla dosažena co nejmenší hmotnost na úrovni únosnosti. První jednoduchá koncepce držáku je na obr. 3. 48. Tento držák naprosto plní svou jednoznačnou funkci, ale z hlediska hmotnosti je nepřínosný pro formuli. Po úpravách byl vytvořen složitější koncept držáku, ale s přínosem snížení hmotnosti o 84 g (obr. 3. 49). Tento držák byl dále podroben mechanickému zatížení MKP v sestavě stabilizátoru k určení působení napětí přecházející z břitů na podložku a na držák.

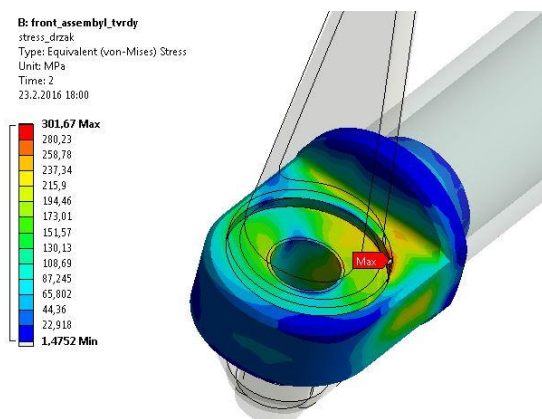


Obr. 3. 48 První verze držáku břitů

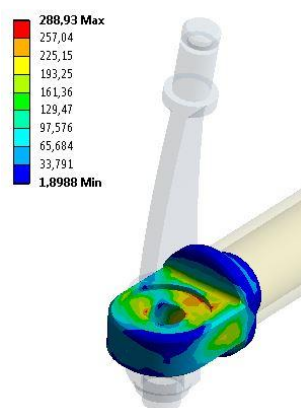


Obr. 3. 49 Modifikovaná a odlehčená verze držáku

Výsledky napětí na držáku stabilizátoru pro přední sestavu pro tvrdé nastavení (obr. 3. 50) a měkké nastavení (obr. 3. 51).



Obr. 3. 50 Napětí na předním držáku



Obr. 3. 51 Napětí na zadním držáku

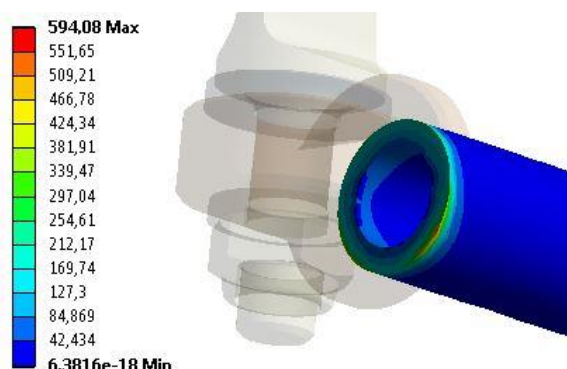
Při tvrdém nastavení je výsledné napětí na držák vyšší o 100 MPa než u měkkého. Je to způsobeno tím, že u tvrdého nastavení břit nepohlcuje tolik působící síly jako

u nastavení měkkého a tudíž zbytek nevstřebané síly prochází dále přes podložku až do držáku.

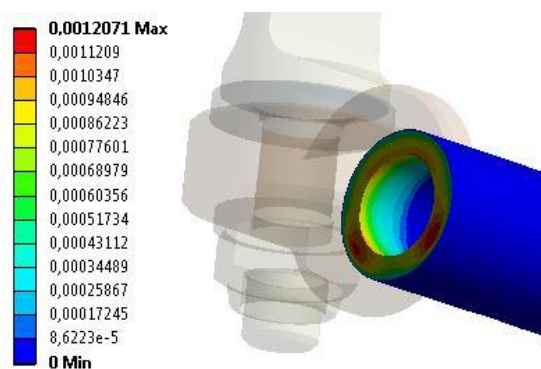
2. Rozpěrná tyč

Rozměry rozpěrné tyče byly voleny tak, aby se předcházelo možnosti krutu při překročení meze kluzu. Tím by pak břit stabilizátoru ztrácel smysl a musela by být zvolena sestava se zkrotnou tyčí, čím by došlo k eliminaci břitů.

Pro sestavu zadního stabilizátoru byla zvolena tyč $\varnothing 12 \times 2$ mm z materiálu 25CrMo4. Modul průřezu v krutu tyče je $272,27 \text{ mm}^3$ a výsledky napětí a deformace krutu pro měkké nastavení jsou znázorněny na obr. 3. 52 a obr. 3. 53. Tvrdé nastavení břitu je na obr. 3. 54 a lze si povšimnout, že rozdíly napětí krutu na rozpěrné tyči jsou minimální s rozdílem $0,063 \mu\text{m}$. [23]

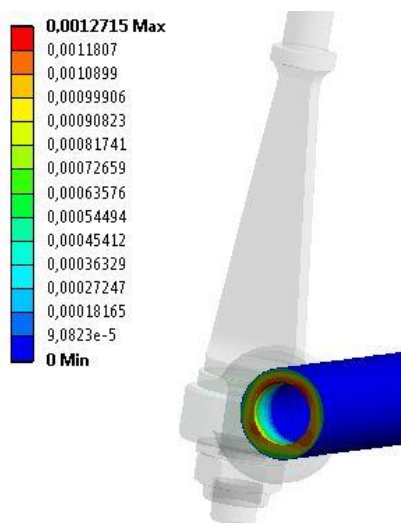


Obr. 3. 52 Napětí na rozpěrné tyči $\varnothing 12 \times 2$ při měkkém nastavení

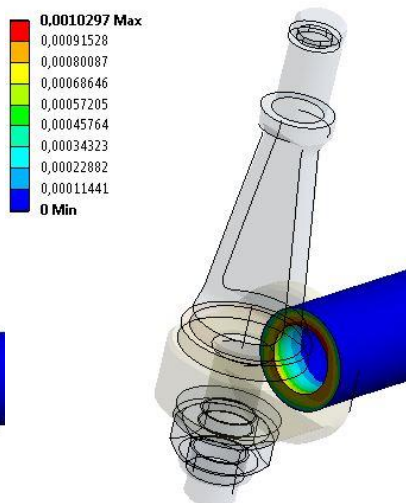


Obr. 3. 53 Deformace tyče $\varnothing 12 \times 2$ při měkkém nastavení

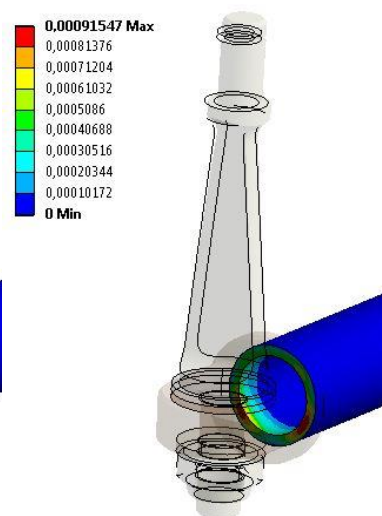
U sestavy předního stabilizátoru nastaly 2 situace pro výběr tyče. Nejprve byla vybrána tyč průřezu $\varnothing 12 \times 1$ mm s modulem průřezu v krutu $175,66 \text{ mm}^3$, ale vzhledem ke špatnému návrhu břitu z kinematických důvodů, byla sestava přepracována. Pokud by se zachovala varianta se špatnou kinematikou, vznikla by deformace tyče při tvrdém nastavení $1,029 \mu\text{m}$ (obr. 3. 55). Po přemodelování sestavy pro správnou kinematiku a vhodný design břitu, byla zvolena tyč $\varnothing 14 \times 1,5$ mm s modulem průřezu v krutu $333,44 \text{ mm}^3$ kde byla deformace tyče $0,915 \mu\text{m}$ (obr. 3. 56). Lze si povšimnout, že 2. varianta výběru tyče má dvakrát vyšší hodnotu modulu průřezu v krutu, tím je tato tyč pevnější proti krouticímu momentu a následnému znehodnocení při překročení meze kluzu. Hodnoty deformace na zadní rozpěrnou tyč (obr. 3. 54) jsou porovnávány s výsledky deformací k přední sestavě, vše při tvrdém nastavení.



Obr. 3. 54 Deformace rozpěrné tyče ø 12x2 zadní sestavy



Obr. 3. 55 Deformace rozpěrné tyče ø 12x1 přední sestavy

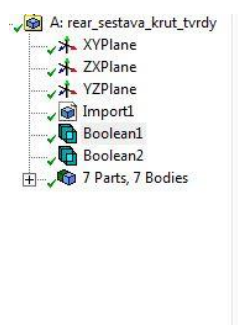


Obr. 3. 56 Deformace rozpěrné tyče ø 14x1,5 přední sestavy

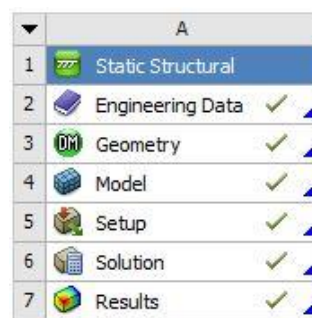
3. Břit stabilizátoru

V této části bude popsán postup při nastavování hraničních hodnot pro výpočet MKP bříty stabilizátoru. V předchozích případech držáku a tyče byl ukázán samotný výsledek zatížení sestavy. Aby bylo možné sestavu zatížit, musel být vytvořen model a uložen ve formátu step (stp.), který byl následně importován do programu ANSYS. Při importování modelu je na všechny díly automaticky přiřazen materiál ocel s tabulkovými hodnotami, které postačují pro výpočet. Pokud by se jednalo o jiný materiál např. hliník je možné si z knihovny materiálů přiřadit k součásti daný materiál a popř. také editovat či si vytvořit vlastní materiálové hodnoty.

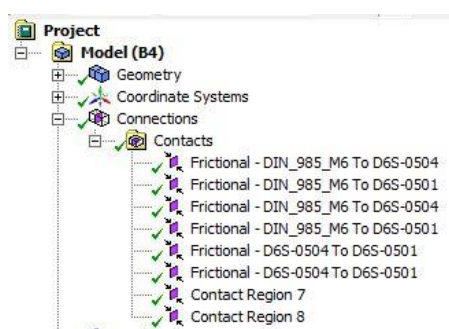
V záložce geometry je potřeba vytvořit jednotný model bříty se spojovacím materiálem. Toto spojení je provedeno přes příkaz boolean (obr. 3. 57). Tento proces lze vynechat a v samotném nastavení výpočtu zadat bolt pretension. Pro daný případ stačí příkaz booleana. Bolt pretension se lépe využije u více namáhaných součástí, kde je potřeba použití přesně daného utahovacího momentu pro spojovací materiál. Například ho lze použít u návrhu výpočtu těhlice.



Obr. 3. 57 Sjednocení spojovacího materiálu s břitem



Obr. 3. 58 Hlavní tabulka pro výběr jednotlivých nastavení výpočtu



Obr. 3. 59 Volba nastavení kontaktů mezi díly

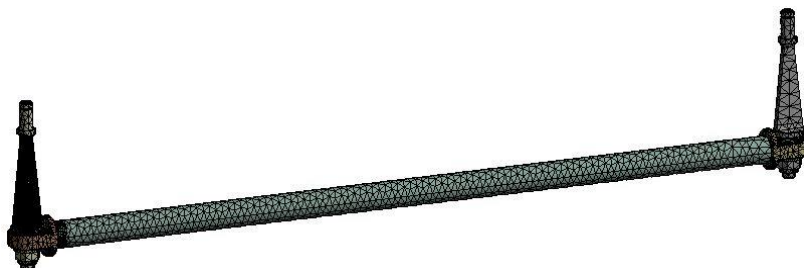
Details of "Frictional - DIN_985_M6 To D6S-0504"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Contact	3 Faces
Target	7 Faces
Contact Bodies	DIN_985_M6
Target Bodies	D6S-0504
Definition	
Type	Frictional
☐ Friction Coefficient	0,2
Scope Mode	Automatic

Obr. 3. 60 Výběr funkce „tření“

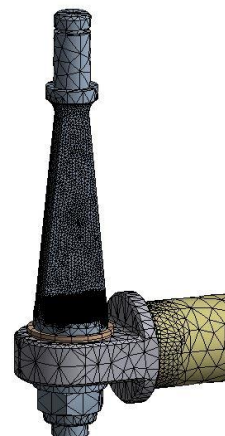
V následující záložce „model“ (obr. 3. 58) budou nastaveny veškeré hraniční hodnoty pro výpočet. Ve stromové struktuře se nachází záložka connection (obr. 3. 59), kde je potřeba nastavit vazby pro kontakty každé součásti. Pro základní nastavení je vše nastaveno na bounded. V tomto případě se sestava chová jako svařenec a je pevně spojena, ale jelikož v reálném provozu jsou všechny součásti volně uloženy, je třeba zvolit funkci frictionless pro hodnotu koeficientu tření 0,2 (obr. 3. 60). Funkce bounded se zachová pouze pro držák a rozpěrnou tyč.

Následuje vytvoření výpočtové sítě (mesh). Zde je třeba uvažovat, v jakých místech sestavy chceme získat výsledné hodnoty napětí. Je nutné také volit kompromis mezi volbou hustoty sítě. Čím je řidší síť, tím méně přesné a zkreslující výsledky vzniknou a čím je síť hustší, tím jsou delší časové výpočty a nevhodně koncentrované velikosti napětí do jednoho bodu. V místech, kde je napětí nepodstatné, je volena řidší síť a v místech hledaného napětí a deformace je síť hustější. Zvolená hustota sítě pro sestavu je zobrazena na obr. 3. 61. Pravá strana sestavy má řidkou síť, jelikož je zde pevné uchycení, které sílu ve výpočtu nepřenáší. Levá strana je hustě vysítována z důvodu, že se zde měří maximální možné napětí a deformace ohybu břitu. Také je hustěji vysítovaný pevný styk držáku s tyčí. Na obr. 3. 62 je patrná vysoká hustota sítě v místě hledaného napětí u paty břitu.





Obr. 3. 61 Hustota sítě sestavy (nahore- přední sestava; dole- zadní sestava)

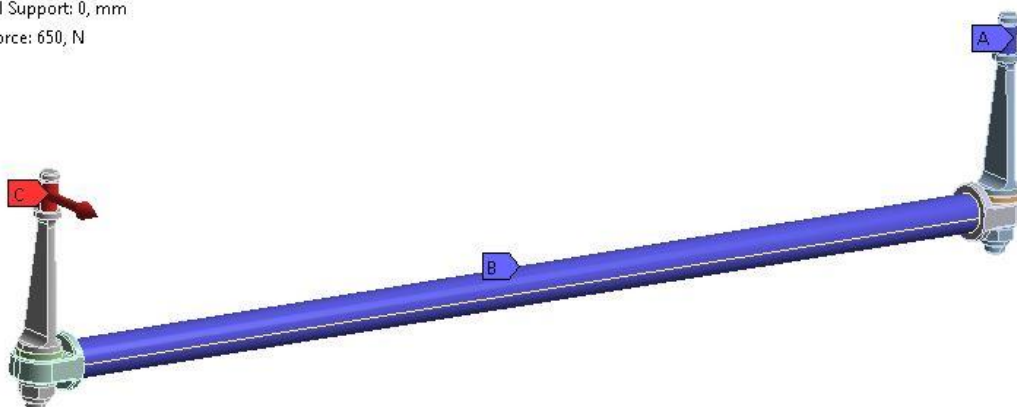


Obr. 3. 62 Detail sítě břitu

Po vytvoření patřičné hustoty sítě je třeba zvolit působení síly a případné pevné a pohyblivé podpory sestavy. Zvolené podpory a síly budou simulovat jak měření síly na přípravku, tak maximální zdvih jednoho kola, aby byla dosažena a vyjádřena maximální hodnota napětí na břitě. V normálním případě za jízdního stavu dochází k namáhání obou břitů zároveň, ale ne vždy symetricky. Na obr. 3. 63 jsou znázorněny podpory (pevná A a rotační B), velikost a směr působící síly C. Tento případ zatížení je použit u obou sestav pro měkké a tvrdé nastavení.

Samozřejmě by bylo možné simulovat zatížení veškerých nastavení sestavy a simulací průjezdu zatáčkou se zdvihem nebo stlačením kola. Takových možností by bylo $3^4 = 81$ kombinací simulací.

- A Fixed Support
- B Cylindrical Support: 0, mm
- C Remote Force: 650, N

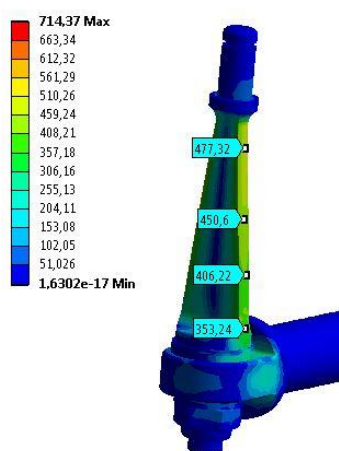


Obr. 3. 63 Podpory upevnění sestavy a směr působící síly

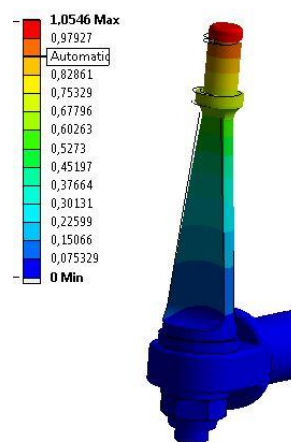
Posledním krokem pro výpočet je určení dílů, které budou zkoumány. Lze se dívat na výsledky napětí i na celou sestavu, ale při jednotlivém výběru jsou zobrazeny výsledky i v místech, které v celkové sestavě nelze vidět. Pro základní zobrazení byly vybrány výsledky deformace, kde jsou vyznačena místa pohybu součástí v milimetrech. Pro napětí byl vybrán výsledek výpočtu stress von Mises (MPa), jak již bylo vysvětleno dříve.

Byly zobrazeny výsledky deformace a napětí rozpěrné tyče a držáku břitů. Nyní bude ukázáno zatížení břitů, jehož výsledky jsou klíčové při finálním návrhu celkové sestavy a designu břitů.

Pro zatížení zadní sestavy stabilizátoru bylo použito nejprve nastavení natvrdo, kdy břit pohlcuje největší energii a působící sílu. Při tomto způsobu nastavení se stává auto nedotáčivé, ale rozložení sil na nápravách se symetricky minimálně odlišuje. Na obr. 3. 64 je patrná velikost napětí, kdy nedojde k překročení meze kluzu a maximální hodnota v legendě, je ve výsledku modelu, tak nepatrná, že ji lze vyloučit. Hodnoty zobrazené na obrázku jsou průměrné velikosti působícího napětí. Druhý obrázek (obr. 3. 65) zobrazuje hodnotu posuvu břitů. Důležitá je hodnota na břitě v místě náhrady prutu, která je 0,52 mm

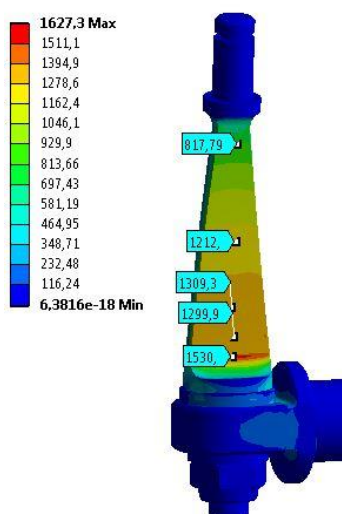


Obr. 3. 64 Jednotlivé napětí na břitě zadní sestavy stabilizátoru při tvrdém nastavení

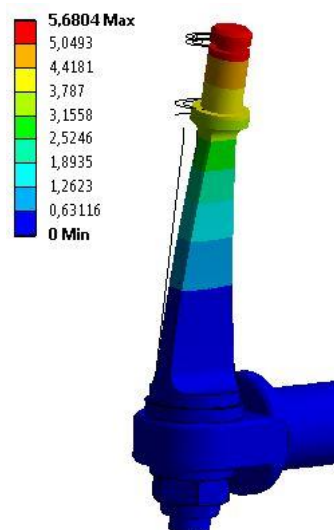


Obr. 3. 65 Hodnota posuvu bodu zadního břitů při tvrdém nastavení

V nastavení naměkko u zadního břitů stabilizátoru dojde k pohlcení minimální působící síly do břitů. Při tomto nastavení se monopost chová přetáčivě, ale jelikož dochází k maximálnímu přenosu sil na nápravu, chování monopostu je nestabilní vůči přenášení značných sil v těžišti. Obr. 3. 66 znázorňuje velikost působícího napětí v prutové náhradě břitů, jež zobrazuje daná plocha. Vybraný materiál po zušlechťení dosahuje 1460 - 1490 MPa na mezi kluzu a s porovnáním obr. 3. 64 bude tato hodnota překročena, ale jak již bylo psáno dříve, je potřeba se dívat na okolí bodu působení maximálního napětí, tudíž výsledkem sledovaného napětí bude hodnota z legendy 1394,9 MPa, která je v rozsahu do meze kluzu. Pro deformaci břitů je patrné posunutí bodu uchycení s rodendem (ložisko s kloubovou hlavou) o 5,68 mm. Na obr. 3. 67 si lze graficky ukázkou, o jak moc se bod uchycení posunul vůči nulovému stavu.



Obr. 3. 66 Napětí na zadním břitu při měkkém nastavení

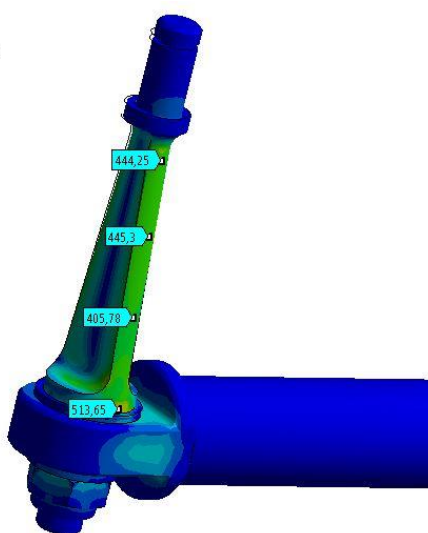


Obr. 3. 67 Hodnoty posunu bodu uchycení při měkkém nastavení

Pro přední břit stabilizátoru byly zvoleny jiné konstrukční rozměry oproti zadnímu břitu. V následujících obrázcích bude ukázáno, jak se změny rozměrů projeví při výsledném napětí a deformaci. Způsob zatížení a volba hraničních hodnot je stejná jako pro nastavení výpočtů u zadního břitu. Na výsledcích napětí pro tvrdé nastavení břitu (obr. 3. 68) se hodnoty bezpečně pohybují do meze kluzu, ale oproti zadnímu břitu jsou hodnoty napětí vyšší kvůli kratší délce prutové náhrady, kde je menší plocha rozložení napětí na břitu. Z toho vyplývá i menší posunutí při deformaci v místě uchycení břitu s rodendem (obr. 3. 69).

B: front_assembly_tvrdy
stress_sestava
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 2
23.2.2016 17:56

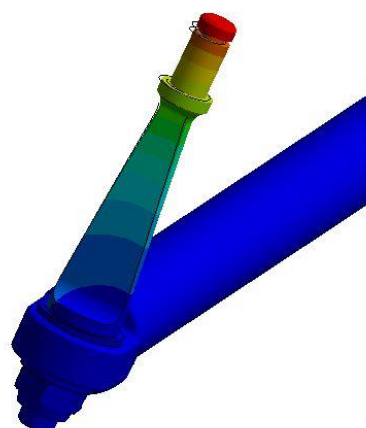
815,68 Max
757,42
699,16
640,89
582,63
524,37
466,1
407,84
349,58
291,32
233,05
174,79
116,53
58,263
0 Min



Obr. 3. 68 Napětí na předním břitu při tvrdém nastavení

B: front_assembly_tvrdy
deformace_sestava
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 2
23.2.2016 17:57

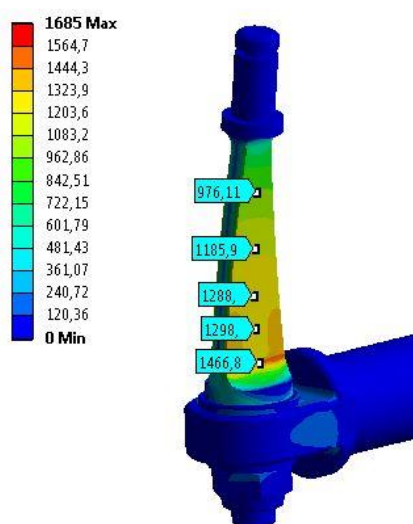
0,80077 Max
0,74357
0,68637
0,62918
0,57198
0,51478
0,45758
0,40038
0,34319
0,28599
0,22879
0,17159
0,1144
0,057198
0 Min



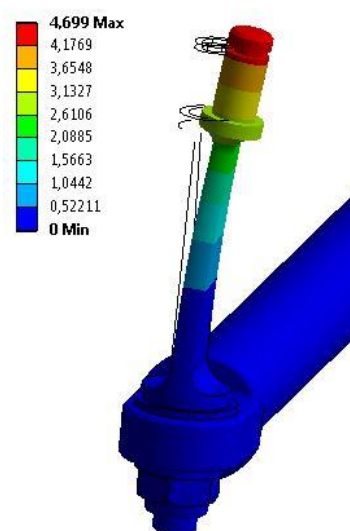
Obr. 3. 69 Deformace na předním břitu při tvrdém nastavení

Hraničních výsledků napětí pro měkké nastavení břitu byla dosažena přípustná hodnota okolo 1444,3 MPa (obr. 3. 70), kdy nedojde k překročení meze kluzu, ale hodnota

bezpečnosti je 1,03. Také je zřetelná změna posuvu bodu uchycení břitu na obr. 3. 71, která je menší oproti zadnímu břitu a jak již bylo avizováno v důsledku jiných rozměrů, hlavně co se týče délky prutové náhrady, dojde k daným výsledkům napětí a deformaci břitu.



Obr. 3. 70 Výsledné napětí na předním břitu stabilizátoru pro měkké nastavení



Obr. 3. 71 Posuv bodu uchycení předního břitu stabilizátoru pro měkké nastavení

Oba břity se budou vyskytovat v bezpečných hodnotách do meze kluzu, tudíž jsou schopné provozu na monopostu. Je nutné se také dívat na výsledky napětí a deformace s odstupem výpočtových chyb programů a také, že tyto výsledky dosahují maximálních hodnot, ke kterým dojde v minimálních cyklech.

4 TECHNOLOGIE VÝROBY BŘITU STABILIZÁTORU

Po návrhové části tvorby geometrie břitu a výsledných MKP výpočtů následuje zpracování technologie výroby břitu. Jelikož se jedná o dynamicky namáhanou součást, byl brán zřetel na zvolený materiál, který je vhodný pro cyklické zatěžování. Takto zvolený materiál je vhodný pro výrobu pružin a průmyslově vyráběných stabilizátorů pro osobní vozy. Budou vypočítány rozměry přířezů a vybrán příslušný polotovár. Také budou vypočítány přídatky pro dokončovací operace soustružení. Jelikož bude obráběcí stroj zvolen ze sortimentu firmy IMI CCI, kde se bude břit vyrábět, bude zohledněn výběr řezných nástrojů a postup technologie výroby. S tím souvisí výběr tepelného zpracování se zapracováním do výrobního postupu a také výběr vhodné dokončovací metody.

4.1 Volba materiálu

Jak již bylo psáno, břit stabilizátoru je součástí cyklicky namáhanou, a proto musí být brán ohled na vhodnou volbu materiálu. V předešlých břitech od Dragona 2 po Dragona 5 byl vybrán materiál nástrojová ocel ČSN 19 083 (DIN 1.1730). Důvodem výběru tohoto materiálu byla jeho vysoká mez kluzu po zušlechťení na 55 HRC a v konečném výsledku bylo dosaženo meze kluzu 1700 MPa, což byla příznivá hodnota při zatížení břitu, kdy nedošlo k překročení této hodnoty. Jelikož tento materiál není určen k cyklickému

namáhání a neproběhla dokončovací fáze po zušlechtní k odstranění zbytkového napětí v povrchové vrstvě, docházelo k poruše bříty v místě největšího napětí při zatížení, i když byl břit designově předimenzován.

Po konzultacích s příslušníky jiných závodních týmu formule student, byl vybrán materiál specifikace ČSN 14 260 (DIN 1.7102). Po dlouholetých zkušenostech bylo potvrzeno použití tohoto materiálu u 4 týmu z 5, což byl dostatečný důvod k použití daného materiálu. Legovaná ocel Si-Cr je vhodná pro pružiny do automobilů a železničních vozů. Aby byla tato ocel byla vhodná k cyklickému namáhání pro vysoké hodnoty napětí, je nutné tepelné zpracování zušlechťováním. Chemické složení a specifikace materiálu jsou v příloze 11. Zvláštností lze poukázat, proč je tento materiál vhodný pro cyklické namáhání. Je to dáno vysokým obsahem křemíku, který se pohybuje v rozmezí 1,3 – 1,6%. Aby bylo možné specifikovat vybraný materiál a ověřit jeho správnost, proběhl rozbor chemické analýzy obsahu prvků. Dle výsledků chemického složení se jednalo o materiál 1.7102 viz. příloha 10. Na tepelné zpracování bude poukázáno v kapitole 4.3. [24][25]

4.2 Vhodnost polotovaru

Z ekonomického hlediska volby polotovaru byly vypočítány ideální rozměry přířezu pro hrubovací rozměry. Hrubovací součásti pro přední a zadní břit jsou zobrazeny na obr. 4. 1, kde jsou také zobrazeny vstupní hodnoty délky pro výpočet přířezu. Pro 6 hrubovacích kusů se jedná o zanedbatelnou částku, ale bude-li se jednat o kusech v řádech tisíců, má tento aspekt velký vliv na ekonomiku chodu firmy a výběru vhodnosti polotovaru.



Obr. 4. 1 Hrubovací díly s délkovými rozměry odděleného polotovaru

Výpočet přířezu z tyče válcované za tepla označení 14 260: [26][27]

$$Q_s = V_c \cdot \rho \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

kde: Q_s [kg] – hmotnost hotové součásti
 V_c [mm³] – objem hotové součásti
 ρ [g/mm³] – měrná hmotnost oceli

$$V_c = 28\,117 \text{ mm}^3$$

$$\rho = 7,85 \text{ g/mm}^3$$

$$Q_s = 28117 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 0,221 \text{ kg}$$

$$P_c = 0,05 \cdot d_s + 2 \quad (6)$$

$$P = P_c + d_s \quad (7)$$

kde: P_c [mm] – přídavek na průměr
 d_s [mm] – největší průměr hotové součásti
 P [mm] – výpočet celkového průměru polotovaru

$$d_s = 18 \text{ mm}$$

$$P_c = 0,05 \cdot 18 + 2 = 2,9 \text{ mm}$$

$$P = 2,9 + 18 = 20,9 \text{ mm}$$

Z výsledku výpočtu průměru přířezu byl vybrán vhodný polotovar $\varnothing 20$ mm délky 1500 mm. Jelikož pro tento polotovar budou naděleny 2 druhy kusů s rozdílnými délkami, při výpočtu byla brána délka polotovaru na 750 mm pro 1 kus. Požadavkem je získání alespoň dvou kusů přířezu z tyče. Pokud tento parametr nebude splněn, bude se muset volit delší tyč.

$$Q_{pA} = \frac{\pi \cdot D_{oA}^2}{4} \cdot l_{oD} \cdot \rho \cdot 10^{-6} \quad (8)$$

kde: Q_{pA} [kg] – hmotnost přířezu
 D_{oA} [mm] – průměr polotovaru přířezu
 l_{oD} [mm] – délka přířezu

$$D_{oA} = 20 \text{ mm}$$

$$l_{oD} = 212,2 \text{ mm}$$

$$Q_{pA} = \frac{\pi \cdot 20^2}{4} \cdot 212,2 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 0,523 \text{ kg}$$

$$l_{kA} = l_t - n_A \cdot (l_{oD} + l_{uA}) \quad (9)$$

kde: l_{kA} [mm] – délka nevyužitého konce tyče
 l_{uA} [mm] – šířka prořezu (udává se jako šířka pilového pásu)
 l_t [mm] – délka polotovaru tyče
 n_A [ks] – počet přířezů z tyče

$$l_{uA} = 1,5 \text{ mm}$$

$$l_t = 750 \text{ mm}$$

$$n_A = 3 \text{ ks}$$

$$l_{kA} = 750 - 3 \cdot (212,2 + 1,5) = 108,9 \text{ mm}$$

$$n_A = \frac{l_t}{l_{oD} + l_{uA}} \quad (10)$$

$$n_A = \frac{750}{212,2 + 1,5} = 3,5 \text{ ks} \Rightarrow 3 \text{ ks}$$

Výsledkem počtem kusů přířezu je 3ks, což splňuje podmínku počtu kusů

$$q_{oA} = Q_{pA} - Q_s \quad (11)$$

kde: q_{oA} [mm] – odpad vzniklý při obrábění

$$q_{oA} = 0,523 - 0,221 = 0,302 \text{ kg}$$

$$q_{dA} = \frac{\pi \cdot D_{oA}^2}{4} \cdot l_{uA} \cdot \rho \cdot 10^{-6} \quad (12)$$

kde: q_{dA} [kg] – odpad vzniklý prořezem

$$q_{dA} = \frac{\pi \cdot 20}{4} \cdot 1,5 \cdot \rho \cdot 10^{-6} = 0,004 \text{ kg}$$

$$q_{kA} = \frac{\pi \cdot D_{oA}^2}{4 \cdot n_A} \cdot l_{uA} \cdot \rho \cdot 10^{-6} \quad (13)$$

kde: q_{kA} [kg] – odpad z nevyužitého konce tyče

$$q_{dA} = \frac{\pi \cdot 20}{4 \cdot 3} \cdot 1,5 \cdot \rho \cdot 10^{-6} = 0,089 \text{ kg}$$

$$Q_{mA} = Q_{pA} + q_{oA} + q_{kA} + q_{dA} \quad (13)$$

kde: Q_{mA} [kg] – Norma spotřeby materiálu

$$Q_{mA} = 0,523 + 0,302 + 0,004 + 0,089 = 0,919 \text{ kg}$$

$$k_{mA} = \frac{Q_s}{Q_{mA}} \quad (14)$$

kde: k_{mA} [kg] – koeficient využití materiálu přířezu

$$k_{mA} = \frac{0,221}{0,919} = 0,24$$

Tyto výsledky byly vypočítány pro přířez 1. druhu polotovaru břítu stabilizátoru, který bude usazen v přední části sestavy. Jelikož 2. druh polotovaru je delší, byly vypočítány hodnoty norem i pro tento druh, který bude uložen v zadní sestavě.

Výsledky výpočtu pro 2. druh přířezu polotovaru:

$$Q_s = 0,229 \text{ kg}$$

$$V_c = 29\,118 \text{ mm}^3$$

$$Q_{pB} = 0,545 \text{ kg}$$

$$l_{od} = 221,2 \text{ mm}$$

$$l_{kB} = 81,9$$

$$q_{oB} = 0,317 \text{ kg}$$

$$q_{kB} = 0,067 \text{ kg}$$

$$Q_{mB} = 0,933 \text{ kg}$$

$$k_{mB} = 0,245$$

Po získaných výsledcích 1. a 2. druhu přířezu polotovaru byly jednotlivé výsledky sečteny, aby bylo dosaženo přesné hodnoty odpadu a využití materiálu:

Celkový odpad vzniklý při obrábění

$$q_{co} = 0,169 \text{ kg}$$

Celkový odpad vzniklý prořezem

$$q_{cd} = 0,008 \text{ kg}$$

Celkový odpad z nevyužitého konce tyče

$$q_{ck} = 0,157 \text{ kg}$$

Celková norma spotřeby materiálu přířezu

$$Q_{cm} = 1,851 \text{ kg}$$

Koeficient využití materiálu přířezu

$$k_{cm} = 0,243$$

4.3 Volba obráběcích strojů a řezných nástrojů

Jakmile byl vybrán polotovar, bylo možné jej zpracovat do finální podoby břítu. Pro zvolené rozměry polotovaru byla tyč nadělena na přířezy s rozměry $\varnothing 20 \times 221,2 \text{ mm}$ a $212,2 \text{ mm}$. Pro dělení tyče byla zvolena pásová pila Pilous ARG 400 (obr. 4. 2) ze sortimentu dělicích strojů firmy IMI CCI. Pásová pila se vyznačuje robustní a tuhou konstrukcí s ramenem z šedé litiny. Konstrukce stroje je určena pro průmyslové dělení plných materiálů s širokou škálou nastavení úhlu ramene. Na stroji lze také dělit materiál z nerezové a nástrojové oceli. Stroj je vybaven hydraulickým agregátem, který v ručním režimu umožňuje nastavení potřebné síly přítlaku svěráku. K dosažení maximální produktivity řezání slouží i možnost nastavení optimálních podmínek rychlosti pilového pásu pomocí frekvenčního měniče v rozsahu $15 - 90 \text{ m/min}$, což výrazně ovlivňuje přesnost řezu a životnost pilových pásů. Parametry pásové pily jsou uvedeny v tab. 1. [28]

Tab. 1 Parametry pásové pily [28]

Označení obráběcího stroje	Pilous ARG 400
Hlavní motor	400 V / 50 Hz / 3kW
Rozměry stroje	2600 x 2000 x 2150 mm
Nádrž chladicí kapaliny	cca 30 l
Olej v hydraulickém systému	cca 25 l
Rychlost pásu	20-90 m/min

Maximální rozměry polotovaru při 90°

450 x 250 mm

Rozsah řezných úhlů

+60° - (-45°)



Obr. 4. 2 Pásová pila Pilous ARG 400 [28]

Pro obráběcí operace hrubování a dokončování tolerovaných rozměrů byl zvolen horizontální tříosý CNC obráběcí stroj OKUMA LB300-M. Toto japonské obráběcí centrum je vhodné pro malé a středně velké rotační součásti s upínáním nástrojů do revolverové hlavy. Veškeré specifikaci o stroji jsou zobrazeny v tab. 2.

Tab. 2 Parametry obráběcího stroje [29][30]

Označení obráběcího stroje	OKUMA LB300- M
Maximální délka soustružení	500 mm
Maximální soustružený průměr	320 mm
Maximální průměr nad ložem	530
Vzdálenost mezi hroty	260
Výška hrotu	250
Hlava vřetena	JIS A2-6
Otáčky vřetena	45- 4500 min ⁻¹
Výkon hlavního motoru	22/15 kW
Počet pozic upnutí nástrojů	12
Hmotnost stroje	5,5 t
Rozměry stroje	2200 mm x 1720 mm x 1745 mm
Řídící program	OKUMA OSP- U100L



Obr. 4. 3 OKUMA LB300-M



Obr. 4. 4 Pracovní prostor

U těžkoobrobitelných součástí se používá obrábění elektrojiskrovou metodou. V mnoha případech se jedná o obrábění jednodušších rozměrů, které by byly pro obráběcí nástroje časově a ekonomicky náročnější. Elektrojiskrový řezací stroj (WEDM) pracuje na principu 2D dráhy kontury výkresu. Z toho plyne, že drát zajíždí do plného materiálu a dochází k tvorbě třísky na jeden úběr. Byl vybrán stroj CHMER RX1063F/S (obr. 4. 5). Veškeré specifikace stroje jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 Elektrojiskrový řezací stroj (WEDM) CHMER [31]

Označení stroje	CHMER RX1063F/S
X, Y vodící osa	360y250 mm
U, V, Z vodící osa	60y60y220 mm
Max. rozměry pracovního kusu	725y560y215 mm
Max. posuv drátu	300 mm/s
Max. úhel natočení	+/- 14,5°
Rozměry stroje	2200x2100x2100x mm
Posuv v ose X, Y	Max. 800 mm/min



Obr. 4. 5 Elektrojiskrový řezací stroj CHMER [32]

Pro operace hrubování a dokončování bříty byly vybrány nástroje ze sortimentu od firmy SANDVIK Coromant (tab. 4), kterými disponuje firma IMI CCI. Jedná se spíše o kopírovací nože pro obě operace z důvodu jednoduššího přechodu přímkové kontury na rádius.

Tab. 4 Řezné nástroje a příslušenství [33][34]

ČÍSLO NÁSTROJE	OBRÁZEK VBD A TĚLA NOŽE	VBD	MATERIÁL	ID PRODUKTU
		NÁZEV TĚLA NOŽE		
T1		N2,00.R.DIN333-A	RO	10415200
T2		VBMT 160408-PMC	P25	6328285
		SVHBR 2525M16		5751896
T3		VBMT 160404-PF	P25	5755689
		SVHBR 2525M16		5751896
T4		266RG-16MM01A100M	P25	5757933

		266RFG-2525-16		5757796
T5		N123H2-0400-RO	P25	5736230
		RX123L25-2525B-007		5741423
T6		N123U3-0100-0000-CS	P25	5737309
		QS-RF123T06-1616B		5738144
T7		N123T3-0080-0000-GS	P25	5736398
		QS-RF123T06-1616B		5738144

4.4 Výrobní postup, řezné podmínky a celkové časy

Po výběru vhodného materiálu, zvolení obráběcích strojů a výběru řezných nástrojů následuje zpracování výrobního postupu a všech potřebných náležitostí k výrobě bříty stabilizátoru. Z konečného modelu odpovídající podmínkám MKP byl vytvořen výrobní výkres předního a zadního bříty (příloha 1 a 2). Jelikož po obráběcích operacích následuje tepelné zpracování, bylo potřeba brát v úvahu přídavky na dokončení pro tolerované plochy a závit. V následujících vzorcích jsou vypočítány přídavky na plochu tolerovaných a dokončovacích rozměrů. Nejprve byly vypočítány přídavky pro hrubovací operace a následně pro dokončovací operace. Výsledná hodnota přídavku činila 1,342 mm. Z praxe byla zvolena hodnota přídavku 0,5 mm na průměr, která vyhovovala pro dokončovací operace, a také bylo ušetřeno množství operací oproti přídavku 1,342 mm, které by zvyšovaly výrobní čas bříty.

- **Přídavky pro obrábění nahruho [35][36]**

$$p_{1M} = k \cdot [2 \cdot (R_0 + T_0) + E_1 + C_0 + \delta_0] \quad (15)$$

$$p_{2M} = k \cdot [2 \cdot (R_1 + T_1) + E_1 + C_1 + \delta_0] =$$

$$= 1 \cdot [2 \cdot (0,045 + 0,04) + 0,126 + 0,018 + 0,018] = 0,332 \text{ mm}$$

$$E_1 = E_D + E_L = 0,09 + 0,036 = 0,126 \text{ mm}$$

$$E_D = 0,05 \cdot \sqrt[3]{6} = 0,09 \text{ mm}$$

$$E_L = b \cdot l_k = 0,3 \cdot 0,012 = 0,036 \text{ mm}$$

$$C_1 = m \cdot l_k = 1,5 \cdot 0,012 = 0,018$$

Výpočtové hodnoty $R_{0,1}$, $T_{0,1}$, b , a , δ_0 , m byly vybrány z hlediska dané situace z tabulek v příloze 3.

$$p_{cM} = p_{1M} + p_{2M} \quad (20)$$

kde: p_{cM} [mm] - celkový přírůstek

$$p_{cM} = 1,31 + 0,332 = 1,342 \text{ mm}$$

Po výpočtech přírůstků byl vytvořen výkres hrubovacího modelu pro přední a zadní břit (příloha 4). Břity jsou symetricky situované do technologického přírůtku (obr. 4. 6), čímž bylo ušetřeno množství odpadu při obrábění, velikost polotovaru při dělení a také zkrácení výrobního času při upínání součásti. Pro jednodušší a rychlejší obrábění hrubovacího dílu byla vytvořena kontura (příloha 5) bodů pro operátora, který dané body zadal do programu. Podle těchto vytvořených bodů skládajících se z průměrových a délkových hodnot bodů bylo možné okamžitě sepsat program bez prostojů času počítáním úhlů a zkosení, popř. těžce navazujících úhlových křivek na rádius.

Následovalo tepelné zpracování hrubovacích dílů břitů. Při této operaci došlo k vyosení břitů vlivem působení tíhového zrychlení na koncích břitu, což ovlivnilo zvýšení házivosti a bylo nutné břity rovnat (obr. 4. 7). Rovnání probíhalo upnutím technologickým přírůvkem do sklíčidla a měřením úchytkoměrem na koncích břitu se vyhodnotila velikost házivosti. Předepsaná házivost byla 0,05 mm. Ruční prací pomocí dílenského měřného kladívka bylo dosaženo předepsané hodnoty a nižší. Bylo nezbytné provést rovnací operaci, kvůli správnému upnutí do obráběcího stroje, jinak by hrozilo vyosení a následná výroba zmetkovitého kusu.



Obr. 4. 6 Břity po hrubovací operaci



Obr. 4. 7 Rovnání břitů

Dokončovacími operacemi byly obrobeny plochy, pro které byl předepsán přídavek pro tepelné zpracování a dokončovacích ploch pro soustružení (obr. 4. 8). Jednalo se hlavně o tolerované rozměry pro uložení bříty do držáku a uchycení kloubového ložiska. Podle výkresu dílu bříty byla vyhotovena kontura (příloha 6) na stejném principu jako u hrubování, s tou výjimkou, že body odpovídaly dokončovacím operacím. Důležitou operací bylo obrábění závitu M6, kde musela být použita závitořezná destička z hlediska nemožného použití závitové hlavy, jelikož tímto nástrojem výdejna nedisponovala. Byly obavy, že výroba závitu bude obtížná, ale použitím VBD ze SK došlo k bezproblémové výrobě závitu. Dopomohl tomu i fakt, že materiál je zpracován na 45 HRC, tudíž je stále dobře houževnatý oproti původním břitům do Dragon 5, kdy bylo tepelné zpracování na 55 HRC.



Obr. 4. 8 Dokončovací soustružení (vlevo – upnutí hrubovacího kusu ; uprostřed – soustružení tolerovaných ploch s přídavkem ; vlevo – soustružení závitu)

Aby bylo možné realizovat proces výroby bříty, bylo nutné vypracovat technologický postup (tab. 5). Technologický postup obsahuje veškeré specifikace výběru obráběcího stroje, pracoviště, postup jakým budou úkony výroby prováděny od upínání až po samotnou výrobu, materiál polotovaru a jeho velikost, použité VBD a nástroje, výpočty strojních časů a celkových výrobních časů pro jeden kus bříty.

Strojní časy jednotlivých operací byly počítány s ohledem na specifikace řezné rychlosti břitových destiček a rozměrů bříty stabilizátoru z výkresové dokumentace v dané operaci (hrubování, dokončování). Jelikož se jedná o velmi malou součást, z výsledků výpočtu otáček vycházely hodnoty přes $10\,000\text{ min}^{-1}$. Veškeré výpočty otáček a strojních časů pro výrobu jednoho bříty při operaci soustružení jsou znázorněny v příloze 9. Tyto výpočty byly následně aplikovány pro tvorbu technologického postupu pro operace soustružení na stroji OKUMA.

||
||
||

Z rovnice výpočtu řezné rychlosti byla odvozena hodnota otáček a z dané rovnice byly vypočítány hodnoty pro nastavení otáček vřetena. Ze známých hodnot posuvu řezné destičky, délky obráběné plochy a vypočítaných otáček, bylo možné vypočítat strojní čas t_{AS} . [37][38]

Výpočet otáček pro první operaci hrubování vyjádřením z rovnice řezné rychlosti: [37][38]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \Rightarrow n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (21)$$

kde: v_c [m·min⁻¹] – řezná rychlost
 n [min⁻¹] – otáčky vřetena
 D [mm] – průměr obrobku

$$n = \frac{410 \cdot 1000}{\pi \cdot 18} = 7254,1 \text{ min}^{-1}$$

Výpočet strojního času pro 1. operaci hrubování: [37][38]

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{n \cdot f} \quad (22)$$

kde: t_{AS} [min] – strojní čas
 L [mm] – délka obrobené plochy
 i [-] – počet záběrů pro úběr materiálu
 f [mm] – posuv

$$t_{AS} = \frac{108 \cdot 1}{7254,1 \cdot 0,3} = 0,05 \text{ min}$$

Hodnoty řezných rychlostí a posuvů jsou uváděny u jednotlivých VBD v tabulkových hodnotách daného výrobce. Výpočtovým způsobem podle výše uvedených vzorců byly vypočítány strojní časy (příloha 9), kterými lze nejrychleji a nejefektivněji vysoustružit břit stabilizátoru.

Aby bylo možné vyhodnotit celkové časy obrábění, které se blíží reálnému času výroby, byly vypracovány celkové časy podle programu TPV výpočty a vybraných hodnot celkových časů z normativů. Jak je ukázáno v tabulce 6, nejbližšímu reálnému času se blíží hodnoty vybrané z normativů. Výsledný celkový čas z programu TPV výpočty (příloha 8) je 11,8 min. Podle vybraných úkonů z normativů obrábění je výsledek celkového času

Tab. 6 Celkové časy výroby pro 1ks břitu

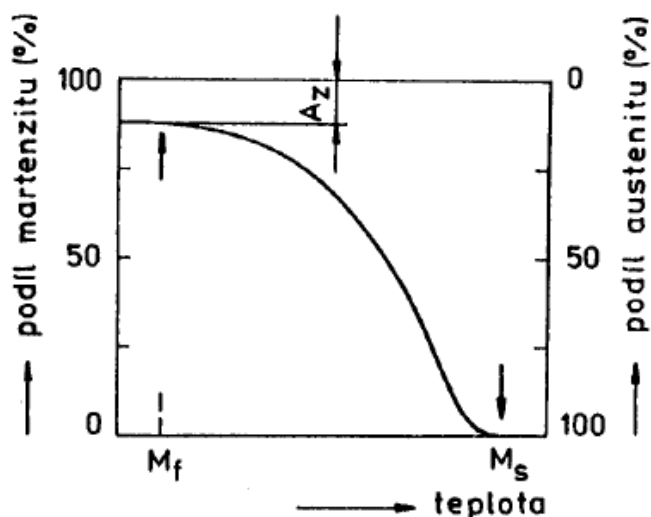
Metoda výpočtu	t_{Ac} (min)
TPV	11,8
Normativy	23,7
Vystavené průvodky	27,55
Reálný čas	18

obrábění 23,7 min. Z vystavených průvodek technologa se jedná o čas 27,55 min a reálný výrobní čas soustružení je 18 min. [39][40]

4.5 Tepelné zpracování

Po hrubovací operaci bříty stabilizátoru bylo potřeba zvýšit hodnoty mechanických vlastností hlavně, co se týče hodnot meze kluzu. Jelikož na břit působí síly o velikosti dosahující napětí kolem 1400 - 1440 MPa bylo zapotřebí vybrat vhodnou metodu tepelného zpracování. Jako nejvhodnější metoda se ukázalo kalení s ochlazením v oleji a následné popouštění. Během této operace dochází ke zvýšení tvrdosti materiálu, ale také se zvyšuje potřebná mez kluzu. Bylo také nutno zohlednit hodnotu tvrdosti, protože se musela zachovat houževnatost materiálu kvůli cyklickému namáhání. Se stoupající tvrdostí by se materiál stal křehkým, což by bylo pro pracovní podmínky nepříznivé. Mechanické vlastnosti materiálu jsou uvedeny v příloze 11, kde byl vybrán materiál válcovaný za tepla, což představuje odkazové číslo 2. Nejprve byl proveden chemický rozbor materiálu k určení správnosti vybraného materiálu a zobrazení obsahu chemických prvků a přísad (viz. Příloha 10). Porovnáním výsledků s tabulkovými hodnotami z přílohy 11 je zřetelné, že se jedná o vybraný materiál 1.7102. [41][42]

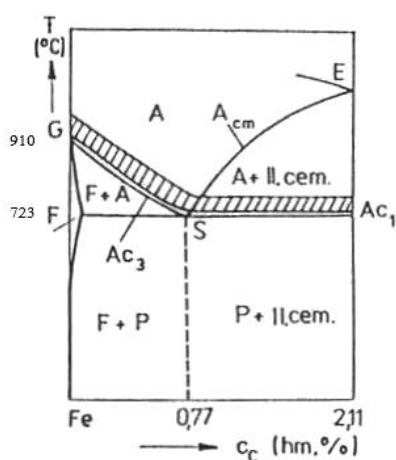
Účelem technologie tepelného zpracování zušlechťování je zvýšení tvrdosti oceli vytvořením částečně nebo zcela nerovnovážné struktury. Při kalení dojde k ohřevu součásti na austenitizační teplotu a po výdrži na této teplotě následuje ochlazení větší rychlostí než kritickou. Základní struktura je martenzitická nebo bainitická. Rychlost tvorby martenzitu závisí na rychlosti nukleace. Po rychlém ochlazení na teplotu mezi M_s a M_f transformuje austenit velkou rychlostí v martenzit a při dalším ochlazování teploty nedochází k růstu martenzitických útvarů. S klesající teplotou se podíl martenzitu zvětšuje, ale nikdy nedosáhne 100 %, neboť ve výsledné struktuře je zachováno určité množství zbytkového austenitu (obr. 4. 9). [41][42]



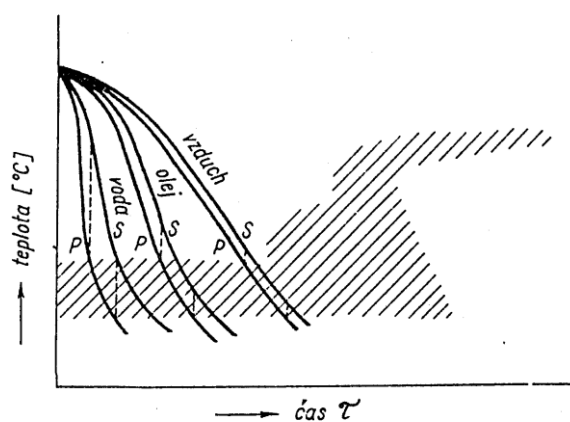
Obr. 4. 9 Hodnoty martenzitu a austenitu v matrici po kalení [41]

Bainitická přeměna má některé typické znaky perlitické přeměny. Tato přeměna začíná po určité periodě a jejím produktem jsou směsi feritu a karbidů. Bainitická přeměna

vyžaduje značný stupeň přechlazení austenitu a je kombinací martenzitické přeměny a difúzí uhlíku mezi feritem a austenitem. Mechanické vlastnosti bainitických struktur ovlivňuje velikost desek bainitického feritu, hustota dislokací v bainitickém feritu a přesycenost uhlíku. Na výsledné vlastnosti po kalení má vliv kalící teplota (obr. 4. 10). Velké překročení kalící teploty u podeutektoidních ocelí se ve výsledné struktuře projeví vznikem feritu v martenzitu a tím snížením tvrdosti. Krátká doba výdrže na kalící teplotě má za následek nedostatečnou homogenizaci austenitu a tím dojde také ke snížení tvrdosti materiálu. Je tedy třeba dodržet správně dané kalící teploty a jejich časové výdrže a dobu ochlazení, aby došlo k tvorbě martenzitických zrn a zbytkového austenitu, a byly dosaženy vhodné parametry materiálu. V praxi se lze setkat s různými postupy kalení. Volba vhodného způsobu závisí zejména na požadovaných vlastnostech kaleného výrobku, jeho velikosti i tvaru a druhu použité oceli. [41][42]



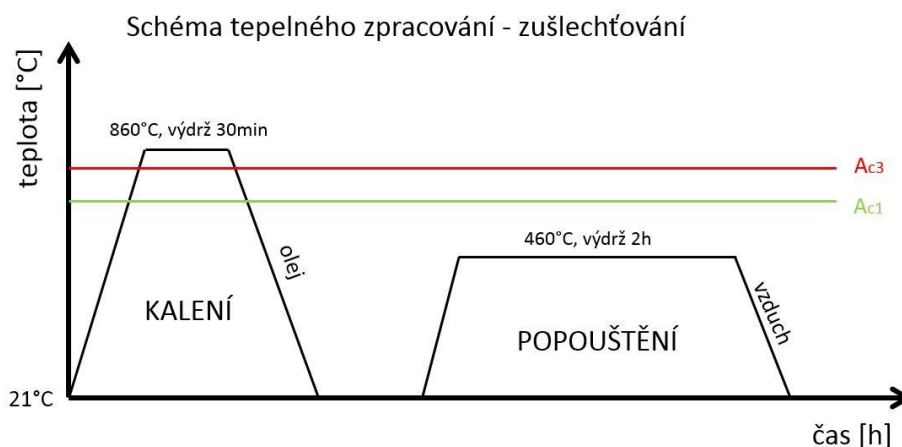
Obr. 4. 10 Pás hodnot kalící teploty [41]



Obr. 4. 11 Způsoby ochlazování oceli v ARA diagramu [41]

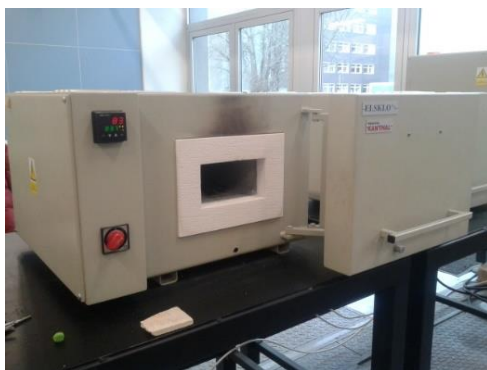
Základní kalení je nejjednodušší a nejčastější způsob kalení. Po ohřevu na správnou kalící teplotu následuje ihned plynulé ochlazení až na teplotu ochlazovacího prostředí (pod Ms). Na obr. 4. 11 je zobrazeno ochlazování do vody, oleje a na vzduchu v diagramu ARA. Při kalení do oleje a na vzduchu dojde ke vzniku lepších mechanických vlastností než při kalení do vody, jelikož hrozí nebezpečí vzniku trhlin a deformací. [41][42]

Po kalení a tvorbě martenzitické struktury došlo ke zvýšení tvrdosti, ale také křehkosti materiálu, což je nežádoucí vlastnost pro cyklicky namáhané součásti. Aby došlo ke snížení křehkosti a dosažení přesné stanové tvrdosti materiálu s ohledem na velikost meze kluzu byl materiál následně popouštěn. Při této technologii tepelného zpracování dojde k ohřevu kaleného předmětu na určenou teplotu pod A_1 , výdrži na této teplotě k vytvoření struktur bližších k rovnovážnému stavu oceli s martenzitickou strukturou a následné ochlazení vhodným způsobem na teplotu okolí. Při popouštění kalené oceli je materiál přiveden na teplotu popouštění a po výdrži na dané teplotě je následně ochlazen na teplotu okolí. Tento proces se opakuje 3-4 krát do doby než dojde ke vzniku kubického martenzitu a zbytkového austenitu. Při zvyšování popouštěcí teploty obecně klesá tvrdost, pevnost, mez kluzu a zvyšuje se plasticita a houževnatost. V případě zušlechťování břitů byly vybrány hodnoty pro tepelné zpracování z materiálůvých listů a došlo k popouštění 1 krát (obr. 4. 12). [41][42]



Obr. 4. 12 Diagram průběhu zušlechťování

Pro tepelné zpracování bříty stabilizátoru byla vybrána pec od firmy Elsklo Typ MF5 (obr. 4. 13), kterou disponuje ústav materiálové inženýrství, kde tepelné zpracování probíhalo. Jedná se o laboratorní muflovou pec pro tepelné zpracování různých materiálů se statickou atmosférou a ručně ovladatelnými dveřmi. Veškeré specifikace laboratorní pece jsou uvedeny v tab. 7. [41][42]



Obr. 4. 13 Pec pro tepelné zpracování

Tab. 7 Technické parametry pece [43]

Označení pece	Elsklo MF5
Max. teplota v komoře pece	1100 °C
Měření teploty	1 x regulační termočlánek, typ „K“ JUMO
Konstrukce	Ocelový rám a plášť, tepelně namáhané části opatřeny žáruvzdornou barvou
Vyzdívka	Lehčené zdivo, keramické vláknité desky
Objem komory	5 l

Rozměry komory	170 x 90 x 280 mm
Vnější rozměry pece	580 x 390 x 630 mm
Příkon	2,3 kW
Hmotnost	38 kg

Než bylo možné břitý po hrubovací operaci tepelně zpracovat (obr. 4. 13), bylo nutné zvolit vhodné způsoby a teploty pro kalení a následné popouštění. Podle materiálového listu mechanických vlastností (příloha 11) byla vybrána teplota pro kalení 860 °C s dobou zpracování 30 min a následném ochlazení v olejové lázni. Po vychladnutí v olejové lázni, bylo provedeno měření tvrdosti břitů. Hodnoty tvrdosti se pohybovaly v rozmezí 58 – 61 HRC (tab. 8).

Tab. 8 Výsledné hodnoty tvrdosti po kalení

VÝSLEDKY PO KALENÍ			
Označení	HRC		Výsl. HRC
10693 1/3	60,5	58,4	58,4
10693 2/3	58,9	58,6	58,6
10693 3/3	57,6	59,3	59,3
10694 1/3	61	59,8	59,8
10694 2/3	58,9	60,3	60,3
10694 3/3	58,3	59,7	59,7

Tab. 9 Výsledné hodnoty tvrdosti po popouštění

VÝSLEDKY PO POPOUŠTĚNÍ			
HRC		prům HRC	Re [MPa]
46	46,2	46,1	1462,56
46	46,5	46,25	1467,32
46,4	46,6	46,5	1475,25
47,1	46,8	46,95	1489,53
47	47,1	47,05	1492,70
46,9	46,9	46,9	1487,94

Aby bylo možné dosáhnout stanovených požadavků mechanických vlastností materiálu, musela být následně použita technologie popouštění, kdy došlo ke snížení tvrdosti materiálu, ale opakem ke zvýšení houževnatosti materiálu a dosažení potřebné meze kluzu pro výpočty MKP břitů. Pro stanovení potřebné meze kluzu se vycházelo z popouštěcího diagramu (příloha 12), kde se odečetla hodnota meze kluzu pro výchozí nastavení teploty popouštění. Popouštění probíhalo ve stejné peci jako při kalení. Pro atmosféru pece byl použit inertní plyn dusík a teplota vyhřátí pece byla 455 °C podle diagramu, kdy se po dobu 2 hodin popouštěl materiál. Následné ochlazení probíhalo na vzduchu až do dosažení teplotní hodnoty ochlazující atmosféry. Následovaly zkoušky tvrdosti materiálu (tab. 9) pro vyhodnocení velikosti meze kluzu a porovnání správnosti, zda byly dosaženy potřebné hodnoty k výpočtům MKP. Po tepelném zpracování materiálu vznikla na povrchu oxidační vrstva (obr. 4. 15), kterou bylo potřeba odstranit pro následné dokončovací operace. Odstranění oxidační vrstvy probíhalo na kartáčové brusce, kdy výsledný vzhled břitů po operaci vypadal obdobně jako na obr. 4. 14.



Obr. 4. 14 Břity po hrubovací operaci



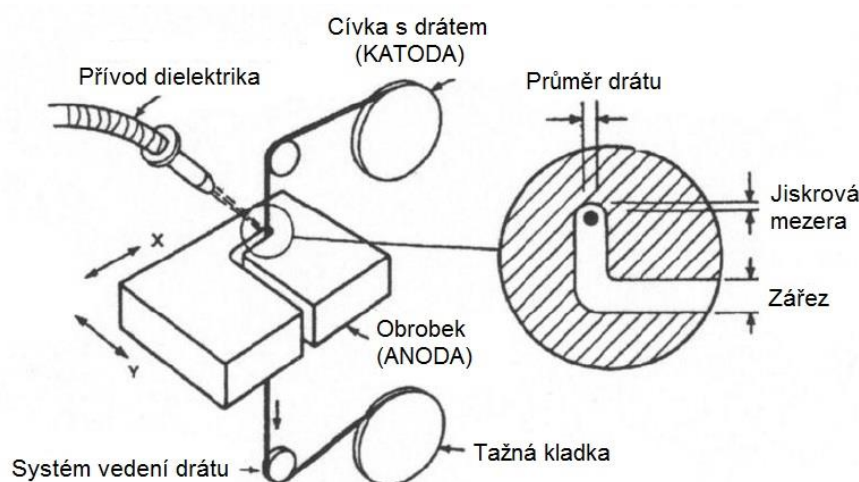
Obr. 4. 15 Břity po tepelném zpracování

4.6 Dokončovací operace

Po finálním obrobení břitu, bylo potřeba obrobit plochy náhrady prutu, tak aby finální břit plnil svou provozní funkci. Bez vytvoření zúžení by byl břit ve všech směrech stejně tuhý. První variantou obrobení ploch, byl výběr frézování obvodovou frézou. Z tohoto návrhu se usoudilo, že by bylo potřeba zajistit vhodnou frézu pro obrábění kalených materiálů a také by nastal problém s upnutím břitu, tak aby bylo upnutí dostatečně tuhé. Tloušťka náhrady prutu je velmi důležitá z hlediska celkového nastavení břitu, které ovlivňuje velikost tuhosti břitu. Pokud by došlo k odchylce 1 mm navýšení tloušťky, změnila by se tuhost břitu o 10 % a veškeré předešlé výpočty by byly znehodnoceny a musel by se zpětně provést návrh a nové výpočty, zda-li by vůbec takový břit vyhovoval parametrům zatížení sil.

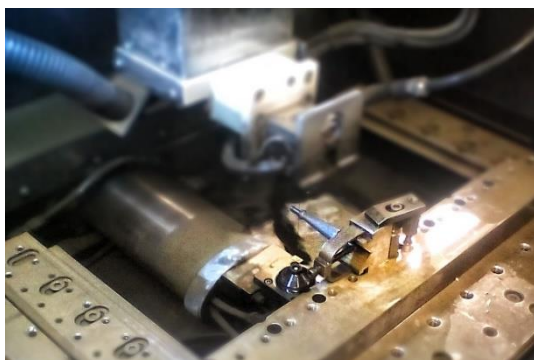
Výhodnou a méně pracnou alternativou se ukázal výběr elektrojiskrové řezání drátem (WEDM). Základním předpokladem pro využívání této technologie je elektrická vodivost obráběného materiálu. Metoda využívá k úběru materiálu elektrický výboj, který je uměle vyvolán mezi dvěma elektrodami: anodou – nástrojem a katodou – obrobkem. Jako nástroj zde pracuje drát o průměru 0,03 do 0,35 mm, který je převíjen z jedné cívky na druhou a prochází přitom místem řezu plnou tloušťkou obráběného materiálu (obr. 4. 16). Celý proces se odehrává v lázni dielektrika – kapaliny s vysokým elektrickým odporem. Na elektrody je přivedeno elektrické napětí a při přiblížení nástroje k obrobku je zapálen elektrický oblouk, který dopadá na obráběný materiál, kde se elektrická energie přemění na tepelnou a dojde k natavení mikroskopických částic materiálu. Tento roztavený materiál je následně odplaven pomocí proudícího dielektrika a zůstává v něm ve formě spalin a mikročástic. Pracovní vzdálenost elektrod je v rozmezí 0,005 – 0,5mm. Přibližováním nástroje směrem do obrobku je pak realizován samotný úběr materiálu do větších hloubek. [38][45]

Nejčastěji lze tyto technologie nalézt ve výrobě, kde je nutno vytvářet do tvrdých materiálů tvarově složité plochy nebo řezy, a to při dodržení vysoké rozměrové přesnosti. Metodami WEDM lze dosahovat přesností v řádech 0,001 μm a drsnosti povrchu $Ra\ 0,2\ \mu\text{m}$. [38][45]



Obr. 4. 16 Metoda jiskrového řezání drátem [46]

U metody WEDM dochází k úběru materiálu na jeden záběr, a tudíž se eliminuje počet záběrů případným použitím frézy. Pro správnou funkčnost úběru materiálu drátovou metodou, je třeba správně nastavit hodnoty WEDM stroje. Jedná se o rychlost úběru, teplotu emulze a hodnotu vneseného proudu do drátu. Nevýhodou této metody je energetická vytiženost a při vysokých nastavení proudu se dosahuje vysokých hodnot drsnosti, kdy musí dojít k pískovému tryskání a následnému očištění v acetylenové lázni. Na obr. 4. 17 je naznačeno upnutí bříty před operací elektrojiskrového řezání. Doba výroby obou ploch na jednom břítu je 12 min při optimálních nastavení drátořezu. Obrobená plocha po operaci je znázorněna na obr. 4. 18.



Obr. 4. 17 Upnutí bříty před obrobením



Obr. 4. 18 Obrobená plocha bříty

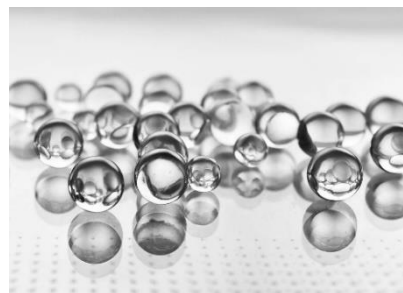
Ostatní týmy pro dokončování používají broušení v místech po elektrojiskrovém řezání. Broušením dojde k odstranění pnutí v povrchové vrstvě po obrábění, ale tato metoda působí nepříznivě vznikem tahových napětí, která jsou vhodnější pro vznik a nukleaci trhlin. Bylo nutné se vyvarovat technologii broušení a nutno použít jinou metodu, která by odstranila pnutí z povrchové vrstvy a případně zlepšila mechanické vlastnosti bříty. Byly nalezeny vhodné a přístupné dokončovací metody – balotínování, otryskávání. Jedná se o beztliskové dokončovací metody, kdy dochází k plastické deformaci do hloubky několika setin až desetin milimetru. V povrchové vrstvě vzniknou tlaková zbytková napětí, a proto se u cyklicky namáhaných součástí zvýší mez únavy, odolnost proti opotřebení a odolnost proti korozi. [38]

1. Balotínování

Metoda balotínování nebo-li brokování kuliček je vhodná pro povrchové úpravy k vnesení tlakového napětí na povrchu struktury materiálu. Principem je vnesení plastické deformace, která vzniká v důsledku dopadu tělísek na upravovaný povrch a tím dochází ke zlepšení jeho charakteristik. Metoda používá střelbu kuliček ze skla, které bombardují povrch materiálu. Povrch materiálu po balotíně je leskle matný. Výhodou této metody je zvýšení meze únavy cyklicky namáhaných součástí. Pro černou ocel se tato metoda nepoužívá z důvodů nefunkčnosti bombardování kuliček na povrch. Ve výsledku je tato metoda velmi vhodná, ale jelikož materiál bříty je tzv. černá ocel nelze tuto metodu použít. [38][44]



Obr. 4. 19 Vznik tlakového napětí [44]



Obr. 4. 20 Balotínovací materiál ze skla [47]

2. Otryskávání

Při otryskávání dochází k vrhání volných tělísek na povrch součásti pomocí stlačeného vzduchu, kdy dochází k očištění povrchu součásti, zpevnění povrchu a zvýšení odolnosti proti korozi. Technologie je principem podobná balotínování, jen místo skleněných kuliček využívá granulát korundu (Al_2O_3) (obr. 4. 21). Tato technologie je vhodná pro černou ocel, tudíž byla vhodná pro použití k otryskání ploch bříty. Oproti balotínování se výsledný povrch jeví jako lesklý. Před otryskáváním byly ochráněny tolerované plochy, které bylo nutné nepoškodit (obr. 4. 22). Proces probíhal v tryskacím boxu s použitím pistole se stlačeným vzduchem (obr. 4. 23). [38][44]



Obr. 4. 21 Granulát korundu [48]



Obr. 4. 22 Chráněné tolerované plochy



Obr. 4. 23 Bříty po otryskání v boxe

5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VÝROBY

K výrobě břitů stabilizátoru je třeba uvést veškeré náklady spojené s pořízením polotovaru, dělením, obrobením, tepelným zpracováním a dokončovacími metodami. Jelikož při výrobě břitu byl kladen větší důraz na čas výroby a co nejrychlejší dodání, byla časová položka na 1. místě než finance spojené s výrobou. V tabulce 10 jsou uvedené náklady spojené s výrobou všech břitů stabilizátoru. Nejnákladnější položkou výrobu břitu bylo soustružení na stroji OKUMA. Do těchto nákladů není započítán čas a finanční ohodnocení pracovníků. Jedná se pouze o čistý výrobní čas. Pokud by se započítaly i náklady spojené s pracovníky jednotlivých obsluh vycházely by náklady přibližně 8 500 Kč.

Tab. 10 Náklady na výrobu břitů

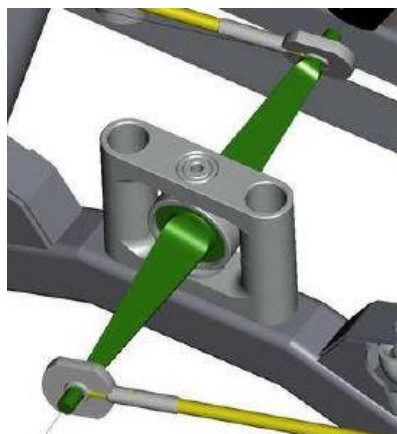
METODA	CENA	DOBA PROVOZU (min)	VÝROBNÍ NÁKLADY
polotovar	192 Kč		192,0 Kč
dělení	1578 Kč/h	4,5	118,4 Kč
soustružení	2352 Kč/h	110	4 312,0 Kč
tep. zpracování	1000 Kč		1 000,0 Kč
elektrojskrové řezání	500 Kč/h	72	600,0 Kč
tryskání	500 Kč/h	12	100,0 Kč
CEKOVÁ CENA VÝROBY BŘITŮ			6 322,4 Kč

V současné situaci se jedná o prototypovou výrobu několika kusů, u kterých nezáleží finančně na počtu výrobků. Je třeba nejprve ověřit, zda jsou tyto prototypy schopny bezproblémového provozu a bezporuchovosti pro situace na jaké jsou navrženy. Neosvědčí-li si tyto břitové prototypy, budou muset být do následující sezóny přepracovány v návrhové koncepci a popř. i v technologiích výroby.

Pokud by došlo k velkosériové výrobě několika stovek tisíců až miliónů kusů za rok, bylo by nutné přistoupit k problému z hlediska optimalizace výroby, výběru vhodných technologií a výrobní ceny jak kusu, tak výrobní dávky.

6 POROVNÁNÍ NÁVRHU A VÝROBY JEDNOTLIVÝCH BŘITŮ Z MONOPOSTŮ DRAGON

Návrhy stabilizátoru na monopost Dragon započaly již dříve, než došlo ke vzniku týmu. Jak již bylo psáno, tým vznikl v roce 2009, ale koncepční návrhy na celkový monopost se začaly vytvářet již dříve, v důsledku zájmu studentů o formuli student. U monopostu Dragon 1 se stabilizátor nevyskytoval, ale v průběhu sezóny se intenzivně pracovalo na kompletním a funkčním návrhu předního stabilizátoru. Tato sestava stabilizátoru měla být použita na monopostu Dragon 2. Bylo třeba počítat s konstrukčním uložením celé sestavy stabilizátoru do prostoru rámu a náprav a také na kinematickém návrhu působení sil a výsledků napětí působících na břit (obr. 6. 1). Od monopostu Dragon 2 se i v současnosti využívá výpočtový model základních prutových rozměrů břitu. Tento výpočtový model byl vytvořen v programu MATLAB a aplikován k realizaci břitu pro monopost Dragon 2. Po konstrukčním návrhu a výpočtových modelech MKP v programu ANSYS bylo nutné zajistit výrobu břitu a zvolit vhodný materiál, který by byl schopen funkčně pracovat za provozu při výsledných velikostech působících sil a napětí. Jako

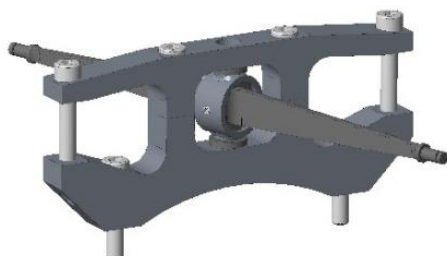


Obr. 6. 1 Břit přední sestavy

vhodný materiál byl zvolen 1.1730, který po tepelném zpracování na 55 HRC dosahoval mechanických vlastností 1700 MPa meze kluzu. Jednalo se o nástrojovou ocel, která při tepelném zpracování dosahovala předepsané požadavky mechanických vlastností, ale nebyl brán zřetel na cyklické namáhání břitu. Vybraná nástrojová ocel obsahuje 0,15 - 0,35% Si, přičemž nově vybraná ocel 1.7102 obsahuje min. 1,3 % Si. Z chemického porovnání není tato ocel vhodná pro cyklické namáhání, kdy právě houževnatost a vstřebání cyklické únavy zvyšuje hodnota Si. Nástrojová ocel 1.1730 je nízkolegovaná ocel pro nástroje s malou prokalitelností oceli a její velkou nevýhodou je poměrně rychlý pokles tvrdosti vlivem popouštění při ohřevu. Ocel je vhodná pro zámečnické účely, vrtání do dřeva, redukční vložky pro vrtáky. [24][49]

Výběr této oceli se osvědčil z důvodu konstrukčního předdimenzování rozměrů břitu, a tudíž za pracovních podmínek vyhovoval a plnil předepsaný účel. Rozměrově se jedná o rotační součást, která se obráběla na soustružnickém centru upnutím mezi hroty s podepřením unášecího srdcem. Po hrubovací operaci s přídatky následovalo tepelné zpracování – zušlechťování. Ocel se zušlechťovala na 55 HRC, což odpovídalo 1700 MPa meze kluzu. Následovaly dokončovací soustružnické operace pro tolerované rozměry a zářezky. Pro vytvoření náhrady prutu byla použita technologie elektrojiskrového řezání,

která se využívá i v současnosti. Tato ocel a technologie výroby se používaly až do monopostu Dragon 6, kdy došlo k materiálovým a technologickým změnám. K hlavním změnám docházelo stále při konstrukčních návrzích uložení stabilizátorů, ale nebral se ohled na změnu a testování nových materiálů, popř. výrobních technologií.

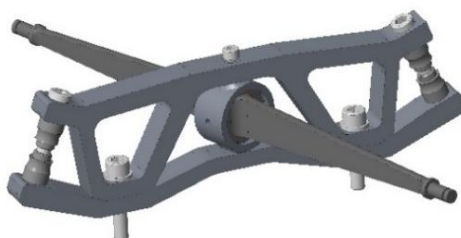


Obr. 6. 2 Sestava předního stabilizátoru monopostu Dragon 3 a 4



Obr. 6. 3 Sestava zadního stabilizátoru monopostu Dragon 4

Konstrukční návrh a výroba břitu pro sestavu předního stabilizátoru pro monopost Dragon 3 je stejná jako u monopostu Dragon 2. Změnami prošel návrh uložení předního stabilizátoru, který slouží zároveň i jako držák usazení příčně uložených tlumičů (obr. 6. 2). Břit byl uložen do rotačního srdce, které zajišťuje jednodušší rotaci břitu při působení sil. Na srdce byl použit hliníkový materiál EN AW 7022, stejně tak i na housinky celé sestavy. Srdce je uloženo v kluzných ložiscích, která jsou uložena s přesahem do housinků. Housinky a srdce byly vyrobeny metodou frézování. U monopostu Dragon 4 byla použita stejná koncepce uložení sestavy předního stabilizátoru, tudíž návrhový a výrobní proces byl použit obdobně jako u Dragon 3. Změna, která nastala u Dragon 4, bylo použití sestavy zadního stabilizátoru, který se návrhově odlišoval od přední sestavy. Jak je zřejmé z obr. 6. 3, byl zde použit stabilizátor tvaru U se dvěma břity. Obě sestavy fungují na stejném principu, kde se u přední sestavy nachází tzv. kolotoč, a pro zadní sestavu jsou charakteristické 2 břity spojeny rozpěrnou tyčí. Břity u zadní sestavy byly vyrobeny stejnou technologií jako břit u přední sestavy. Závit M8 byl vyroben pomocí závitorezné hlavy, kdy dochází ke zpěchování materiálu a nedojde k porušení vláken, tak jako při výrobě soustružením. Závit je touto technologií zpevněn a vykazuje lepší mechanické vlastnosti.



Obr. 6. 4 Sestava předního stabilizátoru monopostu Dragon 5



Obr. 6. 5 Sestava zadního stabilizátoru monopostu Dragon 5

Jelikož došlo k zásahu do kinematiky vozu, změnily se tím charakteristiky podvozku a s tím spojené působení sil na kolo. Bylo tedy nutné počítat s touto změnou při návrhové koncepci sestav stabilizátorů. Po výsledcích kinematiky vozu bylo možné analyzovat

působení sil na monopost a z daných výsledků vypočítat působení sil a napětí na břity. U přední sestavy stabilizátoru byl i nadále použit stejný břit jako u předchozích monopostů z důvodu osvědčené bezporuchovosti a spolehlivosti v závodním režimu. Velkému zásahu dozněl housing uložení břitu a tlumičů, kde bylo třeba redukovat hmotnost (obr. 6. 4). V motorsportu hraje každý gram svou roli a ve formuli student nevyjímá. Jako materiál housingu byl použit hliník EN AW 7022, který se obráběl stejnou technologií jako u předchozích housingů a to obvodovým frézováním. Hmotnost sestavy stabilizátoru Dragon 5 oproti housingu z Dragon 4 byla redukována o 286 g, tudíž došlo ke snížení hmotnosti o 42,2 %. Sestava zadního stabilizátoru také dozněla svých změn v koncepci břitů, rozpěrné tyče a uchycení k rámu formule (obr. 6. 5). Celková sestava byla redukována o 65,7 % se snížením hmotnosti o 0,432 kg. Vzhledem k výsledkům působení sil bylo možné břit v návrhové koncepci upravit na svou možnou mezní hodnotu funkčnosti. Z výsledného návrhu byl břit redukován o 59,46 % oproti břitu z Dragon 4 (obr. 6. 6).



Obr. 6. 6 Porovnání břitu D4 (velký) proti břitu D5 (malý)



Obr. 6. 7 Porucha závitu břitu z D5

Byl použit materiál 1.1730, ale došlo ke změně tvrdosti z původních 55 HRC na 50 HRC pro zvýšení houževnatosti. Polotovár břitu byl upnut mezi hroty, kde byly vyvrtány středící otvory do součásti. Toto mělo bohužel za následek ztenčení stěny, kdy byl použit závit M6 a průměr díry byl 3 mm. Pro dokončovací operaci soustružením břitu byly pouze přídatky pro tolerované rozměry. Závit byl vytvořen válcovací hlavou, následně byla nanášena ochranná pasta proti znehodnocení při tepelném zpracování. Po obrobení tolerovaných rozměrů byla vyřezána plocha náhrady prutu na břit. Výsledkem po výrobním procesu bylo praskání závitu během závodního režimu, kdy došlo k utržení části dílu v místě závitu (obr. 6. 7). Bylo zde nanášeno nedostatečné množství ochranné pasty a problému také přispělo ztenčení stěny.

DISKUSE

Aby bylo možné dosažení přesnějších výsledků působení napětí na prut břitů, bude potřeba odladit a zjemnit výpočtové hodnoty vytvořeného algoritmu v MATLABu. Také bude potřeba upravit názvy a přesně dané hodnoty os grafů. Po návrhu prutu a vytvoření modelu břitů je třeba jak staticky, tak i dynamicky zatížit břit v programu ANSYS, aby bylo možné stanovit velikosti hodnot napětí při cyklickém namáhání a také výpočet počtu cyklů při dosažení mezní hodnoty poruchy. Z výsledků počtu cyklů zatížením MKP bude třeba udělat ruční výpočet a také reálné dynamické testy zatížení pro porovnání, zda-li se opravdu shodují hodnoty teoreticky vypočítané, tak z reálného hlediska a bude třeba z výsledků určit velikost odchylky daných hodnot. K zjištění chemického složení a mechanických vlastností vybraného materiálu bude potřeba stanovit metalurgický výbrus a tahové zkoušky. Tyto výsledky obsahu prvků materiálu a velikosti výsledného napětí z tahové zkoušky se porovnají s tabulkovými hodnotami, kde se vyhodnotí pravost materiálu. Pokud nenastanou razantní změny kinematiky podvozku a působících sil na monopost, mohou se dále použít stávající hodnoty pro výpočty rozměrů břitů a působících sil. Rovněž se zachovají hodnoty pro tepelné zpracování břitů, aby bylo možné dosáhnout stávající tvrdosti a meze kluzu.

Pro obrábění je třeba volit na koncích hrubovacího kusu přídavky pro uchycení mezi hroty, které v konečné fázi dokončování budou upíchnuty. Před tepelným zpracováním je nutné z technologického hlediska vytvořit závit válcovací hlavou, která materiál závitu zpěchuje a tím nedojde k porušení vláken, ale ke zpevnění dílu v části závitu. Následně se nanese ochranná pasta proti znehodnocení závitu, před tepelným zpracováním. Po tepelném zpracování, zvláště po popouštění bude provedena zkouška tvrdosti materiálu a vyhodnocení velikosti meze kluzu z přepočtu tabulkových hodnot. Pokud nebudou dosaženy předepsané hodnoty tvrdosti a meze kluzu, materiál bude muset být znovu popuštěn. Jakmile bude břit po soustružnických operacích vyroben, bude následně vyřezána plocha náhrady prutu. Nakonec bude břit opracován dokončovací technologií brokováním, kdy budou vnesena do materiálu přínosná tlaková napětí ke zpevnění povrchu a zvýšení napětí cyklické únavy. Tato napětí jsou bezpečnější z hlediska tvorby trhlin, než tahová napětí, která jsou vhodná pro nukleaci trhlin a následné poruše břitů.

ZÁVĚR

V automobilovém průmyslu a motorsportu je využíváno mnoho variant stabilizátorů. Pro formuli student byl vybrán břitový stabilizátor typu U. Aby bylo možné započít návrhovou studii bylo nutné změřit velikost působící síly na břit s použitím tenzometrického měření na sestrojeném přípravku. Výsledná hodnota působící síly na břit byla 650 N. Z výsledků naměřené síly, bylo možné získat ideální rozměry prutové náhrady břitu z výpočtového modelu z programu MATLAB. Prutová náhrada byla následně zatížena MKP v programu ANSYS. Výsledná hodnota napětí pro tvrdé nastavení je 650 MPa a pro měkké nastavení 1300 MPa. Tyto hodnoty se pohybují bezpečně do meze kluzu po tepelném zpracování, tudíž bylo možné použít rozměry prutové náhrady pro tvorbu CAD modelu břitu.

Vytvořený CAD model břitu a sestavy stabilizátoru byl zatížen MKP, kde sestava stabilizátoru byla zatížena se stejnými podpěrami, jako je tomu v reálném použití na monopostu. Vyhodnocovali se velikosti napětí působící na držák břitu a velikost napětí při krutu rozpěrné tyče. Nejdůležitější výsledky působícího napětí se týkaly břitu stabilizátoru. Pro výsledné hodnoty napětí na břitu bylo důležité zda-li se budou pohybovat do výsledné meze kluzu po tepelném zpracování.

BŘIT	NASTAVENÍ	VELIKOST NAPĚTÍ (MPa)	POSUN BODU UCHYCENÍ (mm)
Přední	Tvrdé	500	1,05
	Měkké	1400	5,68
Zadní	Tvrdé	470	0,87
	měkké	1440	4,69

Nejvyššího napětí bylo dosaženo pro zadní břit při měkkém nastavení. Tato hodnota napětí se vyskytuje v elastickém pásmu deformace do meze kluzu. Z výsledků napětí a deformace bylo možné břity vyrobit.

Pro výběr ideálního polotovaru byl vypočítán počet přířezů, kterých bylo potřeba minimálně 6ks. Z největšího průměru břitu $\varnothing 13$ mm a počtu přířezů byl vybrán vhodný polotovar $\varnothing 20 \times 1500$ mm materiálu 1.1702. Tento materiál se vyznačuje svou vhodností pro cyklicky namáhané součásti, což zahrnuje sortiment pružin a stabilizátorů.

Pro výrobu břitů byly vybrány vhodné obráběcí stroje ze sortimentu firmy IMI CCI a také vhodné VBD pro hrubovací a dokončovací operace soustružení. Jelikož byl břit tepelně zpracován, bylo nutné vypočítat technologické přídavky pro dokončovací operace soustružení po tepelném zpracování. Přídavek činil 0,5 mm na průměr pro tolerované plochy a závit. Byl vypracován technologický postup s výpočty strojních časů pro soustružnické operace. Také byly zpracovány celkové výrobní časy v programu TPV výpočty, z normativů strojního obrábění a z vystavených průvodek pro operátora. Tyto celkové časy byly porovnány s reálným časem výroby břitu (18 min), kdy se reálnému času nejvíce blížily celkové časy vybrané z normativů strojního obrábění (23,7 min) s odchylkou 5,7 min. Ostatní výsledné časy se pohybovali s většími odchylkami časů, tudíž lze soudit, že pracovník nepracoval podle daných norem, kdy operace výroby časově urychloval nebo došlo k problémům, které navyšovaly normovaný čas.

Ke zvýšení hodnoty meze kluzu bylo použito tepelné zpracování technologií zušlechťování. Materiál byl tepelně zpracován pro předepsanou tvrdost 45 HRC. Ve

výsledku vycházely hodnoty mezi 46-47 HRC, což odpovídá hodnotám meze kluzu 1460 – 1490 MPa, které byly hraničními hodnotami pro napětí při výpočtech břitu MKP.

Pro obrobení prutové náhrady byla použita technologie elektrojiskrového řezání drátem. Následně byla aplikována operace otryskávání k eliminování vnitřního pnutí na povrchu vyřezaných ploch prutové náhrady břitu.

Kompletní výroba 6ti kusů břitů zahrnující od nákupu polotovaru až po dokončovací metody činila 6 322,4 Kč. Započítáním ceny jednotlivých obsluh pracovišť je celková cena výroby břitu 8 500 Kč, tudíž cena jednoho břitu činí 1 416,6 Kč. Pokud by se břity vyráběly ve velkosériové výrobě, došlo by ke snížení ceny břitu u nákupu polotovaru a tepelného zpracování.

Aby bylo možné zjistit efektivitu návrhové koncepce, byly jednotlivé břity porovnány z návrhové i výrobní části. Výsledkem porovnání břitu pro monopost Dragon 6 byla změna materiálu oproti přechozím monopostům, hodnota tvrdosti pro tepelné zpracování z 55 HRC na 45 HRC a také nově použity dokončovací metody.

Redukce hmotnosti (%) zadního břitu návrhové koncepce		
Dragon 4	→	Dragon 5
	59,46 %	
Dragon 5	→	Dragon 6
	7,66%	

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *TU Brno racing* [online]. ©2014 [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: <http://www.tubnracing.cz/cs/studentska-formule/>
2. *Panoramatické foto z FS* [online]. Hockenheim ring, 2015 [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: <http://media.formulastudent.de/keyword/bergen;fsg15/>
3. *Team photos - formula student* [online]. Hockenheim ring, 2015 [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: <http://media.formulastudent.de/FSG15/Hockenheim-2015/Team-Photos/i-Q4fT7MD/A>
4. REIMPEL, J. a kol. *The Automotive Chassis*. 2. vyd. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001. 116 s. ISBN 0 7506 5054 0.
5. VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 3. přeprac., rozš., aktualiz. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2006. ISBN 80-239-6464-X.
6. ŠEVČÍK, J. *Návrh stavitelného stabilizátoru přední nápravy vozu Formule student*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 78s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Porteš, Dr. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52605
7. Swaybar/Endlink FAQ [online]. ©1999 - 2016 [cit. 2016-02-20]. Dostupné z: <http://forums.nasioc.com/forums/showthread.php?t=1152714>
8. GILLESPIE, T. *Fundamentals of Vehikle Dynamics*. 1. vyd. Society of Automotive Engineers, Inc., 2001. 116 s.
9. *Alfetta front suspension antiroll* [online]. [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a9/Alfetta_front_suspension_antiroll.jpg
10. *Subaru WRC Pares Ltd* [online]. [cit. 2012-06-05]. Dostupné z: <http://www.subaruwrcspares.com/26.html>
11. *Rear sway bar* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://fiestast.net/threads/rear-sway-bar-yes-or-no.1264/page-3>
12. *Seventh Heaven* [online]. [cit. 2012-11-05]. Dostupné z: <http://www.super7thheaven.co.uk/blog/push-rod-anti-roll-bars-a52.html>
13. *Red Bull F1 Racing* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.carblogindia.com/wp-content/uploads/2011/10/Red-Bull-F1-Racing-4.jpg>

14. *Anti roll bar blade* [online]. ©2016 [cit. 2016-01-31]. Dostupné z:
http://provenwicked.com/product_detail.php?pid=MzE=&CID=OA==&VID
15. VLK, Miloš, Lubomír HOUFÉK, Pavel HLAVOŇ, Petr KREJČÍ, Vladimír KOTEK a Jiří KLEMENT. Odporová tenzometrie. In: *Experimentální mechanika* [online]. VUT v Brně, 2003 [cit. 2016-02-13]. Dostupné z:
http://ean2011.fme.vutbr.cz/img/fckeditor/file/opory/Experimentalni_mechanika.pdf
16. SHIGLEY, Joseph E. MISCHKE, Charles R. ; BUDYNAS, Richard G. . *Konstruování strojních součástí*. vyd.1. Brno: VUTUM , 2010. 1186 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
17. RŮŽIČKA, Milan. Únavová pevnost a životnost. In: *Inženýrská informatika v dopravě a spojích* [online]. Praha: České vysoké učení technické, 2007 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z:
<http://oprلز.iss.fd.cvut.cz/dokumenty/070309UnavovaPevnostAZivotnost.pdf>
18. KLESNIL, Mirko; LUKÁŠ, Petr. Únava kovových materiálů při mechanickém namáhání. 1. vyd. Praha : ČAV, 1975. 224 s
19. Mechanika těles: pružnost a pevnost. 4. přeprac. vyd. Brno: CERM, 2006, 262 s. ISBN 80-214-3260-8.
20. FSAE rules 2016. *Fsaeonline.com* [online]. ©2015 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z:
http://www.fsaeonline.com/content/2016_FSAE_Rules.pdf
21. FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav . *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vydání Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
22. Podmínky plasticity. *Katedra mechaniky pružnosti a pevnosti* [online]. Liberec: Technická univerzita, ©2016 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z:
http://www.kmp.tul.cz/system/files/5_plast_podminky.pdf
23. Kvadratický moment průřezu. *E-konstrukter* [online]. ©2013 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://e-konstrukter.cz/technicke-vypocty/14-kvadraticky-moment-a-modul-prurezu-v-ohybu/99-kvadraticky-moment-prurezu-modul-prurezu-v-ohybu-mezikruzi>
24. Materiálové normy 1.1702. *Ferona a.s. - hutní materiál* [online]. ©2004-2016 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: http://www.ferona.cz/cze/katalog/mat_normy.php
25. ČSN 41 4260. SAGIT, 1988.
26. KOČMAN, Karel a Jiří PERNÍKÁŘ. Ročníkový projekt II - obrábění. In: *Studijní opory* [online]. Brno: VUT-FSI, Ustav strojírenské technologie, 2002 [cit. 2016-05-

- 14]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/RocnikovyProjekt_II-obrabeni.pdf
27. ZEMČÍK, Oskar. Technologické procesy. In: *Studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie, 2002 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TechnProcesy.pdf>
28. Pásová pila na kov ARG 400 plus. *PILOUS METAL* [online]. [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://pilous.cz/metal/pasove-pily-na-kov/hydraulicke-poloautomaty/arg-400-plus-saf/>
29. Soustruh cnc OKUMA Space-Turn LB 300-M. *EXApro* [online]. ©2004-2016 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://www.exapro.com/used-okuma-lb-300m-cnc-lathe-p10725084/>
30. Soustruh cnc OKUMA Space-Turn LB 300 M. *EXApro* [online]. ©2004-2016 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://www.exapro.cz/soustruh-cnc-okuma-space-turn-lb-300-m-p51125100/>
31. Specifikace drátořezu CHMER G32S. *NCT* [online]. ©2014-2016 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: http://www.nct.hu/pdf/Pros/termekkatgy/CM_G_RX.pdf
32. Drátořez CHMER G32S. In: *EDM Sales and Supllies* [online]. ©2015 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: http://www.edmsalesinc.com/wp-content/uploads/2014/07/0000040_chmer-g32s-submerged-type.jpeg
33. Třídy pro soustružení, upichování, zapichování a řezání závitů. *SANDVIK Coromant* [online]. ©2000-2012 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/cutting_tool_materials/sandvik_coromant_grades/pages/default.aspx#5
34. Soustružnické nástroje. *SANDVIK Coromant* [online]. ©2000-2012 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: http://sandvik.ecbook.se/se/cs/turning_tools_2015/
35. Technologická příprava výroba - tabulky. *Ústav strojírenské technologie - odbor technologie obrábění* [online]. Brno, ©2016 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/technologicka_priprava_vyroby/Cv.3/Cv.3_tabulky.pdf
36. ZEMČÍK, O. Technologická příprava výroby. Akademické nakladatelství CERM, 2002. 160 s. ISBN 80-214-2219-X.

37. Strojní čas pro soustružení. *Výpočty strojních času* [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://pintu.wz.cz/vypocty-strojni-casy.htm>
38. HUMAR, Anton. *Technologie I - Technologie obrábění - 3. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Brno: VUT-FSI, Ustav strojírenské technologie. 2003. [vid. 2016-04-26]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf
39. MTS-N-A 17/1. *Sdružené normativy pracovních časů v kovoprůmyslu: STROJNÍ OBRÁBĚNÍ: Revolverové soustruhy „Pittler“*. II. doplněné vydání. Praha, 1954.
40. CNN 10-5-2-0/1. *CELOSTÁTNÍ NORMY A NORMATIVY: Revolverové soustruhy Herbert-Pittler*. II. díl. Praha, 1964.
41. KRAUS, Václav. *Tepelné zpracování a slinování*. 3. vyd. 270 s. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2013. ISBN 978-80-261-0260-1.
42. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu I: 2. opr. a rozš. vyd. 516 s.* Brno: CERM, 2003. ISBN 80-7204-283-1.
43. Laboratorní pec Elsklo Typ MF5. *ELSKLO: Průmyslové a laboratorní pece* [online]. ©2009-2016 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://www.elsklo.cz/cs/katalog-peci/laboratorni-muflova-pec.html>
44. Druhy dokončovacích operací. *ELUC: Elektronická učebnice* [online]. [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1381>
45. PÍŠKA, M. a kolektiv. *Speciální technologie obrábění*. CERM 1.vyd. 246 s. 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
46. Elektrojiskorné řezání drátem (WEDM). *SolidCAD* [online]. [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://solicad.com/i/detailni-popis-funkci-programu-sprutcam/c/sprutcam-detaily/g/sprutcam-info?page=9>
47. Balotinovací materiál. *ALLBIZ: Mezinárodní centrum internetového obchodu* [online]. ©2010-2016 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://www.cz.all.biz/mikrokulicky-balotina-g59058#.VzdPIvmLSHt>
48. Umělý korund hnědý (Al₂O₃). *WISTA: Technologie pro povrchové úpravy tryskání, lakování a metalizace* [online]. ©2014 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://www.wista.cz/produkty/tryskani/abraziva/korund/>
49. Druhy uhlíkových nástrojových ocelí. *TumliKOVO: technologie strojního obrábění kovů* [online]. ©2010 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/druhy-uhlikovych-nastrojovych-oceli/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
25CrMo4	[-]	Chrom molybdenový materiál
Al₂O₃	[-]	Korund
ARA	[-]	Diagram tepelného zpracování – anizotermický rozpad austenitu
CAD	[-]	Computer aided design
ČSN	[-]	Česká norma oceli
DIN	[-]	Evropská norma ocelí
FSAE	[-]	Formerly Society of Automotive Engineers
HRC	[-]	Jednotka tvrdosti podle Rockwella
MKP	[-]	Metody konečných prvků
SK	[-]	Slinutý karbid
stp	[-]	Universální formát ukládání CAD modelu
TPV	[-]	Technologická příprava výroby
VBD	[-]	Vyměnitelná břitová destička
WEDM	[-]	Elektrojiskrové obrábění drátem

Symbol	Jednotka	Popis
C₀	[mm]	maximální hodnota trvalé deformace
D	[mm]	průměr obrobku
D_{0A}	[mm]	průměr polotovaru přířezu
E	[MPa]	modul pružnosti
E₁	[mm]	maximální součtová chyba ustavení obrobku
E_D	[mm]	max. chyba ustavení obrobku v příčném směru
E_L	[mm]	max. chyba ustavení obrobku v podélném směru
F	[N]	síla
Force_f	[N]	síly na nápravu
F_ymax	[N]	síla v ose y
F_zmay	[N]	síla v ose z
I_{2D}^σ	[MPa]	kvadratický invariant deviátoru napjatosti

L	[mm]	délka prutu
L	[mm]	celková délka obrobku
L	[mm]	délka obrobené plochy
M_f	[-]	martenzit finiš
M_s	[-]	martenzit start
P	[mm]	výpočet celkového průměru polotovaru
P_c	[mm]	přídavek na průměr
Q_{mA}	[kg]	norma spotřeby materiálu
Q_{pA}	[kg]	hmotnost přířezu
Q_s	[kg]	hmotnost hotové součásti
R₀	[μm]	maximální výška nerovností obráběné plochy
R_{1,2,3,4}	[Ω]	odpory tenzometrů
Re	[MPa]	mez kluzu
Rm	[MPa]	mez pevnosti
T₀	[μm]	maximální hloubka rozrušené vrstvy materiálu
U_n	[V]	napájecí napětí
U_v	[V]	výstupní napětí
V_c	[mm ³]	objem hotové součásti
a	[-]	rozměrový koeficient
b	[-]	rozměrový koeficient
b0	[mm]	šířka na konci prutu
b2	[mm]	kontrola zúžení pro prut
bezp	[-]	hodnota bezpečnosti
bL	[mm]	šířka na konci prutu
bp	[mm]	přírutek šířky
d_s	[mm]	největší průměr hotové součásti
f	[mm]	posuv
h	[mm]	tloušťka prutu
hmot	[kg]	hmotnost monopostu s řidičem
i	[-]	počet záběrů pro úběr materiálu

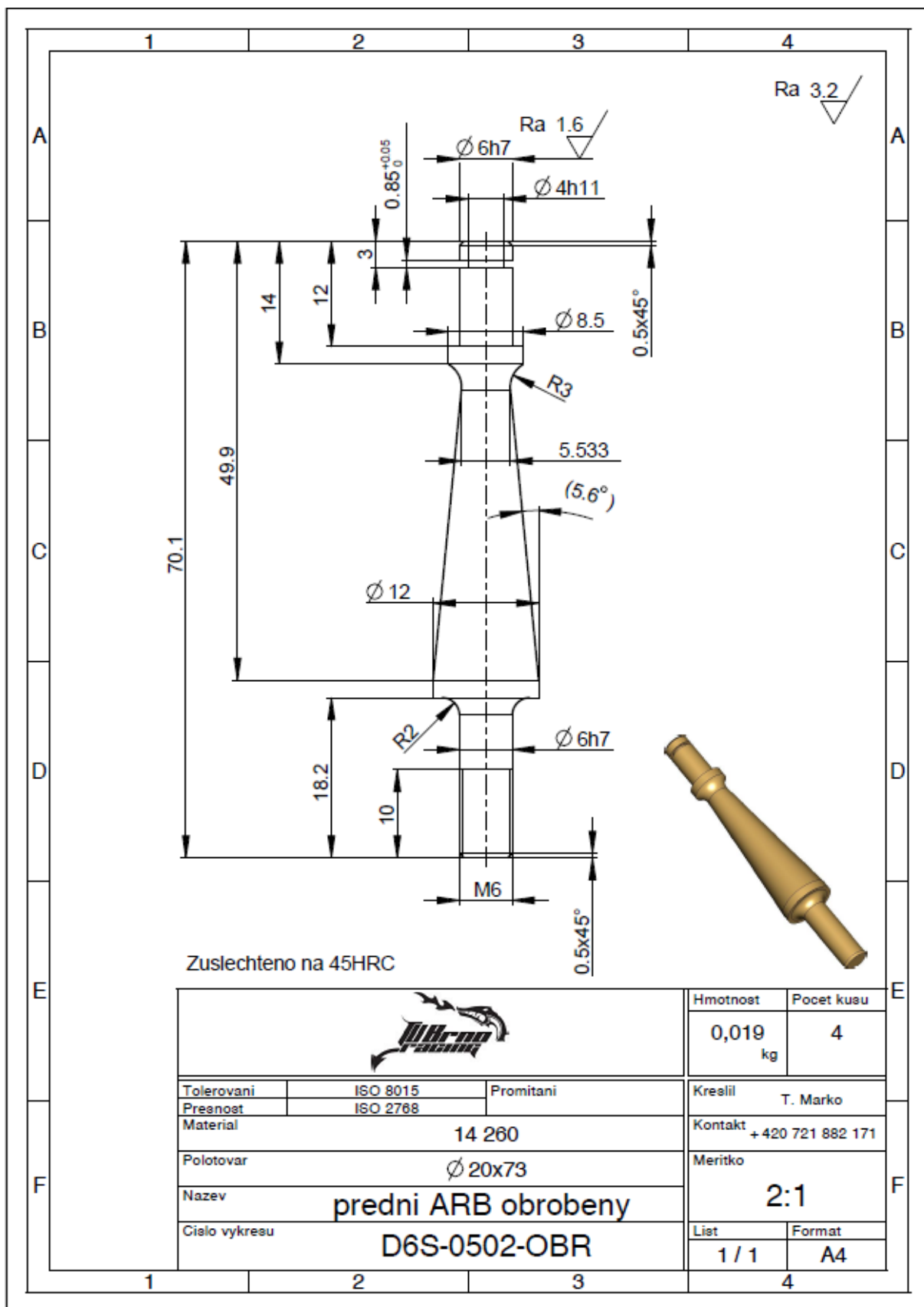
k	[-]	deformační součinitel tenzometru
k	[-]	koeficient překrytí chyb
k_{max}	[N/mm]	maximální tuhost
k_{min}	[N/mm]	minimální tuhost
k_{nom}	[N/mm]	nominální tuhost
k_{mA}	[kg]	koeficient využití materiálu přířezu
k_{pt}	[N/mm]	tuhost pružiny na tlumiči
l_k	[mm]	redukovaná délka obrobku
l_{kA}	[mm]	délka nevyužitého konce tyče
l_{oD}	[mm]	délka přířezu
l_t	[mm]	délka polotovaru tyče
l_{uA}	[mm]	šířka prořezu (udává se jako šířka pilového pásu)
n	[mm]	vzdálenost působení síly
n	[min ⁻¹]	otáčky vřetena
n_A	[ks]	počet přířezů z tyče
p_{1M}	[mm]	operační přídavek
p_{cM}	[mm]	celkový přídavek
p_{kP}	[-]	přepákování kolo pružina tlumiče
p_{kS}	[-]	přepákování kolo stabilizátor
post_{stab}	[mm]	hodnota potřebného posuvu
q_{dA}	[kg]	odpad vzniklý prořezem
q_{kA}	[kg]	odpad z nevyužitého konce tyče
q_{oA}	[mm]	odpad vzniklý při obrábění
simax	[MPa]	mez kluzu materiálu
t_{AC}	[min]	celkový čas výroby
t_{AS}	[min]	strojní čas
v_c	[m*min ⁻¹]	řezná rychlost
x	[mm]	místo působení síly
x00	[-]	převrácení vektoru

zd	[mm]	zdvih na kole
ϵ_a	[-]	amplituda deformace
δ_0	[mm]	operační tolerance předcházející operace
ϵ	[-]	poměrné přetvoření
ϵ_i	[$\mu\text{m}/\text{m}$]	indikované přetvoření
ρ	[g/mm^3]	měrná hmotnost oceli
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	[MPa]	osové napětí
σ_a	[MPa]	amplituda napětí
σ_c	[MPa]	cyklická mez únavy
σ_{ef}	[MPa]	efektivní napětí
σ_k	[MPa]	kritické napětí
τ_{okt}	[MPa]	kružnice v oktaedrické rovině

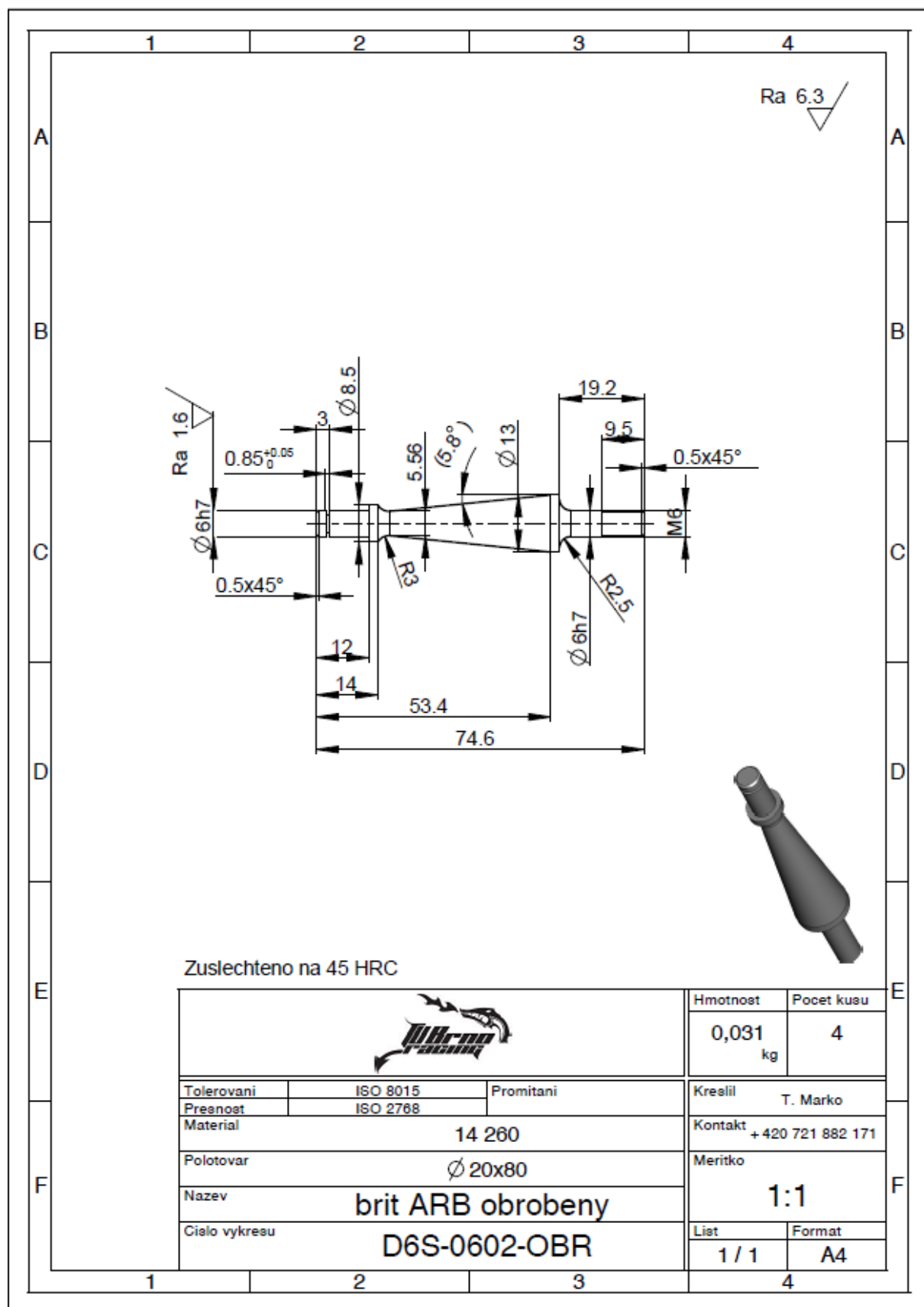
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	VÝKRES PŘEDNÍHO BŘITU STABILIZÁTORU
Příloha 2	VÝKRES ZADNÍHO BŘITU STABILIZÁTORU
Příloha 3	TABULKOVÉ HODNOTY PŘÍDAVKŮ PRO OBRÁBĚNÍ
Příloha 4	HRUBOVACÍ VÝKRESY BŘITŮ
Příloha 5	KONTURA HRUBOVACÍ
Příloha 6	KONTURA DOKONČOVACÍ
Příloha 7	VÝKRESY PRO OBRÁBĚNÍ DRÁTOŘEZEM
Příloha 8	VÝPOČTY VÝROBNÍCH ČASU V PROGRAMU TPV
Příloha 9	VÝPOČTY STROJNÍCH ČASŮ PODLE VZORCŮ
Příloha 10	PROTOKOL O CHEMICKÉM SLOŽENÍ MATERIÁLU 14 260 (DIN 1.7102)
Příloha 11	MECHANICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLU
Příloha 12	POPOUŠTĚCÍ DIAGRAM

PŘÍLOHA 1 – VÝKRES PŘEDNÍHO BŘITU STABILIZÁTORU



PŘÍLOHA 2 – VÝKRES ZADNÍHO BŘITU STABILIZÁTORU



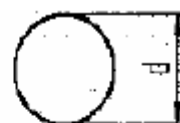
PŘÍLOHA 3 – TABULKOVÉ HODNOTY PŘÍDAVKŮ PRO OBRÁBĚNÍ

Drsnost povrchu "R _a " a hloubka vadné povrchové vrstvy "T ₀ " u různých polotovárů a hodnoty op. tolerancí			
Druh polotovaru	Charakteristika polotovaru	R _a + T ₀ mm	
Odlitky ze šedé litiny	Jednoduchý tvar	1,0	
	Složitý tvar středních rozměrů	1,5	
	Složitý tvar velkých rozměrů	2,0	
Odlitky z ocelové litiny	Podle rozměrů a složitosti tvarů	1 - 5	
Polotovary z uhlíkové oceli zhotovené volným kováním z výkovků	Jednoduchý tvar malých rozměrů	1,5	
	Jednoduchý tvar středních a velkých rozměrů	2,0	
	Složitý tvar malých rozměrů	2,0	
	Složitý tvar středních a velkých rozměrů	3,0	
Polotovary z legovaných ocelí zhotovené volným kováním z vývalků	Jednoduchý tvar malých rozměrů	2,5	
	Jednoduchý tvar středních a velkých rozměrů	3,0	
	Složitý tvar malých rozměrů	2,5	
	Složitý tvar středních a velkých rozměrů	3,5	
Ocelové polotovary zhotovené z vývalků kováním v zápuštěcích	Jednoduchý tvar malých a středních rozměrů	0,5-1,0	
	Složitý tvar malých rozměrů	0,5-1,0	
	Složitý tvar středních rozměrů	1,0-1,5	
Válcové polotovary	Podle jakosti a rozměru vývalku	0,5-1,0	
Druh plochy	Metody obrábění	IT	
		střední hodnoty	rozsah
Vnější válcové plochy	Soustružení vnější hrubé	13	11 - 14
	Soustružení vnější čisté	10	9 - 11
	Broušení do kulata vnější	6	3 - 9
Vnitřní válcové plochy	Soustružení vnitřní hrubé	12	11 - 13
	Soustružení vnitřní čisté	10	9 - 12
	Broušení vnitřní	7	3 - 10
	Vrtání	13	10 - 14
	Vyhrubování	9	9 - 11
	Vystružování ruční	8	7 - 9
	Vystružování strojní	6	6 - 8
	Vyvrtávání hrubé	12	11 - 14
	Vyvrtávání čisté	10	9 - 11
	Protahování	7	5 - 8
	Frézování hrubé	12	10 - 13
Rovinné plochy	Frézování čisté	10	8 - 12
	Hoblování hrubé	13	12 - 14
	Hoblování čisté	11	9 - 12
	Broušení na plocho	7	3 - 10

Číselné hodnoty základních tolerancí "IT"																	
Hodnoty jsou uvedeny v μm (1 μm = 0,001mm) ČSN 01 42 03																	
Rozměry [mm]	Pro výrobu měřidel a jiné práce								Pro lisování ve všeobecném strojírenství								Pro lisování hrubé (lisování, tažení, válení)
	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16
0,001 - 0,005	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,008	0,010	0,015	0,020	0,030	0,040	0,050	0,063	0,080	0,100	0,125
0,005 - 0,015	0,005	0,008	0,010	0,012	0,015	0,018	0,022	0,028	0,035	0,045	0,055	0,070	0,090	0,110	0,140	0,180	0,220
0,015 - 0,030	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,036	0,045	0,055	0,068	0,085	0,105	0,130	0,160	0,200	0,250	0,315	0,390
0,030 - 0,060	0,020	0,030	0,040	0,050	0,060	0,075	0,090	0,110	0,140	0,170	0,210	0,260	0,320	0,390	0,480	0,590	0,720
0,060 - 0,100	0,030	0,045	0,060	0,080	0,100	0,125	0,160	0,200	0,250	0,315	0,390	0,480	0,590	0,720	0,890	1,100	1,360
0,100 - 0,160	0,040	0,060	0,080	0,100	0,125	0,160	0,200	0,250	0,315	0,390	0,480	0,590	0,720	0,890	1,100	1,360	1,700
0,160 - 0,250	0,050	0,080	0,100	0,125	0,160	0,200	0,250	0,315	0,390	0,480	0,590	0,720	0,890	1,100	1,360	1,700	2,100
0,250 - 0,400	0,063	0,100	0,125	0,160	0,200	0,250	0,315	0,390	0,480	0,590	0,720	0,890	1,100	1,360	1,700	2,100	2,600
0,400 - 0,630	0,080	0,125	0,160	0,200	0,250	0,315	0,390	0,480	0,590	0,720	0,890	1,100	1,360	1,700	2,100	2,600	3,200

Maximální výška nerovností "R" a hloubky vadné povrchové vrstvy "T" při různých metodách obrábění			
Druh plochy	Metoda obrábění	R μm	T μm
Vnější válcové plochy	Soustružení vnější hrubé	100	60
	Soustružení vnější čisté	45	40
	Broušení do kulata vnější	15	25
Vnitřní válcové plochy	Soustružení vnitřní hrubé	225	50
	Soustružení vnitřní čisté	25	40
	Broušení vnitřní	15	30
	Vrtání	225	60
	Vyhrubování hrubé	225	60
	Vyhrubování čisté	100	30
	Vystružování hrubé	100	30
	Vystružování čisté	25	20
	Vyvrtávání hrubé	225	60
	Vyvrtávání čisté	25	40
	Protahování	9	20
	Rovinné plochy	Frézování hrubé	225
Frézování čisté		45	40
Hoblování čisté		45	40
Hoblování hrubé		100	50
Obrábění hrubé		100	60
Obrábění čisté		45	50
Broušení na plochu		15	25
Doporučené hodnoty koeficientu "a"			
Charakter operace		a	
Hrubování		1,0 - 2,0	
Čisté obrábění		0,1 - 0,2	
Čisté obrábění (tepelně zpracovaný výrobek)		0,8 - 1,2	
Položár (typ válcovaná za tepla)		0,5	
Hodnoty koeficientů "a", "b" pro výpočet výsledné chyby ustavení			
Charakter operace		a	b
Hrubování		0,1 - 0,2	1 - 2
Poločisté obrábění		0,05 - 0,1	0,3 - 0,6
Čisté obrábění		0,03 - 0,05	0,1 - 0,3
Velmi čisté obrábění		0,005 - 0,01	-

TYČE KRUHOVÉ



válkování zatepla z oceli třídy 11 až 17 a 19 normální přesnosti

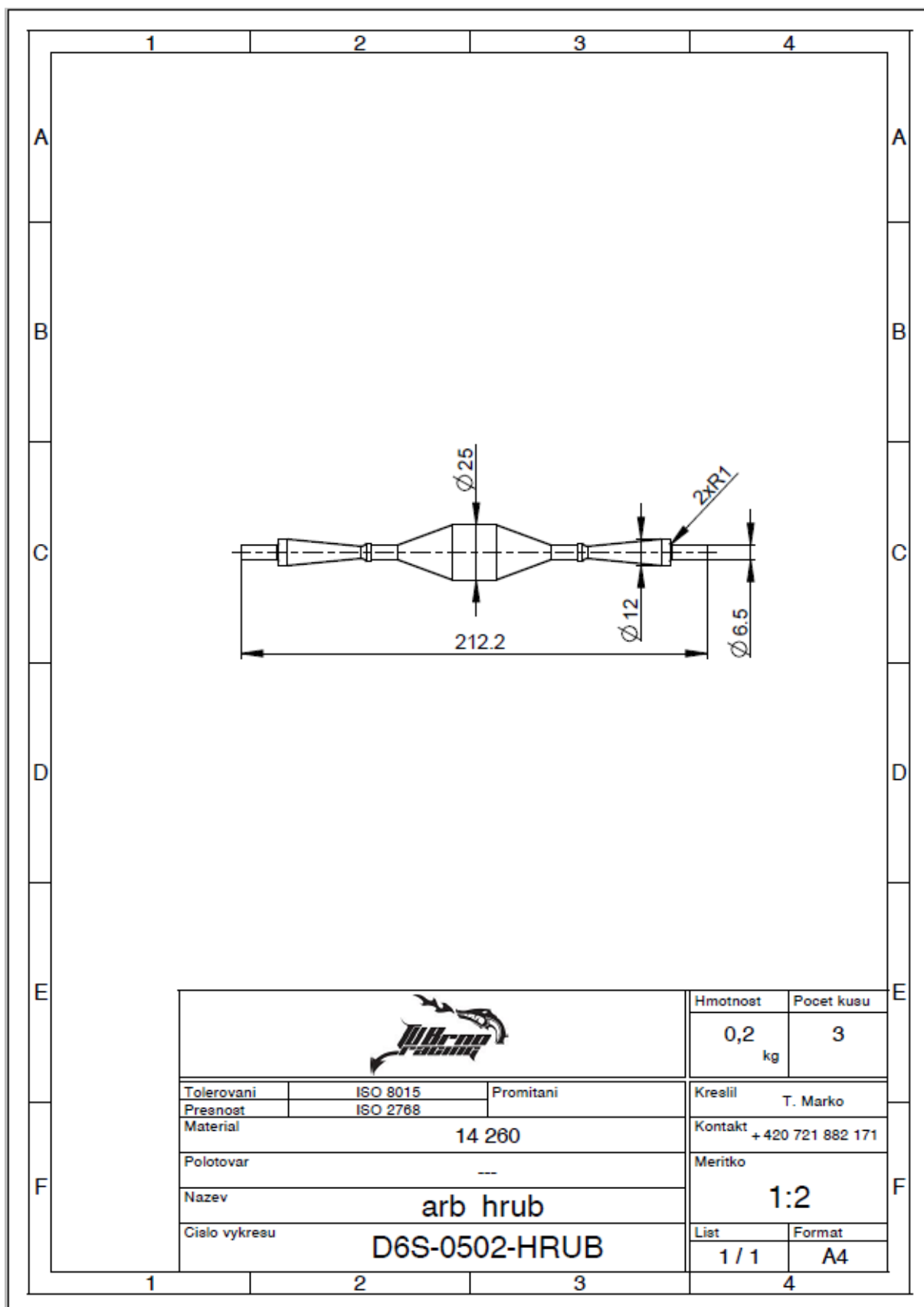
Imenovitý průměr d, mm				Antena							
5,5	6	odle po l až		11 343	11 366	11 373	11 375	11 423	11 500	11 523	
do 32	34	36	38	11 600	11 700	12 020	12 030	12 040	12 050	12 052	
39	40	42	44	12 060	12 061	13 141	13 240	13 320	14 100	14 120	
45	46	48	50	14 140	14 220	14 223	14 231	14 260	14 340	14 341	
52	55	56	57	15 110	15 130	15 230	15 236	15 241	15 260	15 330	
58	60	62	63	16 220	16 341	16 532	16 640	16 720	17 021	17 027	
65	68	70	73	17 102	17 153	17 246	17 322	17 341	17 351	17 618	
75	78	80	82	19 015	19 152	19 191	19 313	19 434	19 452	19 642	
85	88	90	odle	19 721	19 733						
po 10 až do 210											

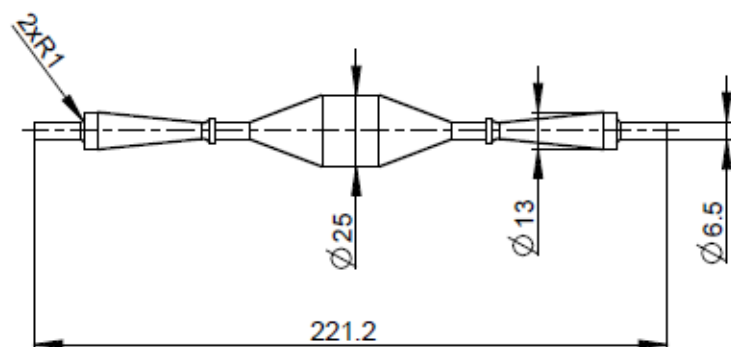
Mezní úchytky

Úchytky v milimetrech

d	od	5,5	16	26	36	55	85	105	125	170
	do	15	25	35	50	80	100	120	160	210
Mezní úchytky		±0,4	±0,5	±0,6	±0,8	±1,0	±1,3	±1,5	±2,0	±2,5

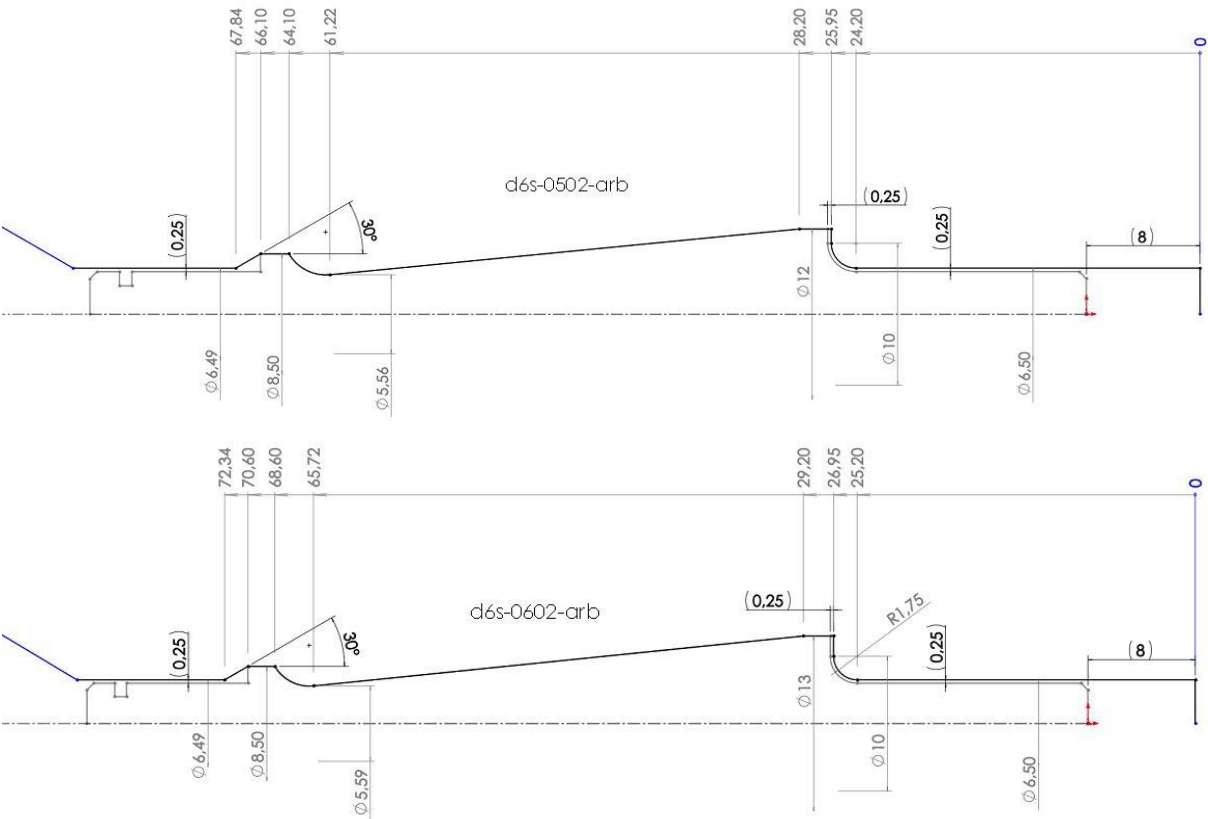
PŘÍLOHA 4 – HRUBOVACÍ VÝKRESY BŘITŮ



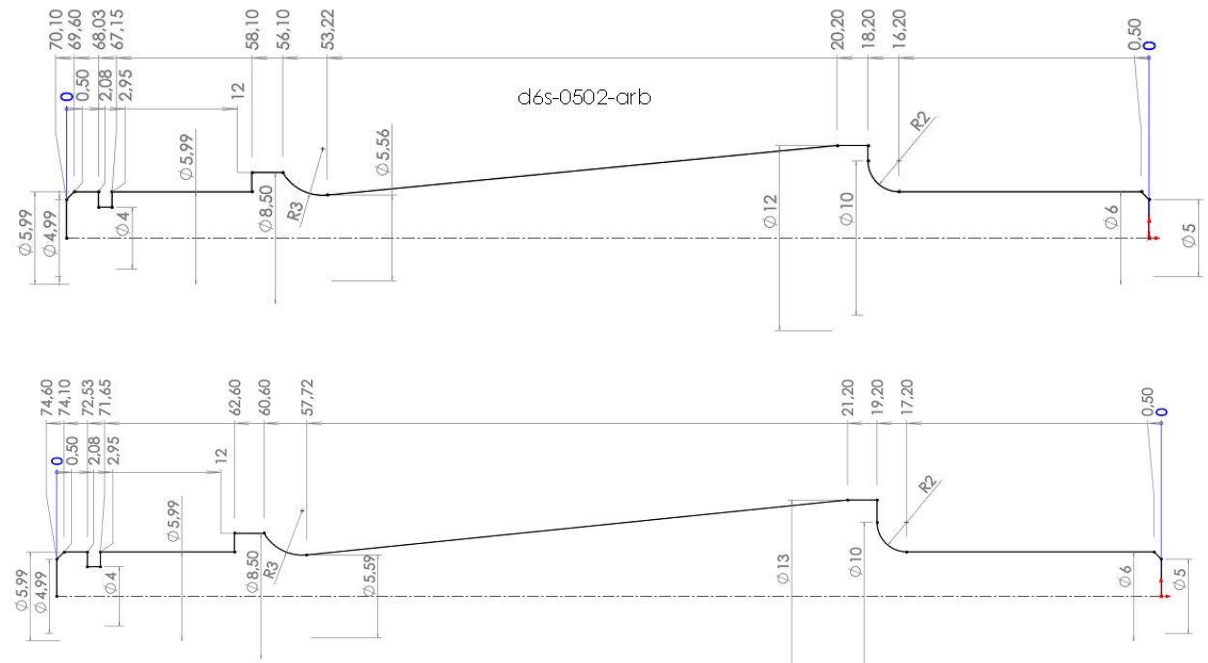


			Hmotnosť	Pocet kusu
			0,227 kg	3
Tolerovani	ISO 8015	Promitani	Krealil T. Marko	
Presnost	ISO 2768			
Material	14 260		Kontakt + 420 721 882 171	
Polotovár	---		Meritko	
Nazev	hrub arb		1:2	
Cislo vykresu	D6S-0602-HRUB		List	Format
			1 / 1	A4

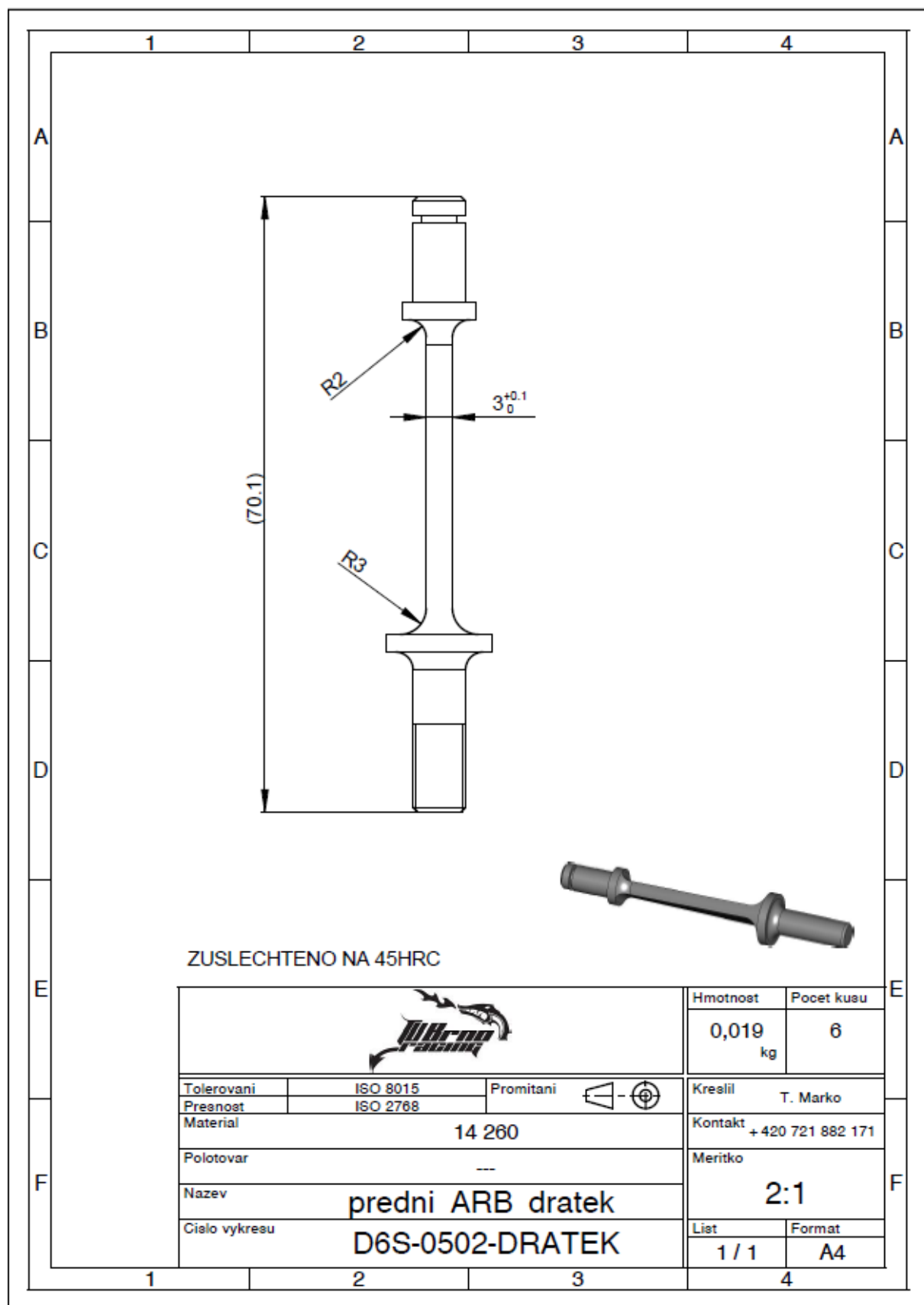
PŘÍLOHA 5 – KONTURA HRUBOVACÍ

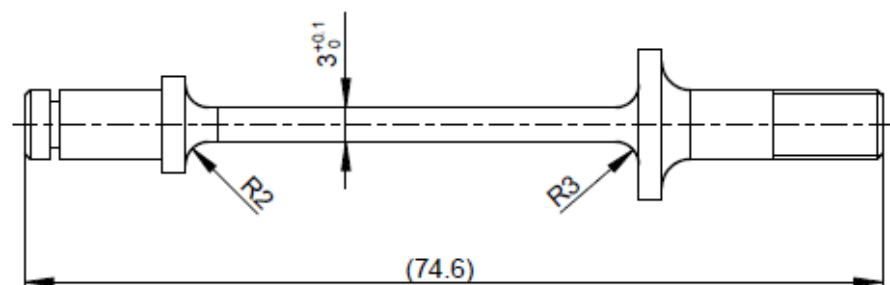


PŘÍLOHA 6 – KONTURA DOKONČOVACÍ



PŘÍLOHA 7 – VÝKRESY PRO OBRÁBĚNÍ DRÁTOŘEZEM





ZUSLECHTENO NA 45HRC

			Hmotnosť	Počet kusů
			0,020 kg	6
Tolerovani	ISO 8015	Promitani	Kreslil T. Marko	
Přesnost	ISO 2768		Kontakt +420 721 882 171	
Material	14 260		Meritko	
Polotovár	---		2:1	
Název	zadní ARB drátek		List	Format
Číslo výkresu	D6S-0602-DRATEK		1 / 1	A4

PŘÍLOHA 8 – VÝPOČTY VÝROBNÍCH ČASU V PROGRAMU TPV

Nastavení stroje		Základní informace		Dokumenty/Soubory	
Přibližná hmotnost dílce:	1	Stroj:	NC	t _{AC}	0,00 min
Obrobitelnost:	11b - ocel	Programování:	Složitost jednoduchá	t _{BC}	75,60 min
Počet kusů v dávce:	3	☐ Jeřáb		t _D /ks	25,20 min
				t _D celk	75,60 min

[Nový úkon](#)

Nastavení stroje		Základní informace		Dokumenty/Soubory	
Přibližná hmotnost dílce:	1	Stroj:	NC	t _{AC}	1,30 min
Obrobitelnost:	11b - ocel	Programování:	Složitost jednoduchá	t _{BC}	90,60 min
Počet kusů v dávce:	3	☐ Jeřáb		t _D /ks	31,50 min
				t _D celk	94,50 min

[Nový úkon](#)

	Počet	Obrobitelnost	Text operace	Parametry	Poznámka	Nástroj	Počet třísek	Otáčky	Posuv	Výk. m. (kW)	tAC (min)			
1	☒		Příprava pracoviště	Příprava dorazu a kleštin do sklídiště BC = 10										
2	☒		Příprava pracoviště	Příprava řezných nástrojů BC = 5										
3	☒	2	Upnout, přepnout	Do sklídiště a hrotu							0,9			
▶ 4	☒	1	11b - ocel	Vřítat	Pr. 2,5 - 2	HSS	2+1	1 019	0,04	0,0	0,4			

	Počet	Obrobitelnost	Text operace	Parametry	Poznámka	Nástroj	Počet třísek	Otáčky	Posuv	Výk. m. (kW)	tAC (min)			
1	☒	2	11b - ocel	Podélné soustružení vnější	Výchozí/požadovaný průměr - délka: 20,18 - 106,1 Drsnost: 12,5	SK	0+1	716	0,30	2,8	1,4			
▶ 2	☒	1	11b - ocel	Podélné soustružení vnější	Výchozí/požadovaný průměr - délka: 18,6,25 - 24,2 Drsnost: 12,5	SK	2+1	796/1 549	0,50/0,30	7,7/2,8	0,6			
3	☒	1	11b - ocel	Sražení	Vnitřní radius R 1,75 na průměru 6,25 Drsnost: 12,5	SK					0,1			
4	☒	1	11b - ocel	Soustružení čela	Průměr čela - délka: 12 - 1 Drsnost: 12,5	SK	0+1	1 194	0,30	2,8	0,2			

	Počet	Obrobitelnost	Text operace	Parametry	Poznámka	Nástroj	Počet třísek	Otáčky	Posuv	Výk. m. (kW)	tAC (min)			
1	☒	1	11b - ocel	Podélné soustružení vnější	Výchozí/požadovaný průměr - délka: 12,10 - 2,25 Drsnost: 12,5	SK	0+1	1 194	0,30	2,8	0,2			
2	☒	1	11b - ocel	Podélné soustružení vnější	Výchozí/požadovaný průměr - délka: 12,5,59 - 36,07 Drsnost: 12,5	SK	1+1	1 194/1 668	0,50/0,30	4,9/2,8	0,5			
▶ 3	☒	1	11b - ocel	Sražení	Vnitřní radius R 3 na průměru 8,5 Drsnost: 12,5	SK					0,1			
4	☒	1	11b - ocel	Podélné soustružení vnější	Výchozí/požadovaný průměr - délka: 12,8,5 - 2 Drsnost: 12,5	SK	0+1	1 194	0,30	2,8	0,2			

	Počet	Obrobitelnost	Text operace	Parametry	Poznámka	Nástroj	Počet třísek	Otáčky	Posuv	Výk. m. (kW)	tAC (min)			
▶ 1	☒	1	11b - ocel	Sražení	Vnější sražení 1,74x30-45st na průměru 6,49 Drsnost: 12,5	SK					0,1			
2	☒	1	11b - ocel	Podélné soustružení vnější	Výchozí/požadovaný průměr - délka: 12,6,5 - 13 Drsnost: 12,5	SK	0+1	1 194	0,30	2,8	0,2			

Nastavení stroje		Základní informace		Dokumenty/Soubory	
Přibližná hmotnost dílce:	1	Stroj:	NC	t _{AC}	3,10 min
Obrobitelnost:	8b - ocel	Programování:	Složitost jednoduchá	t _{BC}	75,60 min
Počet kusů v dávce:	3	☐ Jeřáb		t _D /ks	28,30 min
				t _D celk	84,90 min

[Nový úkon](#)

	Počet	Obrobitelnost	Text operace	Parametry	Poznámka	Nástroj	Počet třísek	Otáčky	Posuv	Výk. m. (kW)	tAC (min)			
1	☒	2	Upnout, přepnout	Do sklídiště a hrotu							0,9			
▶ 2	☒	1	8b - ocel	Podélné soustružení vnější	Výchozí/požadovaný průměr - délka: 6,5/6 - 24,2 Drsnost: 1,6	SK	0+1	1 469	0,15	0,3	0,9			
3	☒	1	8b - ocel	Sražení	Vnitřní radius R 2 na průměru 6 Drsnost: 1,6	SK					0,4			
4	☒	1	8b - ocel	Soustružení čela	Průměr čela - délka: 12 - 1 Drsnost: 1,6	SK	0+1	796	0,15	0,3	0,9			

	Počet	Obrobitelnost	Text operace	Parametry	Poznámka	Nástroj	Počet třísek	Otáčky	Posuv	Výk. m. (kW)	tAC (min)			
1	☒	1	8b - ocel	Podélné soustružení vnější	Výchozí/požadovaný průměr - délka: 6,49/6 - 12 Drsnost: 1,6	SK	0+1	1 471	0,15	0,3	0,9			
2	☒	2	8b - ocel	Sražení	Vnější sražení 0,5x30-45st na průměru 5,99 Drsnost: 1,6	SK					0,7			
3	☒	3	8b - ocel	Soustružení závitů vnější	Rozměr závitů x stoupání - délka: 6/1 - 10				928		1,9			
▶ 4	☒	1	8b - ocel	Soustružení závitů, výpichu vnější	Průměr: 5,99 - hloubka 1, šířka 0,87 Drsnost: 6,3	SK		1 196			0,1			
	Počet	Obrobitelnost	Text operace	Parametry	Poznámka	Nástroj	Počet třísek	Otáčky	Posuv	Výk. m. (kW)	tAC (min)			
▶ 1	☒	2	8b - ocel	Soustružení závitů, výpichu vnější	Průměr: 5,99 - hloubka 5,99, šířka 2 Drsnost: 6,3	SK		1 196			0,2			

PŘÍLOHA 9 – VÝPOČTY STROJNÍCH ČASŮ PODLE VZORCŮ

ZADANÉ HODNOTY			ZADANÉ HODNOTY						VÝSLEDEK			
D (mm)	vc (m min-1)	n (min-1)	f (mm)	l (mm)	ln (mm)	lp (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	ap (mm)	i	L (mm)	tAs (min)
18	410	7254,07	0,3	106,1	2	0	20	18	2	1	108	0,050
13	410	10044,10	0,3	106,1	2	0	18	13	2	3	108	0,090
6,5	410	20088,19	0,3	25,95	0	0	13	6,50	2	3	26	0,014
12	410	10881,10	0,3	2,25	0	0	13	12	2	1	2	0,0003
5,56	410	23484,40	0,3	36,07	2	0	13	5,56	2	4	38	0,020
5,56	410	23484,40	0,3	4,71	0	0	0	0	2	0	5	0,001
5,56	410	23484,40	0,3	2	2	0	0	0	2	0	4	0,001
5,56	410	23484,40	0,3	2,97	0	0	0	0	2	0	3	0,000
6,49	410	20119,14	0,3	12	0	0	13	6,49	2	3	12	0,006
18	410	7254,07	0,3	26,66	0	0	0	0	2	0	27	0,012

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$
$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D}$$

Strojní čas po polovinu hrubovacího kusu

Celkový strojní čas hrubovací součásti

0,194

0,388

11,65 s

23,30 s

$$t_{As} = \frac{L \cdot i}{n \cdot f}$$
$$L = l + \ln + lp$$
$$i = \frac{D_1 - D_2}{ap}$$

ZADANÉ HODNOTY			VÝSLEDEK		
D (mm)	vc (m min-1)	n (min-1)			
18	410	7254,07			
14	410	9326,66			
6,5	410	20088,19			
13	410	10044,10			
5,59	410	23358,36			
5,59	410	23358,36			
5,59	410	23358,36			
5,59	410	23358,36			
6,49	410	20119,14			
18	410	7254,07			

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$
$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D}$$

HRUBOVÁNÍ ZADNÍHO BŘITU											
ZADANÉ HODNOTY									VÝSLEDEK		
f (mm)	l (mm)	ln (mm)	lp (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	ap (mm)	i	L (mm)	tAs (min)		
0,3	110,6	2	0	20	18	2	1	113	0,052	0	$t_{As} = \frac{L \cdot i}{n \cdot f}$
0,3	110,6	2	0	18	14	2	2	113	0,080	1	
0,3	26,95	0	0	14	6,50	2	4	27	0,017	2	
0,3	2,25	0	0	14	13	2	1	2	0,000	5	$L = l + l_n + l_p$
0,3	39,85	2	0	14	5,59	2	4	42	0,025	6	
0,3	4,71	0	0	0	0	2	0	5	0,001	7	
0,3	2	2	0	0	0	2	0	4	0,001	8	
0,3	2,97	0	0	0	0	2	0	3	0,000	9	
0,3	12	0	0	14	6,49	2	4	12	0,007	10	$i = \frac{D_1 - D_2}{ap}$
0,3	26,66	0	3	0	0	2	0	30	0,014	11	

Strojní čas po polovinu hrubovacího kusu

Celkový strojní čas hrubovací součásti

0,197

0,394

11,83 s

23,67 s

DOKONČOVÁNÍ PŘEDNÍHO BŘITU												
ZADANÉ HODNOTY			ZADANÉ HODNOTY							VÝSLEDEK		
D (mm)	vc (m min-1)	n (min-1)	f (mm)	l (mm)	ln (mm)	lp (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	ap (mm)	i	L (mm)	tAs (min)
6	185	9819,53	0,14	25,77	3	0	6,50	6,00	0,30	2	29	0,021
12	185	4909,77	0,14	1	0	0	12,0	10,0	0,30	7	1	0,001
5,99	185	9835,93	0,14	10,26	0	2	6,49	5,99	0,30	2	12	0,009
5,99	100	5316,72	0,08	1,74	2	0	6,49	5,99	0,70	1	4	0,009
6	125	6634,82	1	10	2	0	6,00	6,00	0,58	3	12	0,005
4	120	9554,14	0,05	0,87	1	0	5,99	4,00	0,30	7	2	0,002
5,99	80	4253,37	0,05	0	1	0	6,00	0,00	5,99	1	1	0,014
5,99	80	4253,37	0,05	0	1	0	6,00	0,00	5,99	1	1	0,014

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D}$$

Strojní čas po polovinu hrubovacího kusu

Celkový strojní čas hrubovací součásti

0,076

0,152

4,55 s

9,10 s

$$t_{As} = \frac{L \cdot i}{n \cdot f}$$

$$t_s = \frac{D_1 - D_2}{2 \cdot n \cdot f}$$

$$L = l + ln + lp$$

<

PŘÍLOHA 10 - PROTOKOL O CHEMICKÉM SLOŽENÍ MATERIÁLU 14 260 (DIN 1.7102)



Protokol o chemickém složení

Materiál: 14 260
Zadavatel: Tibor Marko, Bc.
Označ. vzorku: Břit stabilizátoru

Protokol č.: 004/2016
Poř. číslo knihy: 004/2016
Zkušební stroj: Spectrumat GDS 750

Výsledné chemické složení:

Ozn. vzorku	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	W	Cu	Al
Břit stabilizátoru	0,58	0,71	1,46	0,007	0,013	0,66	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,000

Ozn. vzorku	Ti	Co	B	Sn	Sb	Nb						
Břit stabilizátoru	0,00	0,00	0,000	0,01	0,00	0,00						

Zpracoval: Ing. Pavel Doležal, Ph.D.

PŘÍLOHA 11 – MECHANICKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLU

ČSN 41 4260				Si-Cr ocel na pružiny				OCEL	
STN 41 4260								14 260	
Chemické složení [hm. %]									
C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S		
0,50–0,60	0,50–0,80	1,30–1,60	0,50–0,70	max 0,50	max 0,30	max 0,035	max 0,035		
Polotovary									
[1] předvalky				[5] pásy a pruhy válcované za studena					
[2] tyče válcované za tepla				[6] dráty tažené za studena					
[3] tenké plechy válcované za tepla				[7] tyče tažené za studena					
[4] tlusté plechy válcované za tepla									
Mechanické vlastnosti									
Polotovary	[2]		[3]	[4]	[5]				
Rozměr t, d [mm]	–	30 ¹⁾	0,8–2,8	3–10	–				
Stav	.3	.7	.3	.3	.7				
Mez kluzu R _e nebo R _p 0,2 [MPa] min	–	1 175	max 880	–	–				
Mez pevnosti R _m [MPa]	–	1 370–1 670	–	–	1 420–1 620				
Tažnost A ₅ [%] min	–	7	–	–	–				
Kontrakce Z [%] min	–	25	–	–	–				
Tvrdost HB, HV	HB max 235	HB 411–485	HB max 253	HB max 253	HV 450–505				
Modul pružnosti E [GPa]	200								
Modul pružnosti ve smyku G [GPa]	78,5								
Polotovary	[6]		[7]						
Rozměr t, d [mm]	1–16		30						
Stav	.7	.8	.7	.8					
Mez kluzu R _e nebo R _p 0,2 [MPa] min	1 175	1 275	1 175	1 275					
Mez pevnosti R _m [MPa]	1 370–1 670	1 470–1 770	1 370–1 670	1 470–1 770					
Tažnost A ₅ , A ₁₀ [%] min	A ₁₀ = 5	A ₁₀ = 4	A ₅ = 7	A ₅ = 6					
Tvrdost HB	411–485	438–507	411–485	438–507					

Fyzikální vlastnosti				
Hustota ρ [kg . m ⁻³]	Měrná tepelná kapacita c_p [J . kg ⁻¹ . K ⁻¹]	Teplotní součinitel roztažnosti α [K ⁻¹]	Tepelná vodivost λ_t [W . m ⁻¹ . K ⁻¹]	Rezistivita ρ [Ω . m]
7 850	—	—	—	—
Technologické údaje				
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ				
normalizační žhání	850–890 °C	pomalu ochlazovat na vzduchu		
žhání na měkko	710–750 °C	pomalu ochlazovat v peci		
kalení	840–880 °C	olej		
popouštění	380–580 °C	ochlazovat na vzduchu		
teploty přeměn	$A_{C1} \sim 765$ °C	$A_{C3} \sim 815$ °C	$M_s \sim 310$ °C	
TVAŘITELNOST				
třída tvařitelnosti za tepla 2	teploty tváření 1 100–840 °C		pomalu ochlazovat	
OBROBITELNOST		soustružení, hoblování, frézování, vrtání		
polotovary [2]	stav . 2	$R_m \leq 980$ MPa	11 b	
polotovary [2] [3] [4]	stav . 3	$R_m \leq 880$ MPa	11 b	
polotovary [2]	stav . 7	$R_m \leq 1\,670$ MPa	7 b	
	stav . 8	$R_m \leq 1\,770$ MPa	7 b	
polotovary [4]	stav . 9	$R_m \leq 2\,260$ MPa	6 b	
TECHNOLOGICKÉ ZKOUŠKY				
zkouška lámavosti podle ČSN 42 0401				
polotovary [3] úhel ohybu $\alpha = 90^\circ$ $\varnothing$ trnu D = 4 a				
úhel a nejmenší vnitřní poloměr ohybu r při tváření za studena				
polotovary [5] . 3	$a \leq 3$ mm	$\alpha = 180^\circ$	$r = 4$ a	
	$a \leq 1$ mm	$\alpha = 90^\circ$	$r = 9$ a	
. 7	$1 < t \leq 2$ mm	$\alpha = 90^\circ$	$r = 10$ a	
Použití				
Vhodná na více namáhané pružiny v konečném stavu . 7 nebo . 8, používané zvláště pro automobily a železniční vozy, dále pro ventilové pružiny do teploty 300 °C. Rovinné součásti vyžadující odolnost proti opotřebení, jako vyložení skluzů, obložení aktivních částí stavebních a zemědělských strojů. Nelze je svařovat a tvarovat.				

Ostatní vlastnosti

Druh oceli podle způsobu výroby	Barevné značení podle ČSN 42 0010	Třída odpadu podle ČSN 42 0030
kyslíková konvertorová, martinská nebo elektroocel	modrá – červená – černá	001

Porovnání se zahraničními materiály

ISO		EURO		Německo	
–	–	–	–	54SiCr6	DIN 17221-72
Francie		Velká Británie		Rusko	
54SiCr6 60SC7	NF A35-571-96 NF A35-522-86	250A61 251A58	BS 970/5-72 BS 970/1-88	60S2ChA	GOST 14959-79
USA		Japonsko		Kanada	
9260	ASTM A322	SUP7	JIS G4801-77	–	–
Itálie		Rakousko		Švédsko	
48Si7	–	–	–	2090	SS142090
Polsko		Maďarsko		Norsko	
60S2	PN H84032-74	–	–	–	–
Finsko		Švýcarsko		Španělsko	
–	–	–	–	–	–
Čína		–		–	
60Si2CrA	GB1222-84	–	–	–	–

Poznámky

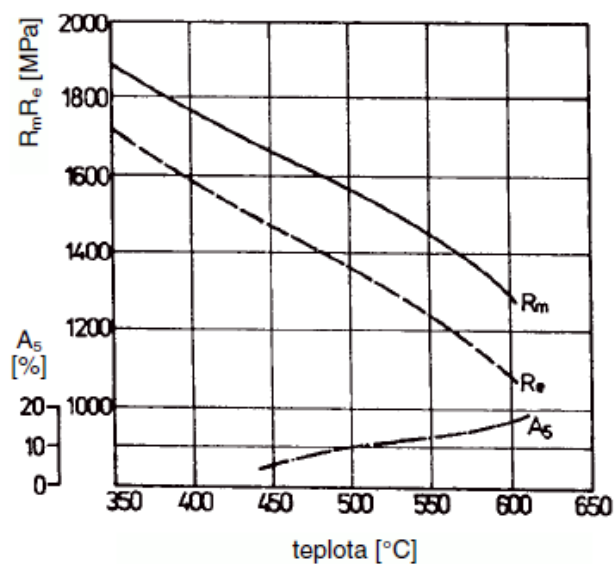
¹⁾ referenční vzorek

PŘÍLOHA 12 – POPOUŠTĚCÍ DIAGRAM

OCEL 14 260

ČSN 41 4260

Popouštěcí diagram



Pás prokalitelnosti

