



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

**Kyvná vidlice pro motocykl
s elektrickým pohonem**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

AUTOR: Bc. David Abraham

VEDOUcí PRÁCE: doc. Ing. Marie Kolaříková, Ph.D., IWE

STUDIJNÍ PROGRAM: N 2301 Strojní inženýrství

STUDIJNÍ OBOR: 3911T035 Výrobní a materiálové inženýrství

Praha 2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Abraham** Jméno: **David** Osobní číslo: **465325**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Výrobní inženýrství**
Specializace: **Bez specializace**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Kyvná vidlice pro motocykl s elektrickým pohonem

Název diplomové práce anglicky:

Swingarm for electric motorcycle

Pokyny pro vypracování:

- rozbor problematiky kyvné vidlice
- návrh a teoretické ověření vlastního řešení kyvné vidlice pro motocykl s elektrickým pohonem
- výroba kyvné vidlice
- ekonomický rozbor výrobního procesu kyvné vidlice
- závěr

Seznam doporučené literatury:

- VLK, František. Teorie a konstrukce motocyklů 2. 1. Brno: Moravská zemská knihovna Brno, 2004. ISBN 8023916017.
- databáze WoS a Scopus

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Marie Kolaříková, Ph.D. ústav strojírenské technologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Ing. Jindřich Zeman ústav strojírenské technologie FS

Datum zadání diplomové práce: **26.04.2023** Termín odevzdání diplomové práce: **11.08.2023**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2023**

doc. Ing. Marie Kolaříková, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Marií Kolaříkovou, Ph.D., IWE , a to pouze pomocí podkladů uvedených v seznamu použité literatury v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne:

.....

Podpis autora

Poděkování

Tímto děkuji paní doc. Ing. Marii Kolaříkové, Ph.D., IWE za poskytnutí podkladů, cenné rady a připomínky při tvorbě této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat konzultantovi této práce Ing. Jindřichu Zemanovi za cenné rady, pomoc při laboratorních zkouškách provedených v rámci této práce, pomoc při vytváření výkresové dokumentace a tvorbu metalografických výbrusů. Rovněž děkuji firmě Abraham Kovovýroba s.r.o. za výrobu jednotlivých komponent a sestav. Dále bych chtěl poděkovat technologickému oddělení Ústavu jaderného výzkumu za odborné konzultace při tvorbě konstrukčního návrhu.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá komplexním návrhem a výrobou kyvné vidlice pro závodní elektrický motocykl CTU Lions EVO 3.0 electric. Teoretická část je věnována rozboru problematiky kyvné vidlice obsahující druhy kyvných vidlic, používané materiály, způsoby výroby a zpracování kyvné vidlice po výrobě. Praktická část se zabývá návrhem konstrukčního řešení kyvné vidlice, experimentálního ověření výrobní technologie, výrobou kyvné vidlice a ekonomickým zhodnocením výroby.

Název diplomové práce:	Kyvná vidlice pro motocykl s elektrickým pohonem
Autor práce:	Bc. David Abraham
Vedoucí práce:	doc. Ing. Marie Kolaříková, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Jindřich Zeman
Akademický rok:	2023
Vysoká škola:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	12133 – Ústav strojírenské technologie
Vedoucí ústavu:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Rozsah práce:	85 stránek, 34 tabulek, 53 obrázků
Klíčová slova:	Motocykl, technologie, návrh, svařování, tepelné zpracování, výroba.

Annotation

This thesis is dealing with the complex design and manufacture of a swingarm for the CTU Lions EVO 3.0 electric racing motorcycle. The theoretical part is devoted to the analysis of the swingarm issues including types of swingarm, materials used, manufacturing methods and processing of the swingarm after manufacturing. The practical part deals with the design of the swingarm design, experimental verification of the production technology, production of the swingarm and economic evaluation of the production.

Title of the final thesis:	Swingarm for electric motorcycle
Author:	Bc. David Abraham
Supervisor:	doc. Ing. Marie Kolaříková, Ph.D., IWE
Consultant:	Ing. Jindřich Zeman
Academic year:	2023
University:	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Department:	12133 – Department of Manufacturing Technology
Head of department:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Extent:	85 pages, 34 tables, 53 pictures
Keywords:	Motorcycle, technology, design, welding, heat treatment, production.

Obsah

ÚVOD A CÍLE PRÁCE	12
1. Vývoj kyvné vidlice pro motocykl	13
1.1 Druhy kyvných vidlic	14
1.1.1 Konvenční dvouramenná zadní kyvná vidlice	15
1.1.2 Konzolová kyvná vidlice	15
1.1.3 Kyvná vidlice s pákovým mechanismem a centrální tlumicí jednotkou.....	17
1.1.4 Jednoramenná kyvná vidlice	18
2. Návrh vlastního konstrukčního řešení kyvné vidlice	19
2.1 Koncepte motocyklu EVO 3.0	19
2.1.1 Varianta 1) – Pohonná jednotka s rozvodovou skříní	21
2.1.2 Varianta 2) – Pohonná jednotka před uchycením osy kyvné vidlice.....	22
2.1.3 Varianta 3) – Pohonná jednotka nad uchycením kyvné vidlice	23
2.1.4 Varianta 4) – Pohonná jednotka v ose uložení kyvné vidlice	23
2.1.5 Výběr finální varianty	24
2.2 Geometrie kyvné vidlice	25
2.2.1 Délka kyvné vidlice	25
2.2.2 Úhel kyvné vidlice	25
2.3 Návrh konstrukčního řešení kyvné vidlice	26
2.3.1 Konstrukce kyvné vidlice	26
2.3.2 Uložení kyvné vidlice	27
2.3.3 Svařenec kyvné vidlice	28
2.3.4 Převodové ústrojí	30
3. Ověření návrhu výrobního postupu	31
3.1 Materiál.....	31

3.1.1	Rozdělení tvářených hliníkových slitin	32
3.1.2	Výběr materiálu kyvné vidlice	33
3.2	Pevnostní kontrola	36
3.3	Návrh svařovacího procesu.....	38
3.3.1	Faktory ovlivňující svařitelnost hliníkových slitin	39
3.3.2	Výběr svařovací metody pro výrobu kyvné vidlice.....	39
3.4	Návrh tepelného zpracování.....	44
3.4.1	Zvolené tepelné zpracování pro ověření výrobního postupu	46
3.5	Vzorky pro ověření návrhu výrobního postupu.....	48
3.6	Zkoušky mechanických vlastností.....	50
3.6.1	Převedení hodnot tvrdosti na mechanické vlastnosti.....	53
3.7	Mikrostruktura.....	55
3.8	Vyhodnocení dílčích výsledků a volba TZ.....	59
4.	Výroba zvoleného konstrukčního návrhu kyvné vidlice.....	60
4.1	Výroba komponent	60
4.2	Výroba svařence kyvné vidlice.....	61
4.3	Tepelné zpracování svařence kyvné vidlice	62
4.3.1	Tepelné zpracování.....	62
4.3.2	Kontrola	64
4.4	Obrábění kyvné vidlice.....	66
4.5	Kompletace zadního uložení.....	67
4.5.1	Postup kompletace	68
5.	Ekonomické zhodnocení	71
5.1	Náklady	72
5.1.1	Výroba jednotlivých komponent	72
5.1.2	Svařování a tepelné zpracování.....	72

5.1.3	Tepelné zpracování.....	73
5.1.4	Obrábění svařence kyvné vidlice	73
5.1.5	Celkové náklady	73
6.	Závěr.....	75
	Bibliografie.....	77
	Seznam tabulek	81
	Seznam obrázků.....	82
	Seznam grafů	85
	Přílohy.....	85

Seznam zkratek

Zkratka	vysvětlení
EVO 1.0	CTU Lions EVO 1.0
EVO 2.0	CTU Lions EVO 2.0
EVO 3.0	CTU Lions EVO 3.0
BB	Battery box
PJ	Pohonná jednotka
TZ	Tepelné zpracování
TOO	Tepelně ovlivněná oblast
PV – voda	Precipitační vytvrzení se zachlazením do vody po rozpouštěcím žíhání
PV – vzduch	Precipitační vytvrzení se zachlazením na vzduchu po rozpouštěcím žíhání
ŽVP	Žíhání ke snížení vnitřních pnutí
NZ	Nezpracovaný vzorek

Seznam použité symboliky

Symbol [jednotka]	Vysvětlení
R_m [MPa]	Mez pevnosti v tahu
$R_{p0,2}$ [MPa]	Smluvní mez kluzu
A [%]	Tažnost
α [$\cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$]	Koeficient délkové roztažnosti
λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	Tepeľná vodivost
T [°C]	Teplota
t [min]	Čas
HV [-]	Tvrdost dle Vickerse
HBW [-]	Tvrdost dle Brinela
h [mm]	Výška svaru

ÚVOD A CÍLE PRÁCE

Diplomová práce obsahuje návrh a výrobu svařované zadní kyvné vidlice pro studentský elektrický závodní motocykl CTU Lions EVO 3.0 (dále pak jako „EVO 3.0“), který vzniká jako studentský projekt pod vedením Fakulty dopravní ve spolupráci s Fakultou strojní a Fakultou elektrotechnickou Českého vysokého učení technického v Praze. Motocykl EVO 3.0 je vyvíjen a následně zkompletován pro celosvětovou soutěž MOTOSTUDENT konanou na španělském závodním okruhu Motorland Aragon. V rešeršní části je uveden vývoj a rozbor jednotlivých typů kyvných vidlic na současných produkčních motocyklech. Dále následuje návrhová část práce, kde jsou rozebrána kritéria pro tvorbu konstrukčního návrhu kyvné vidlice a její samotný finální konstrukční návrh. Po uvedení finálního konstrukčního návrhu následuje ověření technologie jeho výroby. V rámci ověření je pro kyvnou vidlici vybrán nejvhodnější materiál, svařovací proces a tepelné zpracování po svařovacím procesu. Jako další část následuje výroba zvoleného konstrukčního návrhu, kde jsou popsány výrobní procesy jednotlivých komponent, sestav, tepelné zpracování a kontrola kyvné vidlice. Poslední část této práce se zabývá ekonomickým zhodnocením výroby kyvné vidlice.

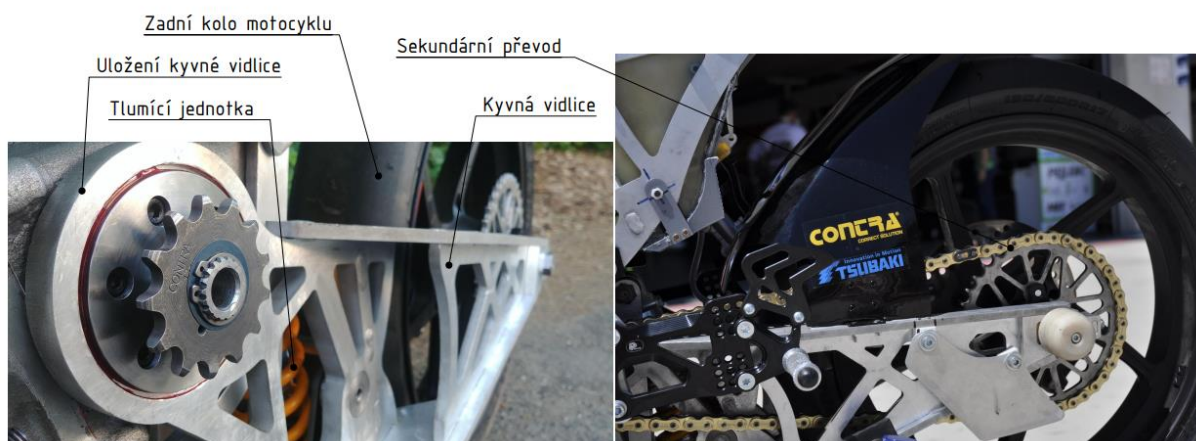
Cíle:

- 1) návrh vlastního konstrukčního řešení kyvné vidlice,**
- 2) ověření návrhu výrobního postupu,**
- 3) výroba zvoleného konstrukčního návrhu kyvné vidlice.**

1. Vývoj kyvné vidlice pro motocykl

Zadní kyvná vidlice je částí motocyklu, která je určena k uchycení zadního kola k rámu a k vedení zadního kola ve správně stopě (ose motocyklu) během jízdy. Kyvná vidlice je k rámu motocyklu připevněna buď pomocí jednoho nebo dvou čepů uložených v kluzných nebo valivých ložiscích. Zadní kyvná vidlice je osazena tlumicí jednotkou, která je jedním koncem připevněna k rámu motocyklu a druhým na kyvné vidlici. Tlumicí jednotka je použita pro absorbování nerovností na vozovce a zajištění bezpečné jízdy motocyklu. V rámci uložení zadní kyvné vidlice je i sekundární převod motocyklu, který zajišťuje pohon zadního kola. V souvislosti se sekundárním převodem, který je z pravidla poháněn článkovým řetězem, musí konstrukce kyvné vidlice zajišťovat správné konstrukční řešení pro napínání článkového řetězu, případně jiného druhu pohonu sekundárního převodu (řemen, kardan).

Nejčastější výrobní metodou pro kompletaci jednotlivých částí kyvné vidlice je technologie svařování nebo spojování jednotlivých komponent pomocí svěrných šroubových spojů. V rámci této práce je zvolena kombinace obou uvedených metod. Pro výrobu jednotlivých komponent se využívají nejčastěji technologie třískového obrábění nebo také tvarově tvářené či odlité dílce. Metody svařování a jednotlivé technologie výroby jsou popsány v rámci dalších kapitol této práce. [1] [2]



Obrázek 1.1 Uložení zadního kola motocyklu EVO 2.0 [archiv autora]

Vývoj nové kyvné vidlice spojuje oblasti konstrukčního návrhu s technologiemi výroby a kontrolních simulačních procesů pomocí metody konečných prvků. Pro první konstrukční a technologické návrhy kyvné vidlice je nutné si určit následující aspekty:

- druh kyvné vidlice,
- materiál ze kterého má být vyrobena,
- metoda svařování,
- tepelné zpracování po svařování.

Na základě výše zvolených aspektů je možné vytvořit první konstrukční návrhy kyvné vidlice. Rozměry kyvné vidlice jsou dány především celkovým návrhem motocyklu a pravidly soutěže. Po stanovení konstrukčního návrhu kyvné vidlice je určen výrobní materiál, se kterým proběhne pevnostní kontrola konstrukce. Následně probíhá volba výrobního postupu, použité technologie a finální ověření zvolených parametrů. Poslední částí vývoje kyvné vidlice je vytvoření výkresové dokumentace a výroba testovacího prototypu.

1.1 Druhy kyvných vidlic

Historický vývoj uložení zadního kola motocyklu, respektive vývoj zadní kyvné vidlice prošel několika zásadními momenty. U prvních motocyklů se zadní kyvné vidlice nevyužívalo a byla vyrobena jako součást rámu, tudíž zadní kolo motocyklu nebylo odpruženo a nemohlo eliminovat nerovnosti na vozovce. Mezi první odpružené kyvné vidlice patřilo kluzákové zavěšení zadního kola známého z motocyklu JAWA 250 „Pérák“ ze 40. let 20. století. To později nahradilo zavěšení kyvné vidlice s jedním nebo s dvojicí tlumičů pro maximalizování stability jízdy motocyklu. [2] [3]



Obrázek 1.2: Jawa 250 „pérák“ [4]

1.1.1 Konvenční dvouramenná zadní kyvná vidlice

Od 50. let do 90. let 20. století se jednalo o nejpoužívanější typ zavěšení zadního kola u produkčních motocyklů. Vidlice je sestavena ze dvou ramen, která jsou spojena příčně mezi sebou k dosažení maximální tuhosti konstrukce. Kyvná vidlice je osazena dvěma tlumicími jednotkami. Tento typ kyvné vidlice má stále využití u maloobjemových a levnějších motocyklů na současném trhu. Výhodou dvouramenné konstrukce je jednoduchost provedení a nízké výrobní náklady. Další výhodou jsou větší zdvihy a úhel uchycení mezi kyvnou vidlicí a rámem z důvodů bočního uchycení na kyvné vidlici a rámu viz obrázek č. 1.3. Nevýhody konstrukce jsou menší tuhost při maximálním zatížení a nerovnoměrný chod tlumicích jednotek z důvodu odlišného zahřátí oleje v jednotlivých tlumicích jednotkách a možnosti „křížení“ konstrukce. [2] [3]



Obrázek 1.3: Konvenční dvouramenná zadní kyvná vidlice [5]

1.1.2 Konzolová kyvná vidlice

Konzolová kyvná vidlice vychází z principu dvouramenné kyvné vidlice s využitím pouze jedné tlumicí jednotky nejčastěji uchycené ve středu konstrukce. Tento způsob uložení zadní kyvné vidlice byl využíván od 70. let 20. století. Jedním z prvních systémů tohoto uložení byl „Cantilever“ od japonské značky Yamaha. Tento systém se vyznačuje pyramidovou konstrukcí kyvné vidlice, ze které je realizováno zavěšení tlumicí jednotky na rám motocyklu viz obrázek č. 1.4. Výhodou konstrukce je velká tuhost v ohybu, krutu a díky použité jedné tlumicí jednotce i lepší nastavení podvozku motocyklu. Nevýhoda uložení „Cantilever“ spočívá ve velké zástavbovém prostoru a nutnosti tlumicí jednotku přibližovat více k oblasti motoru

motocyklu, kde vzniká nadměrné zahřívání tlumicí jednotky a ovlivnění jejího správného chodu. [2] [3]



Obrázek 1.4: Zadní kyvná vidlice „Cantilever“ [5]

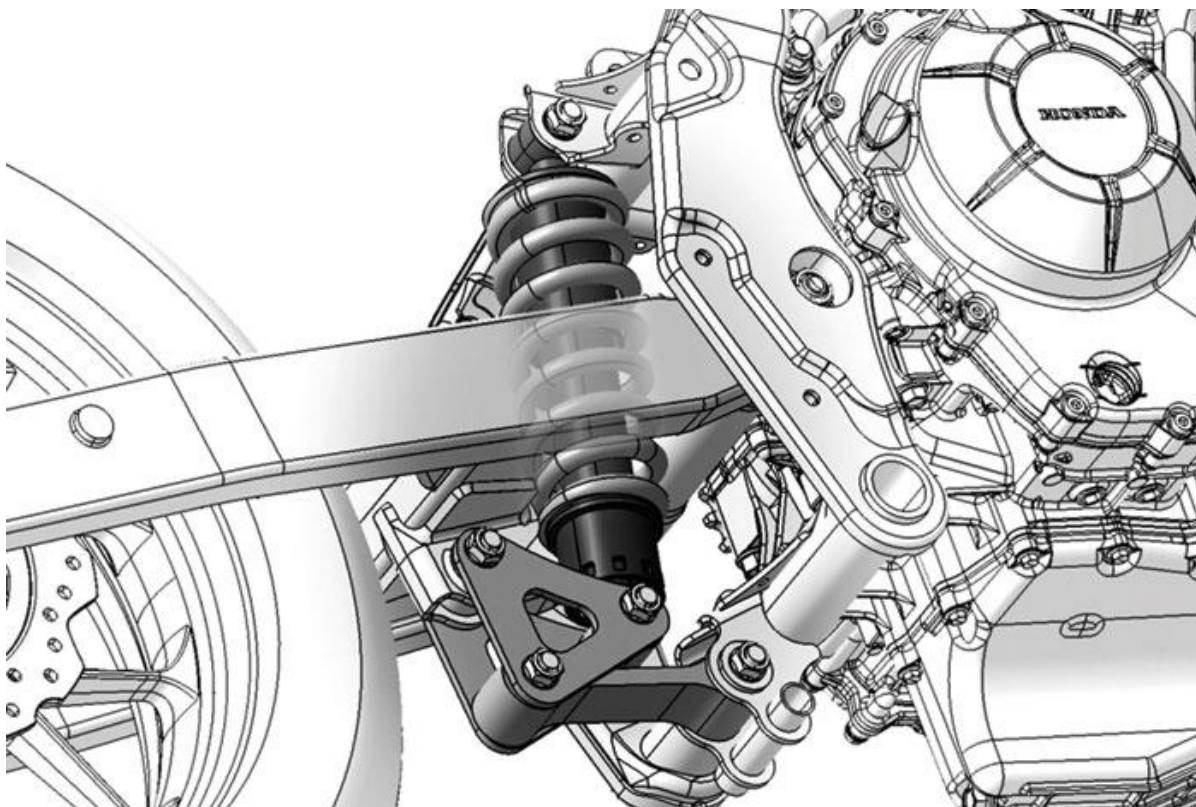
U současných produkčních motocyklů se využívá kombinace dvouramenné a konzolové kyvné vidlice, kdy konstrukce vychází z dvouramenné kyvné vidlice, ale je použito pouze jedné tlumicí jednotky, která je uchycena na prostřední příčce spojující ramena kyvné vidlice. Tato konstrukce je výhodná z důvodu lepší zástavby, respektive zvýšení úhlu uchycení a nedochází u ní k ohřívání tlumicí jednotky od motoru motocyklu viz obrázek č. 1.5. Nevýhoda konstrukce spočívá v nemožnosti nastavit progresivní tuhost u tlumicí jednotky a ve vysokém nároku na tuhost konstrukce kyvné vidlice. [2] [3]



Obrázek 1.5: Yamaha R3 [6]

1.1.3 Kyvná vidlice s pákovým mechanismem a centrální tlumicí jednotkou

U současných produkčních a závodních motocyklů se jedná o nejrozšířenější systém uložení zadní kyvné vidlice s centrální tlumicí jednotkou. Systém byl vyvinut koncem 80. let 20. století v Japonsku. Mezi první stroje osazené tímto systémem se řadily motokrosově speciály japonských značek Suzuki, Kawasaki, Yamaha a Honda. Každá ze zmíněných značek má vlastní patentované řešení systému s pákovým mechanismem, kdy Honda má systém Pro Link, Yamaha – Mono Cross, Suzuki – Full Floater a Kawasaki – Uni Trak. Pákový systém uložení je schopný dosáhnout nejlepších progresivních vlastností (proměnlivá účinnost pružící a tlumicí jednotky v závislosti na zatížení) z výše uvedených systémů a taky zajišťuje možnost velkých zdvihů zadní kyvné vidlice. Pákový mechanismus se obvykle skládá ze čtyřčlenných mechanismů, které navzájem propojují tlumicí jednotku, rám a zadní kyvnou vidlici. Nevýhodou pákového mechanismu je jeho značné namáhání během chodu a potřeba využití pevnějších materiálů na jednotlivé komponenty a s tím i souvisejících přesností výroby jednotlivých funkčních prvků celého systému. [2] [3] [7]



Obrázek 1.6: Pákový mechanismus Honda – Pro Link [7]

1.1.4 Jednoramenná kyvná vidlice

Dalším používaným typem zavěšení je spojení zadního kola motocyklu s rámem pomocí pouze jednoho ramena, kde pozice ramena kyvné vidlice je umístěna na straně sekundárního převodu motocyklu. U jednoramenných kyvných vidlic je výhodou úspora váhy oproti kyvné vidlici dvouramenné. Tlumič jednotka může být uložena buď v ose kola nebo na rameně kyvné vidlice a k rámu připevněna z boku motocyklu. Systém jednoramenné kyvné vidlice v současné době nejvíce používají značky BMW a Ducati. Nevýhodou jednoramenné vidlice je nesouměrné sjíždění jedné strany pneumatiky a zvýšené nároky na pevnost a tuhost celé konstrukce. [2] [3]



Obrázek 1.7: Jednoramenná kyvná vidlice – BMW R1250GS [8]

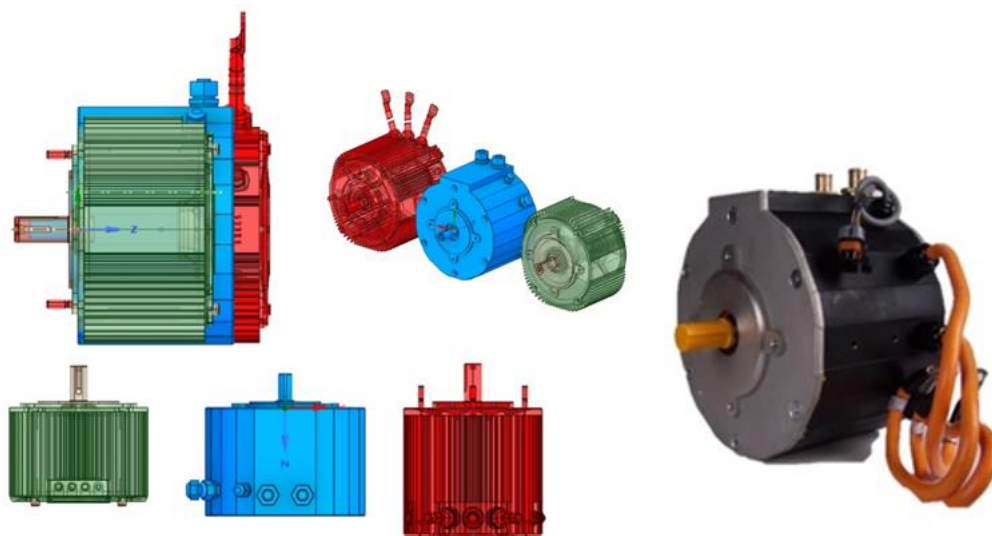
2. Návrh vlastního konstrukčního řešení kyvné vidlice

Návrhová část popisuje konstrukční návrh a finální podobu konstrukce kyvné vidlice pro motocykl EVO 3.0. Kapitola je dále rozdělena na tři hlavní části, kde první se zabývá výběrem vhodné koncepce uspořádání hlavních částí motocyklu EVO 3.0, druhá zvolením funkční geometrie kyvné vidlice a v poslední části je popsán vlastní návrh konstrukčního řešení kyvné vidlice s rozebráním jednotlivých funkčních celků jako je konstrukce, uložení kyvné vidlice a převodové ústrojí.

Navrhování konstrukce kyvné vidlice je velmi komplexní proces, který je ovlivněn mnoha faktory, a nelze zde stanovit přesný postup jednotlivých úkonů. Z důvodu zmíněné komplexnosti mohou jednotlivé uvedené konstrukční návrhy, postupy a vytvořené subsystémy v jednotlivých kapitolách odkazovat na podkapitoly, které jsou uvedené až následně, nebo naopak. Proto budou pro přehlednost následující kapitoly a podkapitoly seřazeny tak, aby na sebe navzájem co nejvíce navazovaly.

2.1 Koncepce motocyklu EVO 3.0

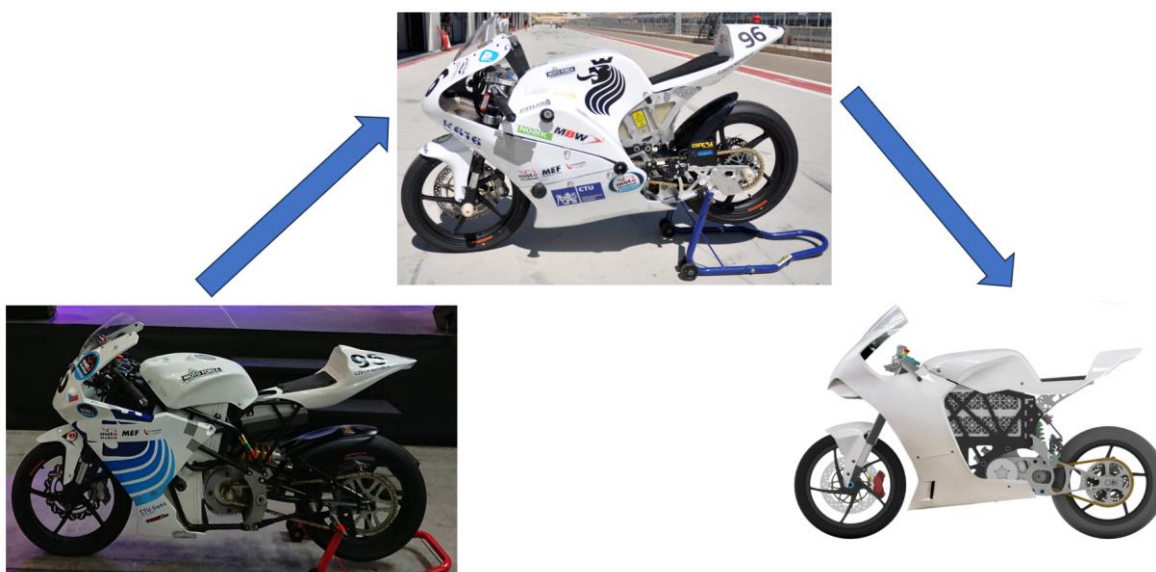
Nejdůležitějšími aspekty při návrhu elektrického motocyklu je umístění majoritních součástí jako je pohonná jednotka (dále jako „PJ“) a uložení energie (battery box, dále jako „BB“). V rámci soutěže MOTOSTUDENT, pro kterou je motocykl navrhován, je pravidly každému týmu PJ přidělena. PJ je pro všechny týmy totožná, čímž je zajištěno fair-play pro všechny zúčastněné týmy. Každý jednotlivý ročník soutěže má PJ odlišnou, jak velikostí, tak výkonem. BB si každý jednotlivý tým konstruuje a navrhuje sám na základě svých dosavadních zkušeností z předchozího vývoje, kde nejzásadnější omezení spočívá v maximálním celkovém napětí použitém pro napájení pohonné jednotky.



Obrázek 2.1: Pohonné jednotky v jednotlivých ročnících soutěže: zelená – ročník 2017/18, červená – ročník 2019/2021, modrá – ročník 2022/23 (vlevo); Pohonná jednotka pro ročník 2022/23 (vpravo) [archiv autora]

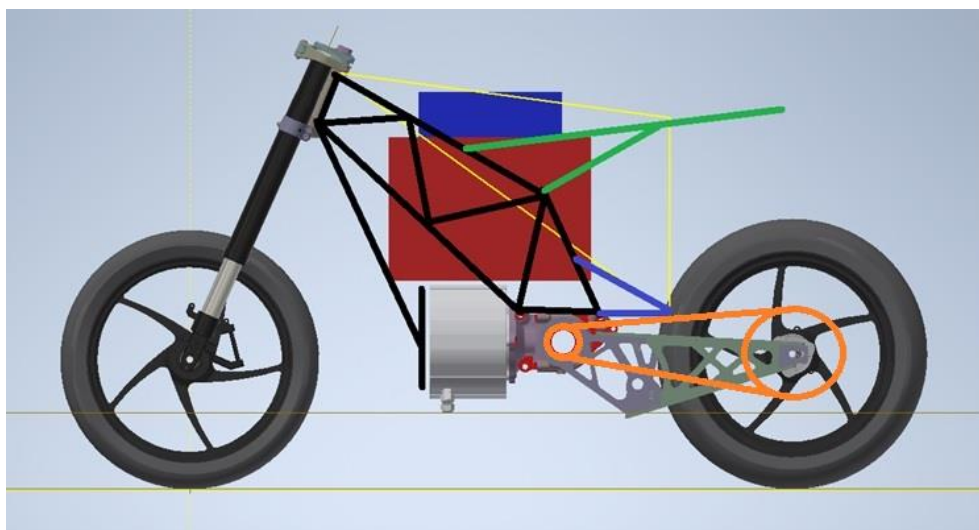
Pro ročník 2022/23 je PJ poprvé v historii soutěže přizpůsobená pro chlazení kapalinou a disponuje maximálním výkonem 48 kW a kroutícím momentem 120 Nm.

Prvním krokem konstrukce celého motocyklu je potřeba stanovit vhodnou koncepci rozložení a umístění majoritních součástí, které jsou uvedené výše. V rámci týmu CTU Lions byly vytvořeny 4 koncepční varianty s odlišným umístěním PJ a BB. Tyto varianty jsou vytvořeny na základě zkušeností vycházejících z předchozích modelů elektrických motocyklů CTU Lions electric EVO 1.0 (dále EVO 1.0), CTU Lions electric EVO 2.0 (dále EVO 2.0) a poznatků závodního jezdce týmu.



Obrázek 2.2: Evoluce elektrických motocyklů týmu CTU Lions – EVO 1.0 (vlevo); EVO 2.0 (uprostřed); EVO 3.0 (vpravo) [archiv autora]

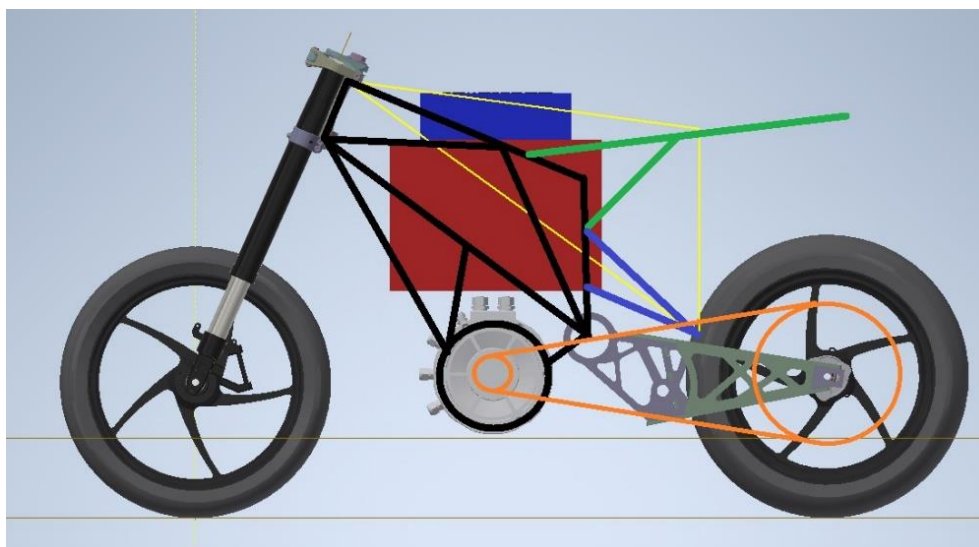
2.1.1 Varianta 1) – Pohonná jednotka s rozvodovou skříní



Obrázek 2.3: Varianta 1: černá – rám; červená – BB; šedá – pohonná jednotka; modrá – controler BB; zelená – podsedlový rám; oranžová – sekundární převod; žlutá – pozice jezdce (řídítka, sedlo, stupačky) [archiv autora]

Tato varianta vychází koncepčně z motocyklu EVO 2.0. Mezi hlavní rysy této varianty náleží uložení PJ v hlavní ose motocyklu, osa výstupní hřídele PJ je totožná s osou jízdy motocyklu, a spojení kyvné vidlice s rámem přes osu sekundárního převodu na rozvodové skříní. BB je uložen nad PJ. Jedná se o vyzkoušenou koncepci a díky specifickému uložení kyvné vidlice nedochází ke zbytečnému tahovému namáhání sekundárního převodu od pohybu kyvné vidlice během jízdy. Hlavní nevýhody této varianty jsou jak vyšší váha z důvodu nutnosti použití rozvodové skříně, a s tím spojené složitější uchycení PJ na rám, tak technologicky náročnější výroba zmíněné rozvodové skříně a sestavy ozubených kol primárního převodu.

2.1.2 Varianta 2) – Pohonná jednotka před uchycením osy kyvné vidlice

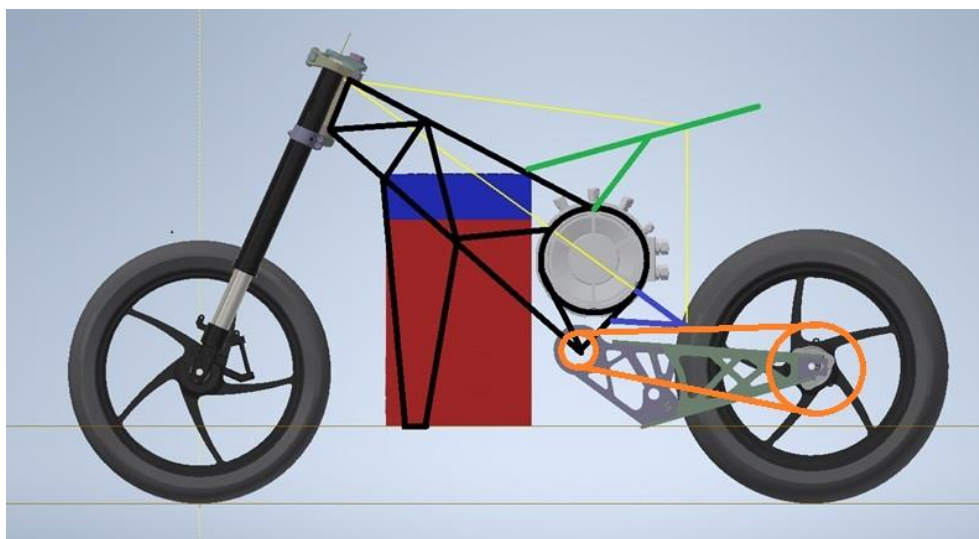


Obrázek 2.4: Varianta 2: černá – rám; červená – BB; šedá – pohonná jednotka; modrá – controler BB; zelená – podsedlový rám; oranžová – sekundární převod; žlutá – pozice jezdce (řídítka, sedlo, stupačky) [archiv autora]

Osa výstupního hřídele PJ je u této varianty totožná s osou zadního a předního kola. Osa uložení kyvné vidlice je realizována přes čep procházející rámem a je nezávislá na pozici PJ. Jedná se o standartní uložení kyvné vidlice (viz kapitola 1.1). Tato koncepce je shodná s motocyklem EVO 1.0. BB je stejně jako v případě varianty 1 umístěn nad PJ. Výhoda této varianty spočívá v absenci primárního rozvodu. Primární rozvod je přímo nahrazen převodem sekundárním, kdy se jedná o přímý převod z osy pohonné jednotky na osu zadního kola. Další výhodou této varianty je nižší hmotnost z důvodu absence rozvodové skříně, a tím i snížené výrobní náklady.

Nevýhodou této koncepce jsou velké rozměry rozety (56 a více zubů) sekundárního převodu uložené na ose zadního kola z důvodu velkého převodového poměru mezi PJ a zadním kolem. S tím se pojí větší hmotnost na zadním kole oproti předchozím variantám, kdy dochází i k většímu opotřebení zadní pneumatiky, a menší možný rozsah nastavení celkového převodového poměru.

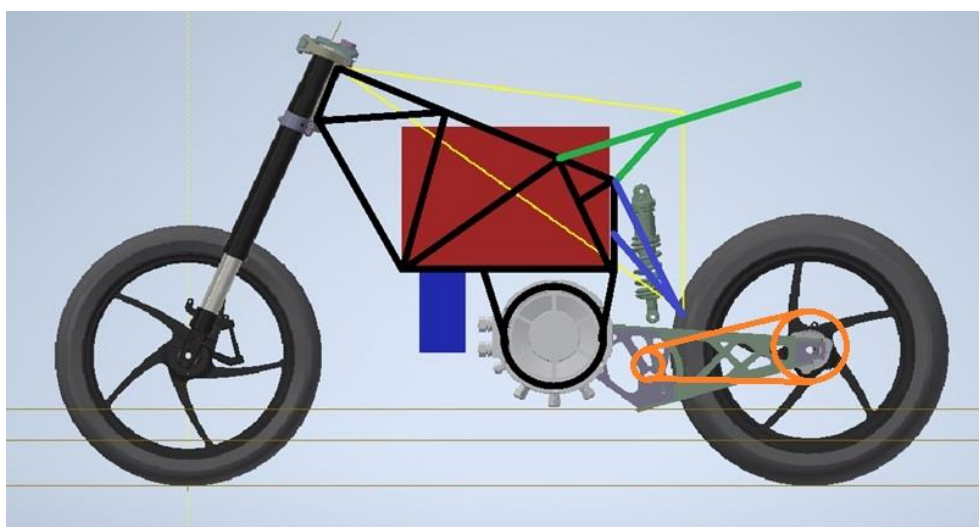
2.1.3 Varianta 3) – Pohonná jednotka nad uchycením kyvné vidlice



Obrázek 2.5: Varianta 3: černá – rám; červená – BB; šedá – pohonná jednotka; modrá – controler BB; zelená – podsedlový rám; oranžová – sekundární převod; žlutá – pozice jezdce (řídítka, sedlo, stupačky) [archiv autora]

Jedná se o variantu, kde uložení BB je shodné s EVO 1.0 ale PJ je umístěna nad osou kyvné vidlice. Výhodou této varianty stejně jako u **varianty 1)** je, že při pohybu kyvné vidlice nedochází k tahovému namáhání sekundárního převodu, z důvodu uložení výstupního hřídele sekundárního převodu do osy uložení kyvné vidlice. Nevýhodou této varianty spočívá v nutnosti primárního převodu od PJ a uložení tlumící jednotky z boku motocyklu. Další nevýhodou je rozložení poměru váhy motocyklu, kdy větší zátěž bude nevhodně působit na přední kolo.

2.1.4 Varianta 4) – Pohonná jednotka v ose uložení kyvné vidlice



Obrázek 2.6: Varianta 4: černá – rám; červená – BB; šedá – pohonná jednotka; modrá – controler BB; zelená – podsedlový rám; oranžová – sekundární převod; žlutá – pozice jezdce (řídítka, sedlo, stupačky) [archiv autora]

Tato varianta je kombinací předchozích variant. Velice kompaktní varianta kombinující uložení kyvné vidlice v ose otáčení výstupního hřídele PJ bez potřeby použití rozvodové skříně a nízko posazeného těžiště díky umístění motoru na střed motocyklu. Výhodou je nízká hmotnost a posunutí těžiště na střed motocyklu. Hlavními nevýhodami této varianty náleží technologicky složitější upnutí PJ do osy otáčení kyvné vidlice s napojením na rám a potřeba zavést do kyvné vidlice předlohou hřídel, která bude převádět otáčky PJ z primárního převodu na sekundární převod.

2.1.5 Výběr finální varianty

Hlavní rozhodující kritéria byla pro výběr stanovena následovně:

- a) Koncepce bez rozvodové skříně – po vyrobení motocyklu EVO 2.0 bylo rozhodnuto, že koncepce s rozvodovou skříní představuje neúměrnou finanční i technologickou zátěž, a z tohoto důvodu bylo rozhodnuto nepoužít tuto koncepci pro nový motocykl.
- b) Nízké těžiště – toto kritérium je zvoleno z důvodu specifické konstrukce elektrických motocyklů, protože platí, že čím je poloha těžiště nižší tím se stává motocykl ovladatelnější.
- c) Rozložení váhy motocyklu 50/50 (přední kolo/zadní kolo) – jedná se o kritérium zvolené závodním jezdce týmu CTU Lions po předchozích zkušenostech s již vyrobenými motocykly.

Jako finální řešení byla v rámci celého týmu CTU Lions vybrána varianta 4. Tato varianta splňuje výše vybraná kritéria. Následný konstrukční návrh kyvné vidlice vychází z vybrané varianty.

2.2 Geometrie kyvné vidlice

Jedním z prvních faktorů ovlivňujících tvorbu kyvné vidlice je geometrie motocyklu. Její vliv spočívá především v rozměrových omezeních, která jsou určena v rámci týmu CTU Lions. Jedná se o rozvor motocyklu, minimální světlou výšku motocyklu, úhel přední vidlice, pozici jezdce, pozici řídítek a pozici stupaček. Tyto aspekty nám určují přibližnou pozici PJ, na které bude dle výše zvolené varianty umístěno uložení kyvné vidlice.

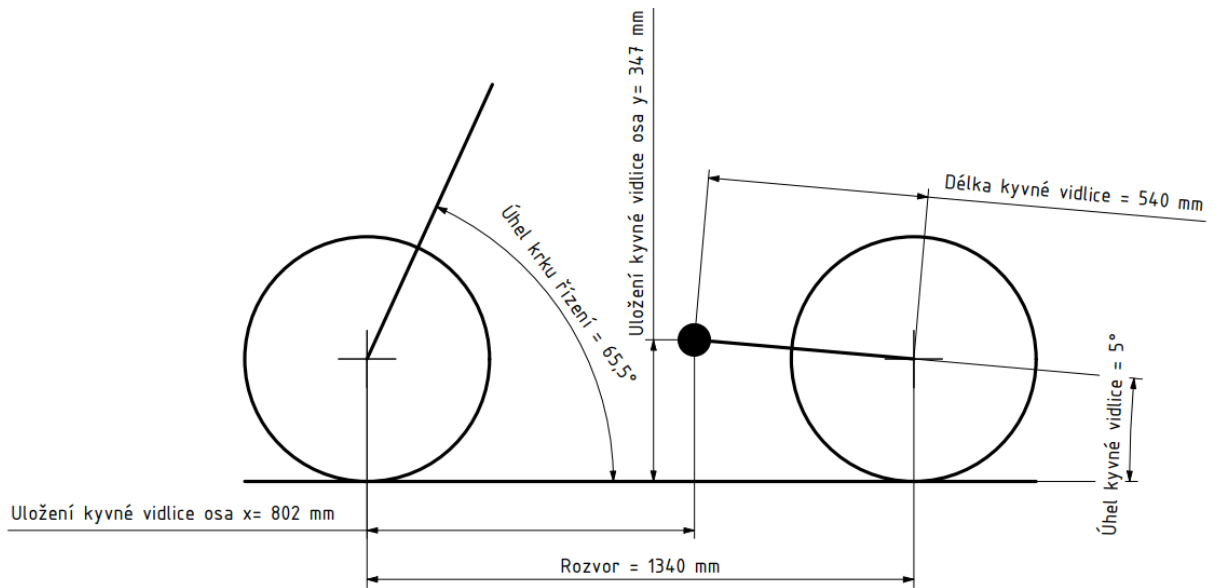
2.2.1 Délka kyvné vidlice

Délkou kyvné vidlice se rozumí rozměr od osy uložení kyvné vidlice po osu čepu zadního kola. Pro délku kyvné vidlice existuje řada doporučení. Jedním z doporučení je minimální délka kyvné vidlice 520 mm. Faktem ovšem zůstává že neexistuje obecný návod, jak kyvnou vidlici správně navrhnout. Veškeré geometrické prvky se spíše řídí koncepcí celého motocyklu. Doporučení minimální délky je založeno na faktu, že motocykly s kratší kyvnou vidlicí jsou méně stabilní při akceleraci a jsou hůře ovladatelné.

2.2.2 Úhel kyvné vidlice

Úhel kyvné vidlice ovlivňuje chování motocyklu během jízdy. U standardních produkčních motocyklů se úhel kyvné vidlice pohybuje v rozmezí od 10° do 20° vůči rovině povrchu. Vliv je nejvíce patrný při akceleraci a při brzdění motocyklu v závislosti na pohybu kyvné vidlice. Během akcelerace motocyklu se úhel kyvné vidlice snižuje a dochází tím k prodloužení rozvoru. To má za následek zvýšení stability motocyklu a přispívá to k jeho lepší ovladatelnosti při akceleraci. Během brzdění tento systém funguje obráceně, tedy úhel kyvné vidlice se zvětšuje a dochází tak ke zkrácení rozvoru a lepší ovladatelnosti, například při nájezdu do zatáčky. Při návrhu kyvné vidlice se musí dbát na dodržení výše zmíněných pravidel, tak aby nedocházelo k jejich opaku.

Pro první konstrukční návrhy byly zvoleny hodnoty uvedené na obrázku č. 2.7. Zvolené hodnoty se mohou v průběhu procesu návrhu konstrukce kyvné vidlice a zbytku motocyklu změnit. Uvedené hodnoty jsou určeny pro počáteční návrhy.



Obrázek 2.7: Zvolená geometrie motocyklu [archiv autora]

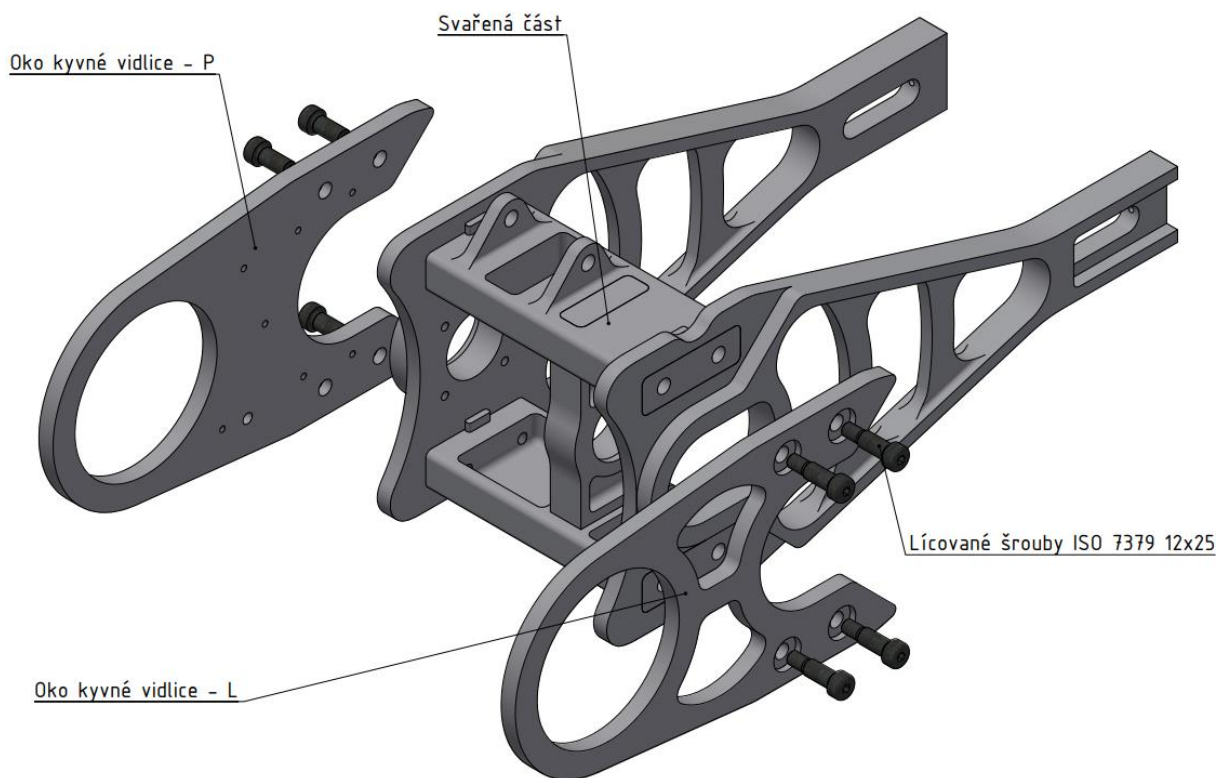
2.3 Návrh konstrukčního řešení kyvné vidlice

Pro první návrhy kyvné vidlice byly použity výše zvolené parametry geometrie, které se v průběhu návrhu finálového konstrukčního návrhu upravily pro reálný stav. Jednalo se především o délku kyvné vidlice, která byla z důvodu změny rámu motocyklu zvětšena na 565 mm. Další změna se týkala úhlu kyvné vidlice, kde však změna byla pouze v desetínách stupně. Na výše zvolené koncepci bylo potřeba do kyvné vidlice zařadit i převodové ústrojí, které v nemalé míře ovlivnilo celkové rozměry kyvné vidlice a v průběhu vývoje celého motocyklu bylo několikrát změněno.

Z těchto důvodů je dále v kapitole uveden pouze finálový konstrukční návrh kyvné vidlice.

2.3.1 Konstrukce kyvné vidlice

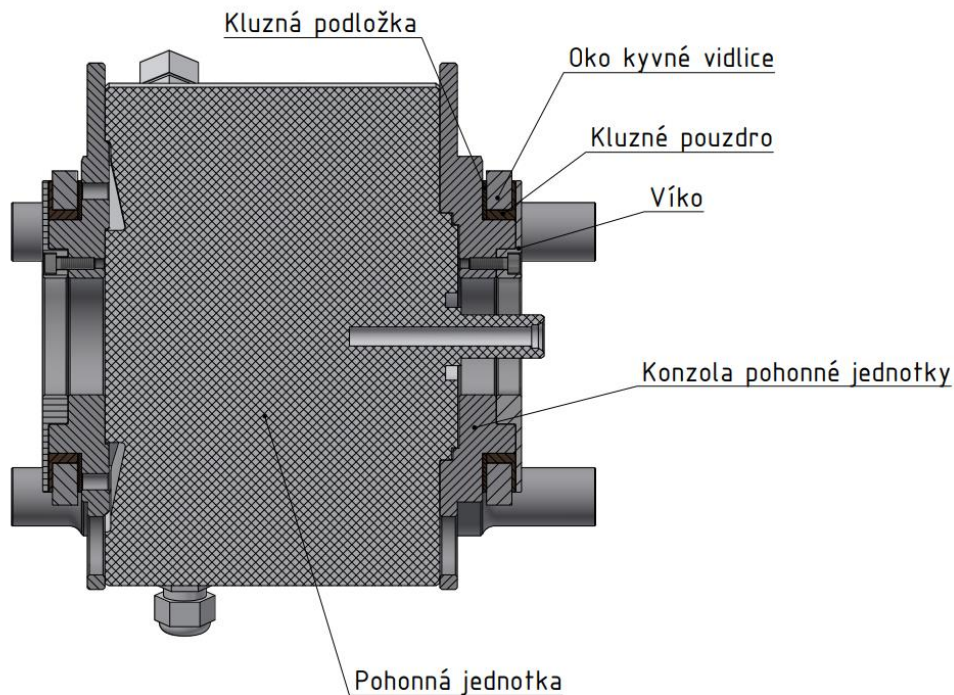
Jako finální konstrukční varianta je určena konstrukce kombinující svarové a šroubové spojení. Tato kombinace zajišťuje dostatečnou pevnost a tuhost konstrukce, a zároveň umožňuje montáž uložení kyvné vidlice přes osu výstupního hřídele PJ. Svařená část je hlavním nosným prvkem celé konstrukce, na kterém je uchycená tlumící jednotka a také v ní je uložena předlohová hřídel s ložisky zajišťující pohon celého motocyklu. Oka kyvné vidlice jsou ke svařené části připojena pomocí lícovaných šroubů, které zajišťují jejich přesnou pozici a poskytují pevné spojení viz obrázek 2.8.



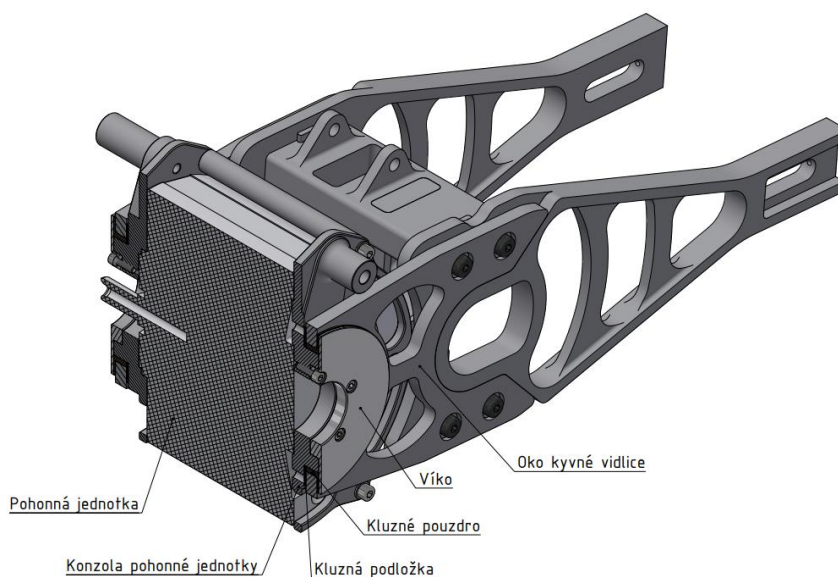
Obrázek 2.8: Finální konstrukční varianta kyvné vidlice [archiv autora]

2.3.2 Uložení kyvné vidlice

Uložení kyvné vidlice, jak bylo uvedeno výše, je přes osu výstupního hřídele pohonné jednotky. Uložení je realizováno přes kluzné pouzdro a kluznou podložku, mezi kterými je uloženo oko kyvné vidlice. Pouzdro s podložkou je uchyceno na konzole PJ pomocí víka, které je na konzolu přichyceno šesti šrouby viz obrázek č. 2.9 a 2.10. Mezi podložkou a pouzdem je předepsaná minimální vůle pro bezproblémovou funkci kluzného uložení spolu s přidáním plastickým mazivem.



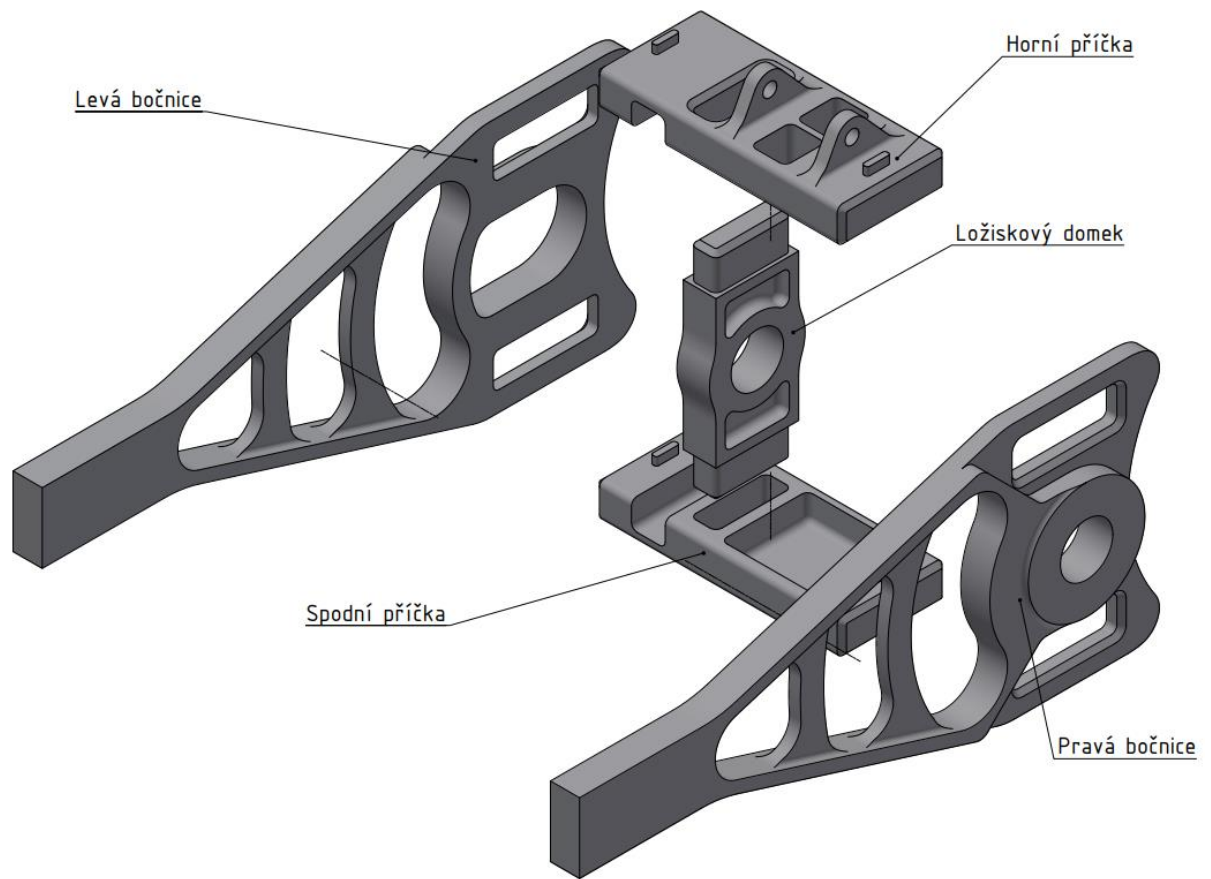
Obrázek 2.9: Uložení kyvné vidlice 1 [archiv autora]



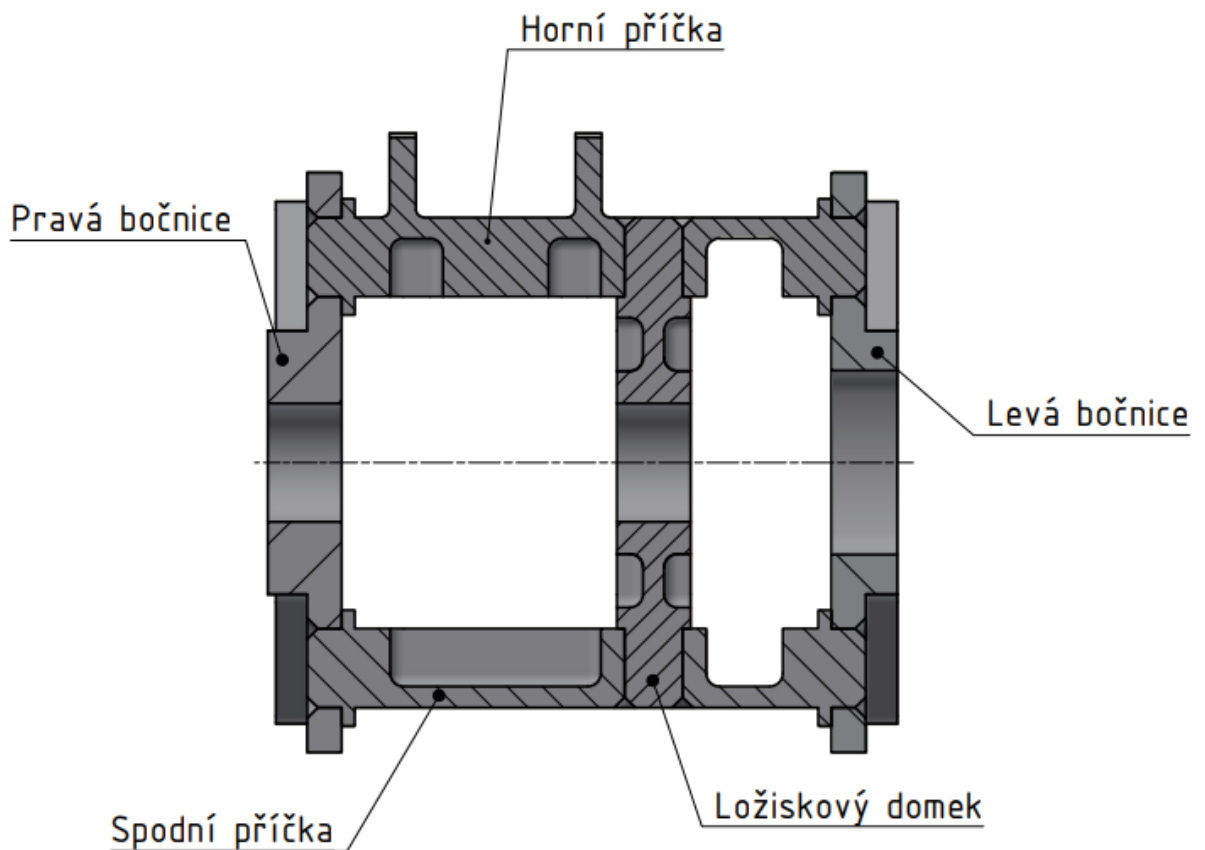
Obrázek 2.10: Uložení kyvné vidlice 2 [archiv autora]

2.3.3 Svařenec kyvné vidlice

Hlavní částí kyvné vidlice je svařená část. Svařená část je navržena z pěti dílců. Jednotlivé dílce jsou spasovány pomocí tvarových zámků do finální podoby celého svařence. Spojení jednotlivých dílců je realizováno pomocí „Y“ svarů, které jsou použity jako hlavní pojistné svary konstrukce, a podpůrných koutových svarů. Jako první dílce se pasují horní a spodní příčka společně s ložiskovým domkem, následně se na tyto tři spojené dílce napasuje levá a pravá bočnice viz obrázek 2.11. Spojení je zde realizováno až po složení všech pěti dílců.



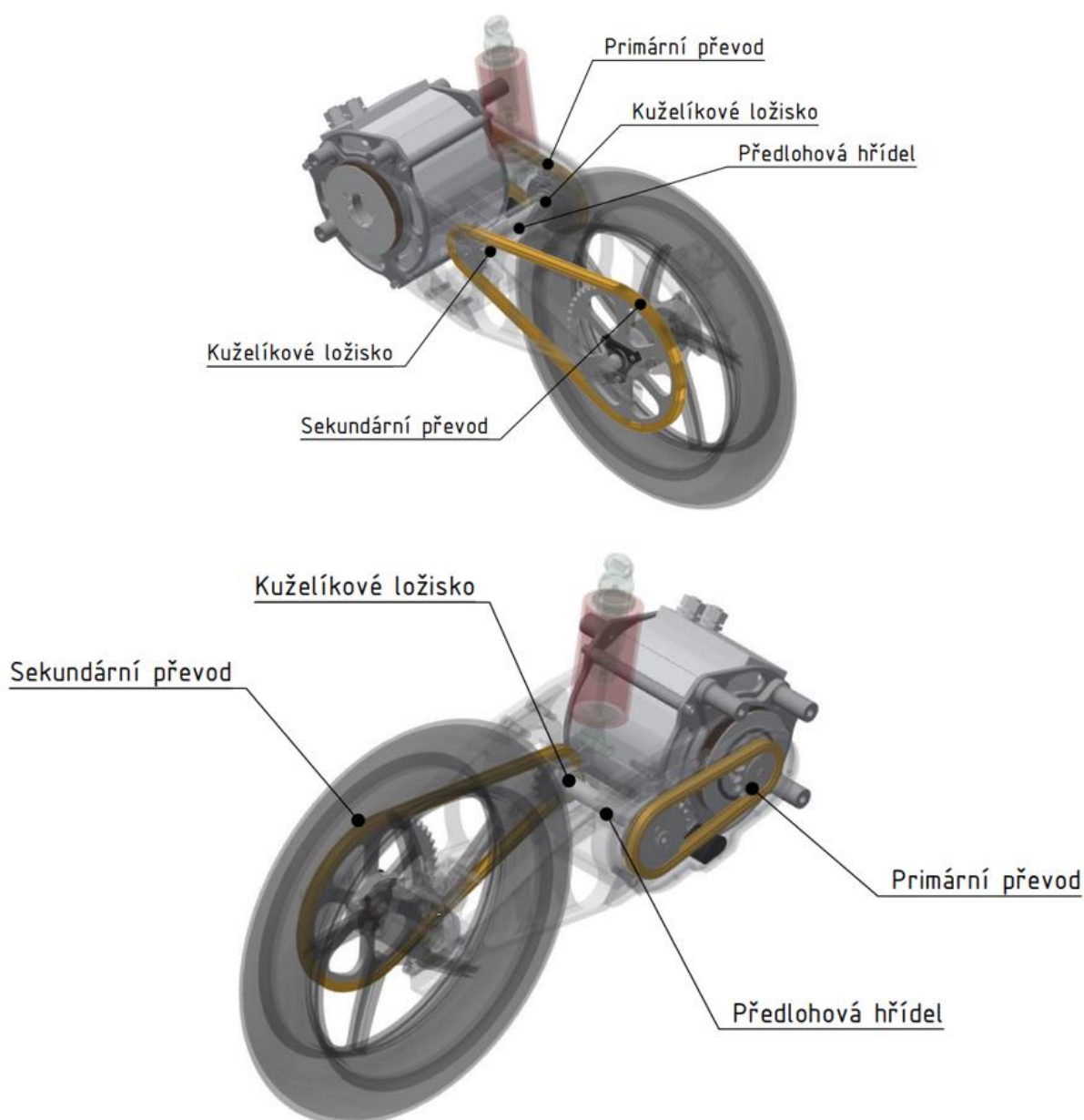
Obrázek 2.11: Rozklad svařence kyvné vidlice [archiv autora]



Obrázek 2.12: Řez svařencem kyvné vidlice [archiv autora]

2.3.4 Převodové ústrojí

Z vybrané koncepční varianty vyplývá, že umístění převodového ústrojí motocyklu bylo navrženo do konstrukce kyvné vidlice. Mezi hlavní části převodového ústrojí se řadí primární převod, předloková hřídel a sekundární převod. Primárním převodem se rozumí převod z osy PJ na předlokovou hřídel, která je umístěna v konstrukci kyvné vidlice. Předloková hřídel zajišťuje přenos výkonu od PJ na sekundární převod, který následně přenáší výkon na zadní kolo motocyklu. Jako pohon primárního a sekundárního převodu byl zvolen článkový řetěz, který jako jediný splňoval pevnostní a rozměrová kritéria dříve určená týmem CTU Lions. Uložení předlokové hřídele je realizováno přes kuželíkové ložiska s uložením do „O“.



Obrázek 2.13: Schéma převodového ústrojí [archiv autora]

3. Ověření návrhu výrobního postupu

Po návrhu konstrukčního řešení následují technologické zkoušky a zkoušky proveditelnosti návrhu. Jedná se o ověření mechanických vlastností základního a přídavného materiálu po procesu svařování. Jak je uvedeno výše, hlavní nosná část kyvné vidlice je svařovaná konstrukce, kde jsou svarové spoje použity pro zajištění tvaru lícovaných součástí. Na tuto konstrukci při provozu motocyklu působí největší zatížení a je tedy potřeba ověřit, zda je konstrukce po procesu svařování dostatečně mechanicky odolná.

Předpokladem pro ověření je, že základní materiál bude v tepelně ovlivněné oblasti (dále jako TOO) mechanicky zeslaben. Předmětem ověření je zjištění mechanických vlastností základního materiálu po svařovacím procesu a po zvoleném tepelném zpracování. Tepelné zpracování je voleno z důvodu očekávaného poklesu mechanických vlastností základního materiálu vlivem vneseného tepla od svařovacího procesu. Mechanické vlastnosti svarového kovu a základního materiálu jsou ověřeny pomocí zkoušky tvrdosti dle Vickerse. Následně jsou z naměřených hodnot tvrdosti odvozeny hodnoty pevnosti v tahu a meze kluzu. Odvozené hodnoty pevnosti v tahu a meze kluzu poskytují přibližné určení reálných očekávatelných hodnot, dosažených na finálním výrobku kyvné vidlice. Získané hodnoty jsou porovnány s hodnotami pevnostní analýzy, kdy na základě tohoto porovnání je určeno finální tepelné zpracování kyvné vidlice.

Hlavním úkolem bylo navrhnout správné tepelné zpracování po procesu svařování tak, aby byly mechanické vlastnosti základního materiálu v TOO ve shodě s pevnostní analýzou, technologičností a proveditelností.

Ověření návrhu výrobního postupu obsahuje výběr vhodného materiálu, návrh svařovacího procesu, návrh tepelného zpracování, zkoušku mechanických vlastností a vyhodnocení mikrostruktury.

3.1 Materiál

K výrobě kyvných vidlic motocyklů se využívá v současné době několik typů materiálů. Nejčastěji se jedná o ocel, slitiny hliníku a kompozitní materiály. U kovových materiálu jako jsou ocele a slitiny hliníku se k výrobě kyvných vidlic používají materiály se zaručenou svařitelností. [1] [2]

Na základě zkušeností z předchozího vývoje motocyklů bylo rozhodnuto o výběru materiálu pouze ze slitin hliníku. Vhodnější variantou pro výrobu kyvné vidlice ze slitin hliníku jsou tvářené slitiny, které vynikají mechanickými vlastnostmi a strukturální integritou oproti slévárenským slitinám.

Pro finální určení materiálu jsou dále rozebírány pouze tvářené slitiny hliníku.

3.1.1 Rozdělení tvářených hliníkových slitin

Hliníkové tvářené slitiny jsou značeny dle ČSN EN 573-1,2 a 3. Značení začíná písmeny EN (evropská norma) a AW (A=hliník/ W=tvářené slitiny). Po tomto označení následuje číselné značení, které označuje chemické složení slitiny. [9] [10]

Tabulka 3.1: Skupiny hliníkových slitin [10] [11]

Skupina	Popis
1xxx	nejčistější slitina hliníku s minimálním obsahem 99 % hliníku
2xxx	slitina hliníku s mědí
3xxx	slitina hliníku s manganem
4xxx	slitina hliníku s křemíkem
5xxx	slitina hliníku s hořčíkem
6xxx	slitina hliníku s hořčíkem a křemíkem
7xxx	slitina hliníku se zinkem
8xxx	slitina hliníku s různými prvky, převážně s lithiem

Tabulka 3.2: Značení stavu tepelného zpracování tvářených slitin hliníku [10] [12]

Označení	Popis
F	přímo z výroby, bez kontroly tepelných podmínek zpracování
O	žíhaný, požadovaných vlastností se dosáhne po tváření za tepla
H11-H19	deformačně zpevněný
H22-H28	deformačně zpevněný a částečně žíhaný
H32-H38	deformačně zpevněný a stabilizovaný
H42-H48	deformačně zpevněný a barvený nebo lakovaný
H111	žíhaný a mírně deformačně zpevněný
W	nestabilní stav po rozpouštěcím žíhání, spontánní stárnutí při pokojové teplotě
T	tepelně ošetřen, pro výrobu stabilizovaných stavů
T1	ochlazený ze zvýšené teploty s následným přirozeným stárnutím
T2	ochlazený ze zvýšené teploty, tváření za studena s následným přirozeným stárnutím
T3	stav po rozpouštěcím žíhání, tváření za studena s následným přirozeným stárnutím
T4	stav po rozpouštěcím žíhání s následným přirozeným stárnutím
T5	ochlazený ze zvýšené teploty s následným umělým stárnutím
T6	stav po rozpouštěcím žíhání s následným umělým stárnutím
T7	stav po rozpouštěcím žíhání s následným umělým přestárnutím a stabilizací
T8	stav po rozpouštěcím žíhání, tváření za studena s následným umělým stárnutím
T9	stav po rozpouštěcím žíhání, po umělém stárnutí a následným tvářením za studena
T10	ochlazení ze zvýšené teploty, tváření za studena s následným umělým stárnutím

Existují i další typy tepelného zpracování a jejich modifikace (například T64 – stejné tepelné zpracování jako T6, ale s podmínkou nedostárnutí = vytvrzení na maximální houževnatost nebo T651 – stejné tepelné zpracování jako T6, ale s uvolněním vnitřního pnutí řízenou deformací (1-3 %)). [13]

3.1.2 Výběr materiálu kyvné vidlice

Pro výběr materiálu kyvné vidlice byl z každé skupiny tvářených hliníkových slitin vybrán zástupce dle nejvyšších dosahovaných hodnot na mezi kluzu vůči vyráběné tloušťce a dostupnosti polotovarů na tuzemském trhu.

EN AW 1050:

Tato slitina je používána ve většině oblastí průmyslu. Má velmi dobrou korozní odolnost, výbornou tvářitelnost a svařitelnost. Není vhodná pro obrábění reznými nástroji z důvodu vysoké houževnatosti. Tento materiál je vhodný pro ohraňování a pro konstrukce méně mechanicky namáhané. U této slitiny není možná provést proces vytvrzení. [10] [14] [15]

Tabulka 3.3: Mechanické vlastnosti hliníkové slitiny EN AW 1050 [16]

Tloušťka [mm]	Tepelné zpracování	R_m [MPa]	$R_{p_{0,2}}$ [MPa]	A [%]
0,5-1,5	H111	65-95	Min. 20	22
1,5-3,0	H111	65-95	Min. 20	26
0,5-1,5	H14	105-145	Min. 85	2
1,5-3,0	H14	105-145	Min. 85	4
3,0-6,0	H14	105-145	Min. 85	5

EN AW 2017:

Jedná se o slitinu hliníku a mědi, obchodním názvem se tato slitina nazývá též dural. Nejběžnější použití této slitiny je pro dynamicky i staticky namáhané dílce, výrobu forem, obranný průmysl a letectví. Slitina je velmi dobře tvářitelná, dobře třískově obrobitelná, málo chemicky odolná, náchylná k mezikrystalické korozi a špatně svařitelná. Tuto slitinu lze vytvrzovat. [10] [14] [15]

Tabulka 3.4: Mechanické vlastnosti hliníkové slitiny EN AW 2017 [17]

Tloušťka [mm]	Tepelné zpracování	R_m [MPa]	$R_{p_{0,2}}$ [MPa]	A [%]
≤ 20	O, H111	max. 240	max. 125	12
≤ 20	T3	min. 400	min.250	10
≤ 20	T3510/T3511	min. 400	min.250	8

EN AW 3103:

Slitina je vhodná pro chemický a potravinářský průmysl, zejména pro zásobníky, trubky, kovovýrobu a tepelné výměníky. Vyniká velmi dobrou ochranou proti atmosférické korozi, dobrou svařitelností a lze ji vytvrzovat. Jedná se o slitinu s dobrou tvarovatelností pomocí lisování, tažení a válcování. Tato slitina se vyznačuje špatnou obrobitelností. [10]

Tabulka 3.5: Mechanické vlastnosti hliníkové slitiny EN AW 3103 [17]

Tloušťka [mm]	Tepelné zpracování	R_m [MPa]	$R_{p_{0,2}}$ [MPa]	A [%]
≤ 20	O, H111	max. 130	min. 35	25
≤ 17	H11	max. 140	min. 55	20
≤ 15	H12	max. 150	min. 75	14
≤ 12	H13	max. 160	min. 95	11
≤ 10	H14	max. 165	min. 110	6
≤ 7	H15	max. 180	min. 120	5
≤ 5	H16	max. 195	min. 130	4
≤ 4	H17	max. 205	min. 140	3
≤ 3	H18	min. 180	min. 145	3

EN AW 4032:

Hliníková slitina s křemíkem, nejvíce využívaná pro písty spalovacích motorů, ložiska nebo pouzdra v aplikacích, kde je požadavek na vysokou odolnost proti opotřebení a nízkou hmotnost. Díky vysokému procentu křemíku (více než 20 %) má slitina velmi nízkou tažnost a velmi obtížně se lisuje. Jedná se o slitinu vytvrditelnou se zaručenou svařitelností. [18]

Tabulka 3.6: Mechanické vlastnosti hliníkové slitiny EN AW 4032 [18]

Tloušťka [mm]	Tepelné zpracování	R_m [MPa]	$R_{p_{0,2}}$ [MPa]	A5 [%]
≤ 100	T651	360	288	14

EN AW 5083:

Hliníková slitina s hořčíkem, se zvýšenou odolností proti korozi. Využití této slitiny je v chemickém průmyslu pro svařované konstrukce a pro konstrukce lodí. Má velmi dobrou svařitelnost a tvarovatelnost za studena, ale nelze vytvrzovat. [14] [15]

Tabulka 3.7: Mechanické vlastnosti hliníkové slitiny EN AW 5083 [16]

Tloušťka [mm]	Tepelné zpracování	R_m [MPa]	$R_{p_{0,2}}$ [MPa]	A [%]
0,4-1,5	H111	275-350	min. 125	12
1,5-3,0	H111	275-350	min. 125	13
3,0-6,3	H111	275-350	min. 125	15
6,3-12,5	H111	275-345	min. 115	16
12,5-50,0	H111	275-345	min. 115	-

EN AW 6082:

Jedná se o vytvrditelnou slitinu hliníku s hořčíkem a křemíkem. Charakteristickými znaky této slitiny jsou velmi dobrá tvářitelnost, svařitelnost, odolnost proti korozi a obrobitelnost řeznými nástroji. Hlavní využití této slitiny je v automobilovém odvětví, segmentech mostních konstrukcí a v oblasti sportovních výrobků. [14] [15]

Tabulka 3.8: Mechanické vlastnosti hliníkové slitiny EN AW 6082 [16]

Tloušťka [mm]	Tepelné zpracování	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	A [%]
1,5-3,0	T6	min. 310	min. 260	7
3,0-6,3	T6	min. 310	min. 260	10
6,3-12,5	T6	min. 300	min. 255	9
12,5-60,0	T6	min. 295	min. 240	8
60,0-100,0	T6	min. 295	min. 240	7
100,0-150,0	T6	min. 275	min. 240	6
150,0-175,0	T6	min. 275	min. 230	4
175,0-350,0	T6	min. 260	min. 220	2

EN AW 7075:

Velmi pevná a odolná slitina hliníku a zinku. Jedná se o nejpevnější slitiny hliníku převyšující i některé měkké oceli. Slitina se používá převážně v letectví pro staticky a dynamicky namáhané dílce. Tuto slitinu charakterizuje i velmi dobrá obrobitelnost a lešitelnost. Tato slitina se vyznačuje špatnou svařitelností a sníženou odolností vůči korozi. Jedná se o vytvrditelnou slitinu hliníku. [14] [15]

Tabulka 3.9: Mechanické vlastnosti hliníkové slitiny EN AW 7075 [16]

Tloušťka [mm]	Tepelné zpracování	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	A [%]
1,5-3,0	T651	min. 540	min. 470	7
3,0-6,3	T651	min. 545	min. 475	8
6,3-12,5	T651	min. 540	min. 460	8
12,5-50,0	T651	min. 530	min. 460	5
50,0-120,0	T651	min. 410	min. 300	2
120,0-300,0	T651	min. 360	min. 220	1

Kritéria výběru materiálu pro výrobu kyvné vidlice byla stanovena takto:

- zaručená svařitelnost,
- dobré mechanické vlastnosti – smluvní mez kluzu ≥ 240 MPa,
- dobrá obrobitelnost,
- dostupnost polotovarů.

Výběr finálního materiálu pro výrobu kyvné vidlice byl z výše jmenovaných slitin zúžen na dvě slitiny. Jedná se o slitiny EN AW 6082 a EN AW 4032. Tyto slitiny nejlépe odpovídají výše jmenovaným kritériím. Z těchto dvou materiálů byla jako finální materiál zvolena slitina EN AW 6082. Rozhodnutí bylo dáno z důvodu většího rozsahu velikosti polotovarů a většími skladovými zásobami na tuzemském trhu.

Použité polotovary pro výrobu jednotlivých komponent a vzorků byly v tepelném zpracování T651. Hodnoty uvedené v tabulce č. 3.10 a 3.11 jsou materiálové hodnoty z atestu od dodavatele materiálu.

Tabulka 3.10: Mechanické vlastnosti hliníkové slitiny EN AW 6082 [19]

Tloušťka [mm]	Tepelné zpracování	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	A5 [%]
≤	T651	345-351	308-315	14

Tabulka 3.11: Chemické složení [hm. %] hliníkové slitiny EN AW 6082 [19]

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
1	0,43	0,08	0,49	0,9	0,01	0,07	0,04	zbytek

Jako přídatný materiál byla vybrána slitina hliníku 5356, která je nejvhodnější pro svařování vybraného základního materiálu. [15]

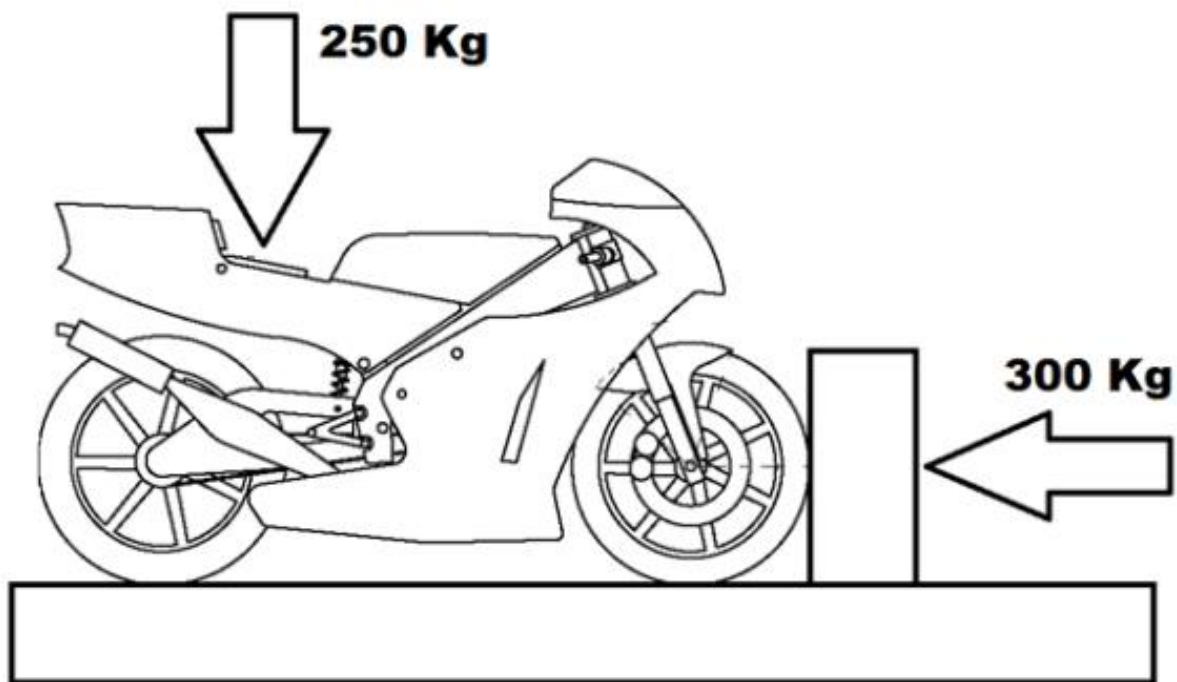
Tabulka 3.12: Chemické složení [hm. %] hliníkové slitiny 5356 [20]

Si	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
<0,25	<0,1	0,05 - 0,2	4,5 - 5,5	0,05 - 0,2	<0,1	0,06 - 0,2	zbytek

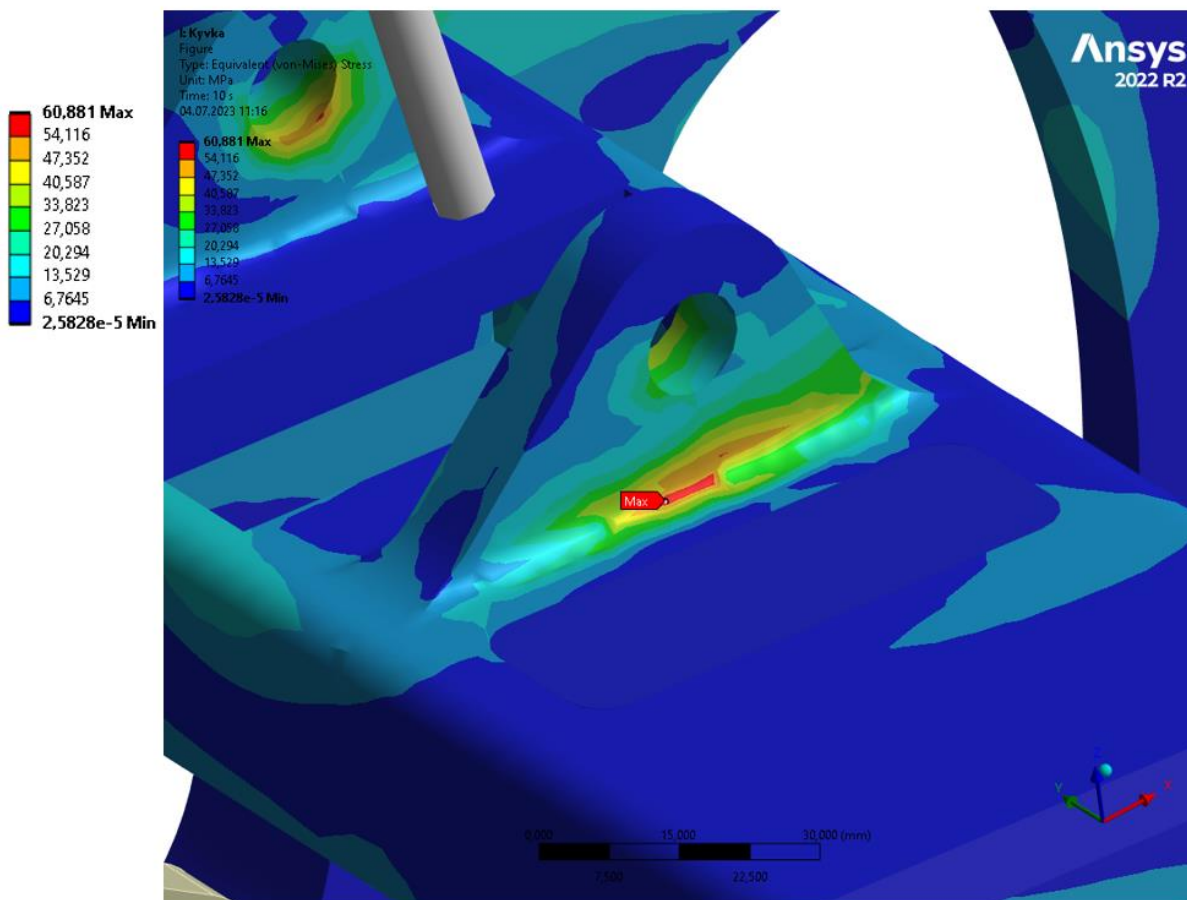
3.2 Pevnostní kontrola

V rámci soutěže MOTOSTUDENT je motocykl navrhován na konkrétní zatížení, které je dáno pravidly. Jedná se o zatěžování motocyklu na hydraulické stoličce, kde je motocykl současně stlačován v horizontálním směru přes přední kolo zátěží 300 kg a ve vertikálním směru zátěží 250 kg přes podsedlový rám motocyklu. Tento zátěžový test je prováděn během finální části soutěže přímo na závodním okruhu.

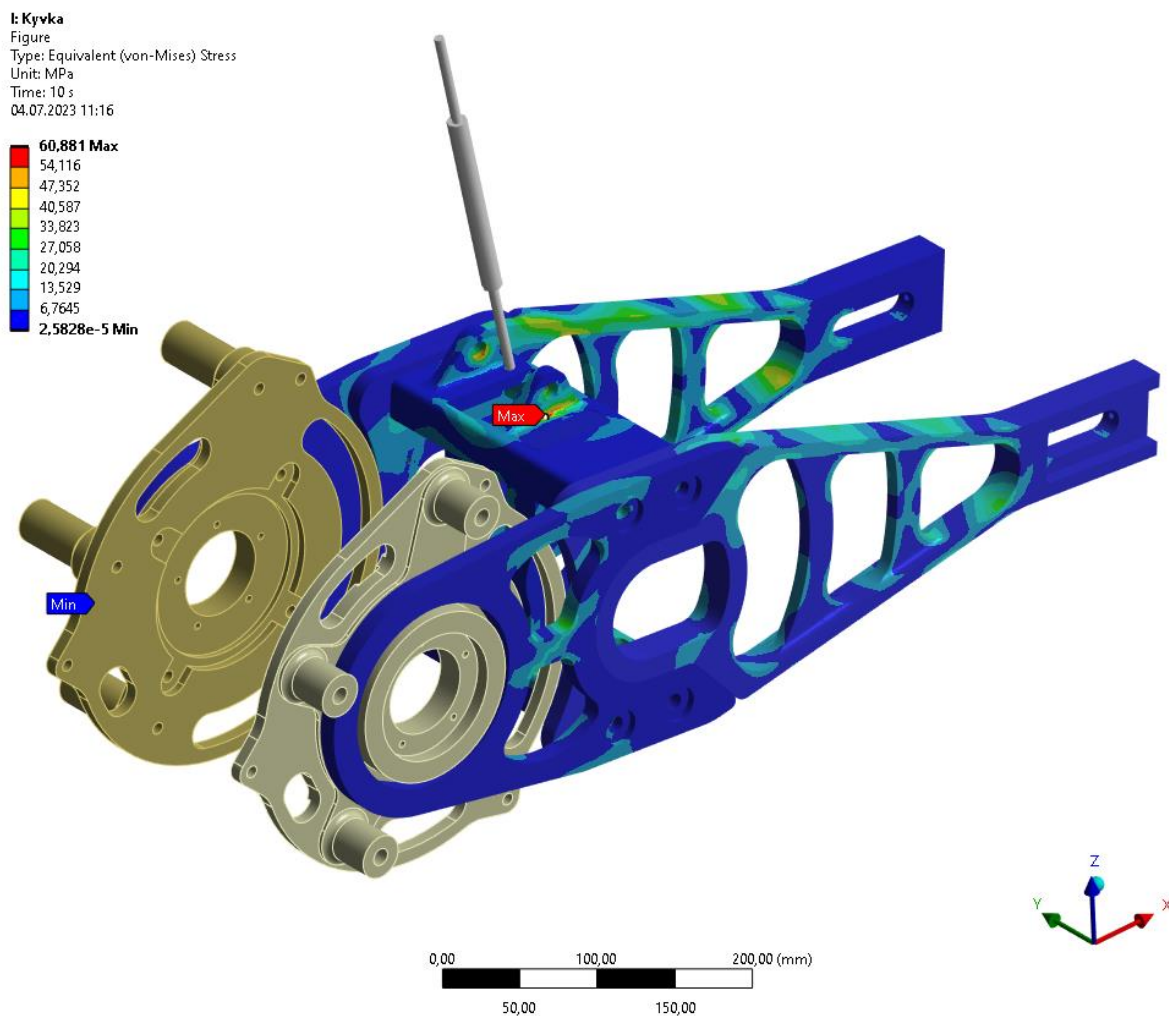
Pevnostní kontrola celého motocyklu EVO 3.0 byla provedena v programu Ansys panem Ing. Janem Vyčichlem, Ph.D. K zatěžovaným parametrům byl přidán koeficient bezpečnosti $k = 1,5$. Aby výsledky byly co možná nejpřesnější, byla kyvná vidlice podrobena popsanému zatěžovacímu stavu v rámci celé sestavy motocyklu a byla vyhodnocena samostatně.



Obrázek 3.1: Schéma zatěžování motocyklu [archiv autora]



Obrázek 3.2: Maximální napětí na kyvné vidlici [archiv autora]



Obrázek 3.3: Výsledky pevnostní analýzy [archiv autora]

Z výsledku na obrázku č. 3.3 můžeme vidět maximální napětí dosahující hodnoty necelých 61 MPa. Oblast tohoto maximálního napětí je v místě uchycení tlumící jednotky a jednoho z nosných svarů celé konstrukce kyvné vidlice. Zbylé oblasti vykazují napětí menší, pohybující se od 6 MPa do cca 47 MPa.

3.3 Návrh svařovacího procesu

K výše určenému finálnímu materiálu (kapitola 3.1.2) byly pro návrh svařovacího procesu vybrány pouze metody svařování vhodné pro slitiny hliníku. Další kritéria výběru vhodné svařovací metody jsou určena především geometrickou složitostí finálního konstrukčního řešení. Z tohoto důvodu jsou dále v kapitole uvedeny pouze ruční metody svařování hliníkových slitin.

3.3.1 Faktory ovlivňující svařitelnost hliníkových slitin

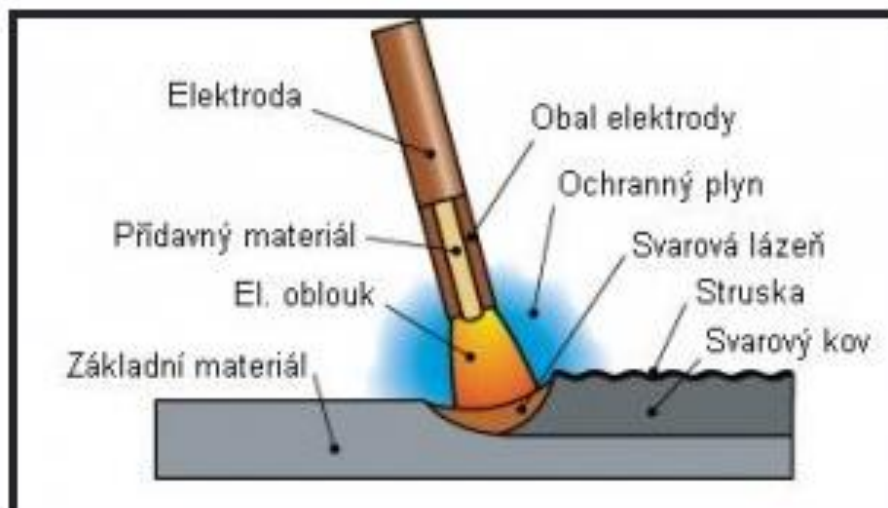
- a) Hliník jako prvek má velkou afinitu ke kyslíku, díky které se vytváří na povrchu nevodivá oxidická vrstva Al_2O_3 , která ale zároveň zajišťuje dobré protikorozní vlastnosti povrchu,
- b) uvedená oxidická vrstva je hydrofilní, tj. váže vodu, která je zdrojem vodíku ve svaru,
- c) vodík ve svarovém kovu je příčinou porozity
- d) velký koeficient teplotní délkové roztažnosti $\alpha = 24 [\cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}]$, je příčinou velkých deformací a vzniku trhlin za tepla při svařovacím procesu,
- e) dobrá tepelná vodivost $\lambda = 221 [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$ si vynucuje svařovací proces s vyšší teplotou přehřevů pohybujících v rozsahu 150–300 °C. [21] [22] [23] [24]

3.3.2 Výběr svařovací metody pro výrobu kyvné vidlice

Svařování hliníkových slitin obalenou elektrodou

Obloukové svařování v ochranné atmosféře (MMA/MMAW) je proces svařování, při kterém dojde ke kontaktu obalené elektrody s povrchem svařovaného dílce a k vytvoření elektrického oblouku a následnému roztavení přídavného materiálu v obalené elektrodě s roztavením základního svařovaného materiálu a obalu elektrody. Obal elektrody tvoří ochranu atmosféru při procesu svařování, a zároveň obsahuje přísady legujících prvků, které napomáhají rozrušení oxidické vrstvy a vytvářejí dobře odstranitelnou strusku na povrchu svaru. Pro kvalitní svary je podmínkou použití vysušené elektrody z důvodu eliminace přítomnosti vodíku ve svarové lázni. [24] [25]

Proces umožňuje vyrobit pouze krátké svary (potřeba výměny spotřebované elektrody za novou). Hodnota provaření základního materiálu je nízká a kvalita hotového svaru je velmi závislá na zručnosti obsluhy. Její výhodou je vyšší efektivnost práce a nižší tepelné ovlivnění materiálu. [24] [25]



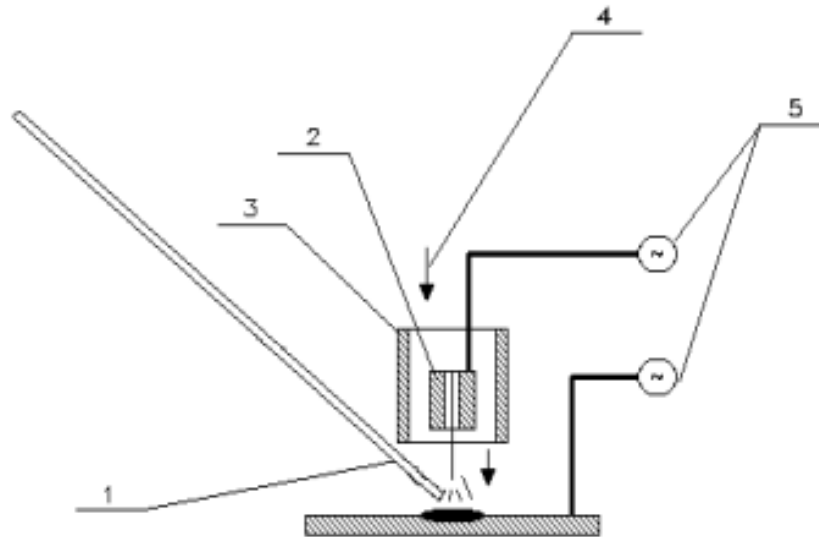
Obrázek 3.4: Svařování obalenou elektrodou (MMA) [26]

Svařování hliníkových slitin metodou TIG

Metoda TIG (Tugsten Inert Gass) označována také jako WIG (Wolfram Inert Gass) je svařování elektrickým obloukem v ochranném inertním plynu s netavitelnou elektrodou. Nejčastěji používané plyny jsou Argon a Helium, případně jejich kombinace. Princip metody TIG spočívá ve vytvoření elektrického oblouku mezi wolframovou elektrodou a základním materiálem. Svařování může probíhat bez přídavného materiálu nebo s přídavným materiálem v podobě drátu. [24] [27]

Hliníkové slitiny se metodou TIG svařují střídavým proudem se zdrojem pracujícím na principu řízeného přepínání polarity, kdy v jedné půlperiodě dochází k čištění materiálu od vrstvy Al_2O_3 a v druhé je tepelný nápor na elektrodu snížen a využit k tvorbě svarové lázně. [24] [27]

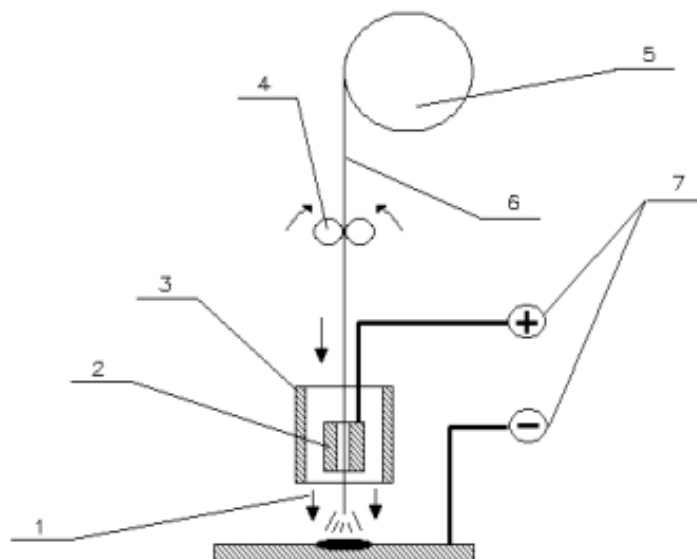
Výhody svařování metodou TIG jsou nižší nároky na údržbu zařízení, možnost svařování bez přídavného materiálu, kvalita svarového spoje a čistý proces. Nevýhodou ovšem jsou velké nároky na čistotu svarových ploch, vyšší pořizovací cena a nutnost kvalifikované obsluhy. [28]



Obrázek 3.5: Schéma svařování metodou TIG - 1. přídavný drát; 2. držák s elektrodou; 3. hubice hořáku; 4. ochranný plyn; 5. zdroj střídavého proudu [27]

Svařování hliníkových slitin metodou MIG

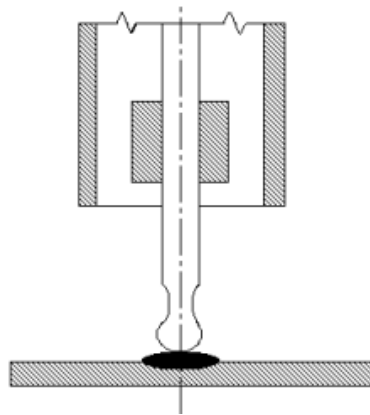
MIG (Metall Inert Gas) je svařovací metoda založená na odtavující se elektrodě v atmosféře inertního plynu. Elektroda v tomto případě slouží i jako přídavný materiál, který se přes systém kladek konstantní rychlostí přidává do svarové lázně a vytváří svarový spoj. Inertní plyny jsou používány stejné jako u metody TIG. Zdroj elektrického proudu je u metody MIG stejnosměrný, kdy je napájecí průvlek je zapojen na kladný pól zdroje. [24] [27]



Obrázek 3.6: Schéma svařování metodou MIG - 1. ochranný plyn; 2. napájecí průvlek; 3. hubice hořáku; 4. podávací kládka; 5. cívka s drátem; 6. svářecí drát; 7. zdroj stejnosměrného proudu [27]

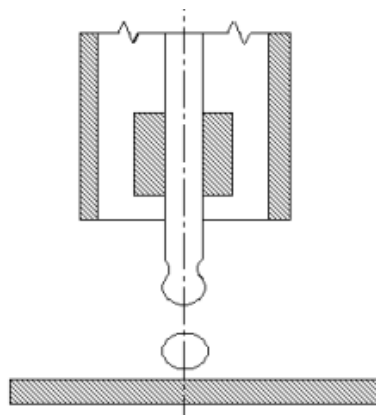
Způsoby přenosu přídavného materiálu do svarové lázně rozdělujeme následovně:

- a) **Zkratový proces** – z elektrody se odtaví kapka kovu, která vyplní mezeru mezi elektrodou a svarovou lázní, oblouk zhasne a dojde k elektrickému zkratu. Tím se zvedne teplota, kapka se utrhne a dopadne do svarové lázně, následně se elektrický oblouk opět zapálí. U tohoto procesu jsou kladené vysoké nároky na dynamické vlastnosti zdroje svářecího proudu. Proces je využíván u svařování tenkých plechů a při svařování větších tloušťek v montážních polohách, kdy se svařuje menšími proudy. [27]



Obrázek 3.7: Schéma zkratového procesu [27]

- b) **Bez zkratový proces** – vzniká při vysokém proudovém zatížení. Průměr kapky při procesu je vždy menší než vzdálenost elektrody a tavné lázně. Využití pro větší tloušťky materiálu při svařování v poloze vodorovné shora. [27]



Obrázek 3.8: Schéma bez zkratového přenosu [27]

Výhody svařování metodou MIG jsou nižší pořizovací náklady oproti metodě TIG, kratší doba svařování, čistý a vysoce přesný proces. Nevýhodou této svařovací metody je vyšší

rychlost ochlazování svaru oproti metodě TIG a omezené polohování během svařovacího procesu. [28]

Na základě výše popsaných metod svařování byla pro výrobu kyvné vidlice vybrána metoda svařování TIG. Tato metoda byla vybrána po konzultaci s pracovníky ÚJV, se kterými se po dobu vývoje kyvné vidlice jednotlivé technologické části konzultovaly.

Ke svařování kyvné vidlice a vzorků pro ověření výrobního postupu byl použit svařovací invertor Migatronik Pi 320. Teplota předehřevu byla po konzultaci se svářecím technikem z technologického oddělení ÚJV určena na hodnotu 200 °C.

Tabulka 3.13: Zvolené parametry svařovacího procesu

Nastavené parametry	Hodnota
Svařovací proud [A]	300-315
AC - t - rovnováha [%]	70
Frekvence AC [Hz]	95
Průměr W elektrody [mm]	6
Průměr přídavného drátu [mm]	6
Spotřeba argonu [l/min]	15
Rychlost svařování [mm/min]	100

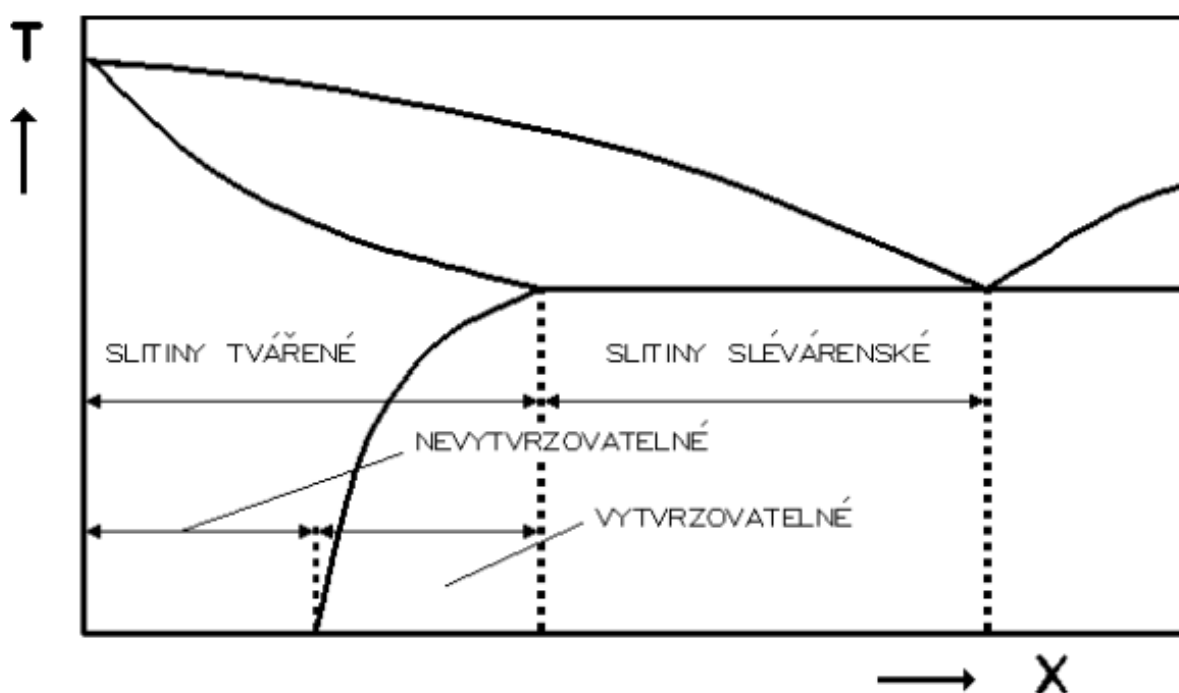


Obrázek 3.9: Svařovací invertor Migatronik Pi 320 [29]

3.4 Návrh tepelného zpracování

Tepelným zpracováním (dále jako „TZ“) po procesu svařování se rozumí proces, při kterém může docházet k částečné obnově původních mechanických vlastností nebo k odstranění přebytečného zbytkového pnutí v konstrukci po procesu svařování. Během svařovacího procesu dochází v okolí svarové lázně k tepelnému ovlivnění základního materiálu a k možnému snížení původních mechanických vlastností základního materiálu. [30]

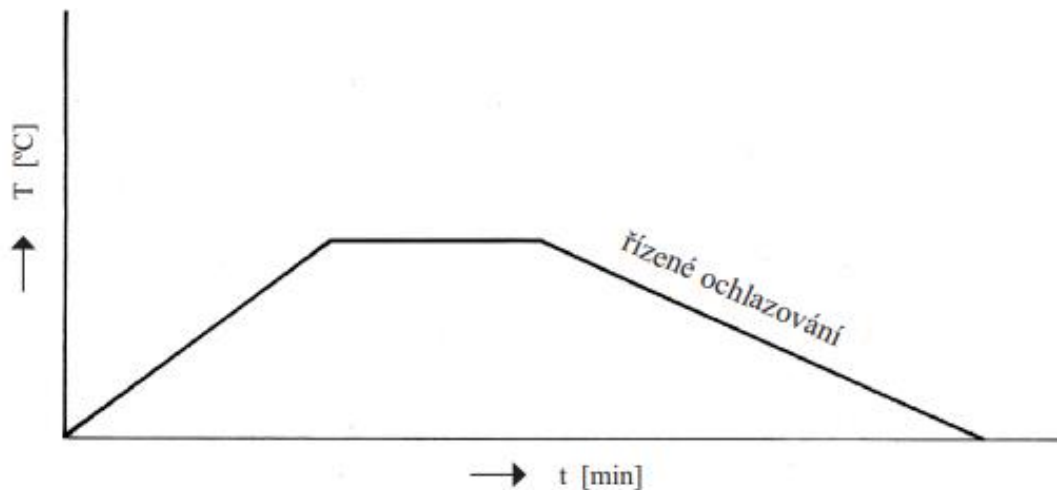
Hliníkové slitiny se dělí na slitiny vytvrditelné a nevytvrditelné. Pro hliníkové slitiny nevytvrditelné se zpravidla používá žíhání ke snížení vnitřního pnutí, kdy u těchto hliníkových slitin nedochází během procesu svařování k zásadní změně mechanických vlastností. U slitin hliníku, které jsou vytvrditelné, se využívá precipitačního vytvrzování dané slitiny, kde vlivem svařovacího procesu v tepelně ovlivněné oblasti (dále jako „TOO“) dochází k odpevňování základního materiálu vlivem vneseného tepla do struktury. [27] [30] [31]



Obrázek 3.10: Rozdělení hliníkových slitin [27]

Žíhání ke snížení zbytkového pnutí:

Využíváno k relaxaci materiálu od vnitřních pnutí, které mohou v materiálu vznikat v důsledku procesu svařování. Jedná se o tepelné zpracování pod rekrytalizační teplotou, s výdrží na dané teplotě a následným řízeným ochlazováním. Teploty procesu jsou voleny v rozmezí teplot 300-400 °C. Řízené ochlazování je nejméně do teploty 200 °C. [30] [31]



Obrázek 3.11: Schéma žíhání ke snížení vnitřního pnutí [30]

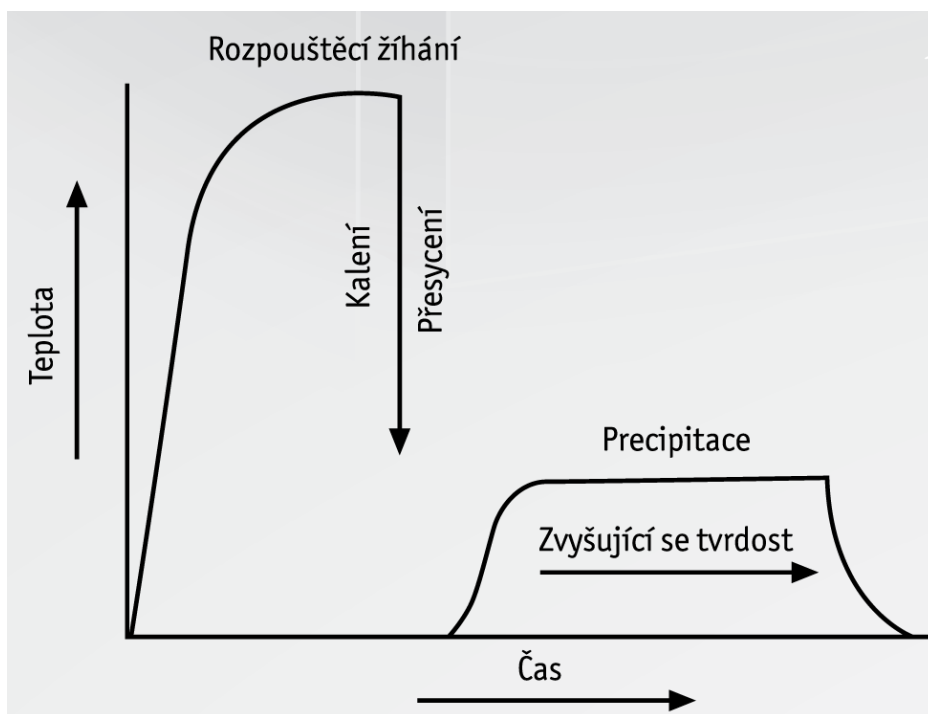
Precipitační vytvrzování:

Je používáno k částečné obnově původních mechanických vlastností základního materiálu po procesu svařování. Svarový kov může být precipitačně vytvrzen pouze za předpokladu, že použitý přídavný materiál lze precipitačně vytvrzovat. Pokud byl použit přídavný materiál nevytvrditelný, tak dochází k pouze k částečné obnově mechanických vlastností u základního materiálu. Podmínkou pro proces vytvrzování hliníkových slitin je, že tyto slitiny mají z hlediska příslušného rovnovážného diagramu výraznou změnu rozpustnosti legujícího prvku závislou na teplotě. Rozpustnost a její změna v tuhém roztoku α je základním předpokladem pro vznik přesyceného tuhého roztoku α . [30] [31]

Postup:

- a) **Rozpouštěcí žíhání** – ohřev materiálu 10-15 °C pod eutektickou teplotu dané slitiny po dobu nutnou k rozpuštění nestabilních intermetalických fází (např. $CuAl_2, Mg_2Si$) a ochlazení kritickou nebo nadkritickou ochlazovací rychlostí pro vznik přesyceného tuhého roztoku α . Kritická rychlost ochlazování je nejmenší rychlostí z rozpouštěcí teploty k dosažení nerozpadlého přesyceného tuhého roztoku dané slitiny. [30] [31]
- b) **Stárnutí** – proces při kterém dochází k difuznímu vyloučení intermetalických fází, které brání pohybu dislokací. Mění se substruktura a v důsledku toho může docházet ke změně mechanických, fyzikálních a technologických vlastností. Realizace může probíhat na vzduchu za pokojové teploty – přirozené stárnutí, nebo za zvýšených teplot – umělé stárnutí. Stárnutím materiál získává tvrdost a pevnost na úkor tažnosti. Při provádění tepelného procesu stárnutí musí být

kladěn velký důraz na doporučené teploty a časy pro danou slitinu, z důvodu možného vzniku přestárnutí materiálu a opětovného snížení jeho mechanických vlastností. [30] [31]



Obrázek 3.12: Schéma precipitačního vytvrzování [31]

3.4.1 Zvolené tepelné zpracování pro ověření výrobního postupu

Pro volbu nejvhodnějšího TZ byly na základě výše popsaných jednotlivých typů vybrány tři různé zpracování.

Precipitační vytvrzení:

Tabulka 3.14: Parametry precipitačního vytvrzení se zachlazením do vody po rozpouštěcím žíhání [32]

Precipitační vytvrzení se zachlazením do vody po rozpouštěcím žíhání			
Proces	Teplota [°C]	Čas procesu [min]	Způsob ochlazení
Rozpouštěcí žíhání	530	60	Voda
Umělé stárnutí	180	480	Vzduch

Tabulka 3.15: Parametry precipitačního vytvrzení se zachlazením na vzduchu po rozpouštěcím žíhání [32]

Precipitační vytvrzení se zachlazením na vzduchu po rozpouštěcím žíhání			
Proces	Teplota [°C]	Čas procesu [min]	Způsob ochlazení
Rozpouštěcí žíhání	530	60	Vzduch
Umělé stárnutí	180	480	Vzduch

Precipitační vytvrzení se zachlazením do vody po rozpouštěcím žihání bylo do výběru zařazeno z důvodu nejčastěji používaného TZ pro obnovu mechanických vlastností základního materiálu po procesu svařování.

Precipitační vytvrzení se zachlazením na vzduchu po rozpouštěcím žihání bylo zařazeno z důvodů obavy zachlázovat kyvnou vidlici do vody. Jedná se především o obavy z pnutí od dílců, které jsou spasovány pomocí zámků a možnosti vzniku trhlin nebo prasklin.

Čas procesu uvedený pro jednotlivé TZ v tabulce č.3.14 a 3.15 značí výdrž na teplotě po jejím dosažení v použitém tepelném zařízení. Ochlazení probíhá do teploty 20°C.

Žihání ke snížení vnitřních pnutí:

Tabulka 3.16: Parametry žihání ke snížení vnitřních pnutí

Žihání ke snížení vnitřních pnutí			
Proces	Teplota [°C]	Čas procesu [min]	Způsob ochlazení
Žihání	350	240	Vzduch

Žihání ke snížení vnitřních pnutí bylo zařazeno jako další nejčastěji používané TZ po procesu svařování u hliníkových slitin. Jedná se o TZ pod teplotou rekrytalizace, která v průběhu procesu nesmí být překročena, aby nedošlo v základním materiálu k odpevnění a ztrátě původních mechanických vlastností. Teplota rekrytalizace je odlišná pro různé slitiny hliníku. Její parametry se přímo vážou na chemické složení dané slitiny. Pro použitou slitinu EN AW 6082 se nepodařilo tuto hodnotu dohledat a byla zvolena dle tabulky č. 3.17. [30]

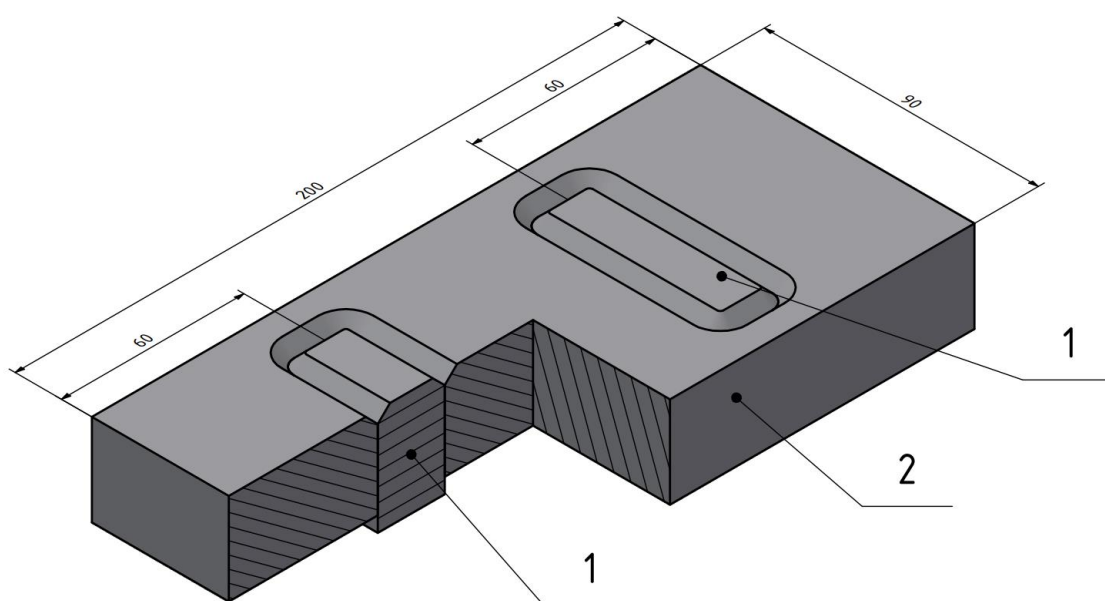
Tabulka 3.17: Začátky rekrytalizačních procesů u hliníků různé čistoty [30]

Čistota Al [hmot. %]	Teplota začátku rekrytalizačních procesů [°C]
99,998	20 - 120
99,995	70 - 150
99,990	180 - 240
99,900	230 - 300
99,500	250 - 350

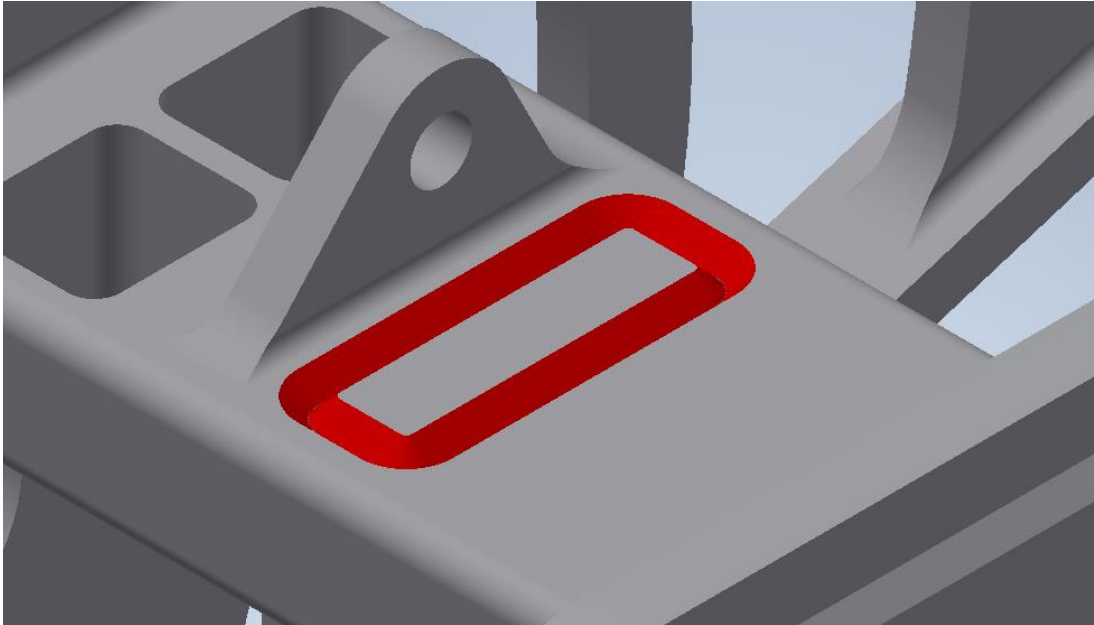
Čas procesu uvedený pro TZ v tabulce č. 3.16 značí výdrž na teplotě po jejím dosažení v použitém tepelném zařízení. Způsob chlazení je zde realizován odlišným způsobem než u předchozích TZ. Po uplynutí času procesu na dané teplotě je započato řízené ochlazení 35°C/hod až na teplotu 200 °C, kde nastává volné chlazení na vzduchu do teploty 20°C.

3.5 Vzorky pro ověření návrhu výrobního postupu

Pro ověření pevnostních vlastností po svaření a návrhu tepelného zpracování byly navrženy vzorky jako desky s vyfrézovaným zkosením $4 \times 45^\circ$ pro „Y“ svar horní příčky kyvné vidlice. Frézovaný vzorek se skládá z frézované desky (1) s dvěma otvory, kde na jedné straně jsou vyfrézovaná zkosení, a dvou čepů (2) se shodně vyfrézovaným zkosením na jedné straně a osazením pro přesnou pozici v desce na straně druhé viz obrázek č. 3.13. Frézovaná deska (2) simuluje horní příčku kyvné vidlice a čepy (1) domeček ložiska.

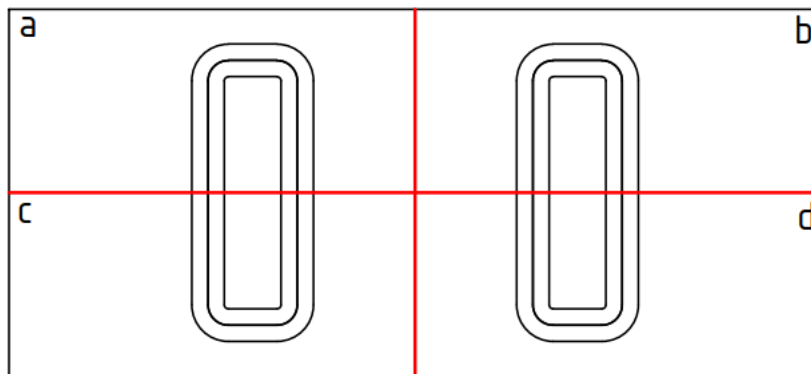


Obrázek 3.13: Rozměry frézovaného vzorku [archiv autora]



Obrázek 3.14: Pojistný svar horní příčky kyvné vidlice [archiv autora]

Pro jednotlivá TZ byly nařezány funkční vzorky z původního svařeného frézovaného vzorku. Schéma nařezání jednotlivých vzorků viz obrázek č. 3.15. TZ vzorků proběhlo v laboratořích Ústavu strojírenské technologie na ČVUT. Pro TZ byla použita pec Dentsply vulcan 3-550 PD. [33]



Obrázek 3.15: Schéma nařezání vzorků pro TZ z frézovaného vzorku [archiv autora]

Ke vzorkům byly přiděleny následující TZ:

- a) Precipitační vytvrzení se zachlazením do vody po rozpouštěcím žihání,
- b) precipitační vytvrzení se zachlazením na vzduchu po rozpouštěcím žihání,
- c) žihání ke snížení vnitřních pnutí,
- d) tepelně nezpracovaný vzorek.

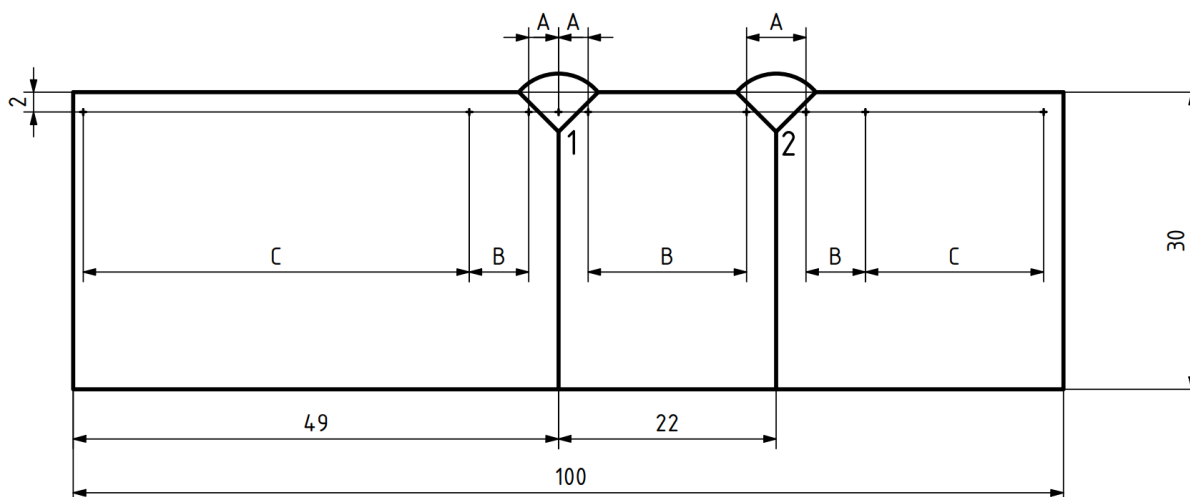
3.6 Zkoušky mechanických vlastností

Vzorky byly podrobeny zkoušce tvrdosti, pro zjištění vlivu TZ na mechanické vlastnosti základního materiálu, TOO a svarového kovu. Zkouška tvrdosti HV 1 proběhla dle ČSN EN ISO 6507-1 a byla provedena na čtyřech zkušebních vzorcích. Měření proběhlo na přístroji Buehler t 1104. [34]

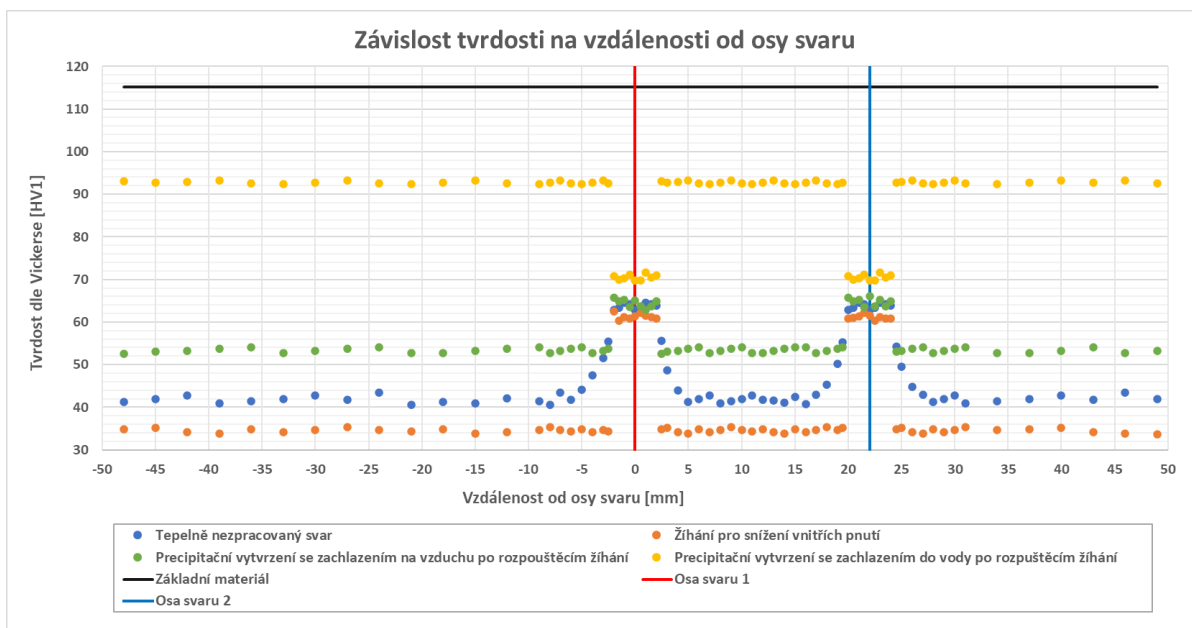


Obrázek 3.16: Nařezané vzorky pro TZ a měření tvrdosti [archiv autora]

Měření tvrdosti na jednotlivých vzorcích probíhalo dle schématu viz obrázek č. 3.17. Počátek souřadného systému pro grafické vyobrazení byl zvolen v ose svaru č. 1. Vpichy byly umístěny 2 mm pod okraj horní plochy, na kterém jsou provedeny svary. Rozmístění vpichů bylo voleno následovně. V oblasti **A** byly jednotlivé vpichy voleny po 0,5 mm, dále v oblasti **B** byly po 1 mm a v poslední oblasti **C** byly po 3 mm.



Obrázek 3.17: Rozložení vpichů do zkušebního vzorku [archiv autora]



Graf 3.1: Závislost tvrdosti na vzdálenosti od osy svaru

Na grafu č. 3.1 je znázornění měření závislosti tvrdosti na vzdálenosti od osy svaru. Do grafického zobrazení je přidána hodnota tvrdosti základního materiálu pro názornější porovnání úbytku tvrdosti po TZ. Z výsledků výše lze vyvodit následující závěry.

a) Precipitační vytvrzení se zchlazením ve vodě po rozpouštěcím žihání

Z výsledků je jasně patrné, že precipitační vytvrzení se zchlazením do vody po rozpouštěcím žihání (dále jako „PV-voda“) vychází ze všech testovaných tepelných zpracování nejlépe. Z průběhu křivky není patrná přechodová oblast mezi základním a svarovým materiálem a dochází zde ke skokovému nárustu tvrdosti v základním materiálu oproti svarovému materiálu. Materiál svaru je udáván jako nevytvrditelná hliníková slitina, ale při porovnání s hodnotami u ostatních tepelných zpracování zde k minimálnímu efektu vytvrzení došlo. Tento efekt může být způsoben částečným promíšením základního materiálu do materiálu svaru během rozpouštěcího žihání, nebo se v materiálu vytvořilo minimální množství precipitačních fází z legujících prvků materiálu samotného.

Průměrná hodnota tvrdosti v základním materiálu je zde 92,8 HV.

b) Precipitační vytvrzení se zchlazením na vzduchu po rozpouštěcím žihání

U precipitačního vytvrzení se zchlazením na vzduchu po rozpouštěcím žihání (dále jako „PV-vzduch“) nedošlo k tak výraznému zpevnění, jako u předešlého tepelného zpracování. Výsledky ukazují že v průběhu ochlazování na vzduchu nebyla dodržena podmínka nadkritické rychlosti ochlazování a během ochlazení došlo k částečnému rozpadu přesyceného

tuhého roztoku, který následně znemožňuje vytvoření precipitačních fází během umělého stárnutí. Doba ochlazování vzorku po tepelném zpracování byla 60 minut. S přihlédnutím na tuto dobu lze odhadovat, že doba chladnutí celé kyvné vidlice bude rámcově delší a z tohoto důvodu by se na finálním výrobku dalo očekávat další snížení tvrdosti.

V oblasti základního materiálu je průměrná hodnota tvrdosti 53,3 HV.

c) Žihání ke snížení vnitřních pnutí

U žihání na snížení vnitřních pnutí (dále jako „ŽVP“) došlo k naměření nejnižších hodnot tvrdosti ze všech testovaných vzorků. Z výsledků je jasně patrný skokový přechod z materiálu svaru na základní materiál. K takto nízkým hodnotám tvrdosti, při porovnání se základním materiálem a s TZ **a)** a **b)**, došlo v důsledku nevhodně zvolené teploty žihání. Teplota žihání byla nastavena nad teplotu rekrystalizace, která ve struktuře materiálu zapříčinila zotavující pochody. V průběhu procesu žihání docházelo nad touto teplotou k růstu zrna struktury materiálu. Tato změna struktury se vyznačuje rapidním snížením mechanických vlastností a nárůstem tažnosti materiálu. Mikrostruktura materiálu je dále rozebrána v kapitole 3.6. [30]

V oblasti základního materiálu je průměrná hodnota tvrdosti 34,7 HV.

d) Tepelně nezpracovaný vzorek

Tepelně nezpracovaný vzorek (dále jako „NZ“) svaru vykazuje jako jediný přechodovou oblast mezi svarovým materiálem a materiálem základním. Tato oblast je patrná od cca 2 mm od osy svaru po 5 mm od osy svaru. Po této oblasti dochází k ustálení tvrdosti na průměrné hodnotě 42,3 HV. Oblast ustálených hodnot v základním materiálu vykazuje rapidní snížení tvrdosti oproti hodnotám základního materiálu. Snížení tvrdosti je zde způsobeno překročením teploty rekrystalizace stejně jako u TZ **c)**. K překročení teploty rekrystalizace zde ovšem došlo v průběhu svařovacího procesu, kdy do materiálu bylo vneseno nadkritické množství tepla, které zapříčinilo ohřátí celého objemu vzorku nad hranici teploty rekrystalizace. TOO je u NZ v celém objemu měřeného vzorku.

Přechodová oblast mezi svarovým materiálem a základním materiálem naopak vykazuje nárůst tvrdosti směrem ke svarovému kovu. Tento nárůst je zapříčiněn přirozeným stárnutím oblasti, kde teplota v průběhu svařování překročila teplotu rozpouštěcího žihání a došlo zde k obdobnému efektu jako u TZ **b)**. Jediným rozdílem od TZ **b)** je způsob stárnutí dané oblasti, u tohoto vzorku došlo ke stárnutí přirozenému. Vzorek byl měřen po uplynutí 14.

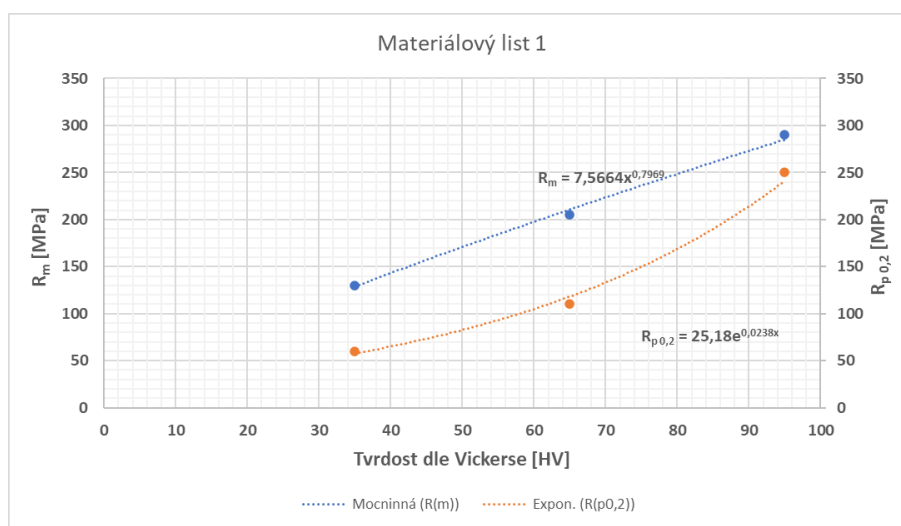
dní ode dne svařování, kdy přirozené stárnutí u slitin hliníku třídy 6000 trvá kolem 96 hodin. [35]

3.6.1 Převedení hodnot tvrdosti na mechanické vlastnosti

Pro posouzení vlivu TZ na mechanické vlastnosti meze pevnosti a kluzu, bylo zapotřebí přepočítat naměřené hodnoty tvrdosti. Přepočet naměřených hodnot byl realizován pomocí aproximace známých hodnot TZ z materiálových listů pro použitý materiál. Materiálové listy mají uvedeny u TZ hodnoty tvrdosti, meze pevnosti a kluzu viz tabulky č. 3.18, 3.19 a 3.20. Tyto hodnoty byly vyneseny do grafu pro jednotlivé materiálové listy a následně proloženy vhodnou spojnicí trendu. Pro spojnice trendu byly následně vygenerovány rovnice. Tyto rovnice byly použity pro přepočet naměřených hodnot tvrdosti, kdy dosazovaná hodnota za „x“ byla vždy průměr hodnot z lineárních oblastí ze ZM. Přepočítané hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 3.22.

Tabulka 3.18: Hodnoty pro Materiálový list 1 [36]

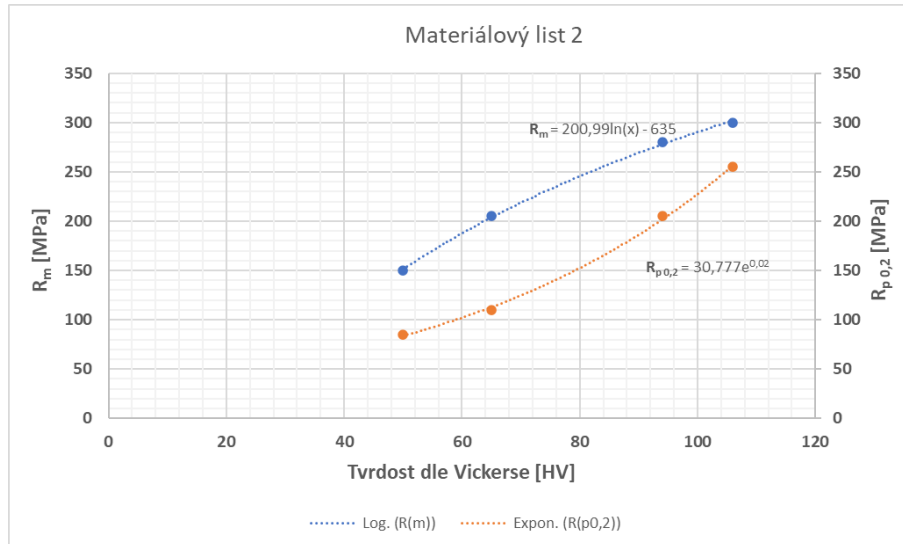
Materiálový list 1			
Tepelné zpracování	Tvrdost [HV]	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]
O	35	130	60
T4	65	205	110
T6	95	390	250



Graf 3.2: Aproximované hodnoty materiálového listu 1

Tabulka 3.19: Hodnoty pro Materiálový list 2 [37]

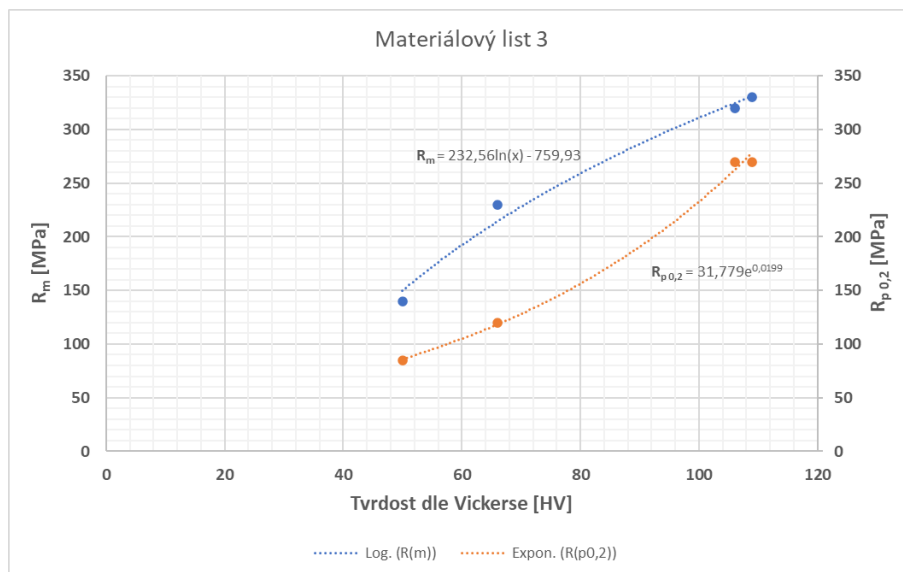
Materiálový list 2				
Tepelné zpracování	Tvrdość [HBW]	Tvrdość [HV]	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]
O	40	50	150	85
T4	58	65	205	110
T61	82	94	280	205
T6	91	106	300	255



Graf 3.3: Axiální diagramy pro Materiálový list 2

Tabulka 3.20: Hodnoty pro Materiálový list 3 [38]

Materiálový list 3				
Tepelné zpracování	Tvrdość [HBW]	Tvrdość [HV]	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]
O	40	50	140	85
T4	58	66	230	120
T651	91	106	320	270
T6	93	109	330	270



Graf 3.4: Axiální diagramy pro Materiálový list 3

Tabulka 3.21: Hodnoty převodu tvrdosti HBW na HV [39]

Převod HBW na HV													
HBW	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
HV	50	50	56	62	68	74	80	86	92	98	105	111	117

Tabulka 3.22: Hodnoty přepočtu tvrdosti na mez pevnosti a kluzu

Přepočítané hodnoty tvrdosti na hodnoty meze pevnosti a kluzu pro jednotlivé materiálové listy								
	PV - voda		PV - vzduch		ŽVP		NZ	
	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]
Materiálový list 1	281	231	180	90	125	56	146	67
Materiálový list 2	276	198	164	89	73	61	111	70
Materiálový list 3	295	203	165	92	59	62	103	72

Přesnost přepočítaných hodnot meze pevnosti a kluzu se dle tabulky č.22 pro jednotlivé materiálové listy odlišují. U meze pevnosti se rozdíl hodnot se zvyšujícími hodnotami pevnosti snižuje. V případě TZ ŽVP, které vykazuje nejmenší pevnostní charakteristiku, jsou rozdíly nejvyšších a nejnižších hodnot u meze pevnosti rovny 66 MPa. U PV-voda je tato hodnota rovna 19 MPa. Mez kluzu vykazuje u většiny TZ kromě PV-voda hodnoty s maximálním rozdílem 5 MPa. U PV-voda je tato hodnota rovná 33 MPa.

Z uvedených výsledků v tabulce č. 3.22 lze dojít k závěru, že tato použitá metoda nelze použít ke zjištění přesných dosažených mechanických vlastností kyvné vidlice. Pomocí této metody lze dojít pouze k rámcovému zjištění mechanických vlastností s uvedenou nepřesností v rozdílu maximálních a minimálních zjištěných hodnot.

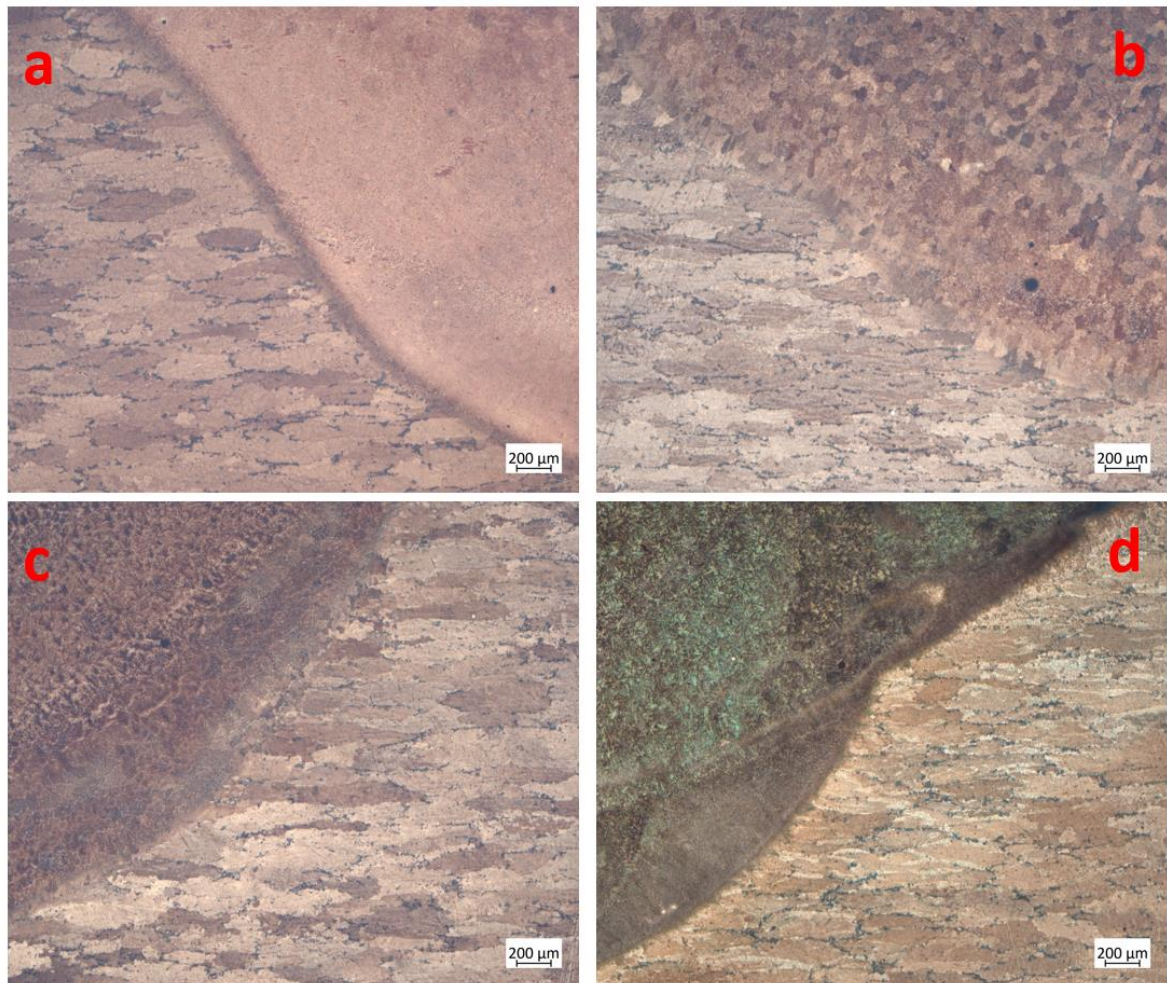
3.7 Mikrostruktura



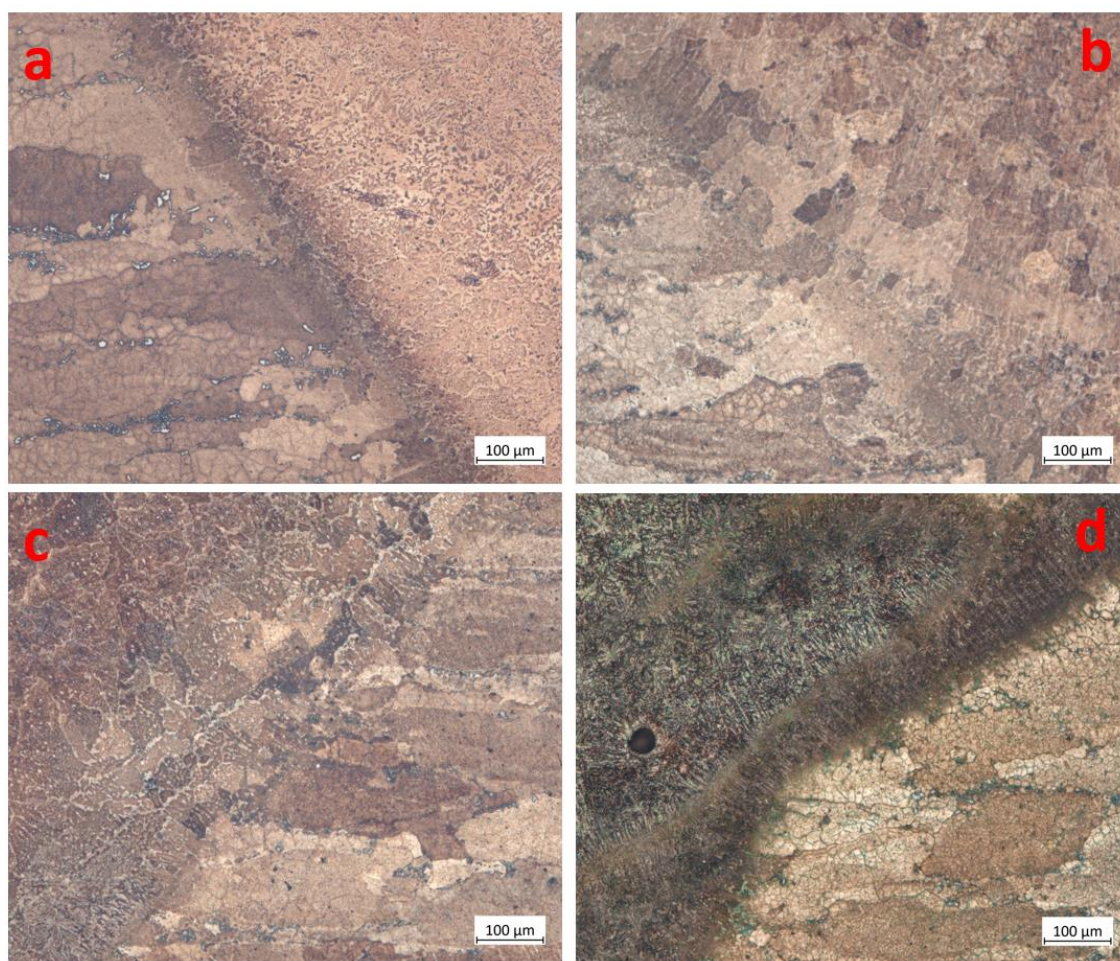
Obrázek 3.18: Makrostruktura vzorku [archiv autora]

Ze všech tepelně zpracovaných vzorků byly následně vyhotoveny metalografické výbrusy pro optickou analýzu mikrostruktury přechodu základního materiálu se svarovým kovem. Metalografický výbrus byl vyhotoven i u tepelně nezpracovaného základního

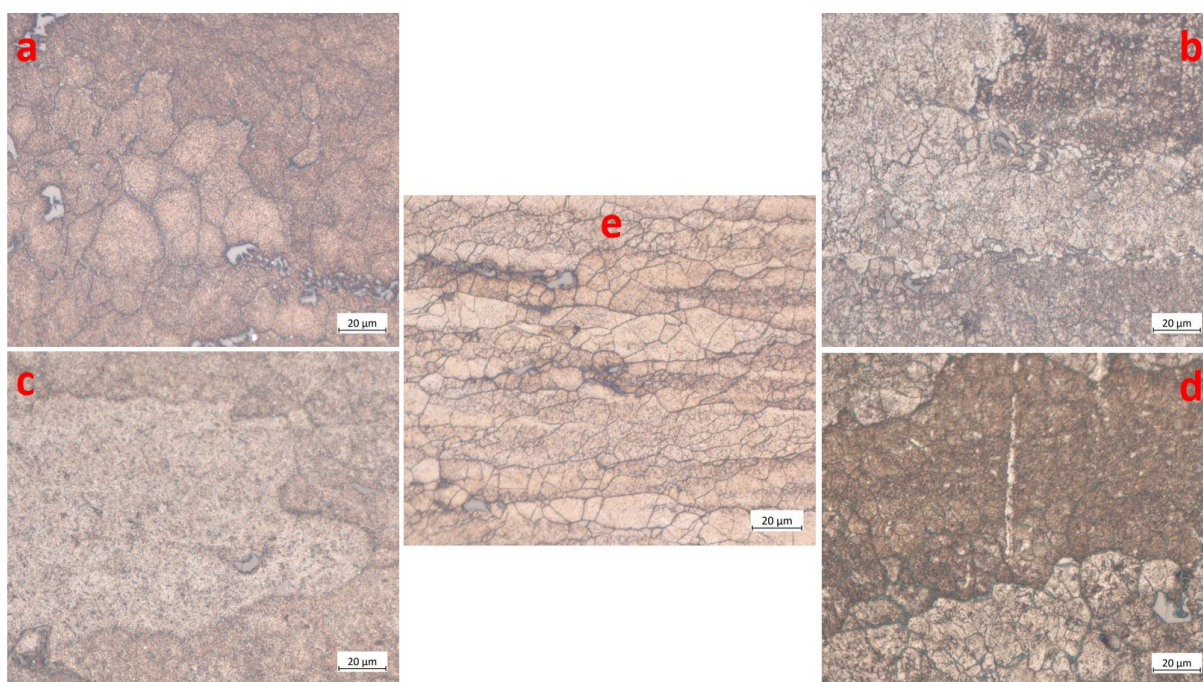
materiálu. Porovnání jednotlivých mikrostruktur bylo použito jako další ověření pro finální určení tepelného zpracování.



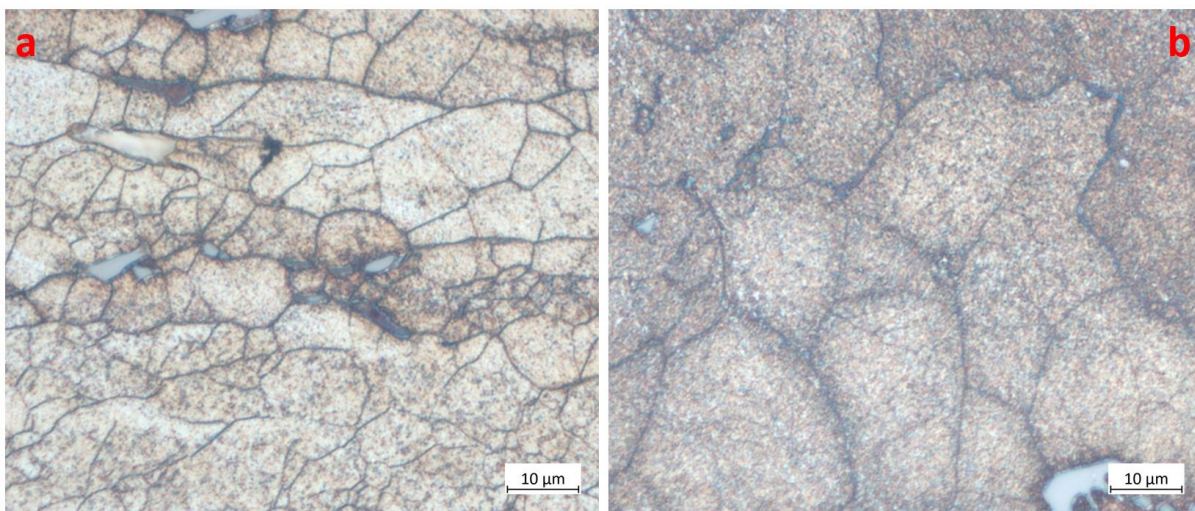
Obrázek 3.19: Mikrostruktura přechodu svarového kovu a základního materiálu. Zvětšení 25x – a) PV-voda; b) PV-vzduch; c) ŽVP; d) NZ. [archiv autora]



Obrázek 3.20: Mikrostruktura přechodu svarového kovu a základního materiálu. Zvětšení 100x – a) PV-voda; b) PV-vzduch; c) ŽVP; d) NZ. [archiv autora]



Obrázek 3.21: Mikrostruktura základního materiálu u jednotlivých tepelných zpracování a u tepelně nezpracovaného základního materiálu. Zvětšení 500x – a) PV-voda; b) PV-vzduch; c) ŽVP; d) NZ.; e) tepelně nezpracovaný základní materiál (polotovar). [archiv autora]



Obrázek 3.22: Porovnání mikrostruktury a) tepelně nezpracovaného základního materiálu (polotovar) a b) základního PV-voda. Zvětšení 1000x. [archiv autora]

Z obrázku č. 3.19 a č. 3.20, kde je mikrostruktura se zvětšením 25x a 100x, lze vyvodit přechodovou oblast svarového kovu se základním materiálem. U vzorku **a)** je patrná širší přechodová oblast než u zbylých vzorků. Jedná se o PV-voda. Tento jev je způsobený částečným promíšením základního materiálu a svarového kovu, který vznikl při rozpouštěcím žíhání a ochlazení kritickou rychlostí do vody. U PV-vzduch se tento jev neobjevil a přechodová oblast je charakterizována skokovým přechodem struktury základního materiálu a svarového kovu. Stejný jev doprovází i zbylá tepelná zpracování.

Obrázek č. 3.22 porovnává jednotlivé vzorky základního materiálu jednotlivých tepelných zpracování s tepelně nezpracovaným základním materiálem. Z obrázku lze vyvodit jemnost struktury jednotlivých vzorků, kde nejjemnější strukturu tvoří vzorek **e)**, který má velikost zrna 20 μm . Jedná se o vzorek tepelně nezpracovaného základního materiálu, na kterém byla změřena i největší tvrdost. Jemností struktury a počtem zrn je tomuto vzorku nejbližší vzorek **a)**, který zastupuje PV-voda a velikost zrna u tohoto TZ je 42 μm . Jemnost struktury jednotlivých vzorků přímo koresponduje s naměřenými daty z měření tvrdosti, kdy vzorek **a)** byl nejbližší k základnímu materiálu. Nejvíce hrubozrnnou strukturu zde vykazuje vzorek **c)**, u kterého je velikost zrna 294 μm . Vzorky **b)** a **d)** vykazují oproti vzorku **c)** o něco jemnější strukturu. U vzorku **b)** je velikost zrna 235 μm a u vzorku **d)** 226 μm . Vyšší naměřená tvrdost u vzorků **b)** a **d)** oproti vzorku **c)** je způsobena vyloučením eutektik podél hranic zrn, které strukturu zpevňují.

3.8 Vyhodnocení dílčích výsledků a volba TZ

Z výše provedených zkoušek a porovnání jednotlivých mikrostruktur je jako finální tepelné zpracování vybráno precipitační vytvrzení se zachlazením ve vodě po rozpouštěcím žíhání. Z výsledků provedené zkoušky tvrdosti a aproximovaných hodnot vychází toto tepelné zpracování jako nejlepší. Dosahovalo nejvyšších hodnot tvrdosti, a s tím spojených přepočítaných mechanických vlastností. Při porovnání jednotlivých mikrostruktur vykazovalo nejjemnější strukturu ze všech testovaných tepelně ovlivněných vzorků a bylo zde dosaženo nejvyšší tvrdosti v oblasti svarového kovu.

PV-vzduch a tepelně nezpracovaný svařenec by dle aproximovaných hodnot splňovaly pevnostní vlastnosti s porovnáním s kapitolou 3.2. Jejich výběr je zamítnut z důvodů malého koeficientu bezpečnosti pro celou konstrukci a také z důvodu, že součástí svařence kyvné vidlice jsou i lisovaná ložiska, kde by hrozilo riziko vymačkání plochy kolem uložení ložiska.

Tepelné zpracování žíhání ke snížení vnitřních pnutí bylo z testovaných vzorků jediné, co nedosáhlo na potřebné mechanické vlastnosti.

4. Výroba zvoleného konstrukčního návrhu kyvné vidlice

Po stanovení finálního konstrukčního návrhu a provedení technologických zkoušek byl vyroben prototyp kyvné vidlice. Následující kapitoly obsahují popis výroby jednotlivých komponent, výrobních sestav, provedeného tepelného zpracování a kontrolu svarových spojů na konstrukci.

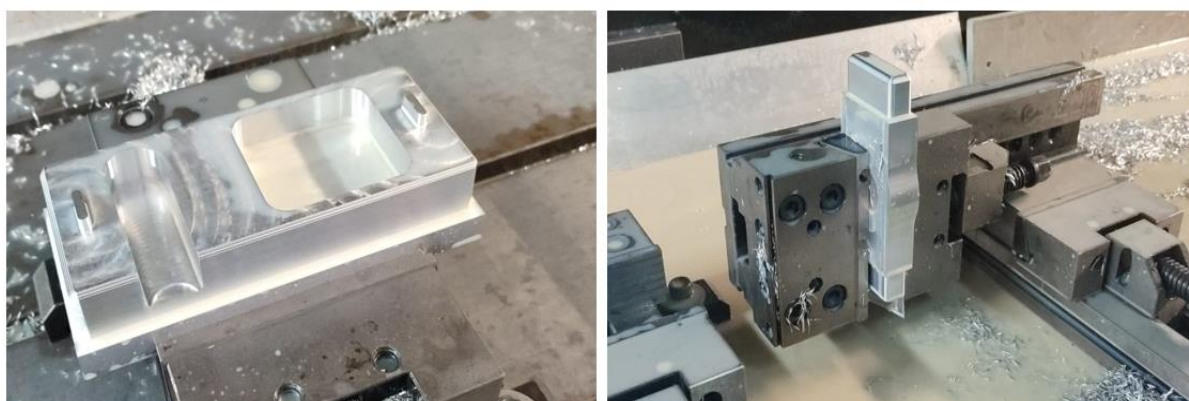
V jednotlivých kapitolách jsou uvedena čísla výkresů pro jednotlivé komponenty a sestavy pro lepší orientaci ve výrobní dokumentaci, která je vložena do příloh této práce.

4.1 Výroba komponent

Kyvná vidlice obsahuje 7 hlavních obráběných komponent, kdy svařenec obsahuje 5 z nich (viz kapitola 2.1.3). Jako polotovary pro obrábění svařovaných komponent jsou použity válcované frézované desky ze zvoleného materiálu EN AW 6082. Pro šroubované komponenty je zvolen válcovaný frézovaný polotovar z materiálu EN AW 7075. Výroba všech komponent probíhala u jednoho výrobce. Pro výrobu je použito 3osé frézovací centrum Cincinnati FTV 850 s kombinací elektroerozivního drátového řezání na stroji Fanuc.

Tabulka 4.1: Výrobní komponenty

Komponenta	Číslo výkresu	Materiál
Bočnice kyvné vidlice - L	421	EN AW 6082
Bočnice kyvné vidlice - P	422	EN AW 6082
Spojnice kyvné vidlice - H	423	EN AW 6082
Spojnice kyvné vidlice - D	424	EN AW 6082
Domek ložiska	425	EN AW 6082
Oko kyvné vidlice - L	426	EN AW 7075
Oko kyvné vidlice - P	427	EN AW 7075



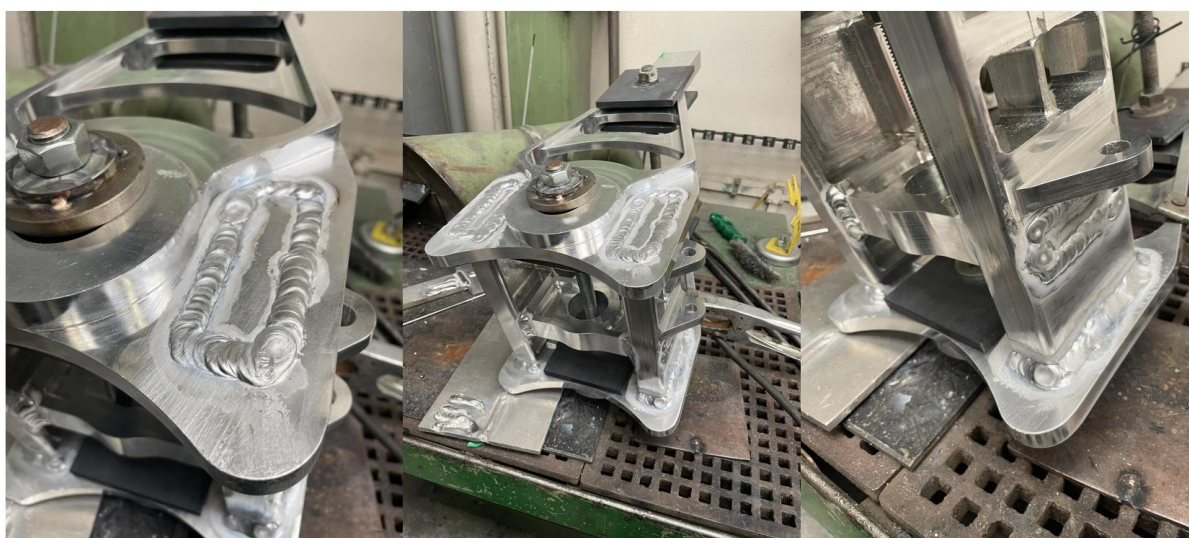
Obrázek 4.1: Výroba spojnice kyvné vidlice – D (vlevo) a domku ložiska (vpravo) [archiv autora]

4.2 Výroba svařence kyvné vidlice

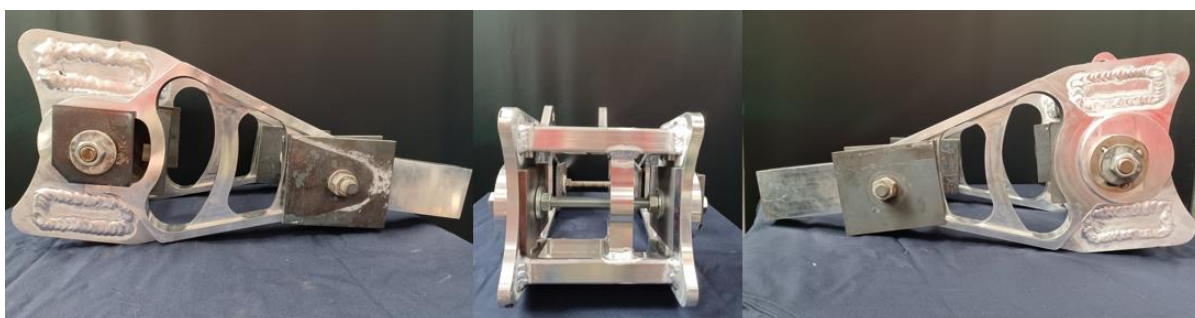
Výroba svařence kyvné vidlice probíhala v halových laboratořích Ústavu strojírenské technologie na ČVUT. Pro svařovací proces byly použity stejné parametry a svařovací invertor jako při svařování experimentálního vzorku (viz kapitola 3.3.2.) Pro zachování tolerancí a eliminování nepříznivého účinku pnutí v materiálu během svařovacího procesu na celkové rozměry svařence kyvné vidlice byly zhotoveny přípravky, které po dobu celého svařovacího procesu svíraly svařence a eliminovaly rozměrové odchylky svařence mimo tolerance. Přípravky svařence byly zachovány na svých místech do doby, než bylo na svařenci provedeno tepelné zpracování, aby při jejich demontáži nedošlo k vychýlení rozměrů od zbytkových pnutí v materiálu.

Tabulka 4.2: Výrobní sestava svařence

Sestava	Číslo výkresu
Svařenec kyvné vidlice	420S



Obrázek 4.2: Svařenec kyvné vidlice po procesu svařování [archiv autora]



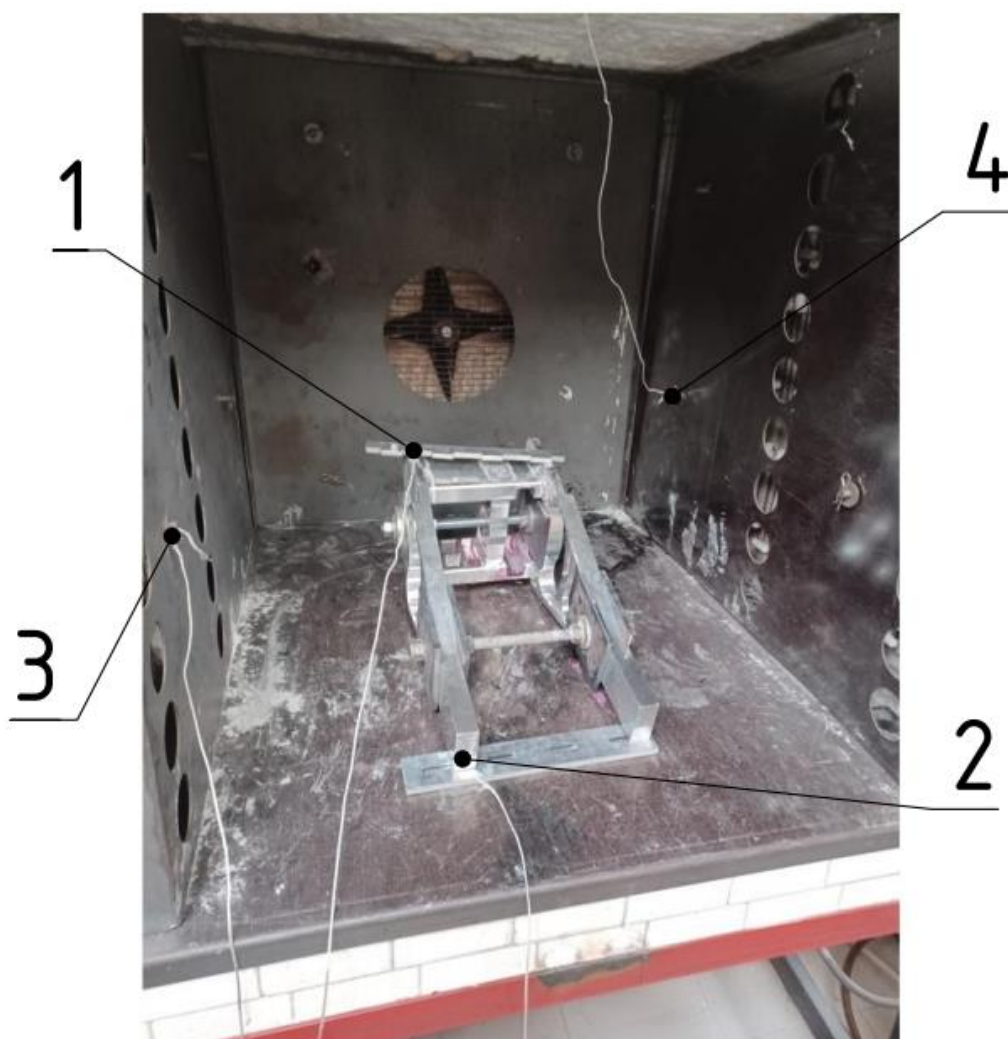
Obrázek 4.3: Svařenec kyvné vidlice po procesu svařování [archiv autora]

4.3 Tepelné zpracování svařence kyvné vidlice

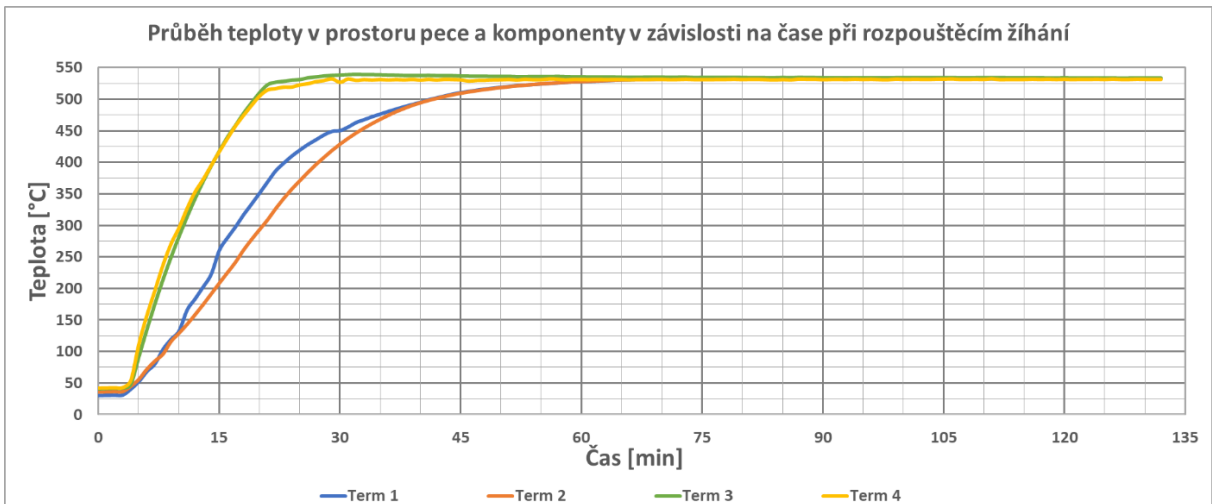
4.3.1 Tepelné zpracování

Jako finální tepelné zpracování pro svařenec kyvné vidlice bylo zvoleno precipitační vytvrzení se zachlazením ve vodě po rozpouštěcím žíhání. Tepelné zpracování bylo realizováno v halových laboratořích Ústavu strojírenské technologie na ČVUT. Pro proces rozpouštěcího žíhání a následného umělého stárnutí byla použita popouštěcí pec PP 540/65 s programovým PID regulátorem. Ochlazení bylo uskutečněno pomocí chladicí vany o objemu 500 litrů s teplotou chladicího média 20 °C. [40] [41]

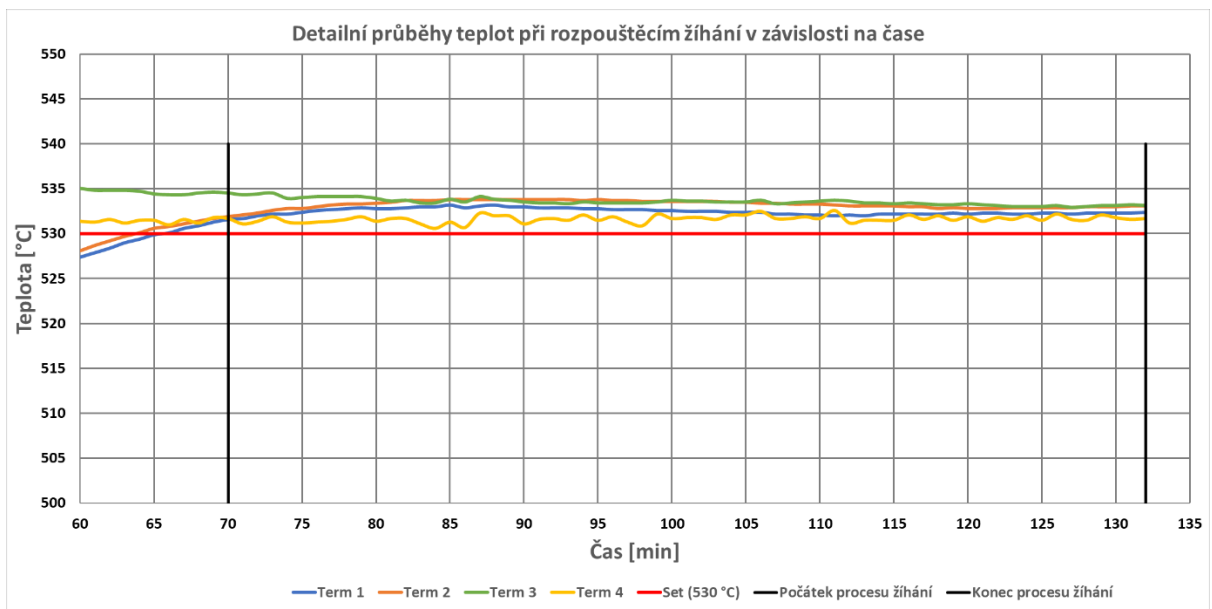
Během procesu žíhání a umělého stárnutí byly na svařenci v peci umístěny termočlánky pro monitorování aktuální teploty svařence a pecního prostoru, kdy jednotlivé pozice označují číslo termočlánku viz obrázek č. 4.4. Údaje byly během procesu TZ zaznamenávány v univerzální měřící ústředně Almemo 6690-2. [42]



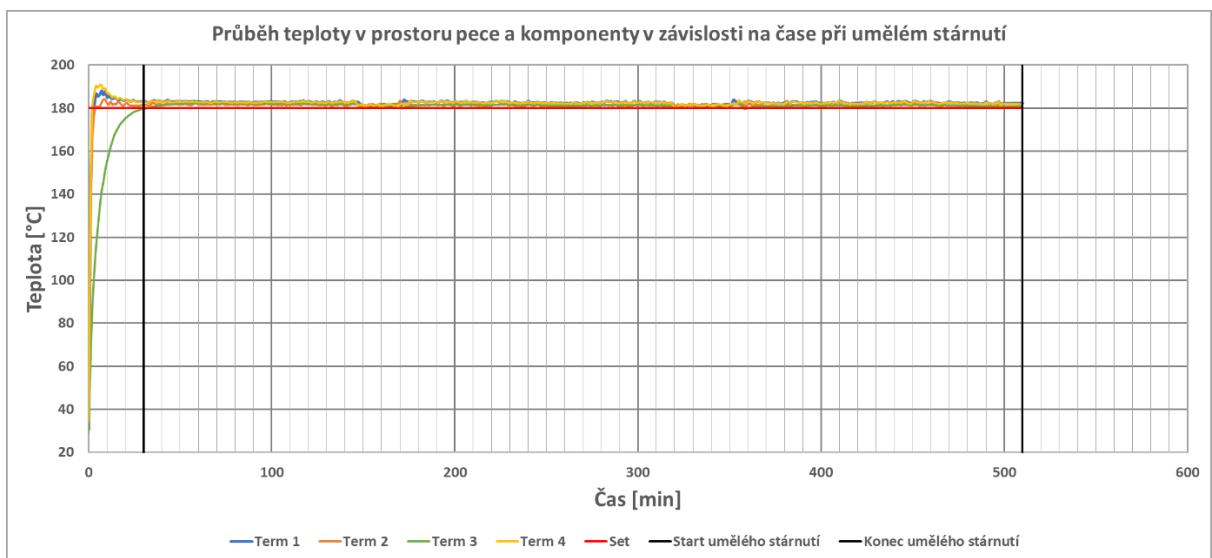
Obrázek 4.4: Schéma rozložení termočlánku na svařenci kyvné vidlice během procesu tepelného zpracování [archiv autora]



Graf 4.1: Záznam průběhu teplot během procesu žihání



Graf 4.2: Záznam průběhu teplot od startu po konec procesu žihání



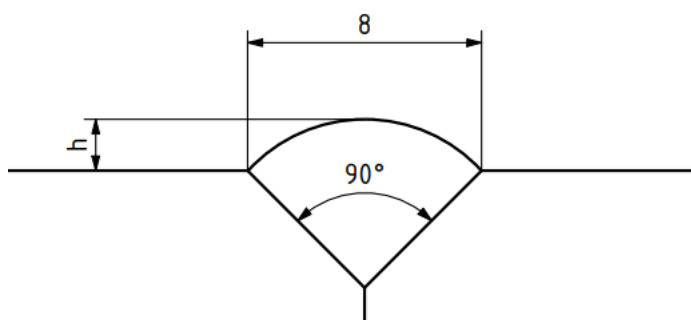
Graf 4.3: Záznam průběhu teplot během umělého stárnutí

4.3.2 Kontrola

Po procesu tepelného zpracování byl svařenec kyvné vidlice podroben nedestruktivním zkouškám. Jedná se o zkoušku vizuální a kapilární. Zkoušky byly provedeny pouze na 6 hlavních nosných svarech svařence kyvné vidlice.

a) Vizuální zkouška

Zkouška proběhla dle normy ČSN ISO 17637 – vizuální kontrola tavných svarů. Vyhodnocení proběhlo dle normy ČSN EN ISO 10042 pro svarové spoje hliníku a jeho slitin zhotovené obloukovým svařováním se stupněm jakosti C. Použité číselné označení vad je v souladu s normou ČSN EN ISO 6520-1. [43] [44] [45]



Obrázek 4.5: Rozměry svaru [archiv autora]

Vyhodnocení:

U 6 svarů svařence kyvné vidlice je měřeno převýšení tupého svaru, č. 502 dle ČSN EN ISO 6520-1, kritéria přípustnosti dle ČSN EN ISO 10042 se stupněm jakosti C.

Naměřené hodnoty $h = 1,9 - 2,1$ mm

Mezní hodnota $h \leq 2,7$ mm

Všechny měřené svary vyhovují požadavkům zvolené normy.

b) Kapilární zkouška

Zkouška proběhla dle normy ČSN EN ISO 3452-1 – zkoušení kapilární metodou a určení stupňů přípustnosti dle ČSN EN ISO 23277 – zkoušení kapilární metodou stupně přípustnosti. Stupeň přípustnosti byl stanoven jako 1. Vyhodnocení proběhlo dle normy ČSN EN ISO 10042 pro svarové spoje hliníku a jeho slitin zhotovené obloukovým svařováním se stupněm jakosti C. Použité číselné označení vad je v souladu s normou ČSN EN ISO 6520-1. [46] [47] [43] [44]



Obrázek 4.6: Kapilární zkouška - zobrazení indikace ve svaru (vlevo); svar před aplikací kapilární zkoušky (vpravo) [archiv autora]

Pro ukázkou kapilární zkoušky byl vybrán svár, který se nachází na spodní příčce kyvné vidlice. Jedná se o svar s největší zjištěnou chybou ze všech zkoušených svarů na kyvné vidlici. Na obrázku č. 4.6 vlevo je růžovou barvou zobrazena vzniklá indikace ve svaru a vpravo je ukázka svaru před aplikací kapilární metody.

Vyhodnocení:

Vzniklá indikace byla dle ČSN EN ISO 23277 identifikována jako nelineární kdy změřená délka byla 2,7 mm a šířka 1,8 mm. Tato velikost je dle normy přípustná pro vyhodnocování stupněm 1. Označení indikace dle ČSN EN ISO 6520-1 je č. 2025 koncová kráterová staženina. Kritéria přípustnosti dle ČSN EN ISO 10042 se stupněm jakosti C.

Naměřené hodnoty hlavní osy $s = 2,7 \text{ mm}$

Mezní hodnota $s \leq 6 \text{ mm}$

Tento svar vyhovuje zvoleným kritériím.

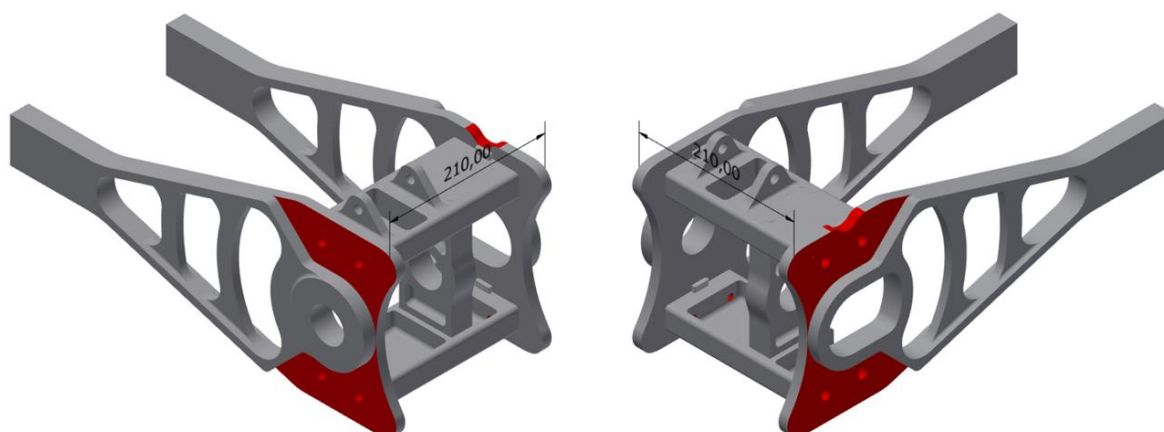
4.4 Obrábění kyvné vidlice

Po tepelném zpracování svařence kyvné vidlice následují další úkony strojního obrábění. Další strojní obrábění je provedeno za účelem obrobení sousosých otvorů pro uložení kyvné vidlice na konzolu pohonné jednotky, osu zadního kola a uložení předlohové hřídele. Všechny tyto zmíněné otvory musí být obrobeny až po svařovacím procesu z důvodu vysokých nároků na sousost, které by v případě obrobení před svařovacím procesem nemusely být dodrženy.

a) První fáze obrábění

Tabulka 4.3: Výrobní komponenta první fáze pro svařence kyvné vidlice

Komponenta	Číslo výkresu
Svařenec kyvné vidlice	420V



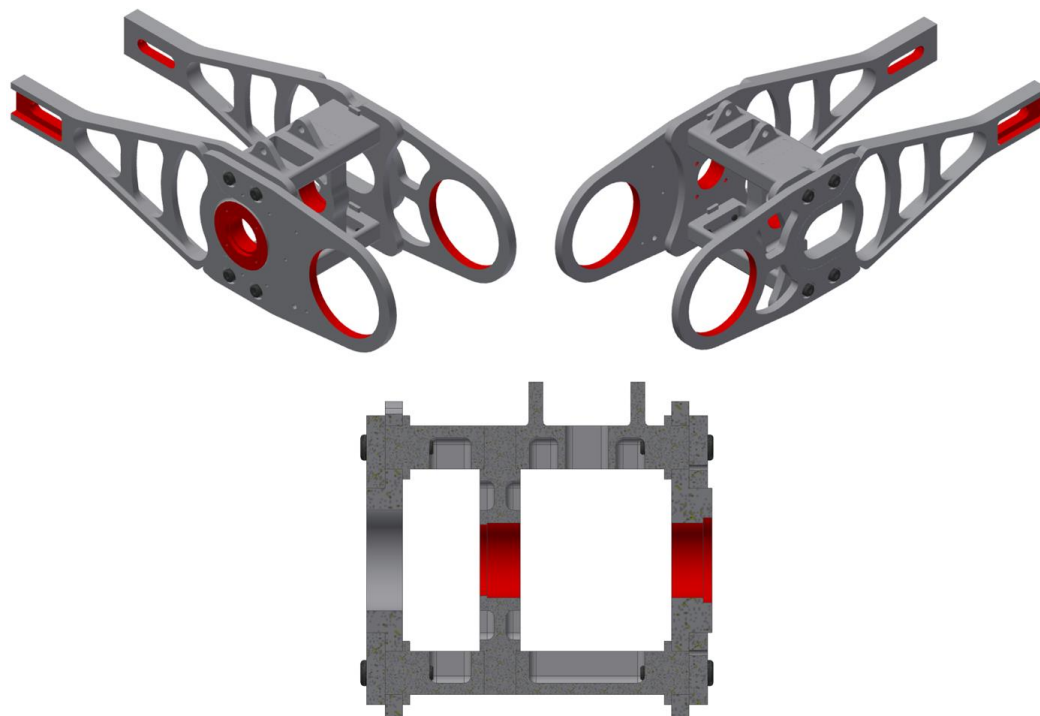
Obrázek 4.7: První fáze obrábění svařence kyvné vidlice 420V [archiv autora]

Na obrázku č. 4.7 jsou znázorněny červenou barvou frézované plochy pro první fázi obrábění svařence kyvné vidlice po tepelném zpracování. Jedná se o frézování dosedacích ploch bočnic kyvné vidlice o 1 mm a vytvoření lícovaných otvorů se závitem pro lícované šrouby M12. Touto operací dochází také k odebrání vrchní části svarů. Během obrábění je nutno dodržet rozměr 210 mm pro správnou následující funkci svařence kyvné vidlice. Další obráběnou plochou je horní vybrání na levé bočnici svařence pro montáž čepu na uchycení tlumicí jednotky. Všechny obráběcí práce jsou provedeny na portálovém CNC frézovacím centru TOS WH 10.

b) Druhá fáze obrábění

Tabulka 4.4: Výrobní sestava pro druhou fázi obrábění kyvné vidlice

Sestava	Číslo výkresu
Kyvná vidlice	420



Obrázek 4.8: Obrábění kyvné vidlice 420 [archiv autora]

Druhá fáze obrábění zahrnuje obrobený svařenec z první fáze a k němu přišroubovaná oka kyvné vidlice. Během druhé fáze obrábění dochází k obrobení všech průchozích otvorů, na které se vztahují tolerance souososti. Obráběné otvory a plochy jsou označeny červenou barvou na obrázku č. 4.8. Jedná se o uložení kyvné vidlice na konzole pohonné jednotky, osu zadního kola a uložení předlohové hřídele. Všechny obráběcí práce jsou provedeny na portálovém CNC frézovacím centru.

Po obrobení všech zmíněných otvorů a ploch je kyvná vidlice připravena pro finálovou montáž všech přidružených komponent.

4.5 Kompletace zadního uložení

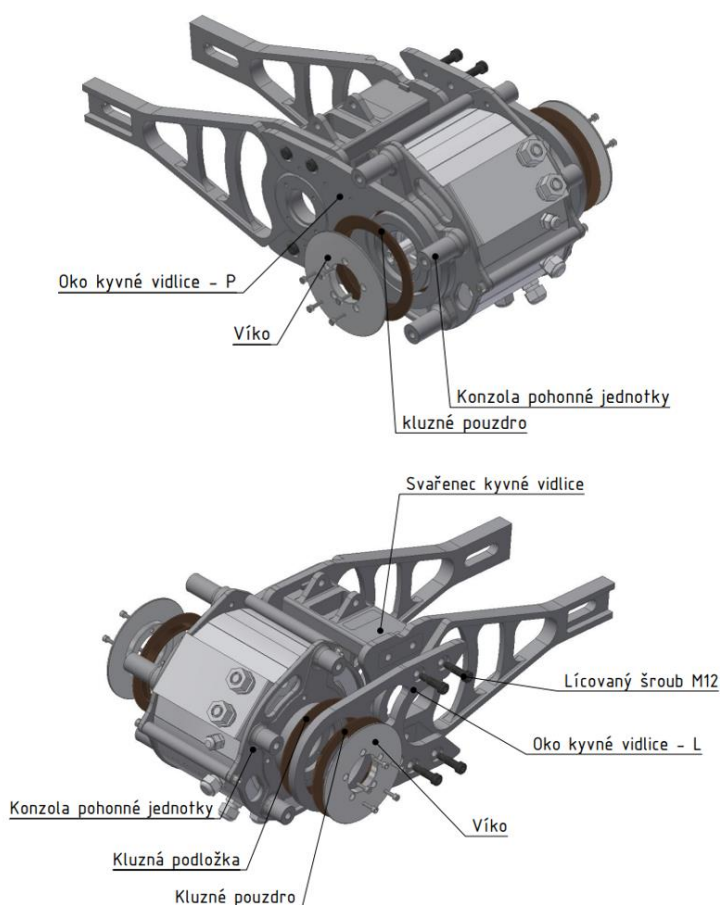
Pro finálové dokončení zadního uložení motocyklu EVO 3.0 bylo potřeba kyvnou vidlici osadit potřebnými přidruženými komponenty. Mezi tyto komponenty se řadí sestava zadního

kola, reakce zadní brzdy, napínáky řetězu, sestava předlokové hřídele, primární převod, sekundární převod a kryt primárního převodu.

4.5.1 Postup kompletace

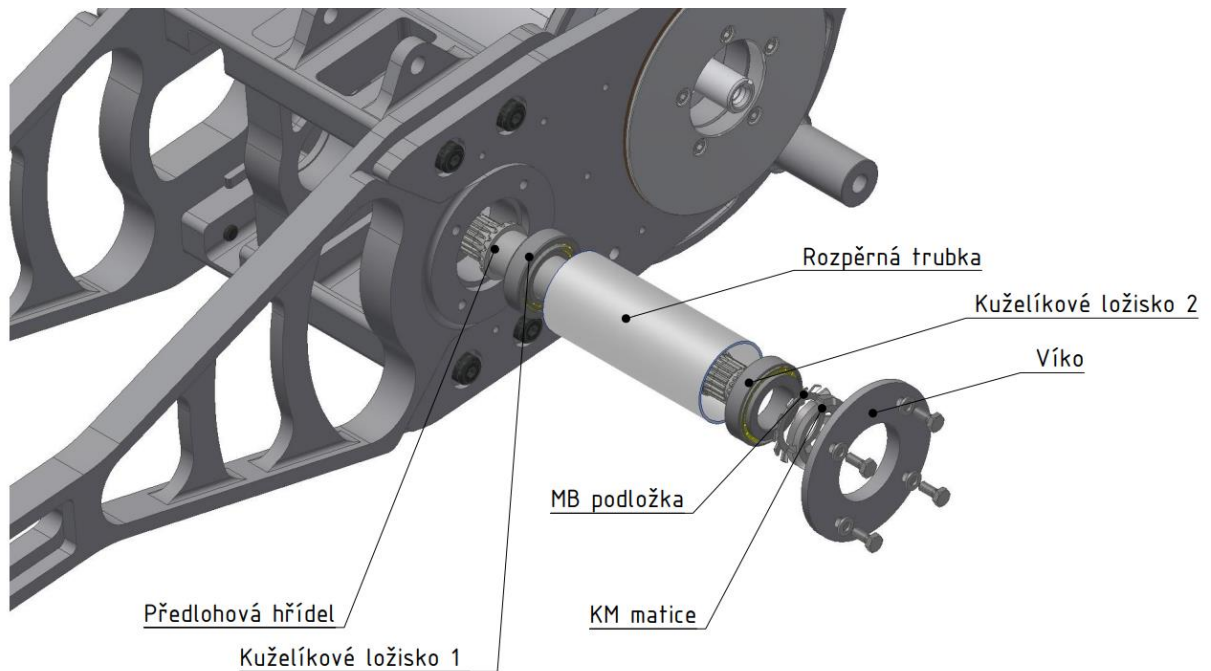
1) Montáž kyvné vidlice na konzolu pohonné jednotky

- a) Spojení svařence kyvné vidlice s pravým okem kyvné vidlice pomocí lícovaných šroubů M12,
- b) instalace kluzné podložky na pravou stranu konzole pohonné jednotky,
- c) nasunutí spasované sestavy kyvné vidlice,
- d) vystředění pozice kyvné vidlice na konzole pohonné jednotky pomocí kluzného pouzdra,
- e) zajištění pozice pomocí víka a 6 šroubů M6,
- f) instalace kluzné podložky na levou stranu konzole pohonné jednotky,
- g) spojení pravého oka kyvné vidlice se svařencem kyvné vidlice
- h) stejný postup jako u bodů d) a e)



Obrázek 4.9: Schéma montáže kyvné vidlice na konzolu pohonné jednotky [archiv autora]

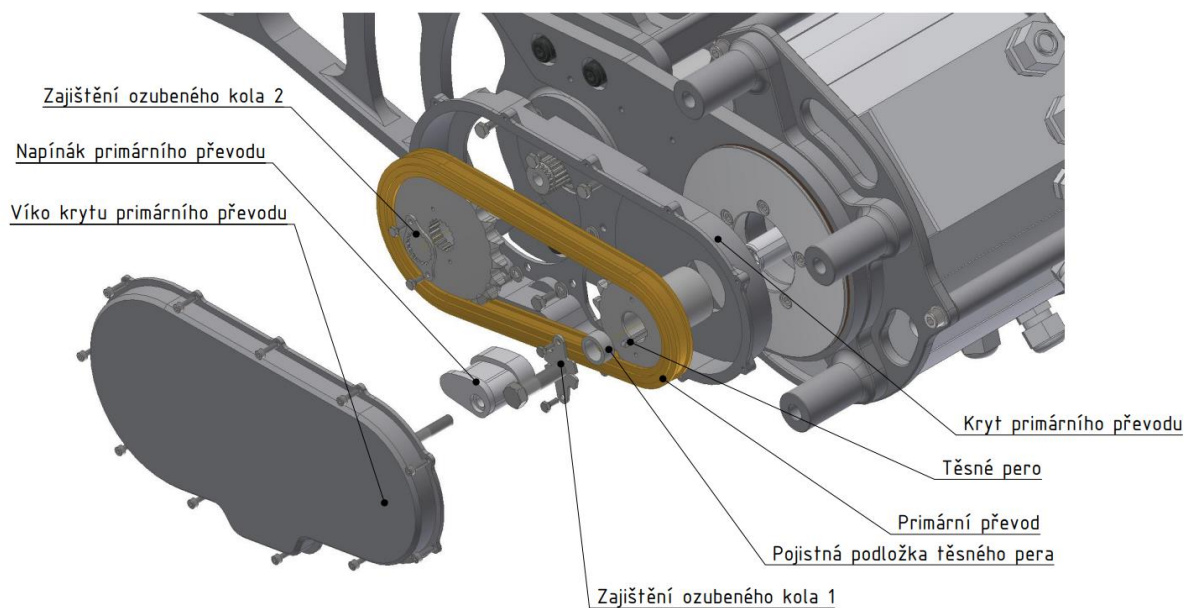
2) Montáž sestavy předlohové hřídele



Obrázek 4.10: Schéma montáže předlohové hřídele [archiv autora]

- Nalisování kuželíkového ložiska 1 do ložiskového domku svařence kyvné vidlice,
- nalísání předlohové hřídele do kuželíkového ložiska 1,
- vložení rozpěrné trubky,
- nalísání kuželíkového ložiska 2,
- zajištění a dotažení kuželíkového ložiska 2 pomocí MB podložky s KM maticí,
- zajištění kuželíkového ložiska 2 pomocí víka a šroubů M6.

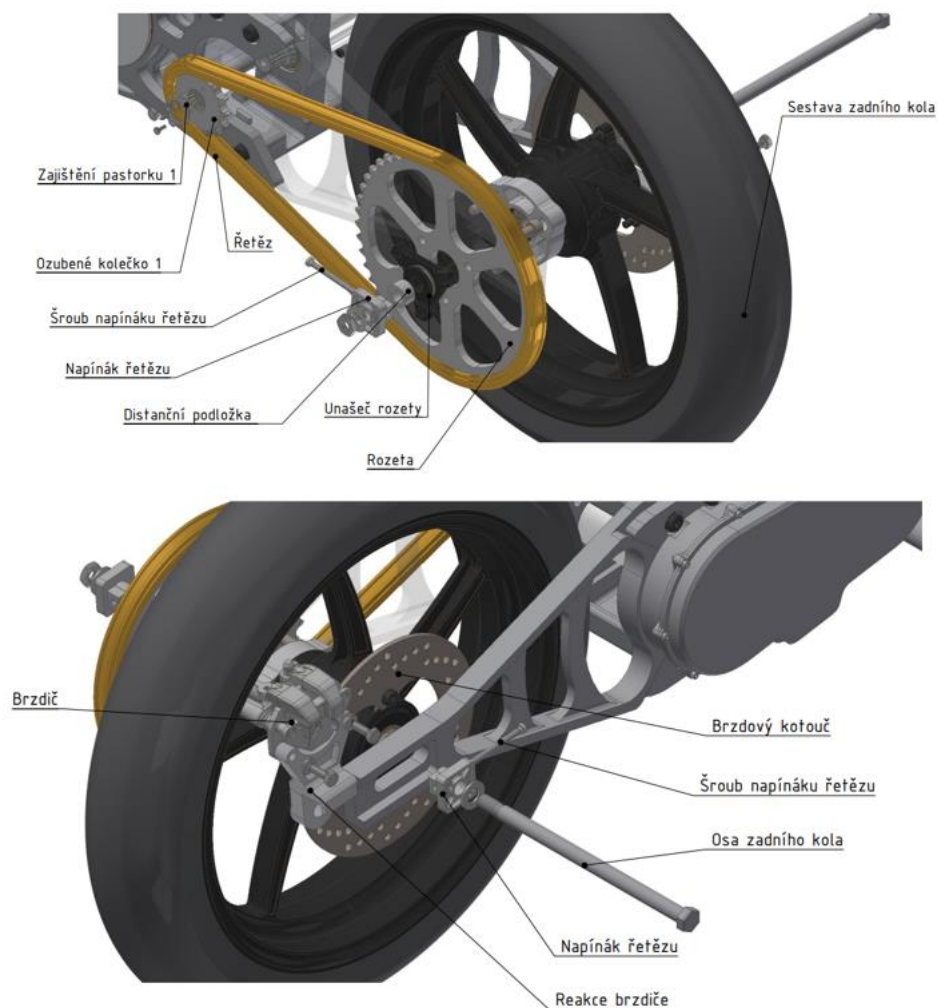
3) Montáž primárního převodu



Obrázek 4.11: Schéma montáže primárního převodu [archiv autora]

- a) Montáž krytu primárního převodu pomocí šroubů M6 na pravé oko kyvné vidlice,
- b) montáž primárního převodu na osu pohonné jednotky a předlohový hřídel,
- c) zajištění primárního převodu a těsného pera pomocí pojistných podložek a šroubů M4 a palcového šroubu 7/16,
- d) montáž napínáku primárního převodu zajištěného šroubem M8,
- e) montáž víka primárního převodu pomocí šroubů M4.

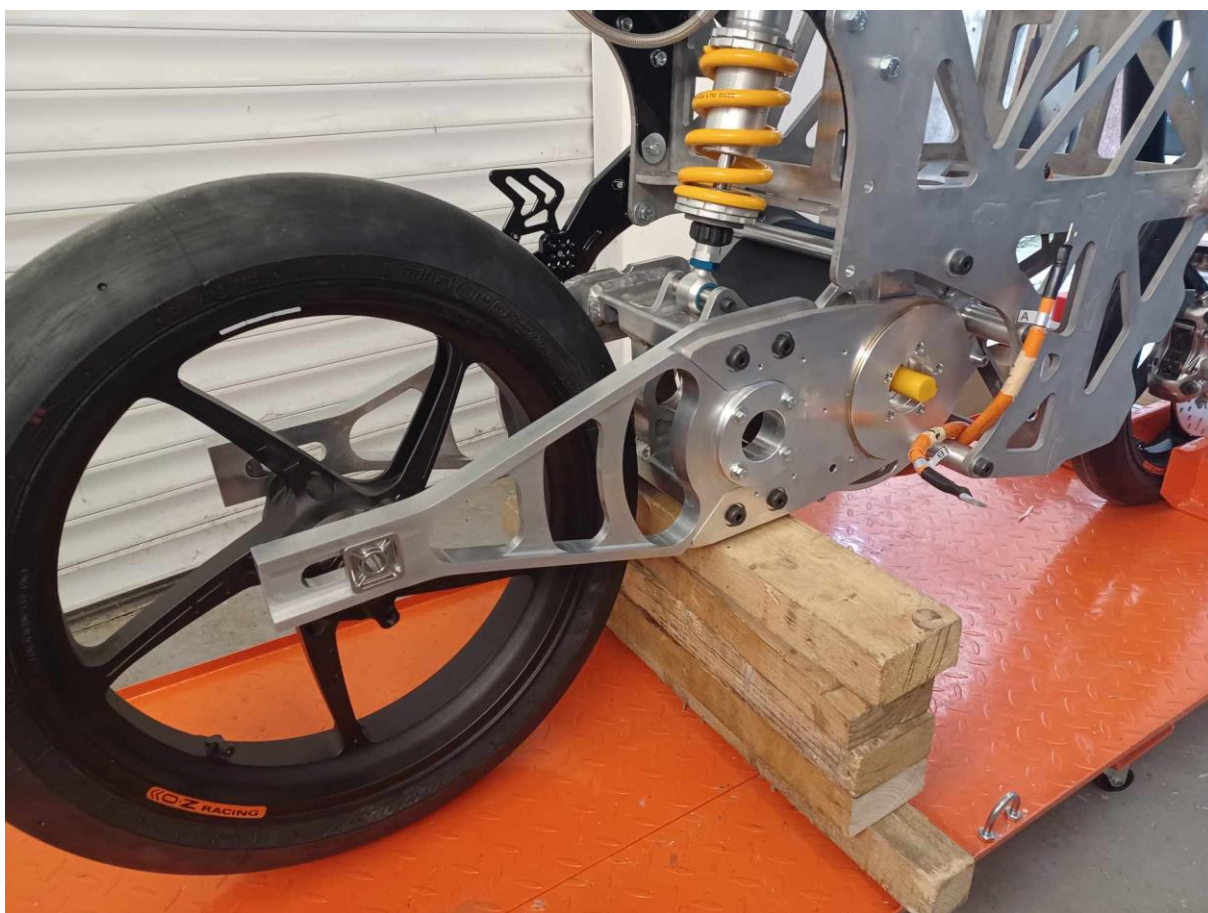
4) Montáž zadního kola a sekundárního převodu



Obrázek 4.12: Schéma montáže zadního kola a sekundárního převodu [archiv autora]

- a) Montáž zadního brzdového kotouče na sestavu zadního kola pomocí lícovaných šroubů M8,
- b) montáž rozety na sestavu zadního kola pomocí šroubů M10 spojených s unašečem rozety,

- c) montáž sestavy brzdíče a reakce pomocí šroubů M8,
- d) montáž sestavy napínáku řetězu a šroubu napínáku řetězu
- e) instalace sestavy napínáků řetězu do kyvné vidlice,
- f) instalace sestavy reakce brzdíče do kyvné vidlice,
- g) usazení sestavy zadního kola na pozici do kyvné vidlice,
- h) instalace distanční podložky na pozici
- i) vsunutí osy zadního kola skrze sestavu zadního kola a kyvné vidlice a zajištění pomocí matice M14,
- j) montáž pastorku a jeho zajištění pomocí šroubů M4,
- k) instalace řetězu.



Obrázek 4.13: Kyvná vidlice připevněná k PJ a rámu motocyklu EVO 3.0 [archiv autora]

5. Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení kyvné vidlice obsahuje finanční vyčíslení jednotlivých komponent, výrobních sestav a zhodnocení celkových nákladů.

5.1 Náklady

Náklady jsou rozděleny na jednotlivé výrobní úkony jako je výroba jednotlivých komponent, svařování, tepelné zpracování, obrábění svařence.

5.1.1 Výroba jednotlivých komponent

Výroba jednotlivých komponent kyvné vidlice probíhá u jednoho výrobce z důvodu jednodušší logistiky a dodržení výrobních přesností, které si v průběhu procesu může výrobce sám korigovat, aby byla dodržena výstupní kvalita komponentů. Komponenty jsou vyráběné na 3osém CNC frézovacím centru s kombinací drátového elektroerozivního obrábění.

Tabulka 5.1: Náklady na polotovary

Polotovar	číslo výkresu	Materiál	Cena bez DPH [CZK]
520x230x30	421	EN AW 6082	1 701
520x230x25	422	EN AW 6082	1 424
100x220x80	423	EN AW 6082	940
100x220x50	424	EN AW 6082	588
90x195x35	425	EN AW 6082	337
390x250x15	426	EN AW 7075	950
390x250x15	427	EN AW 7075	950
Součet			6 890

Tabulka 5.2: Výrobní náklady n a jednotlivé komponenty

Komponenta	číslo výkresu	Cena bez DPH [CZK]
Bočnice kyvné vidlice - L	421	5 330
Bočnice kyvné vidlice - P	422	6 350
Spojnice kyvné vidlice - H	423	1 555
Spojnice kyvné vidlice - D	424	990
Domek ložiska	425	2 500
Oko kyvné vidlice - L	426	4 125
Oko kyvné vidlice - P	427	3 480
Součet		26 340

5.1.2 Svařování a tepelné zpracování

Svařování kyvné vidlice probíhalo v halových laboratořích ústavu strojírenské technologie na ČVUT. Uvedená cena v tabulce č. 27 je odhadovaná výrobní cena (vyčíslena svařovacím technologem), která by byla účtována ve svařovně v případě zadání do výroby. Cena obsahuje potřebné přípravky a přípravu svařovacího procesu.

Tabulka 5.3: Náklady na výrobu svařence kyvné vidlice

Sestava	číslo výkresu	Cena bez DPH [CZK]
Svařenec kyvné vidlice	420S	8 000

5.1.3 Tepelné zpracování

Tepelné zpracování kyvné vidlice proběhlo v halových laboratořích ústavu strojírenské technologie na ČVUT. Cena v tabulce č. 5.3 je výrobní cena poskytnuta firmou Bodycote. [35]

Tabulka 5.4: Výrobní náklady na tepelné zpracování svařence

Sestava	číslo výkresu	Cena bez DPH [CZK]
Svařenec kyvné vidlice	420S	12 200

5.1.4 Obrábění svařence kyvné vidlice

Svařenec kyvné vidlice byl obráběn na portálovém CNC frézovacím stroji v rámci kooperace s výrobcem jednotlivých komponent.

Tabulka 5.5: Náklady na výrobu první fáze obrábění kyvné vidlice

Sestava	číslo výkresu	Cena bez DPH [CZK]
Svařenec kyvné vidlice	420V	4 500

Tabulka 5.6: Výrobní náklady druhé fáze obrábění kyvné vidlice

Sestava	číslo výkresu	Cena bez DPH [CZK]
Kyvná vidlice	420	9 500

5.1.5 Celkové náklady

Tabulka 5.7: Celkové náklady na výrobu kyvné vidlice

Název operace	Cena bez DPH [CZK]
Polotovary	6 890
Výroba komponent	26 340
Svařování	8 000
Tepelné zpracování	12 200
První fáze obrábění	4 500
Druhá fáze obrábění	9 500
Variabilní náklady	2 000
Součet	69 430

Jedná se o celkové náklady na výrobu jednoho prototypu, tyto náklady v sobě obsahují tvorbu programů, simulací, přípravků a metodiku výroby. V tabulce jsou uvedeny i variabilní náklady na výrobu, které zahrnují především náklady na logistiku mezi jednotlivými výrobními procesy.

V případě zavedení sériové nebo malosériové výroby by se mohly tyto fixní náklady na jeden výrobní kus procentuálně snížit, z důvodů již hotových výrobních programů, vyzkoušené metodiky výroby a odběru většího množství hutních polotovarů pro výrobu.

S finální výrobní cenou prototypu nelze úplně jednoznačně určit prodejní cenu v případě zavedení sériové či malosériové výroby. Prototyp kyvné vidlice byl od počátku

navrhován jako speciál pro použití na závodním elektrickém motocyklu. Tomuto využití také odpovídá vysoká výrobní cena v porovnání s prodejem standardních kyvných vidlic u produkčních motocyklů, které se pohybují okolo 25 000 Kč. V případě zavedení výroby by bylo potřeba přepracovat celou konstrukci kyvné vidlice, tak aby se snížily výrobní operace a tím i výsledná cena prodejního kusu.

6. Závěr

Tato diplomová práce byla zaměřena na komplexní návrh kyvné vidlice závodního elektrického motocyklu CTU LIONS EVO 3.0 s primárním zaměřením na svařovanou konstrukci kyvné vidlice.

Teoretická část této práce byla věnována rozboru problematiky výroby a jednotlivým typům používaných kyvných vidlic u současných produkčních motocyklů. V následující části byl podrobně rozebrán návrh vlastního konstrukčního řešení kyvné vidlice. Tato kapitola obsahovala popis zvolených koncepčních variant a kritéria výběru vhodné varianty. Dále zde byly vyjmenovány a popsány potřebné parametry pro vytvoření kyvné vidlice jako je např. délka a potřebný úhel naklonění v rámci celého motocyklu. Po výčtu těchto parametrů byla navržena konstrukce, která splňuje určené parametry.

Další částí této práce bylo ověření výrobního postupu, kdy hlavním předmětem této části bylo ověření mechanických vlastností po svařovacím procesu. Cílem bylo dosažení co možná nejvyšší pevnosti v tahu a meze kluzu. Prvním krokem zde bylo vybrat vhodný materiál a s tímto materiálem provést pevnostní analýzu na navrhnuté konstrukci kyvné vidlice. Dále byla vybrána vhodná svařovací technologie, pro kterou byly následně určeny vhodné parametry svařovacího procesu při výrobě kyvné vidlice. Po stanovení svařovacích parametrů byl proveden výběr vhodných tepelných zpracování, které budou aplikovány na zkušební vzorky pro ověření mechanických vlastností po svařovacím procesu. Zjištění mechanických vlastností bylo realizováno pomocí destruktivní zkoušky tvrdosti dle Vickerse s následným přepočtem hodnot na mez pevnosti a kluzu. Vzorky použité pro zkoušku tvrdosti byly navrženy jako ekvivalent jedné z příček kyvné vidlice s použitým „Y“ svarem. Po provedení zkoušky tvrdosti s přepočtem hodnot, byly pro jednotlivé tepelné zpracování vyhotoveny metalografické výbrusy pro optickou analýzu přechodu svarového kovu a základního materiálu, která nám poslouží jako další ověření při výběru nejvhodnějšího tepelného zpracování pro kyvnou vidlici.

Přepočtené naměřené hodnoty tvrdosti na mez pevnosti a kluzu, byly porovnány s pevností analýzou konstrukce kyvné vidlice. Pomocí tohoto porovnání a s přihlédnutím k vyhotovené mikrostruktúře bylo jako nejvhodnější tepelné zpracování vybráno precipitační vytvrzení se zachlazením do vody po rozpouštěcím žíhání. Toto tepelné zpracování splňovalo všechny potřebné mechanické hodnoty pro bezpečnost celé konstrukce.

Výrobní část této práce popisuje způsob výroby finálního konstrukčního návrhu kyvné vidlice. Výrobní část je započata výrobou jednotlivých komponent a následného svařování komponent svařence kyvné vidlice. Na svařenci je provedeno vybrané tepelné zpracování, kdy po procesu tepelného zpracování jsou dále provedeny nedestruktivní zkoušky svarů pomocí vizuální a kapilární zkoušky. Svařenec kyvné vidlice je po podrobení nedestruktivních zkoušek dále několika fázově obráběn pro dodržení souosých průchozích otvorů. Poslední část této kapitoly popisuje jednotlivé montážní kroky při skládání kyvné vidlice a celého zadního uložení elektrického motocyklu EVO 3.0.

Poslední částí této práce je ekonomické zhodnocení výroby kyvné vidlice. Kapitola zahrnuje finanční vyčíslení výroby a úvahu nad možností sériové výroby daného konstrukčního návrhu.

Díky splnění všech zadaných cílů přispěla tato práce velkou měrou k dokončení prototypu elektrického motocyklu EVO 3.0 a přinesla další potřebné zkušenosti pro vývoj dalších motocyklů týme CTU lions.

Bibliografie

- [1] What Exactly Is a Motorcycle Swingarm?. In: *THE DRIVE* [online]. 701 Brickell Ave, Suite 1550 Miami, FL 33131 (305) 918-1013: THE DRIVE, 2021 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.thedrive.com/motorcycles/41059/what-is-a-swingarm>
- [2] VLK, František. *Teorie a konstrukce motocyklů 2*. 1. Brno: Moravská zemská knihovna Brno, 2004. ISBN 8023916017.
- [3] ROLLINGER, Mirek. Technika motocyklu - 8.část - podvozek. In: *Motorkáři* [online]. Praha: Motorkáři, 2006 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.motorkari.cz/clanky/jak-na-to/technika-motocyklu-8.-cast-podvozek-3456.html>
- [4] FOLPRECHT, Radek. Jawa 250. In: *IDnes* [online]. Praha: iDnes, 2018 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/motorky/jawa-250-perak.A181015_000939_motorky_erp
- [5] KŘEŠŤAN, Petr. *NÁVRH KYVNÉ VIDLICE ZADNÍHO KOLA MOTOCYKLU*. Plzeň, 2016. Bakalářská práce. Zapadočeská univerzita v plzni.
- [6] ADAMS, Ryan. Yamaha R3. In: *Motorcycle.com* [online]. Toronto: Motorcycle.com, 2018 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.motorcycle.com/mini-features/2019-yamaha-r3-preview.html>
- [7] ANGELETTI, Claudio. Pákový mechanismus Honda - Pro Link. In: *SafetyRiders.it* [online]. Řím: SafetyRiders, 2023 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.saferiders.it/full-floater-suspension-systems/>
- [8] BMW R1250GS. In: *Puig Hi-Tech Parts* [online]. Passeig de la Ribera: Puig Hi-Tech Parts, 2018 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://puig.tv/en/tuning-motos/axle-sliders/swing-arm-protector-gs?bike=23471>
- [9] *Hliník a slitiny hliníku. Chemické složení a druhy tvářených výrobků. Část 1: Číselné označování*. I. Panenské Břežany: Český normalizační institut, 2005.
- [10] Hliníkové slitiny. In: *Alucom* [online]. Praha: Alucom, 2023 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://alucom.cz/hlinikove-slitiny/>

- [11] Tváření slitiny. In: *Metal trade comax* [online]. Velvary: Metak trade comax, 2023 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.mtcomax.cz/hutni-vyroba/tvarene-slitiny/>
- [12] ČSN EN 515. *Hliník a slitiny hliníku - Výrobky tvářené - Označování stavů*. I. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [13] DASHÖFER, Verlag. Metalurgie slitin hliníku. In: *Strojnické tabulky online* [online]. Praha: Verlag Dashöfer, 2014 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.strojnicketabulkyonline.cz/odlevani/metalurgie-slitin-hliniku/>
- [14] Hliníkové slitiny. In: *Primapol* [online]. Kladno: Primapol, 2023 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.primapol.cz/produkty/hlinik/#>
- [15] Hliník a jeho slitiny. In: *Proal* [online]. Ostrava: Proal, 2023 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://proal.cz/>
- [16] Datasheets. In: *Alumeco* [online]. Odense: Alumeco, 2023 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.alumeco.com/knowledge-technique/aluminium-data/datasheets/aluminium/datasheets-aluminium/?s=0>
- [17] Material data sheet EN AW 2017. In: *Seeberger* [online]. Schalksmühle: Seeberger, 2022 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: https://www.seeberger.net/_assets/pdf/werkstoffe/aluminium/en/3.1325
- [18] EN AW-4032. In: *Leichtmetall* [online]. Hannover: LEICHTMETALL Aluminium Giesserei Hannover GmbH, 2023 [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://www.leichtmetall.eu/aluminum-alloys/alloy-en-aw-4032/>
- [19] Alcom Alval EN AW 6082. In: *Alcom Alval* [online]. Praha: Alcom Alval, 2023 [cit. 2023-07-02]. Dostupné z: <https://hlinik.cz/produkty/frezovane-hlinikove-desky/alqal-6082/>
- [20] 5356 AlMg5Cr. In: *Mig Weld* [online]. LONGVIC: LONGVIC, 2017 [cit. 2023-07-02]. Dostupné z: <https://www.mig-weld.eu/ml-5356-almg5cr>
- [21] Hodnoty fyzikálních veličin vybraných kovů. In: *Tzbinfo* [online]. Praha: tzbinfo, 2023 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/37-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-kovu>
- [22] Tepelná roztažnost a měrná tepelná kapacita. In: *Fyzikální kabinet FyzKAB* [online]. Klatovy: FyzKAP, 2022 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <http://kabinet.fyzika.net/studium/tabulky/tepelna-kapacita-roztaznost.php>

- [23] What type of welding is used for aluminum. In: *Metal markets* [online]. Halifax: Metal markets, 2019 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.metalsupermarkets.com/what-type-of-welding-is-used-for-aluminum/>
- [24] HÁJEK, Jaroslav. Hliník a možnosti jeho svařování. In: *Konstrukce* [online]. Ostrava: KONSTRUKCE media, 2014 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/hlinik-a-moznosti-jeho-svarovani/>
- [25] Manual metal arc welding. In: *TWI* [online]. Cambridge: TWI Ltd, 2023 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/the-manual-metal-arc-process-mma-welding-002>
- [26] Obloukové Svařování obalenou elektrodou - MMA. In: *Schinkmann* [online]. Mladá Boleslav: Schinkmann, s.r.o, 2023 [cit. 2023-07-29]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/mma-rucne-obalenou-elektrodou>
- [27] Hliníkové materiály a možnosti jejich svařování. *Hliníkové materiály a možnosti jejich svařování* [online]. 2006, **2006**(3), 25 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2006082401>
- [28] Guide to aluminium welding. In: *Kanyana* [online]. Greenfields: Kanyana Engineering Pty Ltd, 2022 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://kanyanaengineering.com.au/aluminium-welding-guide/>
- [29] Migatronic Pi 320. In: *Migatronic* [online]. Teplice: Migatronic A/S, 2020 [cit. 2023-07-04]. Dostupné z: <https://www.migatronic.com/cz/podpora/vyrobek/pi-320-tig-acdc%20-%201497>
- [30] MICHNA, Štefan, Ivan LUKÁČ, Vladivoj OČENÁŠEK, Rudolf KOŘENÝ, Jaromír DRÁPALA, Heinz SCHNEIDER a Andrea MIŠKUFOVÁ. *Encyklopedie hliníku*. I. Děčín: Adin, s.r.o, 2005. ISBN 80-89041-88-4.
- [31] *Tepelné zpracování* [online]. Staré Hradiště: Alucad Bohemia s.r.o, 2023 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <http://www.alunet.cz/tepelne-zpracovani>
- [32] RIEDL, Ladislav. *Vliv umělého a přirozeného stárnutí na mechanické vlastnosti svarů u vytvrditelných slitin hliníku AW 6082*. Liberec, 2015. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.

- [33] Dentsply vulcan 3-550 PD. In: *Bimedis* [online]. Kissimmee: Bimedis, 2023 [cit. 2023-07-04]. Dostupné z: <https://bimedis.com/dentsply-vulcan-3-550-pd-m26355>
- [34] ČSN EN ISO 6507-1. *Kovové materiály - Zkouška tvrdosti podle Vickerse - Část 1: Zkušební metoda: Zkouška tvrdosti dle Vickerse*. I. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018, 32 s.
- [35] Rozpouštěcí žíhání a stárnutí hliníkových slitin. In: *Bodycote* [online]. Praha: Bodycote, 2023 [cit. 2023-07-29]. Dostupné z: <https://www.bodycote.com/cs/sluzby/tepelnepzpracovani/rozpousteci-zihani-starnuti/rozpousteci-zihani-a-starnuti-hlinikovych-slitin/>
- [36] Materiálový list 1. In: *Matweb* [online]. Blacksburg: Matweb, 2023 [cit. 2023-07-05]. Dostupné z: <https://www.matweb.com/search/QuickText.aspx?SearchText=6082>
- [37] Materiálový list 2. In: *AZO materials* [online]. Manchester: AZOnetwork UK Ltd., 2023 [cit. 2023-07-05]. Dostupné z: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2813>
- [38] Materiálový list 3. In: *MakeItFrom* [online]. North York: MakeItFrom, 2020 [cit. 2023-07-05]. Dostupné z: <https://www.makeitfrom.com/material-properties/6082-ALSi1MgMn-3.2315-H30-A96082-Aluminum>
- [39] Převodní tabulka HBW na HV. In: *Spectro* [online]. Delhi: Spectro Group Of Companies, 2017 [cit. 2023-07-05]. Dostupné z: <https://spectro.in/Hardness-Conversion-Chart-for-Aluminium.html>
- [40] Popouštěcí pec PP 540/65. In: *LAC* [online]. Židlochovice: LAC, s.r.o, 2023 [cit. 2023-07-05]. Dostupné z: <https://www.lac.cz/cs/pece-a-susarny/popousteci-pec-pp>
- [41] Programový PID regulátor. In: *HTH8* [online]. Polička: HTH 8 s.r.o, 2014 [cit. 2023-07-05]. Dostupné z: <https://www.hth8.cz/cs/41-pid-regulatory/1-htindustry.html>
- [42] Univerzální měřicí ústředna. In: *AHLBORN* [online]. Praha: AHLBORN, měřicí a regulační technika, spol. s.r.o, 2023 [cit. 2023-07-05]. Dostupné z: <https://www.ahlborn.cz/univerzalni-merici-ustredna-datalogger-ahlborn-almemo-5690-2m-vicekanalova.html>
- [43] *Svařování - Svarové spoje hliníku a jeho slitin zhotovené obloukovým svařováním - Určování stupňů kvality*. I. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.

- [44] *Svařování a příbuzné procesy - Klasifikace geometrických vad kovových materiálů - Část 1: Tavné svařování*. I. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [45] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. *Nedestruktivní zkoušení svarů - Vizuální kontrola tavných svarů*. I. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [46] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. *Zkoušení kapilární metodou - část 1: Obecné zásady*. I. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.
- [47] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. *Zkoušení kapilární metodou - stupně přípustnosti*. I. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.

Seznam tabulek

Tabulka 3.1: Skupiny hliníkových slitin [10] [11]	32
Tabulka 3.2: Značení stavu tepelného zpracování tvářených slitin hliníku [10] [12]	32
Tabulka 3.3: Mechanické vlastnosti hliníkové slitiny EN AW 1050 [16].....	33
Tabulka 3.4: Mechanické vlastnosti hliníkové slitiny EN AW 2017 [17].....	33
Tabulka 3.5: Mechanické vlastnosti hliníkové slitiny EN AW 3103 [17].....	34
Tabulka 3.6: Mechanické vlastnosti hliníkové slitiny EN AW 4032 [18].....	34
Tabulka 3.7: Mechanické vlastnosti hliníkové slitiny EN AW 5083 [16].....	34
Tabulka 3.8: Mechanické vlastnosti hliníkové slitiny EN AW 6082 [16].....	35
Tabulka 3.9: Mechanické vlastnosti hliníkové slitiny EN AW 7075 [16].....	35
Tabulka 3.10: Mechanické vlastnosti hliníkové slitiny EN AW 6082 [19].....	36
Tabulka 3.11: Chemické složení [hm. %] hliníkové slitiny EN AW 6082 [19]	36
Tabulka 3.12: Chemické složení [hm. %] hliníkové slitiny 5356 [20].....	36
Tabulka 3.13: Zvolené parametry svařovacího procesu.....	43
Tabulka 3.14: Parametry precipitačního vytvrzení se zchlazením do vody po rozpouštěcím žíhání [32]	46
Tabulka 3.15: Parametry precipitačního vytvrzení se zchlazením na vzduchu po rozpouštěcím žíhání [32]	46

Tabulka 3.16: Parametry žíhaní ke snížení vnitřcích pnutí	47
Tabulka 3.17: Začátky rekrytalizačních procesů u hliníků různé čistoty [30]	47
Tabulka 3.18: Hodnoty pro Materiálový list 1 [36]	53
Tabulka 3.19: Hodnoty pro Materiálový list 2 [37]	54
Tabulka 3.20: Hodnoty pro Materiálový list 3 [38]	54
Tabulka 3.21: Hodnoty převodu tvrdosti HBW na HV [39]	55
Tabulka 3.22: Hodnoty přepočtu tvrdosti na mez pevnosti a kluzu.....	55
Tabulka 4.1: Výrobní komponenty	60
Tabulka 4.2: Výrobní sestava svařence	61
Tabulka 4.3: Výrobní komponenta první fáze pro svařenec kyvné vidlice.....	66
Tabulka 4.4: Výrobní sestava pro druhou fázi obrábění kyvné vidlice.....	67
Tabulka 5.1: Náklady na polotovary	72
Tabulka 5.2: Výrobní náklady na jednotlivé komponenty.....	72
Tabulka 5.3: Náklady na výrobu svařence kyvné vidlice	72
Tabulka 5.4: Výrobní náklady na tepelné zpracování svařence	73
Tabulka 5.5: Náklady na výrobu první fáze obrábění kyvné vidlice	73
Tabulka 5.6: Výrobní náklady druhé fáze obrábění kyvné vidlice	73
Tabulka 5.7: Celkové náklady na výrobu kyvné vidlice	73

Seznam obrázků

Obrázek 1.1 Uložení zadního kola motocyklu EVO 2.0 [archiv autora].....	13
Obrázek 1.2: Jawa 250 „pérák“ [4]	14
Obrázek 1.3: Konvenční dvouramenná zadní kyvná vidlice [5].....	15
Obrázek 1.4: Zadní kyvná vidlice „Cantilever“ [5]	16
Obrázek 1.5: Yamaha R3 [6]	16
Obrázek 1.6: Pákový mechanismus Honda – Pro Link [7]	17
Obrázek 1.7: Jednoramenná kyvná vidlice – BMW R1250GS [8]	18
Obrázek 2.1: Pohonné jednotky v jednotlivých ročnících soutěže: zelená – ročník 2017/18, červená – ročník 2019/2021, modrá – ročník 2022/23 (vlevo); Pohonná jednotka pro ročník 2022/23 (vpravo) [archiv autora]	20

Obrázek 2.2: Evoluce elektrických motocyklů týmu CTU Lions – EVO 1.0 (vlevo); EVO 2.0 (uprostřed); EVO 3.0 (vpravo) [archiv autora]	20
Obrázek 2.3: Varianta 1: černá – rám; červená – BB; šedá – pohonná jednotka; modrá – controler BB; zelená – podsedlový rám; oranžová – sekundární převod; žlutá – pozice jezdce (řídítka, sedlo, stupačky) [archiv autora].....	21
Obrázek 2.4: Varianta 2: černá – rám; červená – BB; šedá – pohonná jednotka; modrá – controler BB; zelená – podsedlový rám; oranžová – sekundární převod; žlutá – pozice jezdce (řídítka, sedlo, stupačky) [archiv autora].....	22
Obrázek 2.5: Varianta 3: černá – rám; červená – BB; šedá – pohonná jednotka; modrá – controler BB; zelená – podsedlový rám; oranžová – sekundární převod; žlutá – pozice jezdce (řídítka, sedlo, stupačky) [archiv autora].....	23
Obrázek 2.6: Varianta 4: černá – rám; červená – BB; šedá – pohonná jednotka; modrá – controler BB; zelená – podsedlový rám; oranžová – sekundární převod; žlutá – pozice jezdce (řídítka, sedlo, stupačky) [archiv autora].....	23
Obrázek 2.7: Zvolená geometrie motocyklu [archiv autora]	26
Obrázek 2.8: Finální konstrukční varianta kyvné vidlice [archiv autora]	27
Obrázek 2.9: Uložení kyvné vidlice 1 [archiv autora]	28
Obrázek 2.10: Uložení kyvné vidlice 2 [archiv autora]	28
Obrázek 2.11: Rozklad svařence kyvné vidlice [archiv autora]	29
Obrázek 2.12: Řez svařencem kyvné vidlice [archiv autora].....	29
Obrázek 2.13: Schéma převodového ústrojí [archiv autora]	30
Obrázek 3.1: Schéma zatěžování motocyklu [archiv autora]	37
Obrázek 3.2: Maximální napětí na kyvné vidlici [archiv autora]	37
Obrázek 3.3: Výsledky pevnostní analýzy [archiv autora].....	38
Obrázek 3.4: Svařování obalenou elektrodou (MMA) [26]	40
Obrázek 3.5: Schéma svařování metodou TIG - 1. přídavný drát; 2. držák s elektrodou; 3. hubice hořáku; 4. ochranný plyn; 5. zdroj střídavého proudu [27]	41
Obrázek 3.6: Schéma svařování metodou MIG - 1. ochranný plyn; 2. napájecí průvlek; 3. hubice hořáku; 4. podávací kladky; 5. cívka s drátem; 6. svářecí drát; 7. zdroj stejnosměrného proudu [27].....	41
Obrázek 3.7: Schéma zkratového procesu [27].....	42
Obrázek 3.8: Schéma bez zkratového přenosu [27].....	42

Obrázek 3.9: Svařovací invertor Migatronic Pi 320 [29].....	43
Obrázek 3.10: Rozdělení hliníkových slitin [27].....	44
Obrázek 3.11: Schéma žíhání ke snížení vnitřního pnutí [30]	45
Obrázek 3.12: Schéma precipitačního vytvrzování [31]	46
Obrázek 3.13: Rozměry frézovaného vzorku [archiv autora].....	48
Obrázek 3.14: Pojistný svar horní příčky kyvné vidlice [archiv autora].....	49
Obrázek 3.15: Schéma nařezání vzorků pro TZ z frézovaného vzorku [archiv autora]	49
Obrázek 3.16: Nařezané vzorky pro TZ a měření tvrdosti [archiv autora]	50
Obrázek 3.17: Rozložení vpichů do zkušební vzorku [archiv autora].....	50
Obrázek 3.18: Makrostruktura vzorku [archiv autora].....	55
Obrázek 3.19: Mikrostruktura přechodu svarového kovu a základního materiálu. Zvětšení 25x – a) PV-voda; b) PV-vzduch; c) ŽVP; d) NZ. [archiv autora]	56
Obrázek 3.20: Mikrostruktura přechodu svarového kovu a základního materiálu. Zvětšení 100x – a) PV-voda; b) PV-vzduch; c) ŽVP; d) NZ. [archiv autora]	57
Obrázek 3.21: Mikrostruktura základního materiálu u jednotlivých tepelných zpracování a u tepelně nezpracovaného základního materiálu. Zvětšení 500x – a) PV-voda; b) PV-vzduch; c) ŽVP; d) NZ.; e) tepelně nezpracovaný základní materiál (polotovar). [archiv autora].....	57
Obrázek 3.22: Porovnání mikrostruktury a) tepelně nezpracovaného základního materiálu (polotovar) a b) základního PV-voda. Zvětšení 1000x. [archiv autora]	58
Obrázek 4.1: Výroba spojnice kyvné vidlice – D (vlevo) a domku ložiska (vpravo) [archiv autora]	60
Obrázek 4.2: Svařenec kyvné vidlice po procesu svařování [archiv autora]	61
Obrázek 4.3: Svařenec kyvné vidlice po procesu svařování [archiv autora]	61
Obrázek 4.4: Schéma rozložení termočládku na svařenci kyvné vidlice během procesu tepelného zpracování [archiv autora]	62
Obrázek 4.5: Rozměry svaru [archiv autora]	64
Obrázek 4.6: Kapilární zkouška - zobrazení indikace ve svaru (vlevo); svar před aplikací kapilární zkoušky (vpravo) [archiv autora]	65
Obrázek 4.7: První fáze obrábění svařence kyvné vidlice 420V [archiv autora]	66
Obrázek 4.8: Obrábění kyvné vidlice 420 [archiv autora]	67
Obrázek 4.9: Schéma montáže kyvné vidlice na konzolu pohonné jednotky [archiv autora] ..	68
Obrázek 4.10: Schéma montáže předlohové hřídele [archiv autora]	69

Obrázek 4.11: Schéma montáže primárního převodu [archiv autora]	69
Obrázek 4.12: Schéma montáže zadního kola a sekundárního převodu [archiv autora]	70
Obrázek 4.13: Kyvná vidlice připevněná k PJ a rámu motocyklu EVO 3.0 [archiv autora].....	71

Seznam grafů

Graf 3.1: Závislost tvrdosti na vzdálenosti od osy svaru	51
Graf 3.2: Aproximované hodnoty materiálového listu 1.....	53
Graf 3.3: Aproximované hodnoty materiálového listu 2.....	54
Graf 3.4: Aproximované hodnoty materiálového listu 3.....	54
Graf 4.1: Záznam průběhu teplot během procesu žíhání.....	63
Graf 4.2: Záznam průběhu teplot od startu po konec procesu žíhání	63
Graf 4.3: Záznam průběhu teplot během umělého stárnutí.....	63

Přílohy

Příloha 1 – Výkresová dokumentace