



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

NÁVRH VARIANTY MOTOCYKLOVÉ KONVENČNÍ KYVNÉ VIDLICE Z HLINÍKOVÝCH SLITIN

DESIGN OF CONVENTIONAL MOTORCYCLE SWINGARM MADE FROM ALUMINUM ALLOY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Adlof

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lubor Zháňal, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Michal Adlof**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Lubor Zháňal, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

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 bakalářské práce:

Návrh varianty motocyklové konvenční kyvné vidlice z hliníkových slitin

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte variantu konvenční kyvné vidlice z lehkých hliníkových slitin pro motocykl těžší váhové kategorie. Provedte silový rozbor namáhání vidlice od motocyklu. U navržené varianty porovnejte hmotnost a torzní tuhost se stávající prototypovou vidlicí svařenou z ocelových profilů. Kontrolním výpočtem (např. metodou konečných prvků) zoptimalizujte kritická místa. Vypracujte výkresovou dokumentaci navržené kyvné vidlice.

Cíle bakalářské práce:

Silový rozbor namáhání vidlice.

CAD návrh vidlice.

Analýza zatěžování a úprava kritických míst modelu.

Výpočetní porovnání hmotnosti a torzní tuhosti s referenčním řešením.

Vyhotovení výkresové dokumentace.

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, J. E., MISCHKE, C. R., BUDYNAS, R G. Konstruování strojních součástí. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

GILLESPIE, T. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992. 519 s. ISBN 1-56091-199-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem kyvné vidlice z hliníkových slitin. Teoretická část je věnována bližšímu popisu vidlic. Jsou zde popsány starší způsoby uložení kola a také popsány a porovnány čtyři základní varianty kyvných vidlic. Praktická část práce je zaměřena na konstrukční přepracování ocelové kyvné vidlice. Následují výpočty sil a pevnostní analýza. Práce je zakončena porovnáním původní ocelové a přepracované hliníkové kyvné vidlice. Součástí práce je kompletní výkresová dokumentace potřebná pro výrobu, která je umístěna v příloze.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kyvná vidlice, podvozek, odpružení, motocykl, Jawa, konstrukce

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the proposal of the swingarm from aluminium alloys. The theoretical part is devoted to a closer description of the swingarm. Here, the older ways of wheel deposition are described, followed by a comparison of the four basic variations of the swinging forks. The practical part of the thesis is then focused on the design overhaul of the steel swingarm. In the next part, the calculations of forces and stress analysis are presented. Subsequently, the original steel and redesigned aluminium swingarm are compared. And finally, the complete drawing documentation needed for the production can be found in the annex.

KEYWORDS

Swingarm, chassis, suspension, motorcycle, Jawa, construction

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ADLOF, Michal. *Návrh varianty motocyklové konvenční kyvné vidlice z hliníkových slitin*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125015>.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 51 s. Vedoucí práce Lubor Zháňal.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Lubora Zháňala, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 11. září 2020

.....

Michal Adlof

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Luboru Zháňalovi, Ph.D za ochotu a cenné rady při psaní této závěrečné práce. Velké poděkování patří také firmě JAWA Moto spol. s r. o. a jejím zaměstnancům za spolupráci a poskytnutí potřebných podkladů a informací. Tvorba práce by se neobešla bez patřičné podpory rodiny a blízkých, kterým patří největší dík.

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| Úvod..... | 11 |
| 1 Kyvná vidlice..... | 12 |
| 1.1 Konstrukční provedení | 13 |
| 1.1.1 Ramena | 14 |
| 1.1.2 Most..... | 14 |
| 1.1.3 Pouzdra uložení | 14 |
| 1.1.4 Uložení osy kola | 15 |
| 1.1.5 Uložení pružící jednotky | 15 |
| 1.1.6 Doplnkové komponenty | 15 |
| 1.2 Materiály..... | 15 |
| 2 Předchůdci kyvné vidlice | 16 |
| 2.1 Pevný rám..... | 16 |
| 2.2 Kluzákové odpružení..... | 16 |
| 3 Konstrukční varianty kyvné vidlice | 17 |
| 3.1 Konvenční kyvná vidlice | 17 |
| 3.2 Konzolová kyvná vidlice | 18 |
| 3.3 Kyvná vidlice s centrálním odpružením a přepákováním | 18 |
| 3.4 Jednoramenná kyvná vidlice | 19 |
| 4 Porovnání konstrukčních variant | 20 |
| 5 Zatěžování | 22 |
| 6 Konstrukční práce | 24 |
| 6.1 Požadavky a cíle | 24 |
| 6.2 Původní ocelová konstrukce..... | 25 |
| 6.3 Návrh nového konstrukčního řešení | 26 |
| 6.3.1 Koncovky | 27 |
| 6.3.2 Ramena | 27 |
| 6.3.3 Most..... | 28 |
| 6.3.4 Pouzdra uložení | 28 |
| 6.3.5 Zbylé komponenty vidlice | 29 |
| 6.3.6 Úprava navazujících komponent | 29 |
| 6.4 Volba materiálů a úpravy povrchů | 31 |
| 7 Výpočet reakčních sil..... | 32 |
| 7.1 Zhodnocení výpočtů | 38 |
| 8 Pevnostní analýza | 39 |
| 8.1 Kontrola ocelové kyvné vidlice..... | 40 |
| 8.2 Kontrola hliníkové kyvné vidlice | 41 |
| 8.3 Srovnání torzních tuhostí..... | 42 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 9 | Porovnání variant | 43 |
| 10 | Další konstrukční vývoj | 45 |
| | Závěr | 46 |
| | Použité informační zdroje | 47 |
| | Seznam použitých zkratk a symbolů | 49 |
| | Seznam příloh..... | 51 |

ÚVOD

V dobách, kdy auta nebyla pro běžné obyvatelstvo dostupná, byl motocykl nedílnou součástí života a sloužil primárně k přepravě lidí a převozu zboží. Za tímto účelem byly motocykly vyráběny a výsledným produktem byly jednoduché a levné stroje, dostupné téměř pro každého. S nárůstem automobilismu se tato situace začala obracet a motocykly tak musely ustoupit automobilům. Motocykly se za posledních pár desetiletí proměnily z vozidel pro každodenní použití na stroje primárně určené k občasné rekreaci a k zábavě. Motocyklisté začali více upřednostňovat kvalitu jízdy nad cenou a jednoduchostí, což vedlo ke vzniku sofistikovanějších strojů s moderní konstrukcí a novými technologiemi. Zásadní vliv na kvalitu jízdy má podvozek motocyklu, jehož je kyvná vidlice součástí.

Bakalářská práce je zaměřena na konstrukci konvenční kyvné vidlice. Tato práce vznikala ve spolupráci s firmou JAWA Moto spol. s r.o. z Týnce nad Sázavou, která se více než 90 let zabývá vývojem a výrobou motocyklů [1]. Požadavkem konstrukčního oddělení byla přestavba stávající ocelové kyvné vidlice. Cílem této práce je navržení konvenční kyvné vidlice z hliníkových slitin, která by byla plně zaměnitelná za stávající ocelovou verzi. Továrnou mi byly poskytnuty potřebné informace a podklady včetně 3D modelu a rozměrů původního řešení, které jsou důležité při návrhu nového provedení.



Obr. 1 Logo firmy JAWA Moto spol. s r. o. [2]

1 KYVNÁ VIDLICE

Kyvná vidlice je součástí podvozku motocyklu. Společně s rámem a odpružením obou kol tvoří tzv. podvozkovou skupinu stroje. Nejčastěji se jedná se o konstrukci tvaru písmene U, kde je mezi volné konce vložené kolo s unašečem a druhý konec je otočně uložený přes čep v rámu. Pro zajištění požadovaného kyvného pohybu je vždy nutné podvozek osadit pružicí jednotkou. V opačném případě by umístění vidlice do rámu postrádalo význam.

Nejběžnější konfigurací podvozku motocyklu je použití kyvné vidlice pro odpružení zadního kola a teleskopické vidlice pro kolo přední [3]. Toto uspořádání není pravidlem a např. u speciálních terénních strojů mohou být obě kola odpružena kyvnou vidlicí.

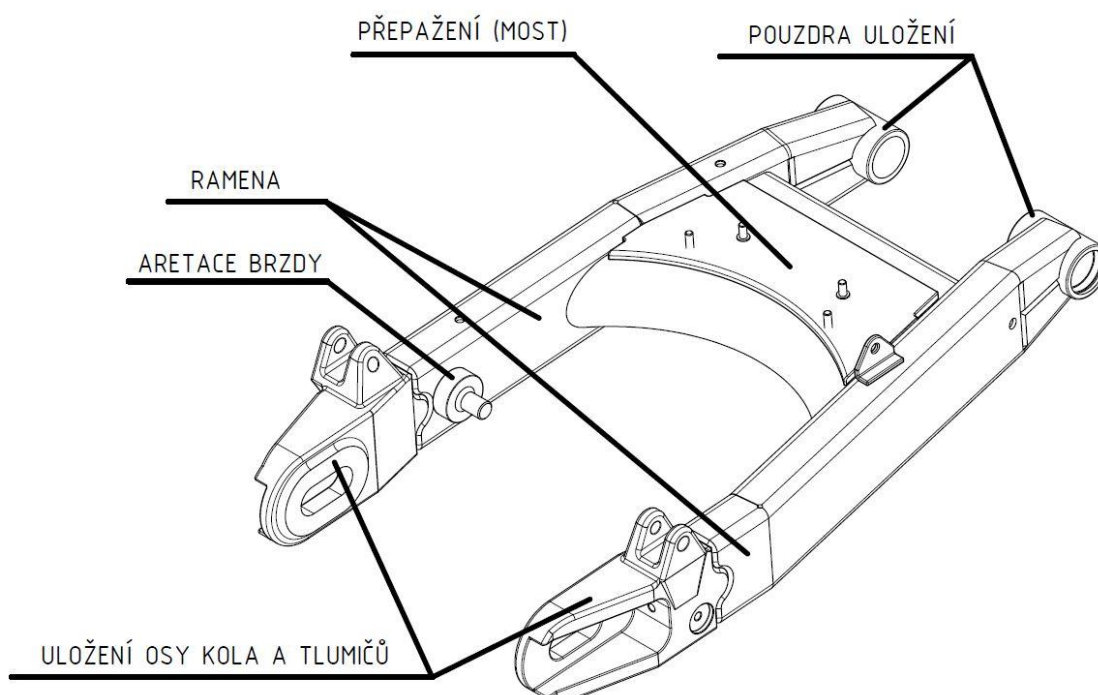
Při použití kyvné vidlice se velká část rázů od zadního kola přenáší do pružicí jednotky a jsou tlumičem utlumeny. Tím se nejen zvyšuje jízdní komfort posádky, ale také je zajištěn lepší kontakt s vozovkou při přejezdu nerovností, což vede k lepší ovladatelnosti a bezpečnosti jízdy a zvyšuje se také životnost stroje [4].



Obr. 2 Umístění kyvné vidlice [6]

1.1 Konstrukční provedení

Existují různé konstrukční varianty a tvary kyvných vidlic, avšak jejich hlavní části jsou stále označovány stejně. Ramena jsou vzájemně přepažena tzv. mostem a společně tak udávají vidlici hlavní tvar. Na konci ramen se nachází uložení osy kola, které zajišťuje správné usazení kola vůči motocyklu, a na druhé straně ramen jsou umístěna pouzdra pro uložení hlavního čepu. Kyvná vidlice je s rámem spojena hlavním čepem a také pružicí jednotkou, která má své uložení převážně na mostě kyvné vidlice. U konvenční vidlice se využívají dvě shodné pružicí jednotky, které mají svá uložení na koncích obou ramen v blízkosti osy kola, viz obr. 3.



Obr. 3 Schéma kyvné vidlice

Pro dosažení co nejlepšího využití a úspory místa se na vidlici umísťují další konstrukční komponenty jako jsou např. úchyty pro blatník a krytování řetězu, rolny, mechanismus napínání řetězu atd. Rolny se používají pro uchycení zvedacího zařízení, díky kterému lze pohodlně provádět servis stroje. Konkrétní použití v praxi lze pozorovat na obr.4. Pro správnou funkci brzdy je nutné vidlici osadit tzv. aretací brzdy, která zabráňuje jejímu protočení. Nejběžnějšími materiály jsou slitiny hliníku a oceli. Konstrukce bývá nejčastěji svařovaná z jednotlivých komponent, kde mohou být některé části odlévány. Není výjimkou, že se u některých strojů vyskytuje vidlice odlévaná jako celek (platí pro slitiny hliníku). Výsledné provedení kyvné vidlice se může u každého výrobce výrazně lišit.



Obr. 4 Zvedání motocyklu za rolny kyvné vidlice [7]

1.1.1 RAMENA

Ramena jsou dominantní částí kyvné vidlice a propojují všechny komponenty v jeden funkční celek. Standardně bývá základem ramen vhodně natvarovaný normalizovaný profil. U cenově dražších strojů mohou být ramena tvarována ve formách např. metodou hydroformu (tváření stlačenou kapalinou [8]). Jedná se o prvek nejvíce namáhaný na ohyb a krut.

1.1.2 MOST

Dvojici ramen spojuje most, jehož úkolem je zajištění dostatečné tuhosti celé konstrukce. Pro bezpečný provoz je nutné, aby se obě ramena pohybovala souběžně. Nežádoucí kroucení vidlice se nejvíce projevuje při průjezdu zatáčkou, kde na kolo působí i boční síly [9]. U některých variant kyvné vidlice může být most také jako připojovací místo pro pružící jednotku. Přepažení bývá výrobně řešeno obvykle jako odlitek, obrobek nebo svařenec.

1.1.3 POUZDRA ULOŽENÍ

Kyvný pohyb je umožněn otočným uložením, které bývá nejčastěji realizováno soustavou kluzných nebo valivých ložisek [5]. Tato ložiska jsou uložena v přesně obrobených válcových otvorech na kyvné vidlici. Pro uložení ložisek je podstatné, aby byly dostatečně dimenzované a nedošlo k vytržení vidlice z rámu při prudkém brždění nebo při překonávání překážek. Pro navýšení tuhosti rámu a snížení jeho namáhání je vhodné sloučit uložení kyvné vidlice a motoru (popř. převodovky) na společný čep [5].

1.1.4 ULOŽENÍ OSY KOLA

Osa zadního kola je uložena v oválných otvorech na konci ramen. Tyto otvory umožňují podélný posuv osy kola a tím také případné seřízení průhybu sekundárního řetězu. Otvory pro uložení osy kola by měly být tak dlouhé, aby při posunutí kola do krajních poloh bylo možné prodloužit, popř. zkrátit řetěz o jeden vnitřní a jeden vnější článek. Konkrétní poloha osy se seřizuje napínacím mechanismem, který se nejčastěji ovládá otáčením šroubu (popř. matice) [5].

1.1.5 ULOŽENÍ PRUŽÍCÍ JEDNOTKY

U konvenční kyvné vidlice se uložení odpružení nachází na koncích ramen. Pro zachování správné funkce odpružení je nutné, aby bylo uložení pružící jednotky otočné. Pružící jednotky jsou téměř vždy zakončeny vidličkou nebo okem. Pokud je oko na kyvné vidlici, tak jednotka musí být zakončena vidličkou a tento vztah platí i opačně (vidlička na vidlici a oko na tlumiči). Pružící jednotku zakončenou okem lze k vidlici připevnit také nasunutím na vetknutý čep, který bývá následně zajištěn maticí. Vetknutý čep je více namáhaný, jelikož na volném konci není podepřen a může tak docházet k deformacím. Do oka bývá obvykle nalisovaný gumový element, který napomáhá tlumit vibrace a rázy. U uložení je důležité vhodně volit materiály, jelikož se jedná o část vidlice, kde působí velké síly.

1.1.6 DOPLŇKOVÉ KOMPONENTY

Pro zjednodušení konstrukce hlavního rámu a co nejvýhodnější využití prostoru bývá vidlice nosičem dalších komponent, jako jsou např. stupačky spolujezdce, upevňovací prvky blatníku a krytování, příslušenství k zadní brzdě (snímač ABS, aretace brzdy, uložení brzdové hadičky...), prvky pro seřízení prověšení řetězu, rolly atd.

1.2 Materiály

Standardním materiálem kyvných vidlic bývá již mnoho let ocel, která je dobře dostupná, jelikož se jedná o velmi rozšířený materiál. S dostupností úzce souvisí cena materiálu a také snadnější přístup k technologickým procesům, jako je např. svařování. Její mechanické vlastnosti dostatečně splňují kritéria, které jsou na materiál vidlice kladeny. Největší slabinou a také důvodem, proč se od ocelí v současné době ustupuje, je její měrná hmotnost, která má za následek nárůst neodpružených hmot. Pro odlehčení se začaly vidlice vyrábět z hliníkových slitin, kde nízká měrná hmotnost byla vykoupena horšími mechanickými vlastnostmi a vyššími výrobními náklady. Tyto parametry byly důvodem, proč se v dřívějších dobách tento materiál využíval pouze u závodních strojů a u sériových stále převládala ocel. Intenzivní vývoj hliníkových slitin vedl ke zvýšení kvality materiálu, zdokonalování výrobních technologií a také k vývoji nových tvářecích metod, jako je např. hydroforming. V současné době se využívají oba materiály, avšak nyní již převládají hliníkové slitiny, které působí atraktivnějším a dražším dojmem a zvyšují tím prodejnost celého stroje. Volba materiálu závisí převážně na cenové kategorii motocyklu, dostupných technologiích a také na konstrukci a využití stroje.

2 PŘEDCHŮDCI KYVNÉ VIDLICE

Stejně jako u každého jiného zařízení, tak i u kyvné vidlice probíhal dlouholetý vývoj. Základní variantou, od které se dále vše odvíjí, je uložení kola v pevném rámu. Umístěním pružící jednotky do pevného rámu vzniklo tzv. „kluzákové zavěšení kola“, ze kterého se následně vyvinulo odpružení s kyvnou vidlicí.

2.1 Pevný rám

První historické návrhy rámu motocyklu vycházely z rámu jízdního kola. Jednalo se o vyztužený rám upravený pro zabudování motoru. Jediným odpružením zde byly pneumatiky, popř. odpružené sedlo. S nárůstem rychlosti a hmotnosti motocyklů se začaly vyrábět první rámy s odpruženou přední vidlicí. Během druhé světové války došlo k vytlačení pevného rámu variantami s odpruženým zadním kolem. V současné době se pevný rám využívá pouze u strojů určených pro speciální soutěže. Zřejmě nejznámějším soudobým představitelem motocyklů s pevným rámem jsou stroje určené pro závody na ploché dráze.

2.2 Kluzákové odpružení

První světově rozšířená varianta odpružení zadního kola byla realizována pomocí kluzákového zavěšení kola. Osa kola je uložena ve svislých kluzácích a umožňuje pouze přímočarý pohyb. Nevýhodou tohoto systému odpružení je nízký zdvih a vysoká tuhost pružin. Tyto vlastnosti mají za následek horší pohlcování menších nerovností, a to je důvod, proč se stále s kluzákovým zavěšením používalo odpružené sedlo [9]. Nejznámějšími výrobci této konstrukce byly firmy BMW a také JAWA se svým modelem zvaným „Pérák“. V padesátých letech většina světových výrobců přešla ke kyvné vidlici.



Obr. 5 JAWA 350, typ 18 „Pérák“ s kluzákovým zavěšením zadního kola [10]

3 KONSTRUKČNÍ VARIANTY KYVNÉ VIDLICE

Výrobci se snaží dosáhnout co nejlepšího odpružení a zajištění kvalitního svezení za všech situací. Hlavní zásluhu na kvalitě jízdy má pružicí jednotka, avšak bez vhodně navržené kyvné vidlice nebo mechanismu přepákování by byl celkový výsledek neuspokojivý. Vidlice se stále vyvíjejí a vznikají tak nové konstrukční návrhy. Základními typy vidlic jsou: konvenční, konzolová, s centrální pružicí jednotkou a přepákováním a také jednoramenná, ze kterých jsou dále vyvinuty další odvozené varianty [5].

3.1 Konvenční kyvná vidlice

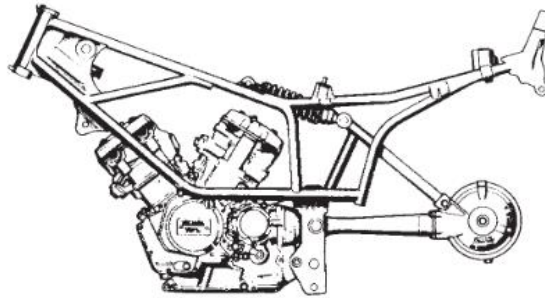
Nejpoužívanější varianta kyvné vidlice, která celosvětově nahradila kluzákové zavěšení. Jedná se o dvouramennou konstrukci s uložením pružících jednotek v blízkosti osy kola. Každé rameno je osazeno vlastní pružicí jednotkou. Pro správnou funkci je důležité, aby pružicí jednotky s tlumením zatěžovaly kyvnou vidlici stejnou silou. Pokud nastane porucha jedné z pružících jednotek (např. prasklá pružina), dochází k velkému namáhání vidlice na krut. Tato negativní vlastnost vede k vytlačování této vidlice, která je v současné době hojně nahrazována variantami s centrální pružicí jednotkou. Uložení tlumičů na koncích ramen může způsobit komplikace při manipulaci se zadním kolem. První konvenční kyvná vidlice byla použita na silničním závodním motocyklu Velocette Mark VIII KTT roku 1938 [11]. Nejvíce využívaná byla konvenční kyvná vidlice v 50. až 70. letech 20. století, a v současné době se hojně využívá u tzv. retro stojů, které odkazují na tyto léta.



Obr. 6 Motocykl s konvenční kyvnou vidlicí [12]

3.2 Konzolová kyvná vidlice

Jedná se o vidlici vyztuženou vlastní rámovou konstrukcí, kde se na jejím vrcholu pod sedlem, popř. nádrží nachází uložení centrální pružící jednotky, viz obr. 7. Největším benefitem této konstrukce je vysoká tuhost a odolnost proti zkrutu. Jedná se o prostorově rozměrnější konstrukční variantu s použitím jedné samostatné pružící jednotky [5], která se obvykle nachází v zákrytu blatníku, a tudíž není vystavena vodě a nečistotám odlétávajícím od zadní pneumatiky. Podstatnou nevýhodou je velký zástavbový rozměr a hmotnost konstrukce.



Obr. 7 Rám motocyklu s konzolovou kyvnou vidlicí [5]

3.3 Kyvná vidlice s centrálním odpružením a přepákováním

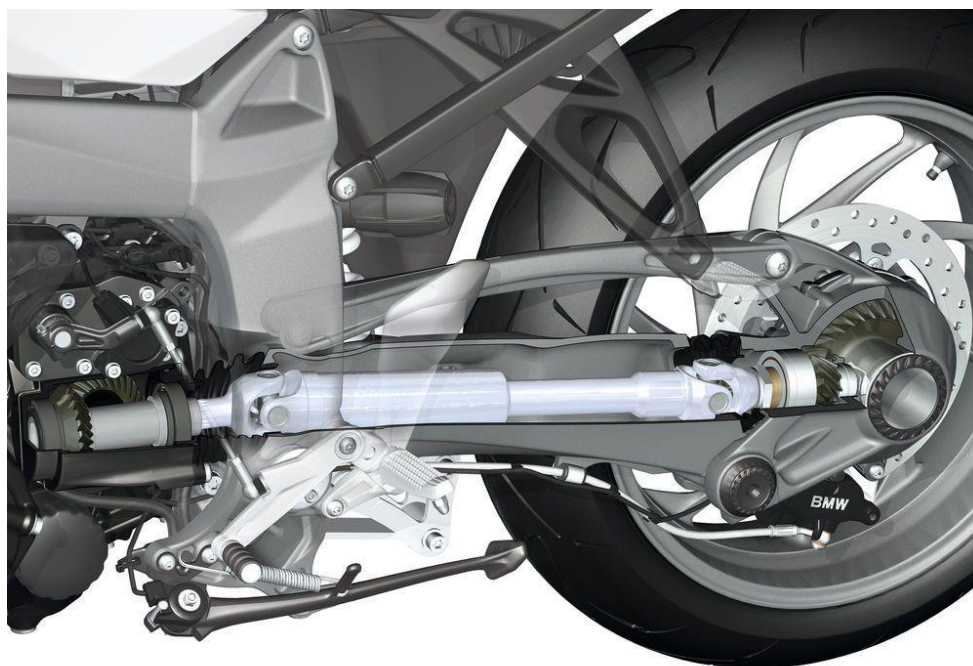
Většina moderních motocyklů používá kyvnou vidlici s centrální pružící jednotkou a přepákováním. Základem je konvenční kyvná vidlice, kde je přepracováno uložení tlumičů. V tomto případě nejsou tlumiče uloženy na koncích ramen, ale je zde umístěna jedna centrální pružící jednotka připevněná přes přepákování k mostu vidlice. Poloha umístění pružící jednotky je výhodná z hlediska úspory místa. Jelikož je soustava pák připevněna k tělu mostu, působí na přepákování velké síly, které ji velice namáhají. Tento mechanismus musí být vyroben z velmi kvalitních materiálů a klouby musí být dostatečně utěsněny, aby odolávaly vlhkosti a nečistotám odlétávajícím od zadního kola. Při volbě tohoto systému odpružení vždy dosáhneme progresivního zatěžování pružící jednotky [5]. Záměnou některých dílů z pákového mechanismu za jinak dlouhý nebo jinak tvarovaný díl lze poměrně snadno měnit vlastnosti podvozku (tuhost a zdvih odpružení) a to za použití stále stejné vidlice a pružící jednotky.



Obr. 8 Kyvná vidlice s pákovým mechanismem [13]

3.4 Jednoramenná kyvná vidlice

Jedná se o kyvnou vidlici pouze s jedním ramenem. Na toto rameno jsou kladeny velké pevnostní požadavky, a tak bývá velice robustní a tvarovaná tak, aby zde bylo co nejméně koncentrátů napětí. Odpružení je realizováno jednou pružicí jednotkou, která velmi často bývá přichycena ke konci ramene stejným způsobem, jako je u dvouramenné konvenční kyvné vidlice, popřípadě je tlumič uchycen k mostu nebo přepákování. Pro úsporu hmotnosti a ušetření neodpružených hmot jsou ramena dutá a tím se naskýtá možnost tímto dutým prostorem vést kloubový (kardanový) hřídel pro pohon zadního kola, viz obr. 9. Není to však pravidlem a praktikují se zde také pohony řetězem nebo ozubeným řemenem stejně jako u ostatních variant vidlice. Kloubový hřídel je výrobně mnohonásobně nákladnější než řetězový nebo řemenový převod, avšak jeho provoz je obvykle bezúdržbový a životnost mimořádně vysoká [5]. Nejznámějším novodobým výrobcem tohoto provedení je firma BMW se svými cestovními stroji. U menších motocyklů určených pro provoz ve městě je brán zřetel na rychlé a pohodlné nastupování. To vedlo ke sloučení kyvné vidlice s motorem a převodovkou, a tím ke vzniku potřebného místa pro nohy [5]. Prvním strojem s jednoramennou kyvnou vidlicí se stal v roce 1948 motocykl Imme R100 [14].



Obr. 9 Schématický řez jednoramennou kyvnou vidlicí BMW [15]

4 POROVNÁNÍ KONSTRUKČNÍCH VARIANT

Konvenční kyvná vidlice

Výhody:

- Jednoduchá konstrukce
- Levná výroba
- Malé namáhání ramen

Nevýhody:

- Použití dvojice tlumičů (vyšší cena, hmotnost)
- Nutnost shodného zatížení od pružících jednotek [9]
- Zhoršené podmínky při manipulaci se zadním kolem

Konzolová kyvná vidlice

Výhody:

- Vysoká tuhost konstrukce
- Použití jednoho centrálního tlumiče
- Ochrana pružící jednotky před vodou a nečistotami

Nevýhody:

- Větší zástavbové rozměry
- Vyšší hmotnost

Kyvná vidlice s centrální pružící jednotkou a přepákováním

Výhody:

- Použití jednoho centrálního tlumiče
- Malé zástavbové rozměry
- Možnost snadného přestavení podvozku

Nevýhody:

- Vyšší namáhání ramen
- Nákladnější výroba pákového mechanismu

Jednoramenná kyvná vidlice

Výhody:

- Lepší přístup k zadnímu kolu
- Možnost vestavby pohonu (kloubového hřídele) [5]
- Možnost náhrady motorem s převodovkou (skútry) [5]

Nevýhody:

- Složitá konstrukce
- Vysoká hmotnost
- Vysoké pevnostní nároky

5 ZATĚŽOVÁNÍ

Při jízdě na motocyklu vznikají různá zatěžování kyvné vidlice. Na vidlici působí vždy síla od kola, anebo uvolnění při letu (skoku). Při propružení je vidlice namáhána také silou od akcelerace nebo brždění a při průjezdu zatáčkou působí na konstrukci také boční síly. Obvykle však nenastává jeden stav zatěžování, ale jejich kombinace. Riziko poškození kyvné vidlice vzrůstá s nárůstem rychlosti a závisí také na stylu jízdy řidiče a zatěžování motocyklu.

Propružení:

U běžné jízdy a zejména při přejezdu nerovností nebo u prudkého náběhu stoupání dochází ke stlačení pružin a tím také k zatížení konců vidlice, kde se nachází uložení pružících jednotek. Nejextrémnější situace nastává, když motocykl prudce dopadá na podloží ze skoku a vidlice je tak velice namáhána na ohyb. U konvenční kyvné vidlice je velkou výhodou krátké rameno síly mezi osou kola a uložením tlumičů.

Uvolnění:

U náročnějšího stylu jízdy, zejména při motocrossu dochází ke skokům, kde při letu kola nemají kontakt s dráhou a vidlice je tak zatížena pouze hmotností neodpružených komponent (kolo, unašeč...). Vidlice není tedy téměř namáhána a je to pro ni nejpříznivější stav. Po dopadu však dochází k velkému rázu a rychlému nárůstu sil a hrozí tak ohyb nebo prasknutí konstrukce. Nedoporučuje se takto zacházet s motocykly, které k tomu nejsou určeny.

Akcelerace:

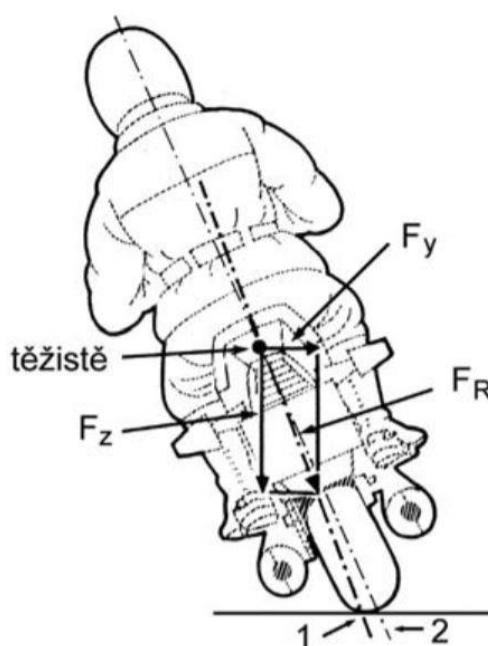
Při rozjezdu a zrychlování se síla od motoru přenáší nejčastěji řetězem na zadní kolo, které tlačí kyvnou vidlici a tím také celý motocykl dopředu [4]. Vzniká zde namáhání tlakem, které za běžné jízdy nebývá příliš velké a riziko poškození vidlice je minimální.

Brždění (decelerace):

Pokud nastane brždění s převažujícím bržděním zadní brzdou, dochází k tomu, že zadní kolo zpomaluje a zbytek stroje má kvůli své setrvačnosti potřebu pokračovat v jízdě. To má za následek vyvozování tahu ve vidlici. Tato tahová síla nejvíce závisí na celkové hmotnosti motocyklu (stroj + posádka se zavazadly), účinnosti brzd a na velikosti třecí síly mezi pneumatikou a podložím. Extrémní nárůst tahu může vzniknout při zachycení zadního kola o překážku (např. pařez, obrubník...), kde v kritických případech může nastat vytržení vidlice z rámu nebo poškození ložisek v uložení hlavního čepu.

Průjezd zatáčkou

Při zatáčení dochází ke klopení motocyklu. Klopení má za následek změnu polohy kontaktu pláště s vozovkou. Kontakt již není veden středem běhounu pneumatiky jako u přímé jízdy, ale posouvá se ke straně pláště, která odpovídá straně zatáčení. Výsledná síla gravitačního a odstředivého zatížení působí na spojnici těžiště celé soustavy (jezdec + stroj) a bodu kontaktu pneumatiky s vozovkou. Toto vyosení výsledné síly od osy motocyklu vede ke vzniku torzního momentu [4], který působí obvykle v bodě, kde se protíná vodorovná osa kola a svislá osa motocyklu. Tento bod je středem případné nežádoucí deformace při krutu vidlice. Nežádoucí krut se obvykle projeví při jízdě se spolujezdcem anebo při vyšším zatížení stroje zavazadly.



Obr. 10 Působení sil při průjezdu zatáčkou [4]

6 KONSTRUKČNÍ PRÁCE

6.1 Požadavky a cíle

Cílem této práce je konstrukční návrh kyvné vidlice z hliníkových slitin, která by plně nahradila prototypovou ocelovou variantu. Vidlice je navržena pro motocykl vyšší váhové kategorie s maximálním zatížením osy zadního kola $m_{zmax} = 310$ kg. Výrobce motocyklu, firmou JAWA Moto spol s r.o., byly dodány podklady ke stávající ocelové variantě. Jedná se o počítačový 3D model a výkresy s hlavními a přípojovacími rozměry. Požadavkem je úplná zaměnitelnost za stávající vidlici, to znamená zachování přípojovacích rozměrů, a to zejména u hlavního čepu a u uložení pružících jednotek. Po zachování těchto rozměrů odpadá nutnost výroby nového rámu a pro obě varianty vidlic lze využít jeden totožný, což výrazně sníží cenu přestavby. Pro minimalizaci nákladů je také vhodné zachovat co nejvíce dílů použitých s ocelovou variantou. Jedná se hlavně o díly, které jsou náročnější na výrobu a ke svému zhotovení potřebují různé formy a přípravky. Příkladem může být např. blatník nebo kryt řetězu. Cílem není nekompromisně zachovat všechny komponenty, ale pouze ty, u kterých by výroba nové alternativy byla drahá a náročná. Pro zachování jízdních vlastností je nutné u nové verze zachovat vzájemnou polohu zadního kola, tlumičů a rámu vůči sobě, aby nedošlo např. ke změně úhlu tlumičů vůči ramenům vidlice a tím ke změně chování odpružení. Nová varianta by neměla narušovat celkový vzhled motocyklu.

Požadované vlastnosti nové varianty:

- Zachování koncepce (konvenční kyvná vidlice)
- Použití materiálů z hliníkových slitin
- Zachování hlavních a přípojovacích rozměrů
- Zachování jízdních vlastností
- Zachování a ideálně zvýšení tuhosti konstrukce
- Snížení hmotnosti
- Použití dostupných metod a výrobních technologií
- Zajištění přijatelných výrobních nákladů

Cíle práce:

- CAD model nového návrhu
- Silový rozbor namáhání vidlice
- Analýza zatěžování a úprava kritických míst modelu
- Porovnání hmotností a torzních tuhostí obou variant
- Vyhotovení výkresové dokumentace

6.2 Původní ocelová konstrukce

Základ ocelové kyvné vidlice tvoří svařenec z upravených normalizovaných polotovarů. Ramena jsou vyrobena z obdélníkových jelek se zaoblením vnitřních a vnějších hran, které jsou na volném konci vidlice rovnoběžné a na opačném konci se vzájemně zužují k sobě. U zúženého konce vidlice jsou ramena upravena pro umístění uložení ložisek. Úprava spočívá ve vhodném vyříznutí a přihnutí vrchní a spodní strany ramen k sobě, čímž je dosaženo plynulých přechodů do trubek uložení ložisek. Pohyb kyvné vidlice je zde zajištěn kombinací jednoho radiálního kuličkového ložiska a čtyř jehličkových, které jsou vsazeny do přesně opracovaných trubek, které jsou přivařeny k upraveným koncům ramen. V místech ohybu ramen jsou vyříznuty klíny, aby se předešlo nežádoucím deformacím při tvarování. Koncovky pro uložení osy kola jsou frézovány a vsunuty do otvorů ramen. V pravé koncovce je vyvrtán otvor, do kterého je vložen a přivařen malý čep sloužící k přichycení blatníku. Pružící jednotky jsou uloženy na vetknutých čepech, které jsou spojeny s rameny přes ploché úchyty. Uchycení rolen je zde řešeno přivařením kruhové tyče s vnitřním otvorem se závitem. Proti protočení brzdy je skrze levé rameno vložen a přivařen kruhový čep. Základem mostu jsou dvě ohnuté trubky, které jsou vloženy mezi ramena hřbety k sobě. Trubky jsou překryty ze spodní i horní strany plechy, které uzavírají konstrukci mostu. Na horním plechu se nachází čtveřice šroubů sloužící k uchycení blatníku. Pro montáž krytu řetězu je na pravém ramenu přivařený držák ohnutý do tvaru L. Do otvorů v ramenech jsou nanýtovány nýtovací matice, které slouží k uchycení dalších komponent, jako je např. vedení brzdové kapaliny k zadní brzdě.

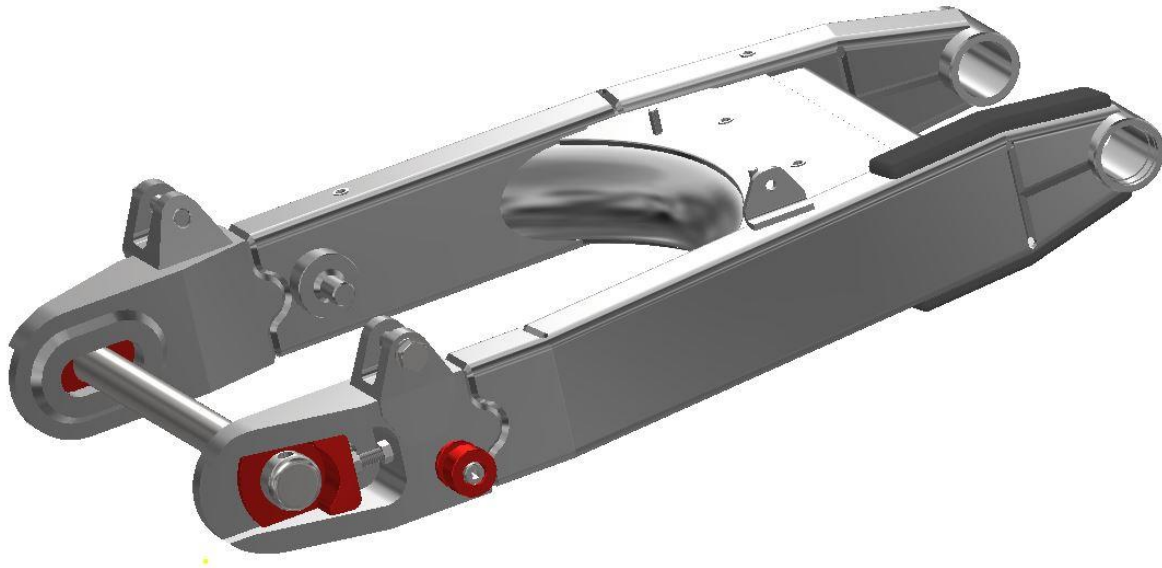
Oceli použité na výrobu kyvné vidlice jsou zřejmě voleny s ohledem na předpoklad svařování při montáži. Základním materiálem je ocel 11 343.1 (S235JRG1), která je volena pro většinu komponent. Polotovary ramen jsou dodávány z oceli 11 373 (S235JRH). Frézované koncovky, záchyt reakce brzdy a čepy uložení tlumičů jsou vyrobeny z oceli 11 523.1 (S355J0). Celá sestava je svařována a po následném otryskání je lakována černou pololesklou barvou.



Obr. 11 Původní ocelová kyvná vidlice [22]

6.3 Návrh nového konstrukčního řešení

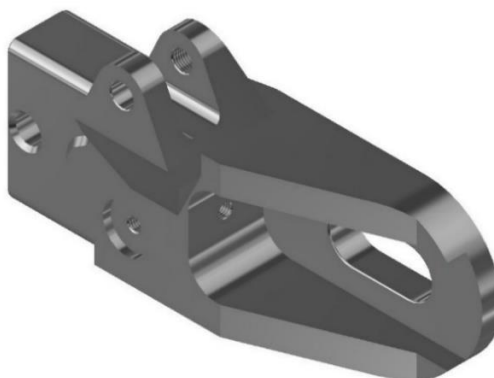
Nový návrh koncepčně vychází z původní kyvné vidlice. Velký důraz byl kladen zejména na tvarové zpevnění konstrukce. Nejzásadnější úpravou byla změna způsobu uložení tlumičů, kde vetknutý čep byl nahrazen vidličkovým uložením se šroubem. Tato úprava vedla také k rozšíření ramen v blízkosti koncovek, aby osová síla od tlumičů procházela co nejbližší ke středu ramen. Změna nastala také ve tvaru mostu, kde jedna z dvojice tvarovaných trubek byla nahrazena rovným čtvercovým profilem. Při úpravách bylo také pohlíženo ke zjednodušení výroby vedoucí ke snížení případných výrobních nákladů. Příkladem jsou přepracované koncovky, které slučují více komponent v jeden celek, viz. obr. 12 a obr. 13. Levým ramenem prochází aretace brzdy, která oproti původnímu řešení prochází také částí koncovky. Toto uspořádání vede k pevnějšímu uložení aretace brzdy a tím ke zvýšení bezpečnosti stroje.



Obr. 12 Varianta z hliníkových slitin

6.3.1 KONCOVKY

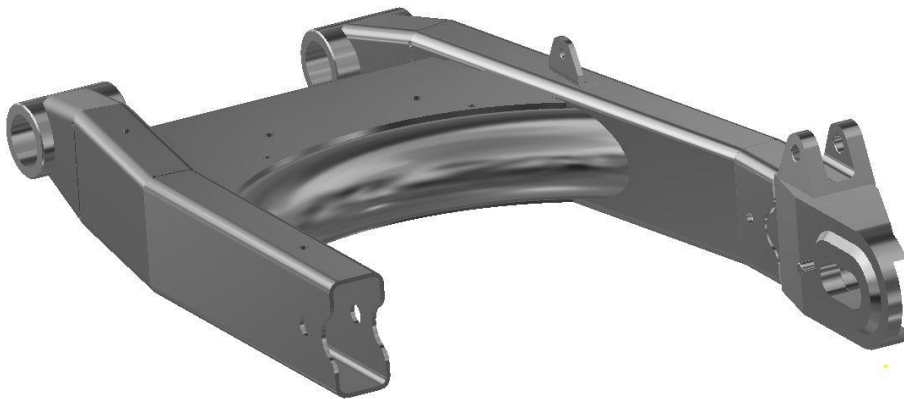
Koncovky jsou navrženy jako frézované součásti, které sdružují všechny funkční prvky v jejich oblasti do jednoho dílu. Koncovky jsou vloženy do ramen a po celém obvodu spoje jsou k sobě svařeny. Na bočních stranách ramen nejsou svary přímé, ale v polovině vyboulené, viz obr. 12, což vede k prodloužení svarů a tím také ke zvýšení jejich pevnosti. U ocelové varianty se nacházela frézovaná zakončení, která se vsunula do ramen, na které se ze spodní strany přivařilo uchycení rolen a z horní se přivařily držáky s vetknutými čepy. Při použití koncovky z jednoho kusu odpadá komplikovaná výroba více dílů a jejich náročnější sestavování a svařování. Nevýhodou nového řešení je velké množství odpadního materiálu, které by vzniklo při obrábění. Tomuto problému by se dalo předejít odléváním. Po výrobě odlitku by následovalo obrobení pouze funkčních ploch a tvarů. Technologie odlévání by přinesla úsporu nákladů a materiálu pouze při sériové výrobě. Při kusové produkci by se výroba odlévací formy finančně nevyplatila. V budoucnu by připadaly v úvahu také některé nekonvenční výrobní technologie, jako je např. 3D tisk. Tato technologie se stále vyvíjí a její dostupnost a schopnost dosažení potřebné kvality je v současné době omezená.



Obr. 13 Frézovaná levá koncovka

6.3.2 RAMENA

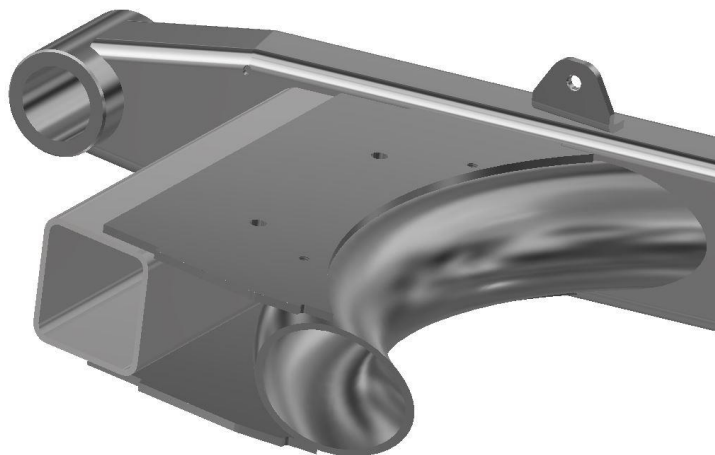
Výchozím polotovarem ramen je PR OBD 80x40x3 R8/5 s vnějším zaoblením hran R8 a vnitřním R5. Polotovár je upraven na požadovanou délku a pro správný ohyb je náležitě upraven, viz. příloha BP-ADL-01-01-3 a také BP-ADL-01-01-4. Konce ramen jsou pro přivaření koncovek upraveny půlkruhovým výřezem, který slouží k lepšímu natvarování svaru a tím ke zvýšení pevnosti svarového spoje. Opačné konce jsou upraveny tak, aby byl docílen pozvolný přechod do trubek uložení ložisek. Oproti ocelové variantě byl volen menší úhel zkosení a přechod je tak plynulejší. Na levém rameni jsou z horní strany vyvrtány otvory, ve kterých jsou nanýtovány matice pro uchycení kapalinového ovládání zadní brzdy. V blízkosti levé koncovky je skrz rameno vyvrtaný otvor, kterým je vedena aretace brzdy, jenž je z obou stran přivařena k rameni. Kvůli zaoblení vnitřních a vnějších hran je polotovár hůře dostupný a prodejci jej standardně nemají v základní nabídce. Tento problém lze vyřešit zakázkovou výrobou profilu v některé z firem, které se zabývají zpracováním a prodejem hliníku. Při použití u stroje určeného pro velkosériovou výrobu by bylo vhodné ramena tvarovat natlakovanou kapalinou metodou tzv. „hydroformu“. Tato metoda by obnášela výrobu formy, do které se vloží dutý profil, jenž by se pomocí kapaliny tvaroval do požadovaných tvarů formy [8]. S touto technologií lze docílit postupné změny průřezu v závislosti na vzdálenosti od kraje ramene a vidlice by poté mohla mít plynule vyhlazená ramena bez zlomů od ohybu.



Obr. 14 Profil obdélníkového ramene

6.3.3 Most

Most je svařen ze čtyř součástí. Hlavními prvky jsou ohýbaná trubka ($D = 60 \text{ mm}$) a rovný čtvercový profil (PR 4 HR 60x3). Obě součásti jsou ze spodní i horní strany vzájemně propojeny plechovým výstrižkem, popř. výpalkem ($t = 4 \text{ mm}$). Oba plechy jsou svým hlavním tvarem téměř totožné. Rozdílem jsou u horního plechu čtyři otvory pro upevnění nýtovacích matic a závrtných šroubů, které slouží k uchycení blatníku. Plechové díly jsou dodávány z materiálu EN AW 1050A H24, který patří mezi technicky čistý hliník [16], avšak jeho mechanické vlastnosti jsou pro aktuální aplikaci dostačující.



Obr. 15 Sestava mostu

6.3.4 POUZDRA ULOŽENÍ

Pro zachování přípojovacích rozměrů v oblasti hlavního čepu bylo vhodné ponechat také původní ložiska a vložky ložisek pro čep. Z toho vyplývají také shodné vnitřní rozměry pro uložení těchto ložisek. Se změnou materiálu bylo vhodné zvýšit tloušťku stěny. Změnou tedy bylo zvětšení vnějšího průměru z $d_1 = 46 \text{ mm}$ na $d_2 = 50 \text{ mm}$. Tento rozměr byl také volen z důvodu dostupnosti polotovaru. Při použití polotovaru TR $\varnothing 50 \times 10$ odpadá nutnost obrábět vnější průměr a tím vzniká úspora výrobních nákladů a času.

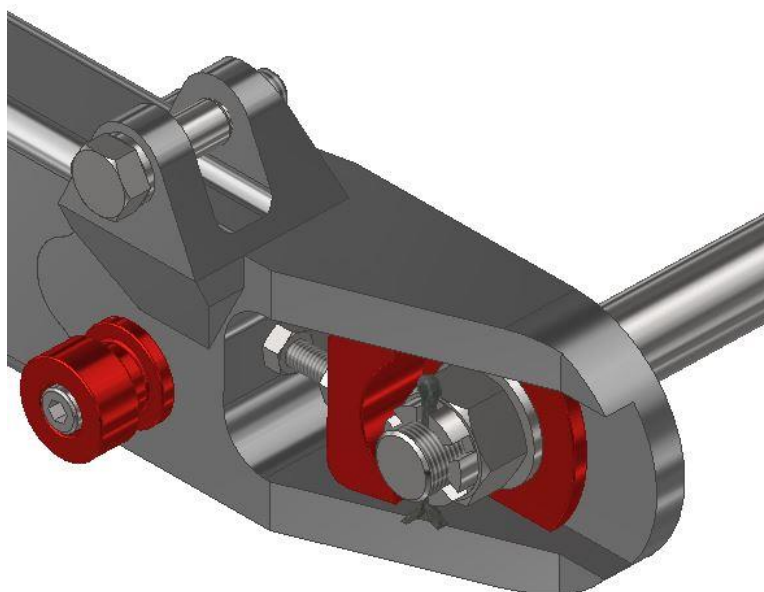
6.3.5 ZBYLÉ KOMPONENTY VIDLICE

K vidlici jsou připevněny další díly, které mají svůj význam pro správné fungování celku motocyklu. Na konci vidlice je v blízkosti otvoru pro osu kola umístěn malý čep, který je vložený do vyvrtaného otvoru v koncovce. Úkolem tohoto drobného dílu je zajistit pevnou polohu blatníku na vidlici. Pro kompletní uchycení krytu řetězu je na pravém rameni navařený držák ohnutý do tvaru písmene L, ke kterému se kryt šroubem připevní.

Aretace brzdy je řešena vsunutím opracovaného čepu s osazením skrz levé rameno a také koncovku. Tímto uložením je dosaženo pevnějšího spojení záchyty brzdy, jelikož již není aretace v kontaktu pouze se stěnami ramen, ale má podporu po celé své délce.

6.3.6 ÚPRAVA NAVAZUJÍCÍCH KOMPONENT

Pro zajištění kompletní zaměnitelnosti kyvných vidlic je nutné, aby také díly, které nejsou přímo součástí kyvné vidlice bylo možno použít u obou variant. Vzhledem k úpravám nové varianty nelze použít všechny původní díly a je nutné provést nový návrh u některých z nich. S použitím nových frézovaných koncovek je nutné použít osu zadního kola, která by byla přibližně o 16 mm delší než u prototypové verze. Byl navržen inovovaný napínák řetězu, který rozměrově odpovídá nové variantě a je designově sjednocen se zbytkem vidlice. Napínák by se vyráběl frézováním kvádrů z hliníkových slitin. Pro úsporu materiálu by bylo vhodné napínače řetězu navrhnout např. jako ohýbané ploché pásky. Aktuální frézované napínače byly voleny z estetického hlediska. Případné změny tohoto dílu lze kdykoliv provést bez nutnosti úprav vidlice. Pro snadné dílenské manipulování je vidlice vybavena rolnami, které jsou mírně zapuštěny do materiálu koncovek, aby se zmenšila celková šířka v této oblasti. Všechny tyto díly, které by bylo nutné opět vyrábět, mají svoji vlastní výrobní dokumentaci v příloze tohoto dokumentu.



Obr. 16 Polohování osy kola, rolna a osa kola

Při špatném seřízení průhybu řetězu hrozí poškození kyvné vidlice. Může nastat probroušení materiálu od řetězu a tím dojít k zeslabení konstrukce. Z tohoto důvodu se kyvné vidlice v blízkosti uložení hlavního čepu chrání různými kryty a vedeními pro řetěz, které jsou obvykle vyrobeny z měkkých umělohmotných materiálů (plast, guma, neopren...), aby byla chráněna kyvná vidlice a zároveň se neničily články řetězu. U ocelové verze byl použit neoprenový protektor, který byl navléknut na pravé uložení hlavního čepu s koncem ramene, byl připevněn šroubem a nástrčnými kolíky k vidlici, a poté se celá sestava vložila do rámu motocyklu. Tento systém se jevil dosti neprakticky, jelikož při opotřebení neoprenové ochrany je nutné demontovat celou vidlici z rámu a komponent poté vyměnit. Hliníková vidlice má ochranu před poškozením řešenou nalepením dvojice pryžových pásek ze spodní a horní strany. Toto řešení zajišťuje snadnou výměnu při případném poškození pryže a také je tato varianta cenově výhodnější, jelikož se jedná o jednoduché obdélníkové výstřižky, a nikoliv o výrobky z forem. Je volen pryžový materiál s označením CR od firmy Gumex (GUMEX-N572), který je odolný vůči povětrnostním vlivům, olejům, benzínu a oděru, a tudíž se jeví jako nejvhodnější volba materiálu pro užití na motocykl. Lepený spoj je zde proveden dvousložkovým lepidlem WEICON GMK 2510, který je vhodný na lepení kovů a pryže. Jelikož lepený spoj není při správném nastavení podvozku namáhán žádnou silou, je volba lepeného spoje dostačující. Lepený spoj je krátkodobě zatěžován pouze při kontaktu řetězu a guma, kde by vzhledem k mastnotě řetězu neměly vznikat výrazné síly.



Obr. 17 Pryžové protektory vidlice

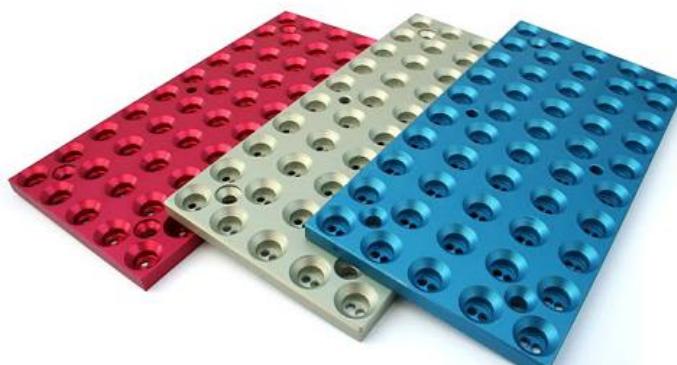
6.4 Volba materiálů a úpravy povrchů

Materiály nové kyvné vidlice byly voleny s ohledem na dostupnost daných polotovarů na českém trhu. Jedná se o svařovanou konstrukci, tudíž byly materiály voleny také s ohledem na dobrou svařitelnost. Základ vidlice je tvořen plechy, trubkami a speciálními profily ramen, které by byly vyráběny speciálně pro tuto kyvnou vidlici. Omezením zakázkové výroby profilu bývá minimální množství odebraného materiálu, což obvykle bývá 500 kg [17] [18]. Toto množství materiálu by mělo být dostatečné pro výrobu přibližně 250 kusů kyvných vidlic. Materiály byly voleny s ohledem na následnou úpravu povrchu eloxováním.

Tab. 1 Vlastnosti volených materiálů [19]

| Materiál | Ra [MPa] | Rm [MPa] | ρ [kg/m ³] | E [GPa] | G [GPa] | Použití |
|----------------------------|----------|----------|-----------------------------|---------|---------|---|
| EN AW 6060 T66 (AlMgSi) | 160 | 215 | 2700 | 71,7 | 26,9 | Ramena, trubky mostu, úchyt krytu řetězu |
| EN AW 6063 T66 (AlMg0.7Si) | 200 | 245 | | | | Uložení ložisek, aretace brzdy, záchyt blatníku |
| EN AW 6082 T6 (AlSi1MgMn) | 240 | 290 | | | | Koncovky |
| EN AW 1050A H24 (Al99.5) | 75 | 105-145 | | | | Plechý mostu |

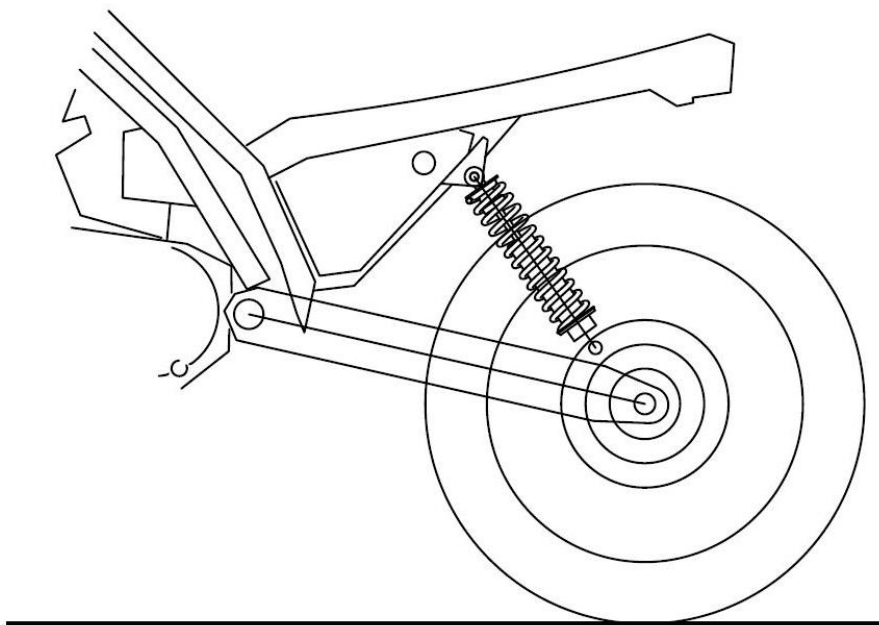
Po sestavení a svaření těla kyvné vidlice bude povrch upraven eloxováním (elektrolytická oxidace hliníkových povrchů). Po této povrchové úpravě dostane výrobek barevně sjednocený a tvrdý povrch, který velice dobře odolává povětrnostním vlivům, otěru od odlétajících kamínků a dalším nečistotám od pneumatik [20]. Výhodou eloxování je také možnost volby barevného provedení, viz obr. 18. Takový povrch můžeme sjednotit se zbytkem stroje bez nutnosti nanášení dalších nátěrových hmot. Tato úprava povrchu se vzhledem k jeho vlastnostem jeví jako nejvhodnější volba.



Obr. 18 Ukázka zbarvení eloxovaného povrchu [21]

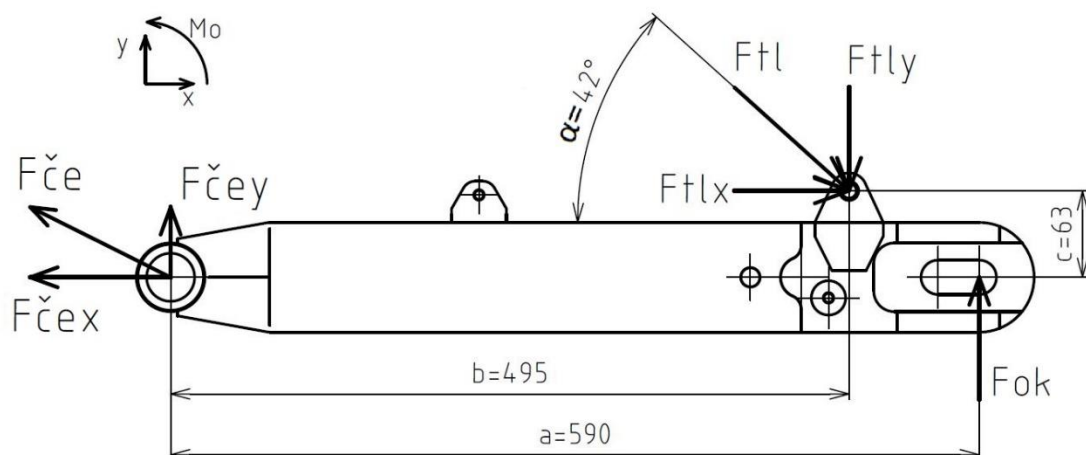
7 VÝPOČET REAKČNÍCH SIL

Pro nastavení pevnostní analýzy je důležité spočítat síly, které na vidlici působí v jednotlivých vazbách. Vazbami zde jsou uložení osy zadního kola, uložení tlumičů a hlavního čepu. Pro zahrnutí nejméně příznivého stavu nastavení podvozku je volena vzdálenost osy kola ve svém uložení jako největší možná vzdálenost od hlavního čepu (poloha nejvíce vzadu). Maximální zatížení nemusí nastat při největším propružení. Větší síla může vzniknout při tlumení vidlice u dynamického zatěžování, kde vlivem odporu tlumiče může síla např. při překonávání překážky narůst i dříve než při max. stlačení pružin. Z tohoto důvodu je pro analýzu volena vodorovná poloha vidlice (rovnoběžná s vozovkou). Při tomto natočení vidlice zároveň nedochází k rozkladu síly od osy kola do směrů osy x a y , a dochází tak k vyvolání největšího ohybového momentu, který je nejvhodnější při analýze kontrolovat. Pro zjednodušení výpočtu je uvažováno symetrické tvarování levé a pravé poloviny vidlice. Tento krok výrazně ulehčí výpočet, jelikož za tohoto předpokladu lze síly ve vazbách dělit mezi jednotlivé poloviny rovným dílem. Kyvné vidlice bývají téměř vždy nesymetrické, a to z důvodu umístění unašeče (rozety) vedle náboje kola. Vyosení koncovek vůči uložení hlavního čepu vidlice činí u nového hliníkového provedení pouze 17 mm [22]. Toto vyosení je vzhledem k celkovým rozměrům konstrukce velice malé a jeho zanedbání tedy příliš neovlivní výsledek.



Obr. 19 Nákres uložení vidlice v rámu [22]

Aby bylo možné spočítat jednotlivé síly, je potřeba znát vzdálenosti a úhly působících sil. Tyto rozměry jsou schematicky znázorněny na obr. 20, kde jsou také vyznačeny směry působících sil i s jejich rozdělením do složek směru osy x a y.



Obr. 20 Schéma reakčních sil s důležitými rozměry [22]

Pro snazší orientaci v zadaných hodnotách jsou důležité informace vypsány v tab. 2

Tab. 2 Zadané hodnoty [22]

| Označení | Poloha/význam | Hodnota | Úprava jednotek pro výpočet |
|------------|--|---------|-----------------------------|
| mz_{max} | Maximální zatížení osy kola | 310 kg | - |
| a | Vzdálenost hl. čepu a osy kola | 590 mm | 0,59 m |
| b | Vzdálenost hl. čepu a uložení tlumičů (směr osy x) | 495 mm | 0,495 m |
| c | Vzdálenost hl. čepu a uložení tlumičů (směr osy y) | 63 mm | 0,063 m |
| α | Úhel natočení tlumičů k vidlici | 42 ° | - |

Síla působící od osy zadního kola $F_{ok'}$

Vychází z předepsaného maximálního zatížení zadní osy m_{zmax} . Jelikož musí platit podmínky silové rovnováhy, tak stejné zatížení, které působí od vidlice na osu kola působí také v opačném směru od osy kola na koncovky vidlice.

$$F_{ok'} = m_{zmax} \cdot g \text{ [N]} \quad (1)$$

$$F_{ok'} = 310 \cdot 9,81 = 3041,1$$

$$F_{ok'} = 3041,1 \text{ N}$$

kde: $m_{zmax} = 310 \text{ kg}$, maximální zatížení osy zadního kola

$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, gravitační konstanta zrychlení pro planetu Zemi

Korigovaná síla od osy zadního kola F_{ok}

Pro zahrnutí dynamického zatěžování vidlice se statická síla násobí koeficientem $k = 3[-]$. Tento koeficient se již stal standardem při zjednodušování výpočtu dynamických sil kyvné vidlice. Úvaha je taková, že pokud vidlice vydrží trojnásobek statického zatížení, je dostatečně bezpečná i při dynamickém. Dynamické zatížení nelze jednoduše vyjádřit, jelikož závisí na mnoha faktorech, jako je např. reakční síla od tlumičů, změna polohy těžiště při jízdě, rychlost motocyklu a další.

$$F_{ok} = F_{ok'} \cdot k \text{ [N]} \quad (2)$$

$$F_{ok} = 3041,1 \cdot 3 = 9123,3$$

$$F_{ok} = 9123,3 \text{ N}$$

kde: $F_{ok'} = 3041,1 \text{ N}$, statická síla od osy zadního kola

$k = 3 [-]$, koeficient dynamických zatížení

Výpočet celkové síly od tlumičů F_{tl}

Součet všech momentů působících na osu čepu musí být roven nule ($\sum M_{o\check{c}} = 0 \text{ Nm}$). Z této podmínky lze jednoduchým dosazením hodnot do rovnice (3) dopočítat celkovou sílu od tlumičů, což je jediná neznámá hodnota v rovnici. Délkové rozměry je v této situaci výhodnější převést do soustavy SI. Upravené hodnoty jsou vypsány v pravé části tabulky 2.

$$\sum M_{o\check{c}} = 0 \quad (3)$$

$$-b \cdot \sin(\alpha) \cdot F_{tl} - c \cdot \cos(\alpha) \cdot F_{tl} + a \cdot F_{ok} = 0$$

$$F_{tl} = \frac{a \cdot F_{ok}}{b \cdot \sin(\alpha) + c \cdot \cos(\alpha)} \text{ [N]}$$

$$F_{tl} = \frac{0,590 \cdot 9123,3}{0,495 \cdot \sin(42^\circ) + 0,063 \cdot \cos(42^\circ)} = 14239,393$$

$$F_{tl} = 14239,39 \text{ N}$$

kde: $\sum M_{o\check{c}} = 0 \text{ Nm}$, momentová podmínka rovnováhy

$a = 0,590 \text{ m}$, maximální vzdálenost hlavního čepu a osy kola

$b = 0,495 \text{ m}$, vzdálenost hlavního čepu a osy uložení tlumičů ve směru osy x

$c = 0,063 \text{ m}$, vzdálenost hlavního čepu a osy uložení tlumičů ve směru osy y

$\alpha = 42^\circ$, sklon osy tlumiče vůči ramenům

$F_{ok} = 9123,3 \text{ N}$, korigovaná síla od osy zadního kola

Rozložení síly F_{tl} do směru osy x a y

Pro výpočet reakčních sil v hlavním čepu je důležité vypočítat jednotlivé složky síly F_{tlx} a F_{tly} .

$$F_{tlx} = \cos(\alpha) \cdot F_{tl} \text{ [N]} \quad (4)$$

$$F_{tlx} = \cos(42^\circ) \cdot 14239,39 = 10581,929$$

$$F_{tlx} = 10581,93 \text{ N}$$

kde: $\alpha = 42^\circ$, sklon osy tlumiče vůči ramenům

$F_{tl} = 14239,39 \text{ N}$, výsledná síla od tlumičů

$$F_{tly} = \sin(\alpha) \cdot F_{tl} [N] \quad (5)$$

$$F_{tly} = \sin(42^\circ) \cdot 14239,39 = 9528,012$$

$$F_{tly} = 9528,01 N$$

kde: $\alpha = 42^\circ$, sklon osy tlumiče vůči ramenům

$$F_{tl} = 14239,39 N, \text{ výsledná síla od tlumičů}$$

Výpočet jednotlivých složek síly působící na hlavní čep

Pro kompletní silové určení vazeb zůstává dopočítat síly působící v hlavním čepu. Jelikož v každém směru máme pouze jedno neznámé zatížení, nejvhodnější metodou je výpočet přes silové podmínky rovnováhy.

Síla $F_{\check{c}ex}$:

$$\sum F_x = 0 \quad (6)$$

$$-F_{\check{c}ex} + F_{tlx} = 0$$

$$F_{\check{c}ex} = F_{tlx} [N]$$

$$F_{\check{c}ex} = 10581,93 N$$

kde: $\sum F_x = 0 N$, silová podmínka rovnováhy pro osu x

$$F_{tlx} = 10581,93 N, \text{ síla od tlumičů působící v ose } x$$

Síla v čepu hlavního uložení působící ve směru y

$$\sum F_y = 0 \quad (7)$$

$$F_{\check{c}ey} = F_{tly} - F_{ok} [N]$$

$$F_{\check{c}ey} = 9528,01 - 9123,3 = 404,714$$

$$F_{\check{c}ey} = 404,71 N$$

kde: $\sum F_y = 0 N$, silová podmínka rovnováhy pro osu y

$$F_{tly} = 9528,01 N, \text{ síla od tlumičů působící v ose } y$$

$$F_{ok} = 9123,3 N, \text{ korigovaná síla od osy zadního kola}$$

Výsledná síla $F_{\check{c}ex}$ a $F_{\check{c}ey}$

$$F_{\check{c}e} = \sqrt{F_{\check{c}x}^2 + F_{\check{c}y}^2} [N] \quad (8)$$

$$F_{\check{c}e} = \sqrt{404,71^2 + 10581,93^2} = 10589,666$$

$$F_{\check{c}e} = 10589,67 \text{ N}$$

kde: $F_{\check{c}ex} = 404,71 \text{ N}$, síla v čepu hlavního uložení působící ve směru x

$F_{\check{c}ey} = 10581,93 \text{ N}$, síla v čepu hlavního uložení působící ve směru y

Tab. 3 Síly ve vazbách

| Označení | Zdroj síly | Velikost Síly | Síla ve směru osy X | Síla ve směru osy Y |
|------------------|------------|---------------|---------------------|---------------------|
| F_{ok} | Osa kola | 9123,3 N | 0 | 9123,3 N |
| F_{tl} | Tlumiče | 14239,39 N | 10581,93 N | -9528,01 N |
| $F_{\check{c}e}$ | Hlavní čep | 10589,67 N | -10581,93 N | 404,71 N |

Síly v tab. 3 působí na obě poloviny vidlice. Jelikož osa zadního kola ve stejnou chvíli působí na dvě koncovky, tak lze předpokládat, že zatížení každé z nich je poloviční. Motocykl je osazen dvojicí shodných tlumičů, které shodně zatěžují vidlici, výsledná síla od jednoho tlumiče je tedy také poloviční. Stejná úvaha platí také u uložení hlavního čepu. Tyto poloviční síly jsou využity pro správné nastavení pevnostní analýzy a mohou sloužit také při případném výpočtu životnosti ložisek, návrhu pružících jednotek a dalších.

Výpočty sil ve vazbách pro jednu polovinu ramene

Výpočet jednotlivých sil spočívá v dělení každé síly na poloviny. Výpočet je vzorově ukázán u rovnice 9. Pro další položky tabulky je výpočet stále shodný. Výsledné síly jsou zapsány v tab. 4.

Výsledná síla od jednoho tlumiče:

$$F_t = \frac{F_{tl}}{2} [N] \quad (9)$$

$$F_t = \frac{14239,39}{2} = 7119,685$$

$$F_t = 7119,69 \text{ N}$$

kde: $F_{tl} = 14239,39 \text{ N}$, výsledná síla od tlumičů

Tab. 4 Síly pro polovinu vidlice

| Označení | Zdroj síly | Velikost Síly | Síla ve směru osy X | Síla ve směru osy Y |
|----------|------------|---------------|---------------------|---------------------|
| F_o | Osa kola | 4561,65 N | 0 | 4561,65 N |
| F_t | Tlumiče | 7119,7 N | 5290,97 N | -4764,01 N |
| F_x | Hlavní čep | 5294,84 N | -5290,97 N | 202,36 N |

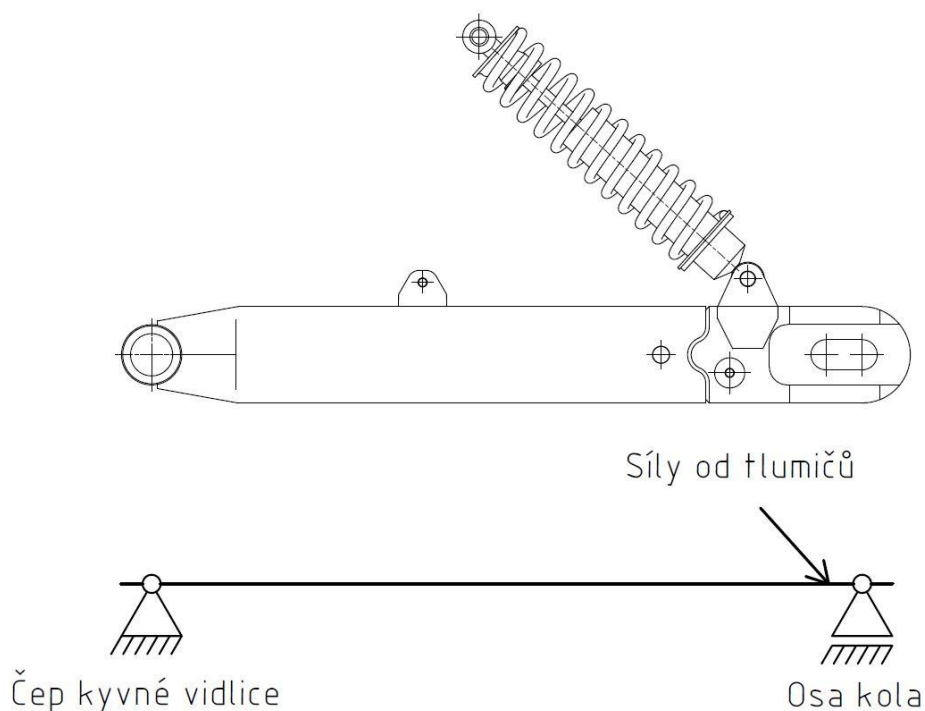
7.1 Zhodnocení výpočtů

Z výsledků uvedených v tab. 3 a tab. 4 lze usoudit, že největší síla působí v uložení odpružení. Tlumiče nejsou uloženy kolmo k ramenům vidlice, ale svírají s nimi ostrý úhel $\alpha = 42^\circ$. To má za následek, že větší část síly působí ve směru osy x a významně zatěžuje vidlici na tah. Z důvodu nutnosti zahrnutí dynamického namáhání je „vstupní“ síla od osy kola násobena korekčním koeficientem $k = 3$, který způsobil výrazný nárůst této síly. Tato korekce zajišťuje kontrolu bezpečnosti kyvné vidlice za běžné jízdy a zaručuje její pevnost až do trojnásobného zatížení, které může vzniknout rázy od překonávání překážek a výmolů při vyšších rychlostech. U motocyklů určených pro speciální zacházení, jako je např. motocross, je vhodné tento koeficient ještě navýšit.

8 PEVNOSTNÍ ANALÝZA

Celková kontrola kyvné vidlice proběhla metodou konečných prvků (MKP) v programu Autodesk Inventor Professional 2020, ve kterém probíhala také modelace součástí a kompletace sestavy. Metoda konečných prvků slouží k pevnostnímu vyhodnocení součástí, které by bylo ručním výpočtem velice zdlouhavé a ve spoustě případů také neřešitelné. Při provozu motocyklu je kyvná vidlice s nábojem a unašečem řetězu stažena osou kola a tím je celá konstrukce zpevněna. Pro simulaci stejných podmínek byla do sestavy vložena zjednodušená rozpěrka, která celkově nahrazuje uložení zadního kola. Její přítomnost v sestavě pouze upřesňuje chování vidlice při simulaci a není zahrnuta do pevnostní kontroly.

Pro správné nastavení vazeb si lze kyvnou vidlici zjednodušeně představit jako nosník, viz obr. 21. Hlavní čep umožňuje pouze otočný pohyb a jedná se tak o otočnou vazbu. Osa kola zachycuje síly ve svislém směru a jedná se tedy o podporu, která umožňuje natočení a posuv ve vodorovném směru. Zatížením jsou zde síly od tlumičů.



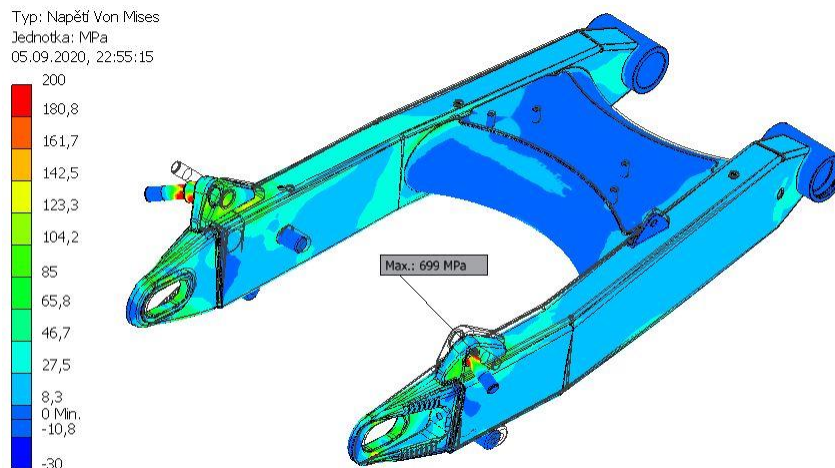
Obr. 21 Zjednodušené schéma vazeb

Z analýzy byly vyloučeny komponenty, které nepřenášejí žádná provozní zatížení a jejich kontrola by pouze zatěžovala výpočet programu. Pevnostní analýza byla provedena pouze na svařeném těle vidlice. Vzhledem k různorodosti ploch svarových spojů nelze provést správnou modelaci svarů. Vymodelované svary se velice liší od předpokládaného výsledku svaření, a byly tedy pro přehlednost z modelu odstraněny. Vzhledem k odlišnosti vymodelovaných a skutečných svarů by jejich pevnostní analýza byla nepřesná a pouze by zatěžovala simulaci výsledků. Svarové spoje byly nahrazeny pevnými vazbami.

Po nastavení vazeb a přiřazení materiálů k jednotlivým dílům byla provedena pevnostní kontrola hliníkové a ocelové varianty vidlice.

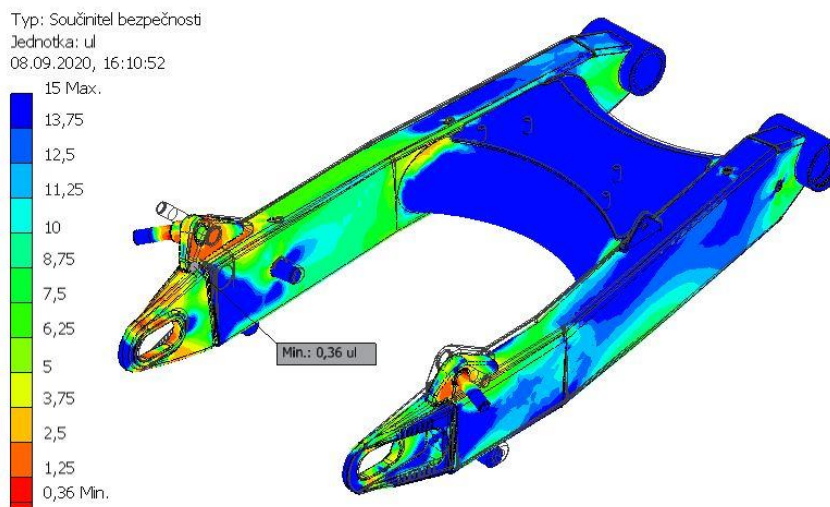
8.1 Kontrola ocelové kyvné vidlice

Pevnostní analýzou ocelové kyvné vidlice byly odhaleny dvě kritické oblasti. Nebezpečné napětí vzniká u levého a pravého uložení tlumičů. Kritické namáhání vzniká v místech vetknutí čepů pro uložení tlumičů a také u držáků, které tyto čepy drží. Nejvyšší namáhání bylo zjištěno u pravého vetknutého čepu, kde napětí dosahuje hodnoty 699 MPa. Uložení tlumičů je oblast, která vyžaduje nejvíce konstrukčních úprav pro snížení nebezpečného napětí. Zbylé části kyvné vidlice vykazují výrazně nižší hodnoty napětí, které nepřekračují 200 MPa.



Obr. 22 Rozložení napětí u ocelové vidlice

Při následné kontrole bezpečnosti se ocelová kyvná vidlice ukázala jako nevyhovující, jelikož jsou nějaké hodnoty bezpečnosti nižší než 1 (součinitel bezpečnosti se udává bez jednotek), což je hranice, kdy lze ještě považovat výrobek za bezpečný. Kritickou oblastí je opět uložení tlumičů, kde u levého uložení součinitel bezpečnosti dosahuje minimální hodnoty a to 0,36. V oblasti uložení osy kola vzniká u koncovek další nebezpečná oblast, u které se minimální hodnoty pohybují kolem 0,8 a tudíž jsou stále nedostačující. Zbylé části kyvné vidlice již splňují podmínky bezpečnosti. Jediná výrazná deformace nastává u čepů pro uložení tlumičů, které jsou po zatížení svěšeny směrem dolů. Ramena a koncovky jsou téměř bez posunutí či natočení.



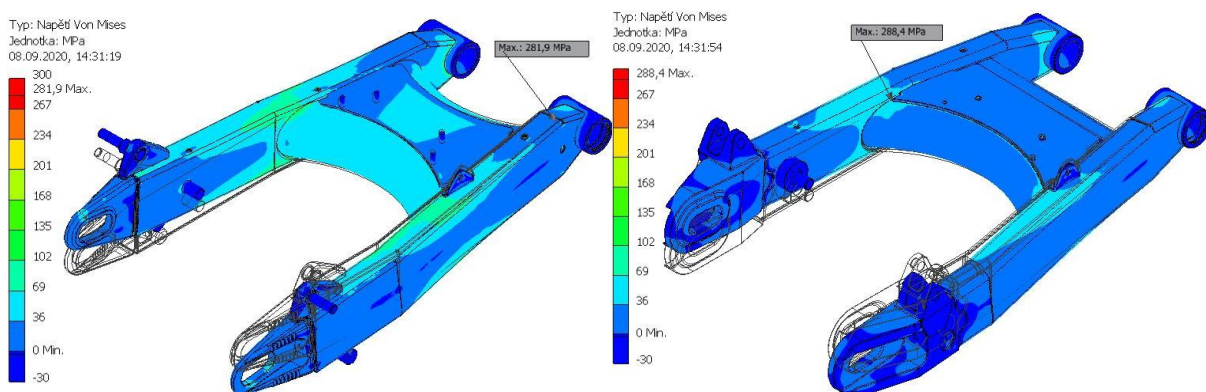
Obr. 23 Rozložení bezpečnosti u ocelové vidlice

8.3 Srovnání torzních tuhostí

Bezpečný provoz konvenční kyvné vidlice závisí na správné funkci dvojice tlumičů. U odpružení je důležité, aby zatížení od obou tlumičů bylo co nejshodnější, ideálně totožné [4]. Pokud jsou síly rozdílné, dochází ke kroucení vidlice, kterému je nutné předejít správnou konstrukcí. Pro zajištění torzní tuhosti se mezi ramena vkládá tzv. most, který musí zajistit bezpečný nouzový provoz motocyklu i při poruše jednoho z tlumičů. V takové situaci se nedoporučuje stroj dále využívat, jelikož se motocykl stává hůře ovladatelný, dochází k velkému namáhání vidlice, silnému přetěžování zbylého tlumiče a nevhodnému opotřebení zadní pneumatiky.

Pokud dojde k poruše jedné z pružících jednotek, tak i vadná jednotka působí na vidlici určitou silou, která je vždy individuální v závislosti na situaci. Nejde tedy přesně počítat velikost a způsob zatěžování vidlice. Pro kontrolu torzních tuhostí bylo voleno zatížení bez předchozího početního podložení. Koncovky vidlice jsou kontrolovány na zatěžování silou 2000 N. Náhodná volba zatěžujících sil není v tomto případě zavádějící, jelikož volená síla bude použita u kontroly obou kyvných vidlic a při analýze budou mít tedy shodné podmínky. Výsledkem kontroly je porovnání rozložení napětí, které působí na obě varianty. Simulace spočívá v pevném uchycení pouzder hlavního čepu a zatěžování koncovek vidlice stejně velkými silami, které působí opačnými směry a to tak, že výsledné zatížení krouťí vidlici v pravotočivém, popřípadě v opačném směru, a to v závislosti na orientaci působících sil.

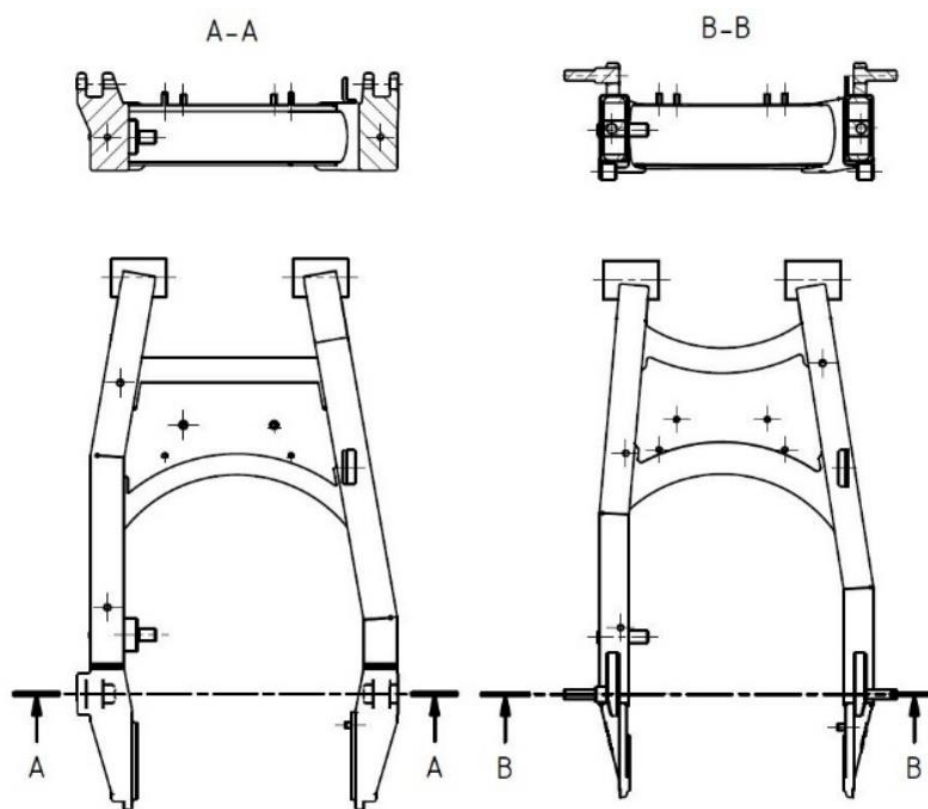
Při kontrole ocelové vidlice bylo zjištěno maximální napětí 281,9 MPa v místě napojení ramene na pravé pouzdro hlavního čepu. Maximální napětí působící u hliníkové varianty je nepatrně vyšší než u původní prototypové verze, a to 288,4 MPa. Rozdíl nejvyšších napětí je nepatrný, téměř zanedbatelný. Rozložení zbylého napětí už je zde však rozdílné, což lze pozorovat na obr. 26. Rozsahy a hodnoty napětí, které jsou přiřazeny k jednotlivým barvám jsou u obou simulací shodné, tudíž lze vhodně porovnat rozložení napětí v obou variant. Na ramenech ocelové vidlice lze spatřit napětí spadající do světle zelené barvy, což odpovídá rozsahu 69 MPa až 102 MPa. Toto napětí lze pozorovat také u napojení ramene k pouzdrům hlavního čepu. U hliníkové varianty je možné pozorovat napětí pouze v modrých odstínech, což odpovídá napětí do 69 MPa. Lze tedy vyhodnotit, že obě varianty vykazují téměř stejné hodnoty maximálního napětí, avšak celkový průběh zatížení je výhodněji rozložený u hliníkové kyvné vidlice.



Obr. 26 Porovnání napětí při torzním zatížení ocelové vidlice (vlevo) a hliníkové vidlice (vpravo)

9 POROVNÁNÍ VARIANT

Nová prototypová varianta by měla být plně zaměnitelná za stávající ocelovou. Tato podmínka zásadně ovlivňuje celkový tvar přepracované vidlice, který se od původní příliš neliší. Zřejmě největší změna proběhla v oblasti uložení osy kola a tlumičů, kde se všechny blízké komponenty sloučily do jednoho frézovaného bloku. Změnou uložení tlumičů došlo také k roztažení ramen v místech napojení na koncovky, čímž se výrazně zvýšila tuhost celé konstrukce. S úpravou ramen bylo vhodné také upravit aretaci brzd, která nyní má výrazné osazení, které zajistí podporu při případném ohybu. Poslední výraznou změnou bylo zjednodušení tvaru mostu, kde ohýbaná trubka byla nahrazena rovným čtvercovým jeklem. Úprava trubky mostu měla převážně vzhledový charakter a také možnost snížení výrobních nákladů. Všechny zásadní tvarové změny lze porovnat na obr. 27.



Obr. 27 Porovnání nové (vlevo) a původní vidlice (vpravo)

Jedním z hlavních požadavků při návrhu nové vidlice byla redukce hmotnosti a tím také snížení neodpružených hmot motocyklu. Prototypová vidlice vyrobená z ocelových polotovarů vykazovala dle programu Autodesk Inventor Professionál 2020 hmotnost 8,853 kg. Volbou odlehčených hliníkových materiálů pro výrobu polotovarů byla dosažena u hliníkové vidlice dle stejného modelačního programu hmotnost 5,802 kg, což představuje redukcí hmotnosti o 34,5 %. K hmotnostem nejsou započítány svary a povrchové úpravy, které mohou následně tyto hodnoty ovlivnit. Hlavní zásluhu na redukcí hmotnosti zde má náhrada materiálu s nižší objemovou hmotností (hustotou). Snižování hmotnosti by mohlo být ještě výraznější, pokud by se volily polotovary s menší tloušťkou stěn. Volba tenčích polotovarů by mohla mít za následek snížení bezpečnosti konstrukce. Výraznou část hmotnosti hliníkové kyvné vidlice představují koncovky, jejichž hmotnost činí 43 % z celkové tíhy vidlice. Jedná se o komponenty nejvíce vhodné pro další úpravy zaměřené na odlehčení dílů.

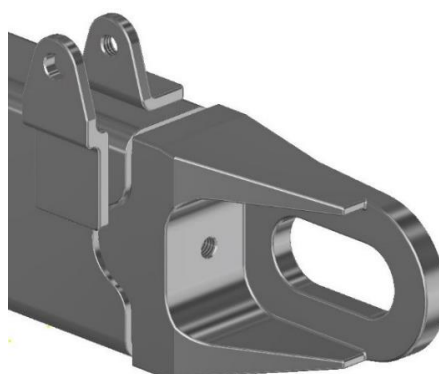
Pevnostní analýzou byly zkontrolovány obě varianty kyvné vidlice, které byly zatěžovány ve stejných vazbách shodnými silami a měly tedy vhodné podmínky pro srovnání. Původní ocelová varianta vykazuje nadměrné zatížení v oblasti uložení levého tlumiče. V této oblasti působí maximální napětí 699 MPa. Po zanedbání hodnot napětí u uložení tlumičů lze zbytek konstrukce vyhodnotit jako vyhovující. Zjištěné maximální napětí je výrazně vyšší než napětí u nové hliníkové verze, kde je nejvyšší hodnota nalezena v místě uložení osy kola v levé koncovce. Zde působí napětí 128,9 MPa, což je snížení o 81 % oproti prototypu. Z bezpečnostního hlediska je nová varianta vidlice plně vyhovující, jelikož je nejnižší nalezená hodnota bezpečnosti 1,45. Prototypová verze je vzhledem ke špatné volbě uložení tlumičů nevyhovující. Nejnižší hodnota součinitele bezpečnosti je nalezena v místě uchycení držáku čepu k rameni kyvné vidlice, kde je součinitel bezpečnosti 0,36. Další kritickou oblastí u původní verze je uložení osy kola v koncovkách, kde se bezpečnost pohybuje kolem hodnoty 0,8, což je stále považováno za nedostatečné.

Při srovnání kyvných vidlic, které byly zatíženy krutem bylo zjištěno, že maximální hodnoty výsledného napětí jsou u obou variant téměř totožné. Rozdíl lze pozorovat u rozložení napětí na vidlici, které je u hliníkové varianty výhodnější, jelikož jednotlivé části konstrukce vykazují nižší celkové napětí, což lze pozorovat na obr. 26. Nižší napětí je zde vykresleno chladnějšími odstíny barev a se vzrůstajícím napětím se barevné spektrum přibližuje k červené, která znázorňuje maximální hodnoty.

10 DALŠÍ KONSTRUKČNÍ VÝVOJ

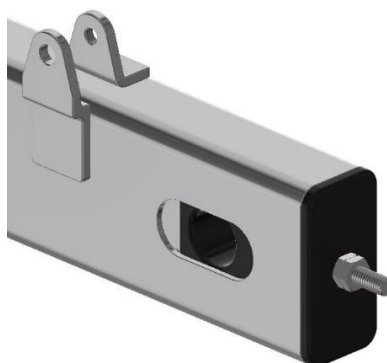
Další případné vývojové kroky lze očekávat v oblasti redukce hmoty. Velký hmotnostní podíl mají u nové hliníkové vidlice koncovky, jejichž tíha představuje 43 % z celkové hodnoty. Jedná se o frézované koncovky, které sdružují uložení osy kola a uložení tlumičů do jednoho bloku. U této varianty koncovek se nachází pod uložení tlumičů oblasti, kde je celý objem vyplněný materiálem a tvoří tak přebytečnou zátěž.

Nejvhodnější možností odlehčení je odstranění přebytečného materiálu ze stávajících koncovek. Jednu z možných variant lze vidět na obr. 28, kde bylo od těla koncovky odděleno uložení tlumičů, které je nyní řešeno samostatnými tvarovanými plechy, které jsou navařeny k ramenu. Dále došlo ke zkrácení celkové délky koncovky a ke zúžení konce směrem k otvoru pro uložení osy kola. Jedná se o nejvhodnější směr dalšího vývoje kyvné vidlice.



Obr. 28 Návrh nové koncovky

Druhým často využívaným způsobem zakončení vidlice bývá uložení osy kola přímo v rameni vidlice. Do ramene je vsunut opracovaný blok, kterým prochází osa kola a slouží k polohování kola (napínání řetězu). Rameno je zakončeno zátkou, kterou prochází šroub, který je spojený s blokem. Otáčením matice se šroub s blokem posouvá v rameni, kde je pohyb omezený oválnými otvory na bocích ramen. Uložení tlumiče je zde řešeno stejným způsobem jako u předchozího návrhu, a to navařením tvarovaných plechů k rameni. Značnou výhodou je zde nízká výrobní náročnost a s tím související cena. Tato verze zakončení je méně vhodná pro použití u nově konstruované kyvné vidlice, jelikož se designově velice liší od továrního návrhu. Jedná se o variantu s nejvyšší úsporou hmotnosti, jelikož se zde nenachází žádné výrazné objemové prvky.



Obr. 29 Návrh vidlice bez koncovky

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo konstrukční přepracování původní kyvné vidlice do varianty z hliníkových slitin. Práce vznikala ve spolupráci s firmou JAWA Moto spol. s r.o., která poskytla potřebné podklady a informace k prototypové vidlici.

První část bakalářské práce je zaměřena na základní informace o kyvných vidlicích. Je zde stručné porovnání rozdílných konstrukčních variant zavěšení zadního kola. Pro správné pochopení zatěžovacích sil zde jsou popsány jízdní stavy motocyklu, které nastávají při provozu.

Druhá část práce se věnuje konstrukčnímu návrhu nové kyvné vidlice z hliníkových slitin. Úvodem jsou shrnuty požadavky a cíle konstrukční práce, na které navazuje popis původní ocelové konstrukce. Následuje rozbor nového konstrukčního řešení s odůvodněním volby jednotlivých úprav. Správnost volby materiálů a tvarů je podložena pevnostní kontrolou, které předcházela výpočet sil ve vazbách. U konce práce jsou obě vidlice vzájemně porovnány a navrženy další vývojové postupy.

U původní prototypové vidlice byla pevnostní analýzou odhalena kritická a nebezpečná místa, která u nového řešení byla upravena vhodnější volbou natvarování. Ocelová vidlice je považována za prototyp, který slouží jako základ pro další úpravy a vylepšování. Není tedy překvapující, že některé pevnostní zkoušky nelze uznat jako vyhovující. Nová varianta kyvné vidlice dosáhla redukce hmotnosti o 34,5 %. Hmotnost by bylo možné ještě nadále snižovat dalšími konstrukčními úpravami, jako je např. změna volby materiálu, odlehčení vybraných prvků atd. Pro výrazné snížení hmotnosti by bylo vhodné lépe navrhnout koncovky obou ramen, jelikož se jedná o plně frézované materiály, jejichž hmotnost výrazně převyšuje ostatní komponenty a zhoršuje tak celkový výsledek redukce hmotnosti. Úpravy zaměřené na výrazné snížení hmotnosti mohou zásadně změnit mechanické vlastnosti vidlice. Při kontrole torzních tuhostí bylo vyšetřeno téměř shodné maximální napětí, avšak rozvržení napětí v jednotlivých částech vidlice působí výhodněji u nové hliníkové varianty.

Přepracovaný návrh byl vymodelován v programu Autodesk Inventor Professional 2020, ve kterém se také prováděly pevnostní analýzy obou variant. Ve stejném programu vznikala také výkresová dokumentace, která je součástí práce a je umístěna v příloze tohoto dokumentu.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] O nás. *JAWA Moto spol. s r. o.* [online]. Týnec nad Sázavou: JAWA Moto, 2020 [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <https://www.jawa.eu/o-nas>
- [2] Logo Jawa. In: *Jawa Babetta* [online]. Hencovce: Jawa Babetta, ©2020 [cit. 2020-08-20]. Dostupné z: <http://babeta.maweb.eu/>
- [3] Kyvné rameno. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Kyvn%C3%A9_rameno
- [4] VLK, František. *Teorie a konstrukce motocyklů 1: Jízdní vlastnosti, motocyklové motory, příprava směsi*. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1601-7.
- [5] VLK, František. *Teorie a konstrukce motocyklů 2: Převodové ústrojí, podvozek, rám, elektrická výbava*. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1601-7.
- [6] Swingarm protection. In: *KTM: READY TO RACE* [online]. Mattighofen (Rakousko): KTM Sportmotorcycle, ©2020 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.ktm.com/en-lv/parts---wear/powerparts/products/protection/swingarm-protection-1000869506.html?model=F8101T6>
- [7] Streetbike race track rear spool stand U-type. In: *Langston Motorsports* [online]. Perris (California, USA): Langston Motorsports, © 2020 [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: <https://www.langston-motorsports.com/products/streetbike-track-rear-spool-stand-u-type>
- [8] ŘIHÁČEK, Jan, Kamil PODANÝ a Eva PETERKOVÁ. Kapalina jako tvářecí medium. In: *MM spektrum: Nejčtenější strojírenský časopis* [online]. Praha: MM publishing, © 2018, 12.2.2019 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/kapalina-jako-tvareci-medium.html>
- [9] ROLLINGER, Mirek. Technika motocyklu: 8. část - podvozek. *Motorkáři.cz* [online]. Motorkáři.cz, © 2001-2020, 30.01.2006 [cit. 2020-06-17]. ISSN 1214-7125. Dostupné z: <https://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/technika-motocyklu-8.-cast-podvozek-3456.html>
- [10] JAWA 350, typ 18. In: *JAWA Moto spol. s r. o.* [online]. Týnec nad Sázavou: JAWA Moto, 2020 [cit. 2020-08-21]. Dostupné z: <https://www.jawa.eu/motocykly-jawa>
- [11] Velocette KTT Mk VIII. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Velocette_KTT_Mk_VIII
- [12] Racing dual dark style koncovky MEGAPHONE Triumph Street Twin 2016 - 2018. In: *Moto-vyfuky* [online]. Nový Bor: R2R, © 2009 - 2018 [cit. 2020-08-21]. Dostupné z: <http://www.moto-vyfuky.cz/technika/vyfuky/115-873-578-215-454-890-461-931-954-774-692-419-314-514-812-597-171-873-259-287-755-789-777-400-10-1254285-dual-slip-on-dark-style-aprilia-dorsoduro-p.html>

- [13] KTM 350 SX-F (2016). In: *KTM Bernhardt* [online]. Lössnitz: KTM Bernhardt [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.ktm-bernhardt.de/de/motorrad-modell-ktm-350-sx-f-5479-2016>
- [14] Swingarm. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020, 20. 08. 2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Swingarm>
- [15] BMW render. In: *Motorcyclenews* [online]. Peterborough (GB): Bauer Media Group, © 1955-2020 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.motorcyclenews.com/news/new-bikes/bmw-r18-cruiser/>
- [16] EN AW-1050A (Al99.5). *Proal: hliníkové profily* [online]. Ostrava: NPS PROAL, © 2019 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://proal.cz/hlinik/slitiny-hliniku/en-aw-1050a/>
- [17] Výroba hliníkových profilů na zakázku. *Proal: hliníkové profily* [online]. Ostrava: NPS PROAL, © 2019 [cit. 2020-06-06]. Dostupné z: <https://proal.cz/hlinikove-profilu-specialni/vyroba-profilu/>
- [18] Zakázkové profily podle výkresové dokumentace. *Moss-Bartoš* [online]. Bučovice: MOSS-Ing. Zdeněk Bartoš, ©2020 [cit. 2020-07-16]. Dostupné z: <https://www.moss-bartos.cz/sortiment/hlinikove-profilu2/specialni-zakazkove-profilu-na-podle-vykresove-dokumentace/>
- [19] Slitiny hliníku. *Proal: hliníkové profily* [online]. Ostrava: NPS PROAL, © 2019 [cit. 2020-08-26]. Dostupné z: <https://proal.cz/hlinik/slitiny-hliniku/>
- [20] Eloxování. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020, 19. 07. 2020 [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Eloxov%C3%A1n%C3%AD>
- [21] Eloxování. In: *Z-PRECIS: Quality Based on Experience* [online]. Vsetín: Z-PRECIS, 2019 © [cit. 2020-09-03]. Dostupné z: <http://www.zprecis.cz/eloxovani/#!>
- [22] Podklady poskytnuté firmou *JAWA Moto spol. s r. o.*

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

| | | |
|-------------------|----------------------|--|
| $3D$ | [-] | Trojrozměrný (např. model) |
| a | [mm] | Vzdálenost osy kola a osy hlavního čepu |
| ABS | [-] | Protiblokační brzdící systém |
| b | [mm] | Podélná vzdálenost uložení tlumičů a osy hlavního čepu |
| c | [mm] | Svislá vzdálenost uložení tlumičů a osy hlavního čepu |
| CR | [-] | Označení materiálu pryže |
| D | [mm] | Vnější průměr trubky mostu |
| d_1 | [mm] | Nový průměr trubky uložení |
| d_2 | [mm] | Původní průměr trubky uložení |
| E | [GPa] | Modul pružnosti v tahu (Youngův modul) |
| $F_{\check{c}}$ | [N] | Síla působící na jedno pouzdro uložení hlavního čepu |
| $F_{\check{c}e}$ | [N] | Celková síla působící od hlavního čepu |
| $F_{\check{c}ex}$ | [N] | Síla působící od hlavního čepu v ose x |
| $F_{\check{c}ey}$ | [N] | Síla působící od hlavního čepu v ose y |
| F_o | [N] | Síla působící od osy kola na jednu koncovku |
| F_{ok} | [N] | Korigovaná síla od osy kola |
| $F_{ok'}$ | [N] | Síla od osy kola |
| F_t | [N] | Síla působící od jednoho tlumiče |
| F_{tl} | [N] | Výsledná síla od tlumičů |
| F_{tlx} | [N] | Síla od tlumičů působící v ose x |
| F_{tly} | [N] | Síla od tlumičů působící v ose y |
| F_x | [N] | Celková všeobecná síla ve směru osy x |
| F_y | [N] | Celková všeobecná síla ve směru osy y |
| g | [m·s ⁻²] | Gravitační konstanta zrychlení |
| G | [GPa] | Modul pružnosti ve smyku |
| k | [-] | Koeficient zahrnutí dynamických sil |
| MKP | [-] | Metoda konečných prvků |
| $M_{o\check{c}}$ | [N·m] | Výsledný moment hlavního čepu |
| m_{zmax} | [kg] | Maximální zatížení osy kola |
| $PR\ 4\ HR$ | [mm] | Profil čtyřhranný (délka jedné strany) |
| $PR\ OBD$ | [mm] | Profil obdélníkový (délky stran) |

| | | |
|----------|-----------------------|--|
| R | [mm] | Rádus zaoblení hran (obecné značení pro více hran) |
| Ra | [MPa] | Mez kluzu |
| Rm | [MPa] | Mez pevnosti v tahu |
| t | [mm] | Tloušťka plechu mostu |
| TR | [-] | Trubka kruhová |
| α | [°] | Úhel svíraný rameny vidlice a tlumiči |
| ρ | [kg·m ⁻³] | Měrná hmotnost (hustota) |

SEZNAM PŘÍLOH

| Druh dokumentu | Název dokumentu | Číslo dokumentu |
|----------------|-------------------|------------------|
| Výkres sestavy | VIDLICE ÚPLNÁ | BP-ADL-01-00 |
| Seznam položek | VIDLICE ÚPLNÁ | BP-ADL-01-00-K1 |
| Seznam položek | VIDLICE ÚPLNÁ | BP-ADL-01-01-K2 |
| Výrobní výkres | NAPÍNAČ | BP-ADL-01-00-01 |
| Výrobní výkres | OSA ZADNÍHO KOLA | BP-ADL-01-00-02 |
| Výrobní výkres | ROLNA | BP-ADL-01-00-03 |
| Výrobní výkres | PROTEKTOR | BP-ADL-01-00-04 |
| Výkres svarku | VIDLICE SVAŘENÁ | BP-ADL-01-01 |
| Seznam položek | VIDLICE SVAŘENÁ | BP-ADL-01-01-K1 |
| Seznam položek | VIDLICE SVAŘENÁ | BP-ADL-01-01-K2 |
| Výrobní výkres | KONCOVKA LEVÁ | BP-ADL-01-01-1 |
| Výrobní výkres | KONCOVKA PRAVÁ | BP-ADL-01-01-2 |
| Výrobní výkres | RAMENO LEVÉ | BP-ADL-01-01-3 |
| Výrobní výkres | RAMENO PRAVÉ | BP-ADL-01-01-4 |
| Výrobní výkres | ULOŽENÍ LOŽISEK | BP-ADL-01-01-5 |
| Výrobní výkres | PROFIL MOSTU | BP-ADL-01-01-6 |
| Výrobní výkres | TRUBKA MOSTU | BP-ADL-01-01-7 |
| Výrobní výkres | PLECH MOSTU DOLNÍ | BP-ADL-01-01-8 |
| Výrobní výkres | PLECH MOSTU HORNÍ | BP-ADL-01-01-8.1 |
| Výrobní výkres | ARETACE BRZDY | BP-ADL-01-01-9 |
| Výrobní výkres | ÚCHYT KRYTOVÁNÍ | BP-ADL-01-01-10 |
| Výrobní výkres | ZÁCHYT BLATNÍKU | BP-ADL-01-01-11 |