

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B0715A270013 – Strojní inženýrství
Studijní specializace: Konstruování strojů a technických zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Přenos hnacího momentu kloubovým hřídelem u silničních
dopravních prostředků**

Autor: Adam BABKA
Vedoucí práce: doc. Ing. Ladislav NĚMEC, CSc.

Akademický rok 2022/2023

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Adam BABKA**
Osobní číslo: **S20B0081P**
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**
Specializace: **Konstruování strojů a technických zařízení**
Téma práce: **Přenos hnacího momentu kloubovým hřídelem u silničních dopravních prostředků**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Zpracujte problematiku přenosu výkonu od motoru na hnací kola silničních dopravních prostředků pomocí kloubového hřídele – z hlediska vlastností, funkcí, koncepce a hrubých konstrukčních řešení. Proveďte konstrukční návrh vybrané komponenty.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání

Osnova:

1. Úvod
2. Teoretické poznatky a rešerše k tématu
3. Základní schéma přenosu výkonu kloubovým hřídelem u automobilu a motocyklu
4. Konstrukční návrh vybrané součásti
5. Závěr

Konzultant: Ladislav Němec, ZČU-KKS

Rozsah bakalářské práce: **30-40 stran**
Rozsah grafických prací: **podle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **elektronická**

Seznam doporučené literatury:

[1] HOSNEDL, S. a KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra: Obecné strojní části 1*. Praha: Computer Press, 1999. ISBN 80-7226-055-3;
Podkladové materiály, výkresy, prospekty, katalogy apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Ladislav Němec, CSc.**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **30. listopadu 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2023**

L.S.

Doc. Ing. Vladimír Duchek, Ph.D.
děkan

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

V Plzni dne 30. listopadu 2022

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Při této příležitosti bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Ladislavu Němcovi, CSc. za cenné rady, připomínky a vstřícnost při zpracování. Dále bych rád poděkoval rodině a dalším za oporu a pomoc během mé práce.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Babka	Jméno Adam	
STUDIJNÍ PROGRAM	B0715A270013 – Strojní inženýrství		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) doc. Ing. Němec, CSc.	Jméno Ladislav	
PRACOVÍŠTĚ	ZČU – FST – KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Přenos hnacího momentu kloubovým hřídelem u silničních dopravních prostředků		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2023
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	43	TEXTOVÁ ČÁST	35	GRAFICKÁ ČÁST	8
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce obsahuje uvedení do problematiky přenosu točivého momentu pomocí kloubových hřídelů a řešerši z konstrukčních řešení kloubů. Dále se zabývá kinematickými zákonitostmi přenosu točivého momentu pomocí křížového kloubu a graficky znázorňuje přenos jedním křížovým kloubem. Zabývá se otázkou poruch kloubových hřídelů a možností jejich vzniku. Práce obsahuje konstrukční návrh kloubového hřídele se dvěma křížovými klouby a posuvným členem. Pro tento návrh je vypracována výkresová dokumentace v příloze bakalářské práce.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	kloubový hřídel, klouby, schéma, ochrana, kinematika, poruchy, konstrukční návrh

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Babka	Name Adam		
STUDY PROGRAMME	B0715A270013 – Mechanical Engineering			
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) doc. Ing. Němec, CSc.	Name Ladislav		
INSTITUTION	ZČU – FST – KKS			
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable	
TITLE OF THE WORK	Drive torque transmission by PTO shaft on road vehicles			

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KKS	SUBMITTED IN	2023
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	43	TEXT PART	35	GRAPHICAL PART	8
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The bachelor's thesis includes an introduction to the issue of power transmission using universal joints and a review of design solutions for joints. It further explores the kinematic principles of torque transmission using a cross joint and illustrates the transmission with a single cross joint. The thesis addresses the question of faults in universal joints and the possibilities of their occurrence. It includes a structural design for a shaft with two cross joints and a sliding member. The engineering drawings for this design are provided as an enclosure to the bachelor's thesis.
KEY WORDS	cardan shaft, universal joint, scheme, protection, kinematics, faults, design

Obsah

1	Úvod	3
2	Kloubové a spojovací hřídele	4
2.1	Kloubové hřídele	4
2.2	Spojovací hřídele	5
2.3	Příčné hřídele	5
2.4	Podélné hřídele	5
2.5	Obecné schéma přenosu točivého momentu.....	5
3	Rozdělení hřídelových kloubů	6
3.1	Křížový kloub	6
3.2	Rzeppa – Bierfieldův kuličkový kloub.....	7
3.3	Bendix – Weissův kuličkový kloub.....	8
3.4	Pružné klouby	9
3.5	Tříramenné klouby	10
4	Ochranné prvky kloubových hřídelů.....	11
4.1	Prachovky	11
4.2	Protiprachové těsnění posouvajícího členu	12
4.3	Maziva hřídelových kloubů	14
4.4	Povrchové úpravy	14
5	Kinematika kloubových hřídelů	16
5.1	Kinematika kloubů s konstantním převodem	16
5.2	Kinematika kloubů s nekonstantním převodem	17
5.2.1	Kinematické řešení Hookova křížového kloubu	18
5.2.2	Kinematické řešení Hookova kloubu v uspořádání do Z	22
5.2.3	Kinematické řešení Hookova kloubu v uspořádání do V.....	23
6	Poruchy kloubových hřídelů	24
6.1	Poruchy Hookova křížového kloubu	24
6.2	Poruchy homokinetického kuličkového kloubu	26
7	Konstrukční návrh kloubového hřídele	28
8	Závěr.....	32

Seznam obrázků

Obr. 1 Kloubový hřídel s křížovými klouby a posuvným členem [1].....	4
Obr. 2 Obecné schéma přenosu točivého momentu u silničních dopravních prostředků	6
Obr. 3 Kardanový kříž kloubu [2].....	7
Obr. 4 Rzeppa – Bierfieldův kuličkový kloub [3].....	8
Obr. 5 Bendix – Weissův kuličkový kloub [4].....	9
Obr. 6 Hardyho spojka [5].....	10
Obr. 7 Tříramenný kloub [3].....	11
Obr. 8 Prachovka kloubu a posuvného členu [1]	12
Obr. 9 Těsnění posuvného členu [6]	13
Obr. 10 Tvarové těsnění posuvného členu [7]	13
Obr. 11 Povrchové úpravy zinkováním, zinkováním do žluta a chromováním [10]	15
Obr. 12 Povrchová úprava lakováním kloubových hřídelů [1].....	16
Obr. 13 Hřídelový kloub s konstantním převodem [12]	17
Obr. 14 Kinematické schéma mechanismu Hookova kloubu v rovině \widehat{xy}	18
Obr. 15 Pohled na prostorový mechanismus Hookova kloubu v rovině \widehat{xz}	18
Obr. 16 Grafické znázornění nerovnoměrného otáčení výstupního hřídele Hookova kloubu.	21
Obr. 17 Kinematické schéma spojení dvou hřídelů vloženým hřídelem v uspořádání do Z ...	22
Obr. 18 Kinematické schéma spojení dvou hřídelů vloženým hřídelem v uspořádání do V ...	23
Obr. 19 Otěry a škrábance funkční plochy čepu kříže Hookova kloubu [14].....	25
Obr. 20 Odlupování funkční plochy čepu kříže Hookova kloubu [14].....	25
Obr. 21 Lom kříže Hookova kloubu [14].....	26
Obr. 22 Opatření na straně vnějšího kroužku homokinetického kloubu [16]	27
Obr. 23 Porušená prachovka kloubu s únikem maziva [15].....	27
Obr. 24 Opatření na straně vnitřního kroužku homokinetického kloubu [16]	28
Obr. 25 Vidlice kloubu s přírubou	29
Obr. 26 Sestava navrženého kloubového hřídele s posuvným členem	30
Obr. 27 Hřídelový kloub při maximální úhlové výchylce 20°	30

1 Úvod

Dopravní prostředky je možné sestavit díky jednotlivým částem, které přenášejí točivý moment od pohonné jednotky až na samotná hnací kola. Je snaha, aby tento přenos točivého momentu probíhal s co nejvyšší účinností a současně, aby ztráty v průběhu přenosu byly nejmenší možné.

Jelikož vzdálenost a poloha všech částí hnacího ústrojí od pohonné jednotky je různá, je důležité tyto vzdálené části navzájem vhodně propojit. Jednotlivé části hnacího ústrojí při provozu zařízení mění svoji vzájemnou polohu. Tato změna polohy je způsobena horizontálními, vertikálními a torzními pohyby soustavy a jednotlivých členů.

Výskytem těchto pohybů je následně způsobena nesouosost, malý úhel vychýlení nebo axiální posuv spojovaných částí. Často může docházet ke kombinaci těchto faktorů a je tak velmi důležité, aby byly zvoleny takové vhodné spojovací prvky, které i přes veškeré komplikace dokáží přenést točivý moment s nejvyšší možnou účinností na potřebnou vzdálenost.

Práce pojednává o přenosu hnacího momentu kloubovým hřídelem u silničních dopravních prostředků. Cílem je provést detailnější rozbor možných variant řešení tohoto přenosu, a to zejména v oblasti hřídelových kloubů, které jsou díky svým vlastnostem a konstrukčním řešením velice odlišné a jsou tak vhodné pro různé způsoby použití.

Kromě rozdělení a uvedení jednotlivých typů kloubů se práce zaměřuje také na různé způsoby ochrany těchto kloubů vůči nežádoucím vlivům z vnějšího prostředí. Tato ochrana musí být doprovázena vhodnými typy maziv, která zajišťují plynulý chod všech pohyblivých částí sestavy. Také je zapotřebí aplikovat různé druhy povrchových úprav, které jsou velmi důležitou součástí celého technického systému, jelikož chrání sestavu kloubového hřídele proti korozním účinkům působícím z vnějšího prostředí.

Dále se tato práce zabývá kinematikou kloubových hřídelů, kde je podrobně rozvedena kinematika Hookova křížového kloubu, který při samostatném zapojení má nekonstantní převod a tím tak vzniká nerovnoměrný průběh otáčení výstupního hřídele. Poté je vysvětleno, jak se dá tento průběh vyrušit pomocí zapojení vloženého hřídele a dalšího kloubu do sestavy a získat tak na výstupním hřídeli konstantní průběh, který je shodný s charakteristikou otáčení vstupního hřídele.

Jelikož se každá konstrukce může setkat i se zatěžováním nepředepsaným způsobem nebo dokonce s různými druhy nárazů, je v této práci zahrnuta také kapitola, která zkoumá různé druhy poruch křížových a homokinetických kloubů a možných příčin těchto poruch. Pro vyvarování se podobným situacím je vhodné mít i určitou dávku znalostí ohledně možných poruch, které v daném technickém systému mohou vznikat a mít tak možnost jim zcela předejít, či se na ně alespoň v některých případech připravit.

V závěrečné části práce je vytvořen konstrukční návrh vybraného kloubového hřídele. Pro tento návrh je zvolen hřídel, obsahující dva křížové klouby z obou stran vloženého hřídele a posuvný člen, pro umožnění axiálního posunutí v oblasti tohoto vloženého hřídele. Kloubový hřídel je opatřen přírubami pro připojení na spojované součásti pomocí šroubů.

2 Kloubové a spojovací hřídele

Kloubové a spojovací hřídele jsou strojní součásti válcovitého tvaru, které jsou tvořeny tenkostěnnými trubkami, klouby a posuvným členem. Slouží ke stálému spojení jednotlivých konstrukčně vzdálených částí hnacího ústrojí, které mění v průběhu provozu svou vzájemnou polohu.

Tato rozdílná vzájemná poloha může být způsobena vlivem svislých pohybů a kmitání od nerovností vozovky nebo při překonávání větších překážek. Dalšími důvody mohou být nesouosost a úhlové vychýlení u pevně ukotvených hřídelů, které jsou dány konstrukčními vlastnostmi technických systémů, kde je hřídel použit.

Díky těmto konstrukčním prvkům dochází k přenosu točivého momentu mezi dvěma vzdálenými převodovými ústrojími, které mohou vůči sobě konat pohyb v omezené míře. Míra tohoto pohybu je jedním z kritérií, které je hodnoceno při výběru typu kloubového hřídele pro danou aplikaci.

Pro zajištění vzájemných změn poloh os jsou hřídele opatřeny na jejich koncích klouby. Pro umožnění axiálního posunutí při vzájemných svislých pohybech jednotlivých spojovaných ústrojí je zapotřebí, aby byl na vloženém hřídeli posuvný člen v podobě teleskopického drážkového spoje. Tato část umožňuje okamžitou změnu délky hřídele v mezích stanovených konstrukčním řešením této součásti.

Kloubové a spojovací hřídele mohou být děleny do mnoha skupin dle různých parametrů, jako například na jednodílné a dvoudílné nebo podle konstrukčního typu použitých kloubů. Dále podle převodu na hřídele s periodicky proměnlivým převodem a hřídele s konstantním převodem. Podle odlišných potřeb pro vykonávání jejich funkce přenosu výkonu lze hřídele dále také dělit na podélné a příčné.



Obr. 1 Kloubový hřídel s křížovými klouby a posuvným členem [1]

2.1 Kloubové hřídele

Kloubové hřídele jsou využívány především pro spojení takových převodových ústrojí, které mají vůči sobě vzájemnou polohu proměnnou v čase. Pro přenos točivého momentu je hřídel osazen klouby na obou stranách, které umožní přenos v průběhu různých natočení hřídele. Často bývají využívány u silničních dopravních prostředků, které mají pohonnou jednotku pevně upevněnou k rámu vozidla a rozvodovka má umožněné výchylky ve svislém směru. Tím je umožněn snadnější přejezd takového vozidla přes větší překážky.

2.2 Spojovací hřídele

Spojovací hřídele jsou využívány zejména pro spojení převodových ústrojí, které nemění svoji vzájemnou polohu v čase a jsou pevně ukotveny k rámu dané konstrukce. Pro tento typ hřídelů jsou používány především klouby, které vyrovnají výrobní nepřesnosti a odchylky dané následnou montáží. Tyto vyrovnávané odchylky jsou v případě spojovacích hřídelů značně menší než odchylky u kloubových hřídelů. Spojovací hřídele mohou být využívány například u silničních dopravních prostředků ke spojení převodovky s rozvodovkou, která je pevně spojena s rámem vozidla. Dalším vyrovnávaným parametrem jsou vibrace a výchylky od pohonné jednotky, která je z důvodu omezení přenášení vibrací do karoserie a následně do interiéru vozidla uložena pružně na pryžových tělískách a tím jsou umožněny malé výchylky pozice výstupu z převodovky a vstupu do rozvodovky, která je pevně ukotvena k rámu.

2.3 Příčné hřídele

Příčné hřídele zajišťují přenos točivého momentu od rozvodovky na hnací kola dopravního prostředku. Využití příčných hřídelů se nachází zejména v místech, kde je zapotřebí umožnit větší úhlové výchylky a také umožnit posunutí vzájemné polohy rozvodovky a náboje hnacího kola ve svislém směru. Z důvodu potřeby přenosu výkonu na hnací kolo pod větším úhlem jsou často využívány hřídelové klouby s konstantním převodem. Využití příčných hřídelů u silničních dopravních prostředků lze nalézt v podobě poloos hnacích náprav vozidel. Při pohonu vozidla pomocí přední nápravy jsou zároveň klouby u nábojů kol vystaveny neustále se měnícímu úhlovému vychylování v čase z důvodu potřeby řízení aktuálního směru jízdy vozidla.

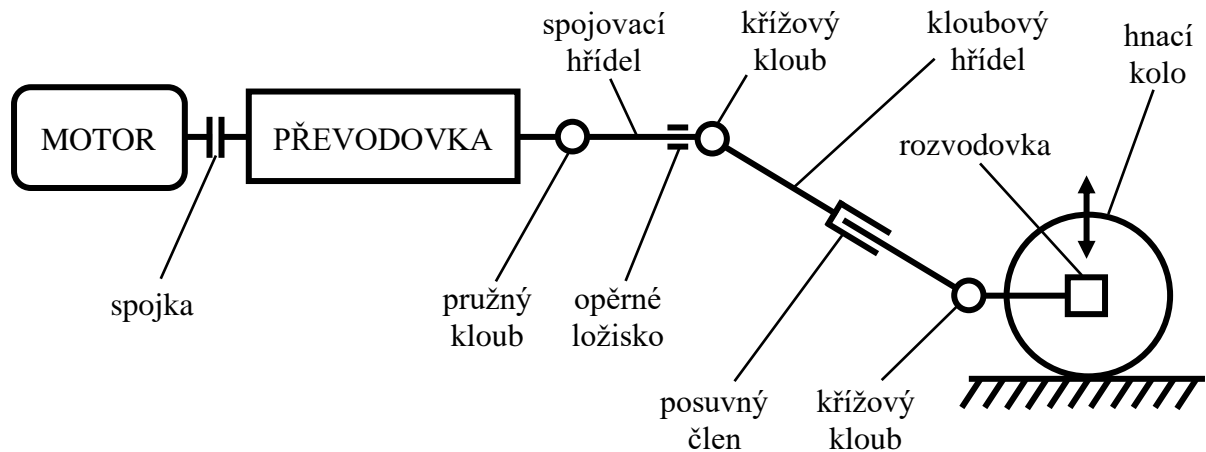
2.4 Podélné hřídele

Zajišťují přenos točivého momentu od pohonné jednotky, která je většinou umístěna vpředu, na zadní hnací nápravu nebo systém náprav v případě, že se jedná o vícenápravový pohonný systém. U koncepcí daných typů nákladních vozidel je podélný hřídel využit i pro přenos točivého momentu na přední hnací nápravu. Délkové parametry hřídele jsou omezeny z důvodu ohybových kmitů, které by mohly vznikat při rotacích příliš dlouhého hřídele. Pro zamezení a utlumení těchto vznikajících kmitů je hřídel uložen na opěrném ložisku, které je pevně spojeno s rámem vozidla a tím je zásadně zvýšena tuhost celého uložení dlouhého hřídele.

2.5 Obecné schéma přenosu točivého momentu

Pro pohonné jednotky silničních dopravních prostředků ve většině případů stále platí, že se jedná o klasické řešení pomocí spalovacího motoru. Toto řešení se neobejde bez spojky, která zajišťuje přerušování přenosu točivého momentu mezi motorem a převodovkou, což je zapotřebí především při rozjezdech nebo zastavování vozidla, či také při přeřazování mezi jednotlivými převodovými stupni.

Další důležitou částí tohoto systému je převodovka, pomocí které je možné určit, zda je potřeba mít více výkonu při pomalejší jízdě, pro možnost překonání větších převýšení při současném přepravě těžkých nákladů nebo zda je zapotřebí zvýšit otáčky hnacích kol a tím tak navyšovat okamžitou rychlost vozidla.



Obr. 2 Obecné schéma přenosu točivého momentu u silničních dopravních prostředků

Přenos točivého momentu od převodovky je zajištěn pomocí kloubových hřídelů různých typů. U vozidel s motorem vpředu a pohonem přední nápravy postačují k tomuto přenosu poloosy s homokinetickými klouby, avšak při přenosu na delší vzdálenosti, jako například na zadní nápravu u delších vozidel je tento přenos o něco komplikovanější.

Obecné schéma přenosu točivého momentu zobrazuje náročnější variantu s delším přenosem výkonu. V případě poháněné zadní nápravy se často v sestavě vyskytuje opěrné ložisko, které podpírá dlouhý kloubový hřídel a má tak kladný vliv na celkovou tuhost této sestavy.

Ve schématu není z důvodu přehlednosti přímo zobrazen příčný hřídel, který spojuje rozvodovku s hnacím kolem. Ten je často opatřen dvěma homokinetickými klouby, které umožňují úhlovou vychylku, která je vytvářena svislými pohyby kola při vyrovnávání nerovností. Zároveň také jeden z těchto kloubů, který se často nachází na straně rozvodovky, umožňuje axiální posunutí a tím prodloužení tohoto spojení.

3 Rozdělení hřídelových kloubů

3.1 Křížový kloub

Křížový kloub je jedním z nejvíce průmyslově užívaných kloubových spojení mezi hnacím a hnaným hřídelem. Jedná se o velmi spolehlivý a tuhý kloub, který disponuje mnoha výhodami, jako jsou zejména velká únosnost, dlouhá životnost a spolehlivost.

Hnací a hnaná vidlice kloubu může být vyrobena rovnou na hřídeli nebo případně při větších rozměrech hřídele s ním může být spojena pomocí příruby šroubovým spojem s kladením velkého důrazu na souosost při výrobě tohoto spojení.

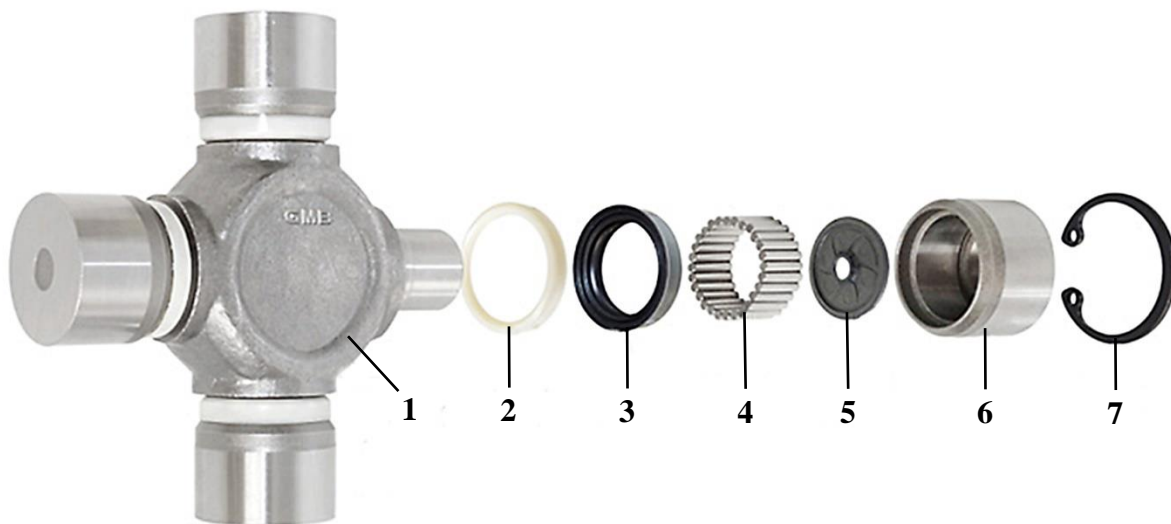
Křížový kloub je složen ze dvou vidlic hnacího a hnaného hřídele, ve kterých jsou uloženy pouzdra ložisek. Vzájemné spojení obou hřídelů je zajištěno pomocí kloubového kříže, který obsahuje čtyři kloubové čepy. Po těchto čepích jsou odvalovány jehličky valivého jehličkového ložiska, které je z vnější oblasti obklopeno ložiskovým pouzdem.

Pro oddělení pracovního prostoru ložiska od prostředí samotného kloubu je vloženo mezi kříž kloubu a valivé ložisko těsnění, díky kterému je speciální mazivo ložiska, navržené jeho

výrobce, chráněno a uzavřeno pouze v potřebném místě odvalování jehliček. Pouzdro každého ložiska je pak z vnější strany obklopeno hnací a hnanou vidlicí a musí být bezpečně zajištěno proti samovolnému uvolnění a tím rozpadu sestavy pomocí pojistných kroužků z vnější strany pouzder.

Křížové klouby dále mohou být rozděleny na jednoduché a dvojité. Spojení pomocí jednoho křížového kloubu je aplikováno pouze v případech, kdy jsou malé úhlové výchylky mezi hnacím a hnaným hřídelem, aby se co nejvíce omezila nerovnoměrnost průběhu chodu otáčení. Častěji je ovšem využíváno spojení pomocí hřídele se dvěma křížovými klouby. V tomto případě lze co nejvíce omezit nepříznivou nepravidelnost chodu nebo se této nepravidelnosti při správném nastavení dokonce úplně vyvarovat.

Tento typ konstrukčního řešení umožňuje pouze úhlové výchylky, ovšem častou potřebu axiálního posunutí již nezohledňuje. Proto je zapotřebí dodatečného konstrukčního prvku v podobě vloženého hřídele a posuvného členu, který je vytvořen přímo na tomto hřídeli. Ten pak spojuje dané dva konstrukční celky pomocí dvou křížových kloubů, které se nacházejí po obou stranách vloženého hřídele. Velikost umožněného axiálního posunutí je stanovena výrobcem pro daný kloubový hřídel. Pomocí křížového kloubu je umožněna úhlová výchylka přibližně 20° s ohledem na parametry stanovené výrobcem daného kloubu.



Obr. 3 Kardanový kříž kloubu [2]

1 – kříž kloubu, 2 – protiprachové pouzdro, 3 – těsnění, 4 – jehlový váleček, 5 – přítlačná podložka, 6 – pevné pouzdro ložiska, 7 – pojistný kroužek

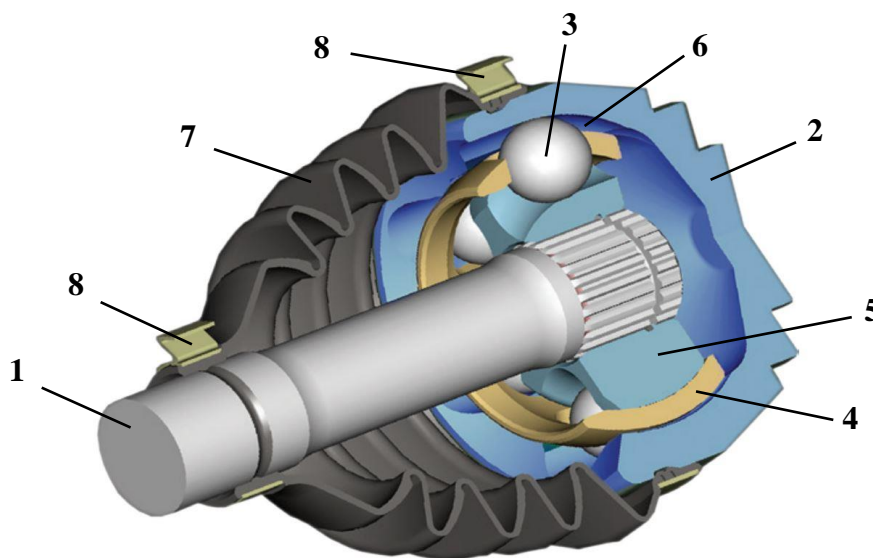
3.2 Rzeppa – Bierfieldův kuličkový kloub

Jedná se o kloubové spojení hnacího a hnaného hřídele pomocí homokinetického kuličkového kloubu. S ohledem na dané konstrukční řešení kloubu může být nadále rozdělen na pevný kuličkový kloub a kloub s umožněným axiálním posuvem. Pro umožnění axiálního posuvu jsou dráhy kuliček protáhlejšího tvaru s menší uzavřeností.

Prvkem přenášejícím točivý moment jsou kuličky pohybující se po předem stanovených drahách. Tyto kuličkové dráhy jsou na straně hnaného hřídele vytvořeny na vnitřní straně

unašeče. V případě hnacího hřídele jsou dráhy pro kuličky vytvořeny na kulovém unašeči, který je pevně spojen s hnacím hřídelem. Společný prostor obou hřídelů a zároveň pracovní prostor kuliček je pak od okolního prostředí oddělen pomocí pryžové manžety, která je svěrnými sponami pevně ukotvena na obou koncích k hnacímu a hnanému hřídeli.

Tento typ kloubového spojení může často nacházet využití pro pohon přední nápravy silničních dopravních prostředků z důvodu umožnění velké úhlové výchylky proměnlivé v čase, a tím je tak možné zajistit přenos točivého momentu při zachování neustále se měnící úhlové výchylky z důvodu proměnlivosti okamžitého směru jízdy vozidla. Při tomto přenosu točivého momentu je zároveň zachována konstantní úhlová rychlost hnacího a hnaného hřídele při libovolném úhlu natočení v mezích stanovených výrobcem daného konstrukčního řešení.



Obr. 4 Rzeppa – Bierfieldův kuličkový kloub [3]

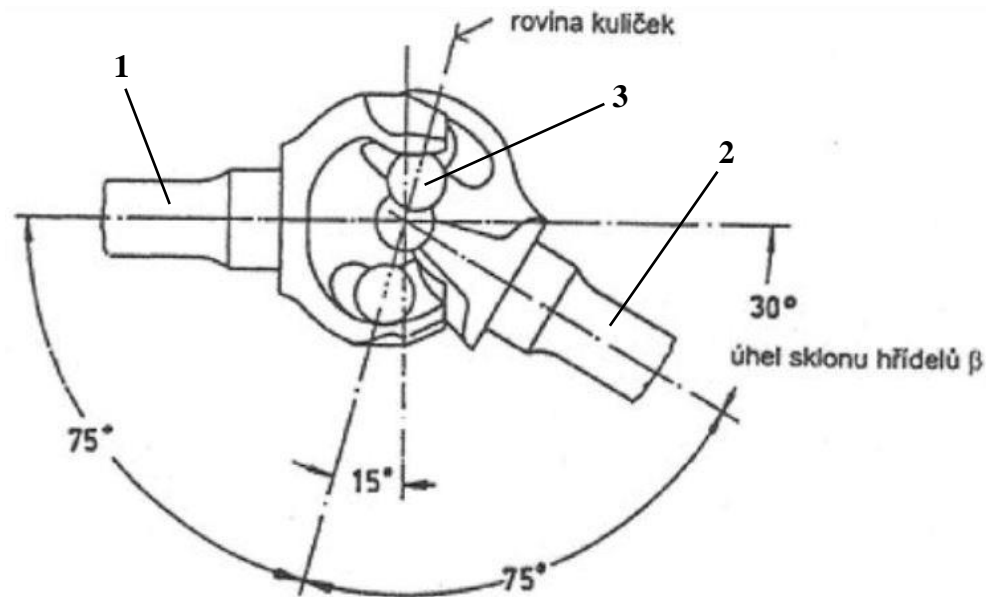
1 – hnací hřídel, 2 – hlava hnaného hřídele, 3 – kuličky, 4 – klec, 5 – kulový unašeč, 6 – zakřivená oběžná kuličková dráha, 7 – pryžová manžeta, 8 – svěrná spona

3.3 Bendix – Weissův kuličkový kloub

Princip spojení hnacího a hnaného hřídele pomocí tohoto typu stejnoběžného kloubu je podobný, jako u Rzeppa – Bierfieldova kuličkového kloubu. Jedná se zde také o přenos točivého momentu pomocí vložených kuliček mezi hnací a hnaný hřídel. Charakteristickým znakem pro toto spojení může být, že v jednom směru přenosu točivého momentu zabírají vždy pouze dvě kuličky z celkového počtu čtyř kuliček. Při otočení směru působení točivého momentu na hnacím hřídeli se změní zatěžovaný pár kuliček a ty, které byly předtím v záběru jsou nyní bez přenosu zatížení.

Z této charakteristiky zatěžování pouze dvou ze čtyř kuliček ovšem vznikají v pracovním prostoru kloubu velké kontaktní tlaky, které nadměrně opotřebovávají plochy styku hřídelů s kuličkami. Výhodou takto řešeného kloubového spojení je mnohem jednodušší axiální posunutí, které je ovšem kompenzováno menší umožněnou úhlovou výchylkou, která se pohybuje v závislosti na konkrétním řešení kloubu v mezích od 20° do 30°.

Kloubový spoj tohoto konstrukčního typu je relativně levný na výrobu, ovšem z důvodu vysokých kontaktních tlaků mezi zabírajícím párem kuliček a spojovanými hřídeli není jeho životnost příliš vysoká. Tento typ kloubu byl v minulosti využíván především u dopravních prostředků, které nedisponovaly velkými výkony a tím kloubové spojení nebylo v tak velké míře namáháno a jeho životnost se tím prodloužila.



Obr. 5 Bendix – Weissův kuličkový kloub [4]

1 – hnací hřídel s unašečem, 2 – hnaný hřídel s unašečem, 3 – kuličky

3.4 Pružné klouby

Hřídele opatřené pružnými klouby umožňují pouze malou úhlovou výchylku a velmi malý axiální posuv. Velkou výhodou je ovšem jejich bezúdržbová konstrukce, díky které tyto klouby nevyžadují mazání.

Zároveň jejich další velice výhodnou vlastností je snižování míry vytvářeného hluku, a především dobré tlumení vznikajících vibrací a rázů spojovaných rotujících součástí.

Jedním z jejich významných zástupců je například Hardyho spojka s přírubou, která je používána zejména pro malé a střední výkony. Toto technické řešení může být často nalezeno například u volantové tyče starších modelů silničních dopravních prostředků.

Je ovšem více důmyslných řešení pomocí různých tvarů pružného spojení, které jsou často vyrobeny z pryže nebo ocelového plátu. Dalšími zástupci mohou být například spojka periflex, spojka s vícenásobnou membránou nebo spojka s jednoduchou membránou.



Obr. 6 Hardyho spojka [5]

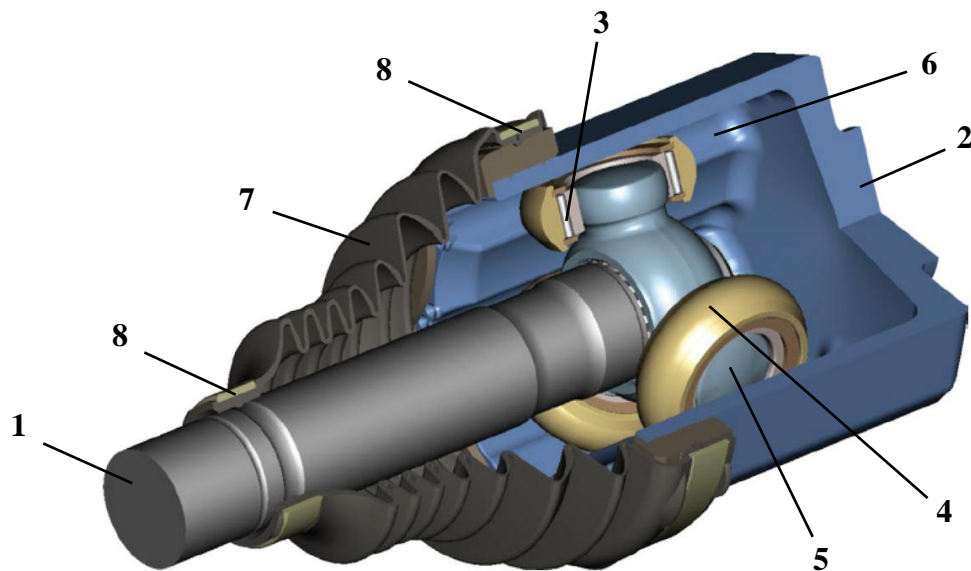
3.5 Tříramenné klouby

Tříramenné klouby, jinak zvané také jako klouby tripod, mohou být využívány na hnacích hřídelích kol, kde je jejich použitím spojována daná strana rozvodovky s příčným hřídelem přenášejícím točivý moment na stranu hnacího kola vozidla. Tento typ kloubu také nachází uplatnění jako kloub spojovacích kloubových hřídelů.

Velkou výhodou tohoto konstrukčního řešení je možnost axiálního posunutí v míře stanovené výrobcem kloubu a tím možnost absence posouvajícího členu na hřídeli v aplikacích, které nevyžadují velkou míru axiálního posunutí.

Klouby jsou složeny z hnaného náboje kola a hnacího hřídele. Ten je s nábojem spojen pomocí tripodu, tedy unašeče se třemi čepy, na nichž se nacházejí valivé rolly. Spojení tripodu a valivých roln je provedeno pomocí valivých jehličkových ložisek. Celý tento systém je pak uzavřen velmi důležitou ochranou pryžovou manžetou, která je pomocí svěrných spon spojena s hnacím a hnaným hřídelem.

Pro jednoduchou a spolehlivou konstrukci bývá tento kloub často využíván v mnoha odvětvích včetně motorsportu. Při uložení s možností axiálního posunutí je úhlová výchylka os spojovaných hřídelů umožněna až do hranice 25° . Ve variantě pevného uložení kloubu je možné dosáhnout úhlové výchylky os hřídelů až do hranice 45° . V obou uvedených variantách je ovšem zásadní stanovení maximálního možného provozního úhlu vychýlení výrobcem této komponenty.



Obr. 7 Třiramenný kloub [3]

1 – hnací hřídel, 2 – hnaný unašeč (náboj), 3 – jehlové ložisko, 4- valivé rolny, 5 – unašeč se třemi čepy (tripod), 6 – dráha pro valivé rolny, 7 – pryžová manžeta, 8 – svěrná spona

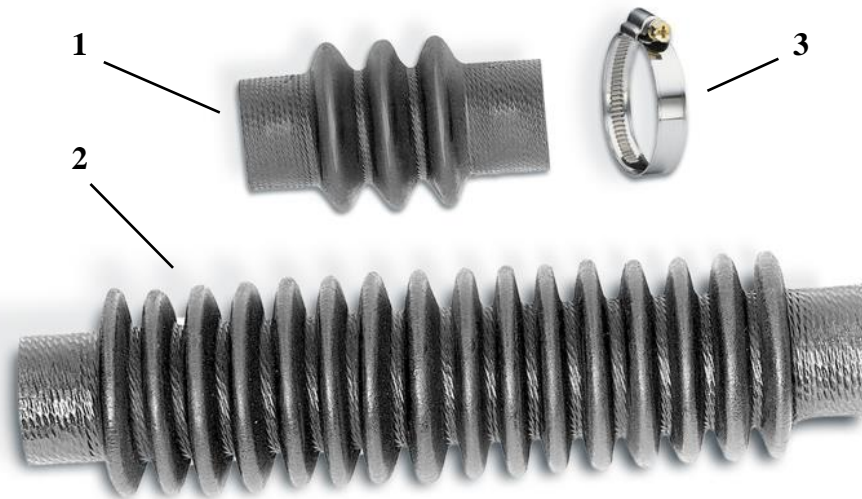
4 Ochranné prvky kloubových hřídelů

4.1 Prachovky

Prachovky, jinak také pryžové manžety, jsou součásti určené na ochranu hřídelových kloubů a výsuvných teleskopů kloubových hřídelů. Tyto ochranné součásti zabráňují vniku cizích předmětů, částic a prachu do pracovní oblasti kloubů. Slouží také jako ochrana proti kyselým výparům a vlhku. Proto je nutné, aby prachovky byly odolné proti povětrnostním vlivům, vodě a různým druhům olejů.

Pro plnění této ochranné funkce je požadováno, aby jejich konstrukce byla dostatečně odolná vůči poškození a dostatečně pružná z důvodu úhlových, případně axiálních vychylek konců hřídelů v oblasti kloubů.

Prachovku je možno při určitých aplikacích naplnit mazivem pro klouby hřídelů a pomocí svěrných spon upevnit k hlavním částem kloubového hřídele a dosáhnout tak samomazného účinku. Mazivo je v takovémto případě nutno měnit v průběhu údržby v časových intervalech stanovených výrobcem daného hřídele, aby byl zachován dostatečný a kvalitní mazací účinek a odstraněny případné nečistoty z oblasti kloubu. Tímto lze dosáhnout podstatného prodloužení životnosti součásti a zároveň také zvýšení celkové spolehlivosti stroje, který často obsahuje ve své konstrukci více kloubů a kloubových hřídelů.



Obr. 8 Prachovka kloubu a posuvného členu [1]

1 – prachovka pro jednoduchý nebo dvojitý hřídelový kloub, 2 – prachovka pro kloubovou hřídel výsuvnou, 3 – svěrná spona

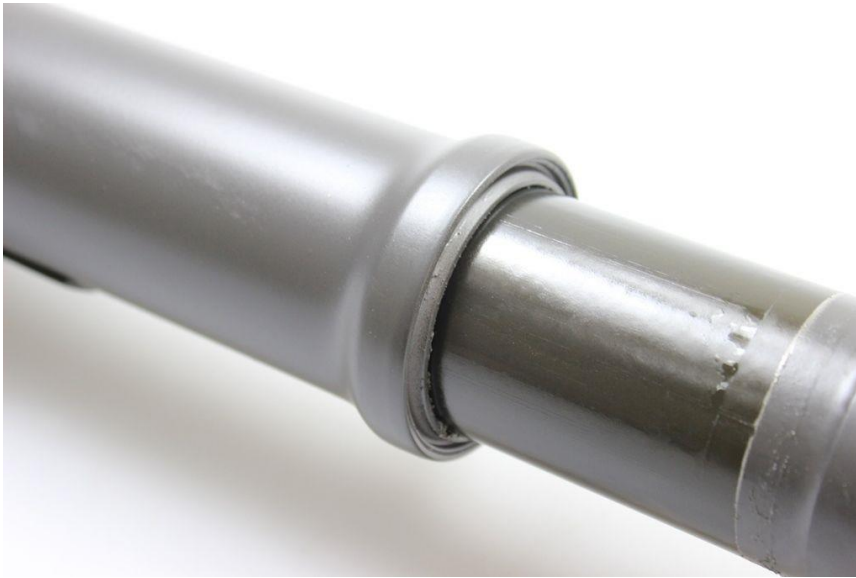
4.2 Protiprachové těsnění posouvajícího členu

Pro zajištění ochrany výsuvných teleskopů kloubových hřídelů s posuvným členem je mimo uvedených prachovek také možné tuto důležitou ochranu zajistit pomocí různých těsnění, která jsou určena výrobcem přímo pro toto speciální použití.

Je využíváno více druhů těchto těsnění. Prvním druhem je těsnění kruhového tvaru, které je určeno pro válcovité dotykové plochy a je tedy zapotřebí s tím při návrhu takového řešení předem kalkulovat a zajistit potřebné funkční plochy pro těsnění.

Ve většině případů použití této metody je dotyková plocha pro těsnění na vnější straně trubky posuvného členu s vnitřním drážkováním. Proto je důležité při aplikaci tohoto těsnění mít obrobenu i tuto vnější plochu ve stanovených tolerančních rozmezích výrobcem těsnění a v dané drsnosti povrchu, která je také udávána výrobcem daného těsnění.

Těsnící kroužek je usazen v tenkostěnné trubce, která bývá ve většině aplikací přivařena na protější část posouvajícího členu s vnějším drážkováním. Svar je vyhotoven v části tvarového přechodu mezi vidlicí křížového kloubu a hřídelem, na kterém dále pokračuje drážkování. Toto opatření je vhodné pro aplikaci ve středně znečištěném prostředí s možností odletujících kamínků, či jiných podobných těles ostřejších tvarů, která by mohla klasickou prachovku poškodit a následně umožnit vstup nečistot mezi funkční plochy. Zde je těsnění chráněno tenkostěnnou trubkou, ve které je usazeno a tím i případná kolize s odletujícími nečistotami zůstane z hlediska těsnění bez následků na jeho funkci.



Obr. 9 Těsnění posuvného členu [6]

Druhým způsobem izolace funkčního prostoru teleskopu je tvarové těsnění, které přesně kopíruje tvarový povrch daného drážkování posouvajícího členu a je vyrobeno přesně na míru daného typu drážkování o stanoveném rozměru.

Vnější kroužek, ve kterém je nasazeno těsnění, je ukotven na konci hřídele s vnitřním drážkováním a pomocí svého tvaru stírá nečistoty z vnějšího prostředí přímo z vnějšího drážkování opačného hřídele. Tím je zamezeno vniku nečistot mezi funkční plochy drážkování a je zajištěn plynulý a spolehlivý chod.



Obr. 10 Tvarové těsnění posuvného členu [7]

Toto opatření je vhodné především pro aplikace v mírně znečištěném prostředí, jelikož větší objem hrubých a více abrazivních nečistot může v průběhu času způsobit opotřebení těsnění

a z toho vycházející netěsnosti a následné poškození posouvajícího členu kloubového hřídele. Pro použití v silně znečištěném prostředí může být použito tohoto tvarového těsnění v kombinaci s prachovkou, která bude pomocí svěrných spon přichycena ke kloubovému hřídeli. Tím se zajistí spolehlivost ochrany a hrubé abrazivní nečistoty se tak nedostanou do prostoru tvarového těsnění, které tak bude snadno nadále zachycovat jemný prach, který by v takovémto náročnějším prostředí mohl skrze mikroskopické netěsnosti prachovky proniknout.

4.3 Maziva hřidelových kloubů

Výběr maziva je velmi důležitý pro správnou a dlouhodobou funkci daného kloubu. S ohledem na vysoké působící tlaky ve valivých členech hřidelových kloubů je zapotřebí zvolit takové mazivo, které je odolné vůči těmto vysokým tlakům a zároveň zajišťuje dostatečné mazné účinky.

Důležitým faktorem pro dlouhodobé plnění své funkce by také mohl být rozsah teplot, při kterých je uvažováno, že bude daný stroj pracovat. Zároveň je potřeba zvážit, zda nejsou v blízkém okolí součásti další přídavné zdroje tepla, které by mohly ovlivnit výslednou provozní teplotu kloubu. Také musí být uvažováno zahřívání samotného kloubu při provozu z důvodu vysokých působících sil a tlaků.

Takovým druhem maziva, které bude splňovat výše uvedené požadavky, je zejména vazelína, která je vyrobena na bázi minerálního oleje a pro jeho zpevnění je použito lithného krátkovláknitého mýdla. Pro ještě lepší účinek je mazivo obohaceno o přísady proti korozi a oxidaci. [8]

Dalším obdobným typem maziva, které se pouze mírně liší od předchozího, je opět vysokotlaké plastické mazivo. V tomto případě je ovšem základový minerální olej zahuštěn pomocí lithno-vápenatého mýdla a tím je tak dosaženo správných mazacích účinků. [9]

Zároveň se zmiňovanými hřidelovými klouby je také důležité ošetřit mazivem posuvný člen kloubového hřídele. Zde dochází při tlakovém působení zároveň k tření jednotlivých ploch drážkování o sebe a při nedostatku maziva by i na tomto místě mohlo docházet k zadírání a nerovnoměrnému opotřebením těchto funkčních ploch.

4.4 Povrchové úpravy

Kloubové hřídele jsou součástí, které jsou ve většině aplikací v kontaktu s vnějším prostředím a podléhají tak vnějším vlivům korozního prostředí. Proto je potřebné aplikovat různé druhy ochrany na všechny jejich části v místech hřidelů exponovaných těmto vlivům.

Samotný pracovní prostor kloubů včetně všech funkčních ploch je ve většině případů uzavřen a utěsněn prachovkami od okolního prostředí. V případě křížového kloubu prachovky nemusí být použity, protože jehlová ložiska, která vykonávají přenos veškerého pohybu, jsou oddělena od okolního prostředí vlastním těsněním. Kříž kloubu pak může být vystaven vnějším vlivům, ovšem za předpokladu dodatečné povrchové úpravy, jako je aplikována na ostatní části, a to zejména tělo hřídele.

Jelikož kloubové hřídele jsou vyrobeny z oceli, je možné jako jednu z povrchových úprav zvolit pokovení. Mimo tuto možnost lze také zvolit jiný typ povrchové úpravy, jako je například lakování hřidelů mechanicky a korozně odolnou barvou.

Pro případ pokovení je možno použít více různých materiálů, kde některé mohou mít dokonce různé barevné provedení. Jedním z nejběžnějších materiálů používaných pro pokovení součástek je zinek. Tento způsob úpravy je hojně rozšířen, ať už se jedná o menší součástky nebo o velké pozinkované plechy. Pomocí zinkování je možno dosáhnout velmi dobré ochrany proti korozi. Tato metoda také umožňuje různé možnosti provedení v oblasti vzhledu. Díky zinkování je možné povrch zbarvit do lehké žluté barvy, která svým leskem je atraktivnější na pohled.

Další možností úpravy pokovením je využití známého chromu. Výrobky, které jsou ošetřeny tímto typem kovu mají dobrou odolnost vůči korozi a zároveň velmi dobré vizuální vlastnosti, což je v dnešní rozmanité době také velice žádané. Dříve byl tento typ povrchových úprav často využíván v automobilovém průmyslu pro svůj ojedinělý vzhled a vysoký lesk. V současné době se již velmi snížila míra využívání tohoto kovu z důvodu snižování hmotnosti aut a zároveň zlevňování výroby jednotlivých dílů.



Obr. 11 Povrchové úpravy zinkováním, zinkováním do žluta a chromováním [10]

Pro dočasnou protikorozi ochranu lze také použít metodu fosfátování. Vzniklá krystalická vrstva má se základním kovem velmi dobrou soudržnost a je vhodná pro následné úpravy lakováním. Při následné úpravě lakováním se tak zvyšuje přilnavost laku k povrchu dané předem fosfátované součásti. Povrchová úprava kloubových hřídelů lakováním bez metody fosfátování je jinak citlivá na poškození a následnou korozi. Ta po vzniku poškození postupuje pod vrstvou laku a rozšiřuje se dál v okolí daného místa poškození. Pro zamezení tohoto jevu je vhodná právě tato metoda fosfátování, kde účinná vrstva zabraňuje dalšímu šíření koroze směrem pod nepoškozenou vrstvou laku. [11]



Obr. 12 Povrchová úprava lakováním kloubových hřídelů [1]

5 Kinematika kloubových hřídelů

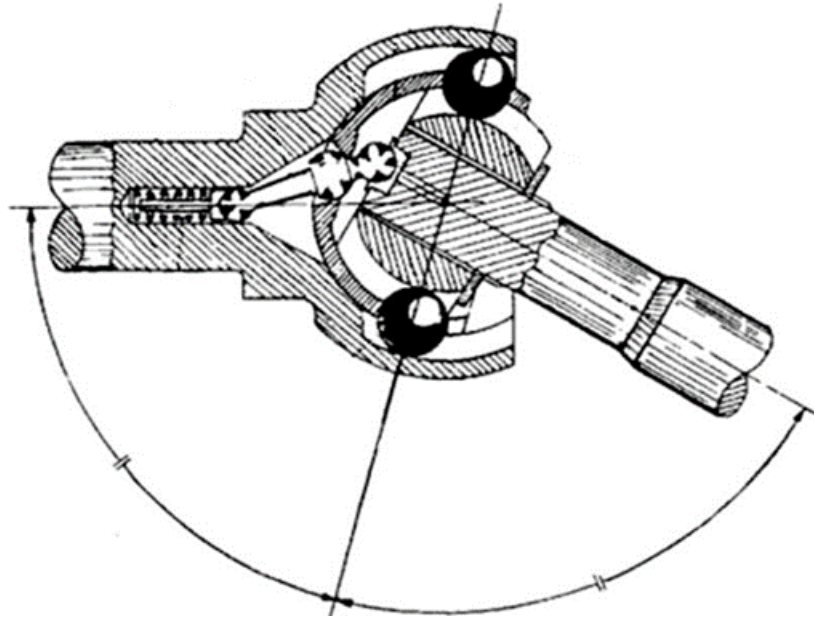
5.1 Kinematika kloubů s konstantním převodem

Klouby s konstantním převodem, či jinak také homokinetické klouby přenášejí točivý moment a tím také úhlové rychlosti z hnacího na hnaný hřídel. Při tomto spojení dosahují konstantní úhlové rychlosti přenesené na výstupní hnaný hřídel.

Této charakteristiky může být dosaženo při libovolných úhlových výchylkách v mezích stanovených výrobcem daného kloubu. Při určitých konstrukčních řešeních lze této konstantní charakteristiky dosáhnout zároveň při umožnění axiálního posunutí hřídelů přímo v kloubu a tím vynechání jinak potřebného posuvného členu.

Při libovolném úhlovém vychýlení hřídelů prochází rovina středů všech kuliček zároveň osou úhlu, který je sevřen mezi hnacím a hnaným hřídelem. To tedy znamená, že osa úhlu sevřeného mezi hnacím a hnaným hřídelem leží po celou dobu v rovině středů kuliček. Úhel sevřený mezi touto rovinou středů kuliček a osou hnacího hřídele je tak stejný, jako úhel sevřený mezi stejnou rovinou a osou hnaného hřídele.

Kuličky se při každém otočení hřídele pohybují v drážkách neustálým vratným pohybem a tím se udržují ve stejné rovině, jako osa úhlu sevřeného oběma hřídeli. Díky tomu je zajištěno konstantní natočení obou hřídelů a tím také konstantní průběh úhlové rychlosti. Kuličky zde tedy plní pomyslnou funkci fiktivního vloženého hřídele a shodné úhly vychýlení zajišťují stejnou homokinetickou charakteristiku, jako v případě dvou křížových kloubů, které by byly zapojeny v uspořádání do V.



Obr. 13 Hřídelový kloub s konstantním převodem [12]

5.2 Kinematika kloubů s nekonstantním převodem

Hřídelové klouby s nekonstantním převodem přenášejí točivý moment mezi hnacím a hnaným hřídelem pomocí křížového kloubu, často zvaného, jako kardanový kloub.

Při nulovém vychýlení je přenesená úhlová rychlost výstupního hřídele konstantního charakteru a je shodná s úhlovou rychlostí vstupního hřídele. Při nenulovém úhlovém vychýlení se úhlová rychlost výstupního hřídele stává proměnlivou se sinusovým průběhem. Tato charakteristika může být při velmi malých úhlech vychýlení zanedbána, ale při zvětšujícím se úhlu vychýlení se velmi zvyšuje proměnlivost úhlové rychlosti výstupního hřídele v průběhu otáčení.

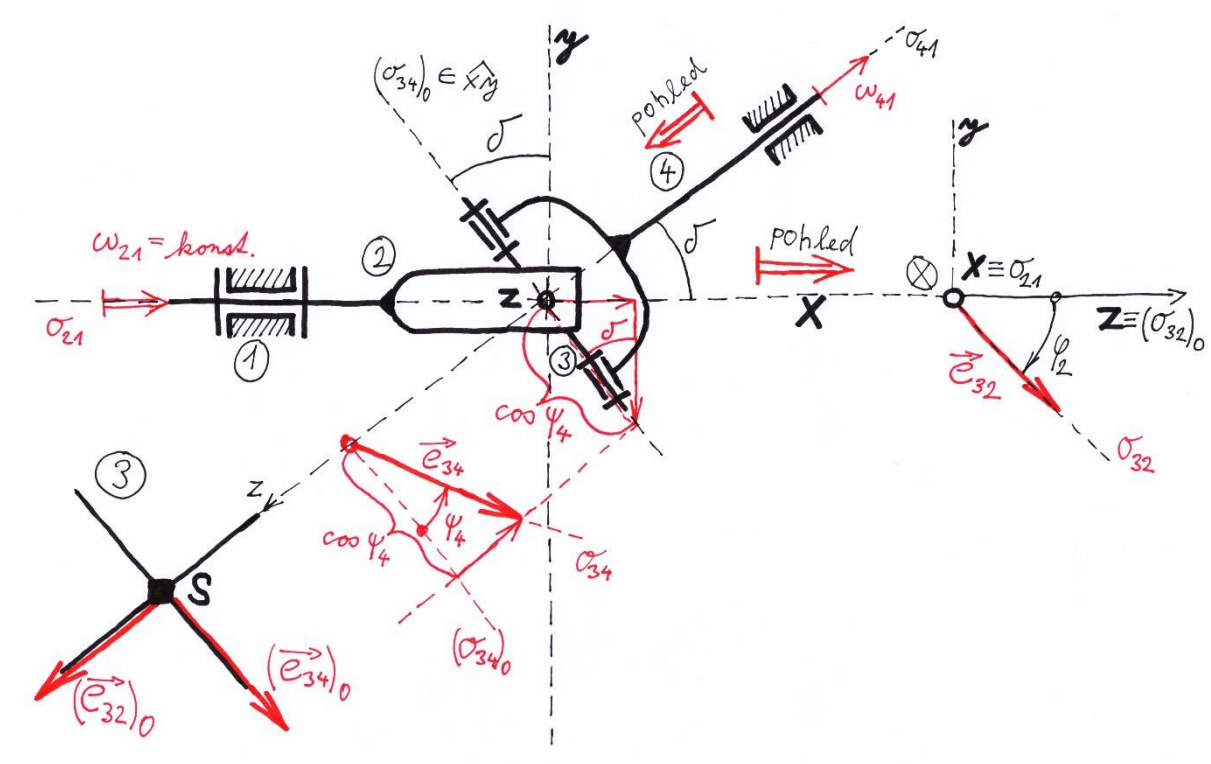
Pro využívání tohoto konstrukčního řešení pro větší úhly vychýlení je zapotřebí minimalizovat, či zcela odstranit nerovnoměrnost chodu. Toho lze dosáhnout pomocí použití dvou kloubů na spojovacím hřídeli. Vidlice obou kloubů jsou vůči sobě vzájemně pootočený o 90° a tím je dosaženo fázového posunutí nerovnoměrnosti otáčení. Na výstupním hnaném hřídeli bude tato nerovnoměrnost navzájem vyrušena a otáčení bude konstantní se stejnou úhlovou rychlostí, jako hnací hřídel.

Nerovnoměrné otáčení ovšem z hlediska pohledu na celou sestavu zcela nezanikne a bude se dále vyskytovat na spojovacím hřídeli. Zde tento jev není nijak škodlivý, jelikož se jedná o pouhé spojení a na tento daný hřídel není navázán žádný výstup, který by tím mohl být negativně ovlivněn. Hodnoty této nerovnoměrnosti musí zůstat v mezích stanovených výrobcem daného hřídele, protože při tomto neustále zrychlujícím a zpomalujícím pohybu vznikají setrvačné síly působící na otočné uložení a zároveň na celou sestavu kloubového hřídele, které jsou negativním jevem tohoto průběhu.

Způsob minimalizování nebo úplného odstranění nerovnoměrnosti chodu pomocí dvou použitých kloubů může být aplikován dvěma způsoby. To jsou uspořádání do Z, kde jsou shodné úhly uzavřeny z opačné strany osy vloženého hřídele. Další možností je uspořádání do V, kde jsou oba shodné úhly uzavřeny ze stejné strany vloženého hřídele. Při

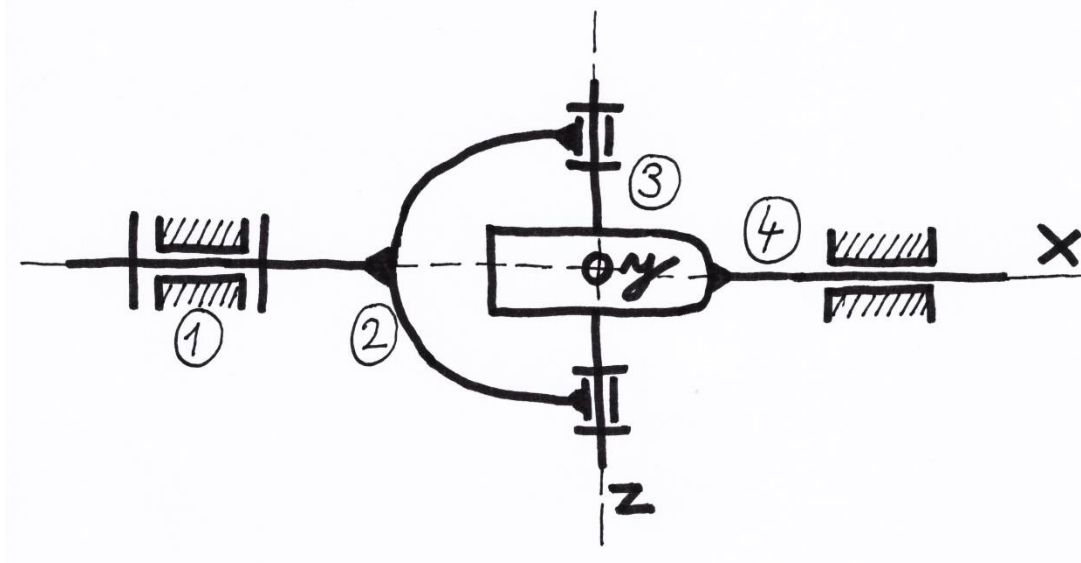
použití obou těchto uspořádání se nerovnoměrnost chodu vyruší a výstupní hřídel se tak bude otáčet konstantně se stejnou úhlovou rychlostí, jako hřídel vstupní.

5.2.1 Kinematické řešení Hookova křížového kloubu



Obr. 14 Kinematické schéma mechanismu Hookova kloubu v rovině $\hat{x}y$

Z hlediska kinematického řešení Hookova kloubu se jedná o prostorový mechanismus, kde se těleso 2 otáčí okolo pevné osy o_{21} a těleso 4 se otáčí okolo pevné osy o_{41} , která je odkloněna o úhel δ , vůči ose $x \equiv o_{21}$.



Obr. 15 Pohled na prostorový mechanismus Hookova kloubu v rovině $\hat{x}z$

Obě osy o_{21} a o_{41} leží v rovině \widehat{xy} . Tělesa 2 a 4 jsou spojena pomocí tělesa 3, které se kinematicky skládá ze dvou na sebe kolmých svařených tyčí. V realitě se jedná o kříž Hookova kloubu s jeho čepy. Těleso 3 koná sférický pohyb se středem sférického pohybu v bodě S, kterým je střed kříže.

Řešení je provedeno pomocí jednotkových vektorů \vec{e}_{32} a \vec{e}_{34} , které jsou přiřazeny na kříži, tedy tělesu 3. Vektor \vec{e}_{32} je přiřazen pro vazbu s členem 2 a \vec{e}_{34} je přiřazen pro vazbu s členem 4.

Na začátku pohybu v čase $t = 0$ je poloha mechanismu shodná s vyobrazením na obrázku. Základní poloha vektoru \vec{e}_{34} je v rovině \widehat{xy} a základní poloha vektoru \vec{e}_{32} je kolineární s osou z.

Při pootočení se vstupním tělesem 2 dojde k pootočení vektorů \vec{e}_{32} a \vec{e}_{34} . Pootočení vektoru \vec{e}_{32} je zobrazeno a dochází k němu v rovině \widehat{yz} . Tím je souřadnice x tohoto vektoru rovna nule, jelikož k rotaci dochází pouze v rovině \widehat{yz} . Obecné souřadnice y a z jsou dále vyjádřeny pomocí goniometrických funkcí a pootočení vůči základní poloze je zde značeno φ_2 .

$$\vec{e}_{32} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\sin \varphi_2 \\ \cos \varphi_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

K pootočení vektoru \vec{e}_{34} nedochází v žádné ze tří základních rovin. Z toho vyplývá, že ani jedna ze souřadnic tohoto vektoru není rovna nule. Všechny obecné souřadnice jsou vyjádřeny pomocí goniometrických funkcí a pootočení vektoru \vec{e}_{34} je značeno ψ_4 .

$$\vec{e}_{34} = \begin{bmatrix} \cos \psi_4 \sin \delta \\ -\cos \psi_4 \cos \delta \\ -\sin \psi_4 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Jednotkové vektory \vec{e}_{32} a \vec{e}_{34} jsou v každém časovém okamžiku navzájem kolmé, což vyplývá z principu konstrukční stavby tělesa 3, tedy kříže tohoto křížového kloubu. Podmínka kolmosti dvou vektorů je obecně vyjádřena skalárním součinem těchto dvou uvažovaných vektorů, který musí být roven nule.

$$\vec{e}_{32} \perp \vec{e}_{34} \Rightarrow \vec{e}_{32} \cdot \vec{e}_{34} = 0 \quad (3)$$

Vektory \vec{e}_{32} a \vec{e}_{34} jsou mezi sebou vynásobeny dle pravidel skalárního součinu dvou vektorů a následně jsou vztahy upraveny.

$$\vec{e}_{32} \cdot \vec{e}_{34} = \sin \varphi_2 \cos \psi_4 \cos \delta - \cos \varphi_2 \sin \psi_4 = 0 \quad (4)$$

Pro úpravu vztahů jsou obě strany rovnice vynásobeny zlomkem $\frac{1}{\cos \psi_4 \cos \varphi_2}$.

$$\operatorname{tg} \varphi_2 \cos \delta - \operatorname{tg} \psi_4 = 0 \quad (5)$$

Tím je dosaženo zdvihové funkce tělesa 4 v implicitním tvaru.

$$\operatorname{tg} \psi_4 = \operatorname{tg} \varphi_2 \cos \delta \quad (6)$$

Dále je zapotřebí vyhodnotit úhlovou rychlost tělesa 4. Následuje tedy derivace implicitní funkce podle času $\frac{d}{dt}$.

$$\frac{1}{\cos^2 \psi_4} \cdot \frac{d\psi_4}{dt} = \frac{1}{\cos^2 \varphi_2} \cdot \frac{d\varphi_2}{dt} \cdot \cos \delta \quad (7)$$

Kde $\frac{d\psi_4}{dt} = \omega_{41}$ a $\frac{d\varphi_2}{dt} = \omega_{21}$. V dalším kroku je vyjádřena úhlová rychlost ω_{41} .

$$\omega_{41} = \frac{\cos \delta}{\cos^2 \varphi_2} \cdot \cos^2 \psi_4 \cdot \omega_{21} \quad (8)$$

Ze vzorců pro goniometrické funkce vyplývá následující vztah.

$$\cos^2 \psi_4 = \frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \psi_4} \quad (9)$$

Po dosazení vztahu (9) do rovnice (8) je dosaženo úhlové rychlosti ω_{41} , která je závislá na úhlu φ_2 .

$$\omega_{41} = \frac{\cos \delta}{\cos^2 \varphi_2 (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_2 \cdot \cos^2 \delta)} \cdot \omega_{21} \quad (10)$$

$$\omega_{41} = \frac{\cos \delta \cdot \omega_{21}}{\cos^2 \varphi_2 + \sin^2 \varphi_2 \cdot \cos^2 \delta} \quad (11)$$

Ze vzorců pro goniometrické funkce vyplývá následující vztah.

$$\cos^2 \varphi_2 = 1 - \sin^2 \varphi_2 \quad (12)$$

Dále je dosazen vztah (12) do rovnice (11) a je vytknut člen $(-\sin^2 \varphi_2)$.

$$\omega_{41} = \frac{\cos \delta}{1 - \sin^2 \varphi_2 (1 - \cos^2 \delta)} \cdot \omega_{21} \quad (13)$$

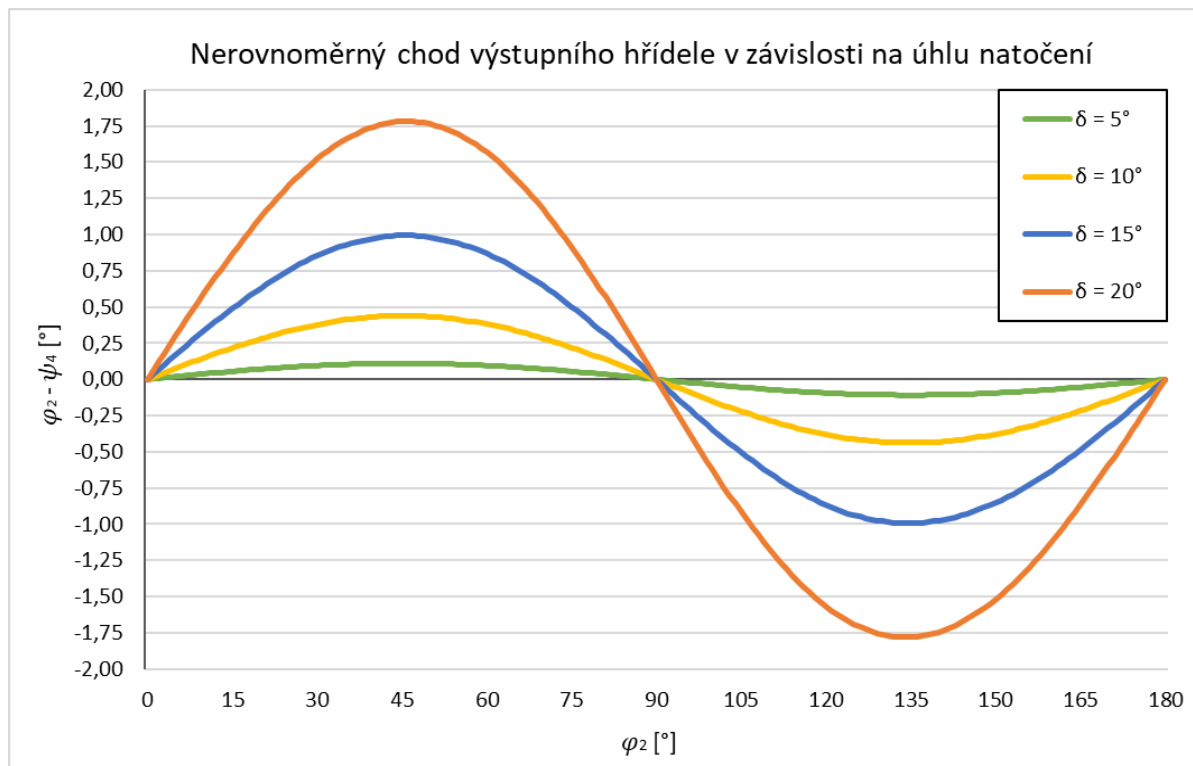
Ze vzorců pro goniometrické funkce vyplývá následující vztah.

$$\sin^2 \delta = 1 - \cos^2 \delta \quad (14)$$

Po dosazení vztahu (14) do rovnice (13) je dosaženo následující převodové funkce Hookova kloubu.

$$\omega_{41} = \frac{\cos \delta}{1 - \sin^2 \varphi_2 \cdot \sin^2 \delta} \cdot \omega_{21} \quad (15)$$

Pro $\delta \neq 0 \wedge \delta = \text{konst.}$ platí, že Hookův kloub nedává konstantní převod. Převod Hookova kloubu je dle uvedených vztahů funkcí úhlu natočení φ_2 hnacího tělesa 2.



Obr. 16 Grafické znázornění nerovnoměrného otáčení výstupního hřídele Hookova kloubu

V grafu na Obr. 16 je názorně zobrazena charakteristika exponenciálně se zvětšující nerovnoměrnosti při vzrůstajícím úhlu vychýlení dvou hřídelů δ , spojených pouze jedním Hookovo křížovým kloubem. Průběh je vykreslen na základě zdvihové funkce tělesa 4, která je určena rovnicí (6). Ta udává závislost natočení výstupního hřídele na natočení vstupního.

Na vodorovné ose je popisováno natočení hnacího hřídele φ_2 v intervalu od 0° do 180° a jedná se tedy o půlotáčku celého hřídele. Na tomto natočení je závislé natočení výstupního hnaného hřídele ψ_4 . Na svislé ose je popisován rozdíl ve stupních v natočení vstupního a výstupního hřídele $\varphi_2 - \psi_4$. Tím je zobrazeno, že v prvních 90° otáčení je vstupní hřídel natočen více než výstupní. V druhé polovině grafu je pak výstupní hřídel natočen více a svojí polohou tak vstupní hřídel předbíhá.

Graf je složen ze čtyř křivek, kde každá z těchto křivek zobrazuje jiný úhel vychýlení, který je sevřen mezi osou hnacího a osou hnaného hřídele. Jelikož by pro úhel $\delta = 0^\circ$ touto křivkou byla přímka, která by se překrývala s vodorovnou osou grafu, tak pro tento úhel nebyla do grafu zakreslena. Zároveň se jedná o úhel, kdy není zapotřebí dalšího kloubu pro vyrovnání nerovnoměrnosti, jelikož v okolí úhlu $\delta = 0^\circ$ je nerovnoměrnost velice malá nebo žádná a lze tak tento charakteristický projev zanedbat.

Barevně odlišené křivky jsou zobrazeny pro jednotlivé úhlové vychýlení, které bylo zvyšováno postupně po pěti stupních až do hodnoty $\delta = 20^\circ$. Zde je možné zaznamenat velké tempo nárůstu oproti předešlé hodnotě $\delta = 15^\circ$.

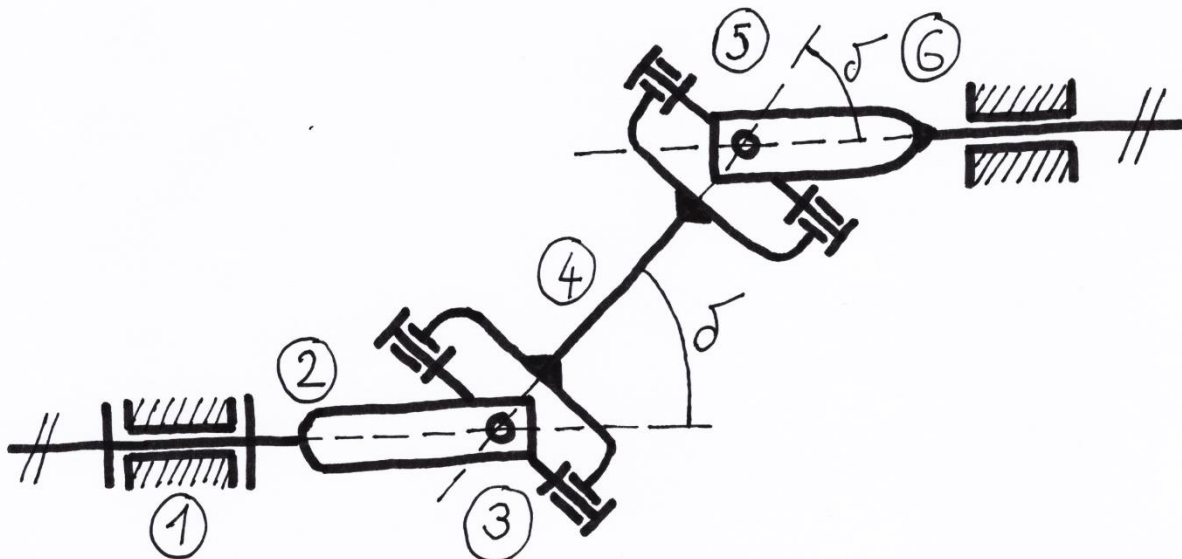
To je také důvodem, proč jsou klouby hřídelů často navrhovány pro maximální úhlové vychýlení 20° . Již při tomto vychýlení působí na vložený hřídel s nerovnoměrným otáčením značné setrvačné účinky, které vycházejí z neustále zrychlujícího a zpomalujícího pohybu

hřídele. Tyto účinky se v rámci sestavy přenášejí na další členy, jako je posuvný člen nebo samotný křížový kloub. [13]

5.2.2 Kinematické řešení Hookova kloubu v uspořádání do Z

Pro umožnění konstantního převodu je zapotřebí zapojit dva klouby za sebou se shodným úhlovým vychýlením δ . Tím se z této sestavy zapojení stává homokinetické spojení kloubovým hřídelem.

Pro tento případ jsou možné dva způsoby uspořádání. Prvním způsobem je uspořádání do Z, kde je možné docílit posunutí os vstupního a výstupního hřídele, při zachování rovnoběžnosti těchto os a otáčení konstantní úhlovou rychlostí.



Obr. 17 Kinematické schéma spojení dvou hřídelů vloženým hřídelem v uspořádání do Z

V tomto charakteristickém uspořádání zobrazeném viz Obr. 17, jsou osy o_{21} a o_{61} rovnoběžné a osa vloženého hřídele o_{41} svírá s těmito osami stejný úhel δ .

Dle vztahů odvozených v předešlé kapitole 5.2.1 bylo dosaženo zdvihové funkce tělesa 4 v implicitním tvaru vůči tělesu 2.

$$\operatorname{tg} \psi_4 = \operatorname{tg} \varphi_2 \cos \delta \quad (16)$$

Ze symetrie, která platí pro homokinetická uspořádání lze odvodit zdvihovou funkci tělesa 4 v implicitním tvaru vůči tělesu 6.

$$\operatorname{tg} \psi_4 = \operatorname{tg} \varphi_6 \cos \delta \quad (17)$$

Pomocí úpravy soustavy dvou rovnic (16) a (17) dále vyplývají následující vztahy.

$$\varphi_2 = \varphi_6 \quad (18)$$

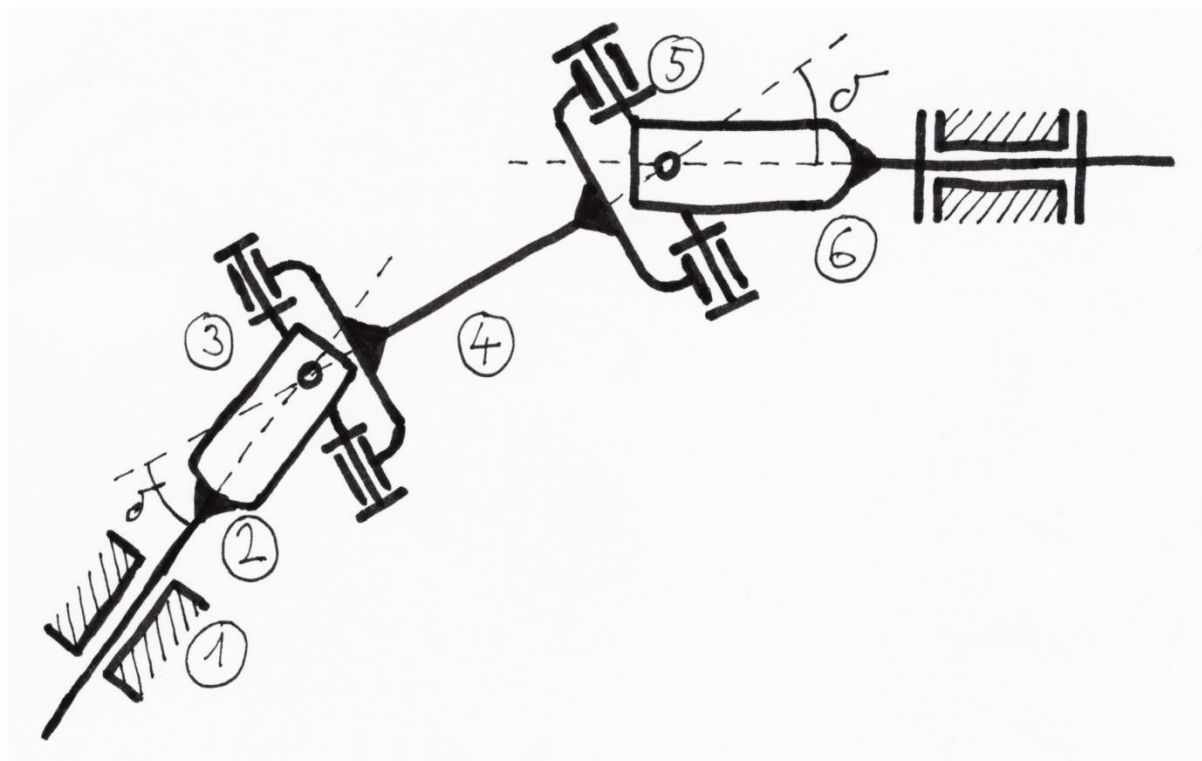
$$\omega_{21} = \omega_{61} \quad (19)$$

Ze vztahu (19) vyplývá, že úhlové rychlosti na vstupní a výstupní hřídeli jsou shodné a konstantní, což je odpovídající charakteristikou pro spojení hřídelí pomocí homokinetického kloubu, jehož převodem je právě konstanta.

Hřídele 2 a 6 se otáčí konstantní úhlovou rychlostí. Vložená hřídel 4 se otáčí nerovnoměrně. Nerovnoměrnost chodu je tím tedy zcela odstraněna. Toto spojení může být aplikováno v rozmezí úhlového vychýlení stanoveného výrobcem daného hřídele při dodržení předepsaných maximálních dovolených zatížení. [13]

5.2.3 Kinematické řešení Hookova kloubu v uspořádání do V

Druhým způsobem uspořádání dané přenosové sestavy o dvou křížových kloubech, které má za úkol umožnění konstantního převodu, je uspořádání do V. Zde je oproti předešlému způsobu řešení v kapitole 5.2.2 docíleno velkého celkového úhlového vychýlení os obou výstupních hřídelů, při zachování otáčení konstantní úhlovou rychlostí těchto hřídelů.



Obr. 18 Kinematické schéma spojení dvou hřídelů vloženým hřídelem v uspořádání do V

Při uspořádání do V, jehož kinematické schéma je zobrazeno na Obr. 18, je osa hnacího hřídele o_{21} vychýlena o úhel δ od osy vloženého hřídele o_{41} a osa hnaného hřídele o_{61} je vychýlena od osy vloženého spojovacího hřídele o_{41} o stejný úhel δ .

Celkové vychýlení osy hnacího hřídele o_{21} a osy hnaného hřídele o_{61} je o úhel 2δ , čímž je zajištěn konstantní a shodný průběh otáčení vstupního a výstupního hřídele.

Tento průběh je popsán pomocí ekvivalentních vztahů ke vztahům z předešlé kapitoly 5.2.2, kde je popsána zdvihová funkce tělesa 4 v implicitním tvaru vůči uvažovanému tělesu 6. Tato zdvihová funkce je popsána rovnicí (17). Následují úpravy pomocí soustavy dvou rovnic, tedy

první rovnice (17) a druhé dříve odvozené rovnice (16), které vedou k výsledným vztahům, udávajícím výslednou charakteristiku tohoto spojení.

Podle výsledného vztahu (19) platí, že úhlová rychlost na vstupním hřídeli je shodná s úhlovou rychlostí na výstupním hřídeli při zachování konstantního průběhu.

Nerovnoměrnost chodu hřídele 2 a 6 je tím tedy zcela odstraněna a oba se tak otáčejí konstantní úhlovou rychlostí, ovšem nerovnoměrnost chodu vložené hřídele 4 zůstává zachována. Jelikož se ovšem jedná pouze o vloženou hřídel, není tak tato nerovnoměrnost škodlivá vůči dalším navazujícím prvkům pohonné soustavy daného silničního dopravního prostředku.

6 Poruchy kloubových hřídelů

Kloubové hřídele jsou obecně méně poruchovými součástmi. Jejich životnost často převyšuje životnost samotného technického systému, jehož jsou součástí. Tato vysoká životnost je také jeden ze základních cílů při navrhování takovéto součásti. I přesto ovšem mohou vznikat různé druhy poruch, jejichž vznik je způsoben různými aspekty.

S ohledem na snahu minimalizovat možný vznik poruch je nutné dodržovat servisní intervaly, které jsou předem stanoveny výrobcem takovéto komponenty. Pravidelné servisní kontroly jsou ovšem také stanoveny zákonem, a to zejména u silničních dopravních prostředků, kde musí být po daných časových intervalech prováděny technické kontroly, během které by závada většího charakteru byla odhalena. Dle zákona je zapotřebí u osobních automobilů provádět tuto kontrolu každé dva roky. V případě motocyklů se provádí technická kontrola každé čtyři roky, přičemž se toto nařízení vztahuje i na tříkolky a čtyřkolky.

V případě, že k úplné, či částečné poruše dojde v průběhu užívání vozidla, může docházet v této situaci k nepříznivým jevům, jako jsou například vibrace, se kterými je spojená zvýšená hluchnost soustavy. Pokud by bylo poškození většího rozsahu, mohlo by dojít k úplnému přerušení přenosu výkonu na hnací kola a tím by se vozidlo stalo nepojízdným. Pomocí hlukových a vibračních projevů je ovšem také možné odhalit poruchu v jejím počátečním stádiu a tím tak předejít rozsáhlejší a komplikovanější poruchám celého systému, či vzniku poškození jiných částí vozidla v okolí takového hřídele.

6.1 Poruchy Hookova křížového kloubu

Při spojení hřídelů pomocí Hookova kloubu může docházet k různým poruchám. Jednou z nich je odlupování tenkých vrstev materiálu z oběžné dráhy čepu pro jehlové ložisko. Toto může být způsobeno více důvody. Prvním z nich je nedodržení maximálního možného úhlu vychýlení, což má za následek nadměrné zatěžování samotného kloubu. Dalším důvodem může být přenos většího točivého momentu, než pro který byl kloub navrhnut. I zde je zapotřebí řídit se dle daných parametrů výrobce kloubu.



Obr. 20 Odlupování funkční plochy čepu kříže Hookova kloubu [14]

Další poruchou jsou otěry, škrábance a vrypy na oběžné dráze jehlového ložiska na straně čepu kříže. Zde vypadá nosná plocha kloubu, jako kdyby byla mechanicky oškrábána. Příčiny, které toto mohou způsobovat jsou zejména nedostatečné mazání nebo mazání nesprávným typem maziva, které nebylo výrobcem předepsáno. Zásadní úlohu zde také může sehrát špatná montáž kloubu. Je tedy potřeba zajistit, aby bylo aplikováno správné mazivo, které v průběhu provozu nebude unikat do okolí. Tomu je možné zamezit kontrolou těsnících kroužků a jejich ploch, zda nebyly poškozeny a plní tak naplno svoji funkci.



Obr. 19 Otěry a škrábance funkční plochy čepu kříže Hookova kloubu [14]

Úplná destrukce zlomením kříže Hookova kloubu nastává pouze zřídka. Může k tomu dojít při nesprávné aplikaci nebo také při silném rázovém zatížení. Pokud by se jednalo o rázové zatížení z vnějšího prostředí, jako například zatížení ve formě nějakého nárazu, byl by tento jev často doprovázen plastickou deformací samotného hřídele, jelikož by byl místem účinku tohoto nárazu. Následkem silového přenesení nárazu na samotný kloub skrze hřídel by byl lom této části kloubu.



Obr. 21 Lom kříže Hookova kloubu [14]

6.2 Poruchy homokinetického kuličkového kloubu

Jelikož je tento typ kloubu často využíván pro pohon přední nápravy silničních dopravních prostředků s motorem umístěným také vpředu, znamená to tedy, že je tento kloub umístěn na velmi namáhaném místě. Proto je zapotřebí zajistit, aby byl neustále v dobrém technickém stavu. Při dodržení intervalů údržby se jedná o velice spolehlivou komponentu, avšak má i svá slabá místa.

Takovým slabým místem je zejména prachovka, která je neustále namáhána při každém otočení hřídele. Z tohoto důvodu se často uvádí potřebný interval pro její výměnu. V případě nedodržení tohoto intervalu může být příčinou poruch celého kloubu. Prachovka v místech častého ohybu začne praskat a tím nadále neudrží oblast kloubu uzavřenou od okolního prostředí.



Obr. 23 Porušená prachovka kloubu s únikem maziva [15]

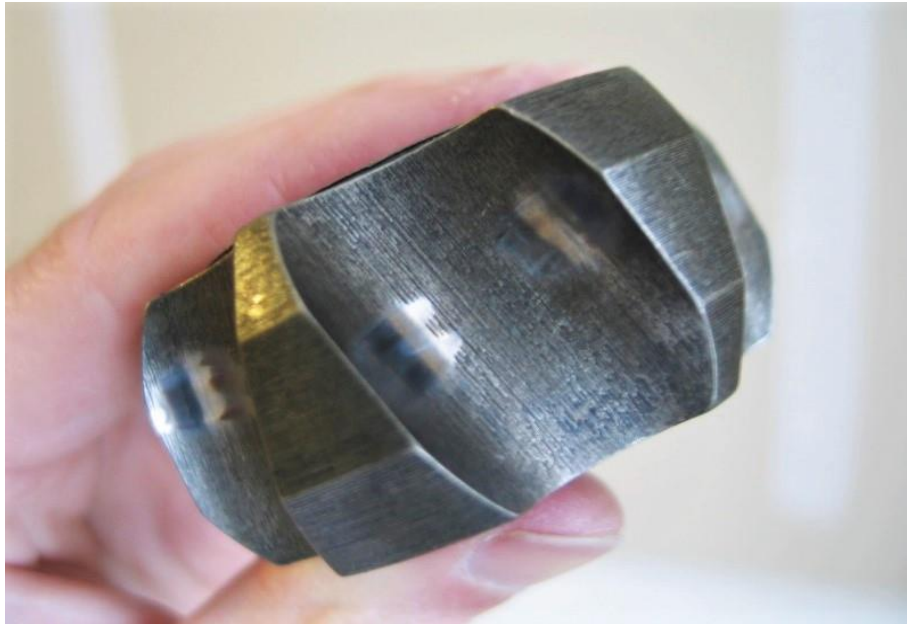
Vlivem silových účinků začne prasklinou v prachovce unikat mazivo z kloubu ven a dochází tak k nedostatečnému mazání. Zároveň se také mohou nečistoty z okolního prostředí dostat do pracovního prostoru kloubu. Prach, malé kamínky a jiné nečistoty se promísí s původním zbytkovým mazivem kloubu a dostanou se tak až k funkčním plochám a kuličkám kloubu. Tím tak dochází k obrušování a odírání jednotlivých ploch kloubu.



Obr. 22 Opotřebení na straně vnějšího kroužku homokinetického kloubu [16]

V případě, že je zařízení i přes tuto poruchu dále používáno, jsou funkční plochy vnějšího i vnitřního kroužku nadále obrušovány pomocí nečistot a již narušené plochy tak nadále ztrácejí své vlastnosti a dochází ke stále urychlujícímu se zhoršování funkce daného kloubu.

Charakteristickým projevem jsou pak zvýšené vibrace při větších úhlových vychýleních a také hluk, který je podobný cinkání nebo přeskokování. Tento problém tak může v krajním případě dosáhnout až takové míry, kdy dojde k úplnému zničení daného kloubu a tím odstavení zařízení z provozu.



Obr. 24 Opotřebení na straně vnitřního kroužku homokinetického kloubu [16]

Pokud by byl problém s tvořením trhliny v prachovce odhalen již na počátku, stačilo by tuto část pouze vyměnit za novou a doplnit část uniklého maziva a maziva, které by zůstalo v oblasti staré prachovky. V případě pozdějšího řešení problému s počínajícím malým množstvím nečistot by stále bylo možné z kloubu odstranit znečištěné mazivo a části kloubu důkladně vyčistit od jeho zbytků a zkontrolovat, zda nebyly již narušeny funkční plochy. Poté by bylo možné do kloubu znovu aplikovat mazivo a s novou prachovkou ho znovu uvést do provozu. Tím by bylo možné kloub dále provozovat bez jakýchkoliv známek narušení a jeho životnost by tím nijak zásadně zkrácena nebyla.

7 Konstrukční návrh kloubového hřídele

Pro potřebu konstrukčního návrhu kloubového hřídele je zvolen hřídel, obsahující dva křížové klouby a posouvající člen pro možnost axiálního posunutí mezi spojovanými členy.

Úhel vychýlení jednotlivých křížových kloubů je stanoven na 20° , což je v praxi standardně užívaná hodnota a je nejčastější pro podobné rozměrové řady hřídelů, jako je tento navrhovaný hřídel. Točivý moment, kterým může být hřídel dlouhodobě zatěžován v průběhu jeho provozu, je stanoven na $4100 [Nm]$.

Vstupní a výstupní vidlice kloubů navrhovaného hřídele je opatřena přírubou pro usazení a montáž hřídele na danou pozici, kde bude následně provozován. Příruba je opatřena dírami o průměru deset milimetrů pro spojení pomocí šroubů.

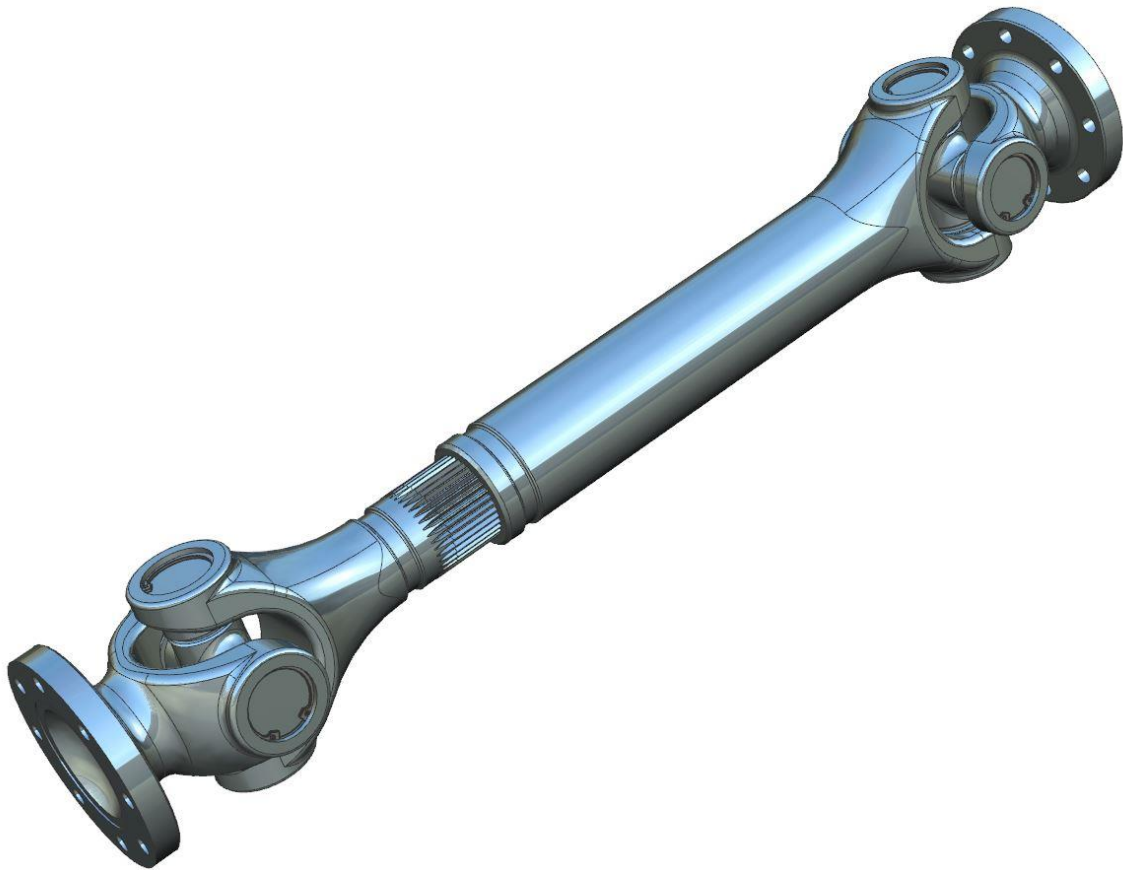


Obr. 25 Vidlice kloubu s přírubou

Pro posouvající člen je zvoleno jemné drážkování 50 dle normy ČSN 01 4933.0. To zajišťuje hladký chod axiálního posunutí a spolehlivý přenos točivého momentu mezi oběma částmi hřídele.

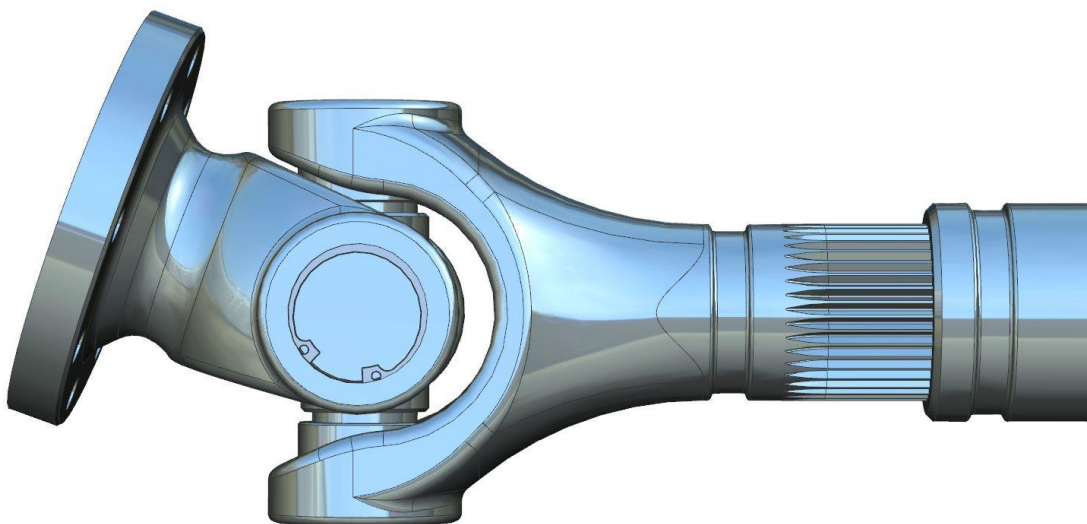
Celková délka kloubového hřídele, která je měřena mezi dosedacími plochami obou přírub, je v závislosti na velikosti axiálního posunutí uvažována 650 – 710 [mm]. Tím je umožněna výchylka 60 [mm], o kterou může být navrhovaný hřídel prodloužen ze své počáteční polohy 650 [mm].

Jelikož je uvažován provoz v čistém a uzavřeném prostředí, tak není za automatickou součást sestavy považována prachovka. Ovšem pro možnost aplikace této navrhované sestavy v otevřeném prašném prostředí jsou předem navrženy uchycující drážky pro prachovku, která do nich dosedá. Ta je také v místě těchto drážek pevně sevřena svěrnými sponami, které brání prachovce samovolnému posuvu při provozu.



Obr. 26 Sestava navrženého kloubového hřídele s posuvným členem

Pro tento hrubý návrh kloubového hřídele je postačující výpočet zatížení v posuvném členu, jelikož se jedná o nejvíce namáhanou a zatěžovanou část z celé této sestavy. Samotné křížové klouby jsou navrženy dostatečně naddimenzované, aby překonaly i případné krátkodobé přetížení celé této sestavy.



Obr. 27 Hřídelový kloub při maximální úhlové výchylce 20°

Kontrola posuvného členu je provedena pomocí výpočtu pro spoj jemným drážkováním. Tím je kontrolován tlak v celkové stykové ploše drážkování. Tento vypočtený tlak p musí být menší nebo roven dovolenému tlaku p_D , který je pro toto použití dle vybraného materiálu stanoven na maximální hodnotu $p_D = 30$ [MPa]. Výpočet tlaku vychází z obecně známého vzorce, kde F značí aplikovanou sílu, která vychází z točivého momentu M_t a S značí celkovou účinnou plochu drážkování, na kterou tato síla působí. V průběhu výpočtu je tedy vycházeno z těchto znalostí a následujícího porovnání.

$$p \leq p_D \quad (20)$$

$$p = \frac{F}{S} \quad (21)$$

Jelikož točivý moment je počítán, jako síla působící na rameni, tak pro získání síly je zapotřebí daný točivý moment M_t podělit střední délkou tohoto ramene r_s , která má stejnou velikost, jako polovina středního průměru D_s , na kterém tato síla působí.

$$F = \frac{M_t}{r_s} = \frac{2 \cdot M_t}{D_s} \quad (22)$$

Střední průměr D_s je vypočítán, jako polovina součtu velkého aktivního průměru D_{a1} a malého aktivního průměru D_{a2} .

$$D_s = \frac{D_{a1} + D_{a2}}{2} \quad (23)$$

Po dosazení vztahu (23) do rovnice (22) je dosaženo následujícího vyjádření velikosti síly.

$$F = \frac{4 \cdot M_t}{D_{a1} + D_{a2}} \quad (24)$$

Dále je zapotřebí následujícím vzorcem vyjádřit celkovou účinnou plochu S , na kterou působí síla ze vztahu (24).

$$S = \frac{1}{2} \cdot (D_{a1} - D_{a2}) \cdot l \cdot z \cdot \psi \quad (25)$$

Výška účinné dotykové plochy jedné drážky je dána vztahem $\frac{1}{2} \cdot (D_{a1} - D_{a2})$, kde D_{a1} značí velký aktivní průměr a D_{a2} značí malý aktivní průměr. Dále l značí délku jedné drážky a z označuje celkový počet drážek. Je také důležité uvažovat bezpečnost z důvodu nepřesností výroby, jelikož všechny drážky nemusí být při zatížení současně v dotyku. Tato bezpečnost je označena ψ a její standardní hodnota je $\psi = 0,7$.

Z dosazení vztahu (24) pro působící sílu a vztahu (25) pro celkovou účinnou plochu do úvodní rovnice (21) vzniká následující rovnice.

$$p = \frac{8 \cdot M_t}{(D_{a1} + D_{a2}) \cdot (D_{a1} - D_{a2}) \cdot l \cdot z \cdot \psi} \quad (26)$$

Rovnice (26) je následně upravena do konečného tvaru pomocí použití algebraického vzorce pro druhé mocniny $a^2 - b^2 = (a + b) \cdot (a - b)$.

$$p = \frac{8 \cdot M_t}{(D_{a1}^2 - D_{a2}^2) \cdot l \cdot z \cdot \psi} \leq p_D \quad (27)$$

Do získaného vzorce (27) pro tlak na plochu drážkování jsou dosazeny požadované hodnoty pro navrhované drážkování.

$$p = \frac{8 \cdot 4100}{(50^2 - 45^2) \cdot 0,16 \cdot 39 \cdot 0,7} \leq p_D \quad (28)$$

$$p = 15,8 \text{ [MPa]} \leq p_D \quad (29)$$

Výsledná hodnota tlaku je menší než maximální dovolená hodnota tlaku z čeho lze usoudit, že navrhované jemné drážkování na posuvném členu kloubového hřídele je pro pracovní zatížení točivým momentem stanovené velikosti vyhovující. [17]

8 Závěr

Na počátku práce je uváděna teorie pro různá uplatnění spojování kloubovými hřídeli, která je potřebná pro snadnější porozumění danému tématu a tím je tak umožněno zabývat se v následujících kapitolách hlubším poznáním a řešením daných problémů, které tyto teoretické znalosti vyžadují.

V souvislosti s využíváním kloubových hřídelů pro přenos točivého momentu, a tedy výkonu na hnací kola u silničních dopravních prostředků, je uvedeno názorné schéma. Toto schéma zobrazuje obecnou možnost zapojení od pohonné jednotky přes převodovku a rozvodovku, až na hnací kola. Z tohoto schématu lze nadále vycházet při řešení konkrétního přenosu točivého momentu u různých druhů dopravních prostředků, jako je například automobil nebo motocykl.

Práce postupně shrnuje různé druhy konstrukčních řešení hřídelových kloubů a jejich možné uplatnění. Pomocí příkladových obrázků je popsáno, z jakých částí se jednotlivé klouby skládají. Je tak možné snáze vysvětlit jejich vlastnosti a způsob, jakým se klouby pohybují, což nadále určuje vhodnost jednotlivých řešení pro následné možnosti aplikace.

Dále je v práci postupně shrnuta problematika ochrany vůči nežádoucím vlivům z vnějšího prostředí, které je často prašné a plné nečistot. Zde se práce zabývá především otázkou ochrany kloubů a posuvného členu, buď pomocí prachovek, které tyto části zcela zakrývají nebo řešením pomocí těsnících a tvarových kroužků, které mohou být navrženy místo ochrany prachovkami používanými často v oblasti posuvného členu.

Důležitá je také aplikace maziv u pohyblivých částí kloubů a také v místě posuvného členu. To zajišťuje plynulý chod a minimalizuje ztráty třením. Ochrana ploch, které nejsou v přímém kontaktu s pohyblivými díly, je také z dlouhodobého hlediska potřebná. Povrchové úpravy, jako je pokovení nebo lakování, zabraňují vzniku koroze na plochách, které jsou vystaveny nežádoucím vnějším vlivům prostředí a tím tak prodlužují životnost sestavy a jako benefit navíc zlepšují vzhled.

Následuje kapitola zabývající se podrobněji kinematikou křížového kloubu. Pro možnost správné aplikace kloubových hřídelů, které obsahují tento druh kloubu, je důležité být

seznámen s charakteristikou nerovnoměrného průběhu otáčení výstupního hřídele. Křížový kloub při úhlovém vychýlení dává nekonztantní převod. Dále je zde také zobrazen graf, který vychází z odvozených funkčních předpisů a znázorňuje průběh otáčení výstupního hřídele při různých úhlových vychýleních.

Tato práce se zároveň zabývá možností vyrušení nerovnoměrnosti chodu pomocí připojení vloženého hřídele a dalšího kloubu. Jsou zde také vysvětleny a popsány hlavní uspořádání, které umožňují zajistit rovnoměrný chod na výstupním hřídeli. Těmi jsou uspořádání do Z a uspořádání do V.

Neoddělitelnou součástí každého technického systému jsou také poruchy. Při správném analyzování příčin těchto poruch je možné jim předcházet. Proto jsou zde uvedeny nejčastější poruchy a jejich příčiny, které se mohou vyskytovat u křížových, ale také u homokinetických kloubů, ať už z důvodu zanedbané údržby nebo třeba nějakého nenadálého nárazu.

Závěrečnou kapitolou je konstrukční návrh kloubového hřídele, který obsahuje dva křížové klouby a posuvný člen. Klouby mají maximální stanovený úhel vychýlení 20° a posuvný člen vyrovnává posunutí až $60 [mm]$. Hřídel je upevněn na obou stranách ke spojovaným částem pomocí příruby se šrouby. Pro možnost provozu hřídele v prašném prostředí jsou připraveny drážky pro ukotvení prachovky pomocí svěrných spon pro ochranu posuvného členu.

Seznam použitých zdrojů

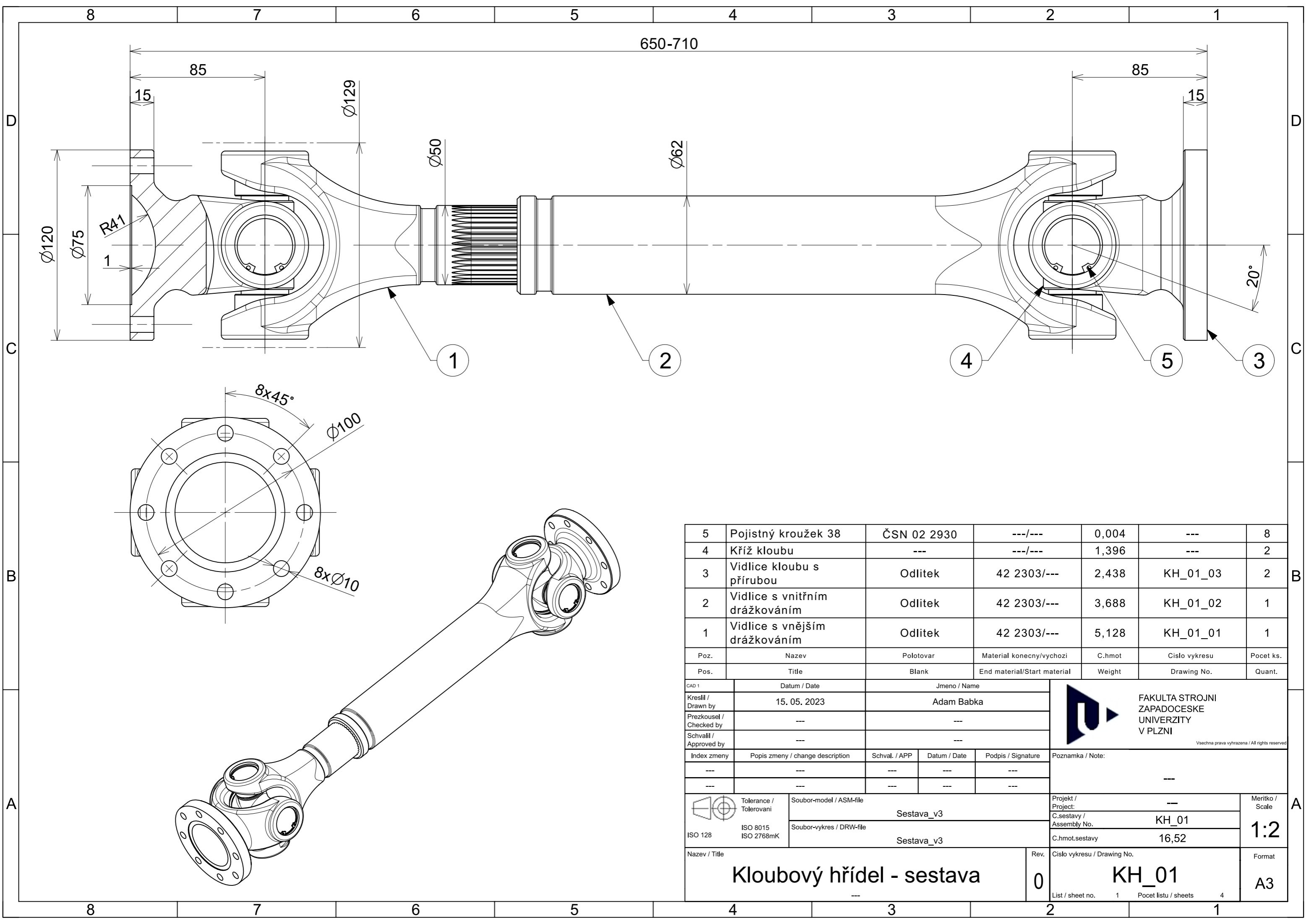
- [1] *Haberkorn: Klouby, kloubové hřídele, kardany* [online]. 2023 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.haberkorn.cz/klouby-kloubove-hridele-kardany/>
- [2] *GMB: Universal Joint* [online]. 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.gmb.jp/en/product/driveline/universal_joint.html
- [3] *GKN Automotive: Sideshaft systems* [online]. Birmingham, 2019 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.gknautomotive.com/en/systems-and-solutions/sideshafts-propshafts/sideshafts/>
- [4] In: *Design 911: Centre for Porsche* [online]. 2023 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.design911.co.uk/p/flex-disc--upgraded--for-cardan-drive-shaft-porsche-996-c4-4s-tt-99-05--997-1-c4-4s-05-08--997tt-07/>
- [5] *SlidePlayer* [online]. 2023 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/12802022/>
- [6] *Jimnybits: Driveshafts* [online]. 2023 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.jimnybits.com/sj-transfer-box-to-jimny-hd-high-angle-rear-propshaft-85mm.html>
- [7] *Fort wayne clutch: Dust cap* [online]. 2023 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://fortwayneclutch.com/product/dust-cap-1-5-x-16-spline-threaded-slip-yoke-seal-dust-cap-sku-d3k/>
- [8] *Elkhorn driveshaft company* [online]. 2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.elkhorndriveshaftcompany.com/new-page-1>
- [9] *Tom Wood's: Drive shaft grease* [online]. 2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://4xshaft.com/products/drive-shaft-grease>
- [10] *Haberkorn: Surface refinement* [online]. 2023 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: https://www.haberkorn.cz/en/data/uploads/Download/Katalog/se-klouby_kloubove-hridele/book_en/99/#zoom=z
- [11] *Galvan: Fosfátování* [online]. 2019 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: https://galvan.cz/fosfatovani/?gclid=Cj0KCQjwk7ugBhDIARIsAGuvGpBmG-b_rM-VUqLmhpSEXIwrK8o77niwfpv11PdBrVgBtk3p9VN5SKMaAn2yEALw_wcB
- [12] *Katedra mechaniky a konstrukce: Fakulta technických věd - Novi Sad* [online]. 2023 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <http://mehanizacija.ftn.uns.ac.rs/wp-content/uploads/2021/02/10-KARDANSKI-MEHANIZAM-mehatronika-2019.pdf>
- [13] KŘEN, Jiří. *Řešené příklady z kinematiky: 2. část*. Plzeň: VŠSE, 1986.
- [14] *Machine service, inc.: Typical Universal Joint Kit Failures* [online]. 2023 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.machineservice.com/technical-101/drive-shaft-failure-guides/universal-joint-failure/>
- [15] *Your Mechanic: Why axle seal replacements can be tricky* [online]. 2023 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.yourmechanic.com/article/why-axle-seal-replacements-can-be-tricky-by-marvin-sunderland>

[16] *Pelican parts* [online]. 2005 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z:
<http://forums.pelicanparts.com/porsche-911-technical-forum/642480-cv-joint-wear-pics.html>

[17] HOSNEDL, Stanislav a KRÁTKÝ, Jaroslav. *Příručka strojního inženýra: Obecné strojní části 1*. Praha: Computer Press, 1999. ISBN 80-722-6055-3.

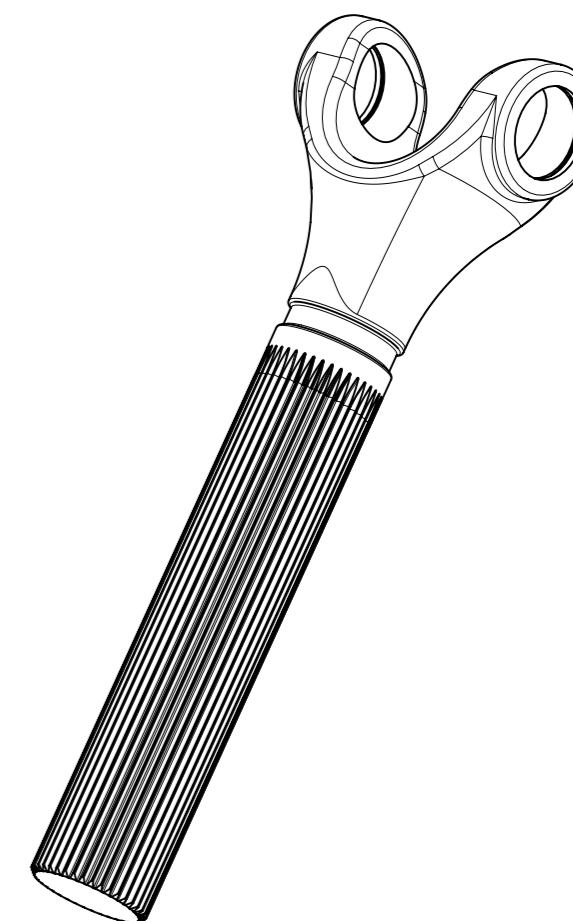
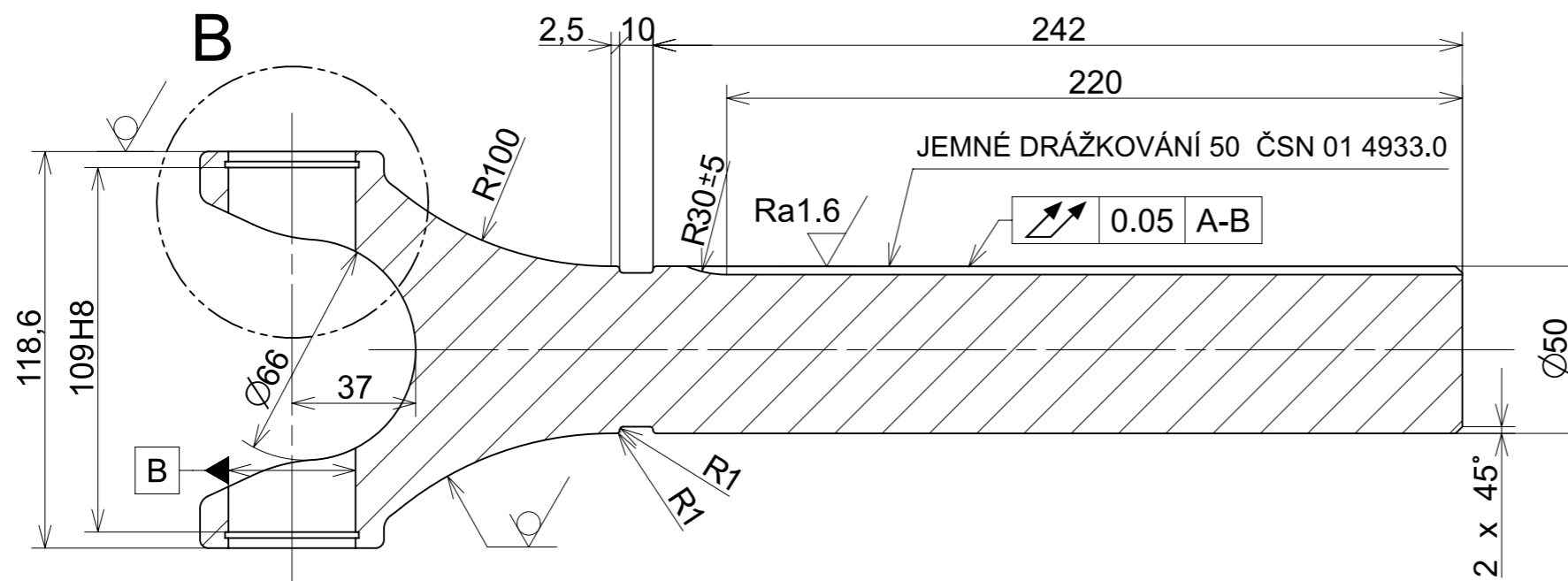
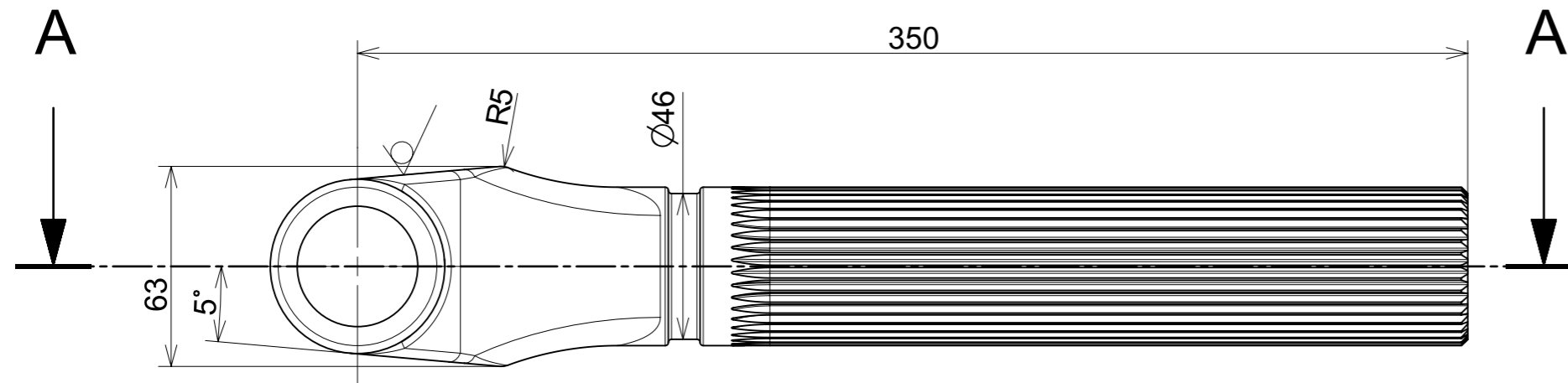
PŘÍLOHA č. 1

Výkresy navrženého kloubového hřídele

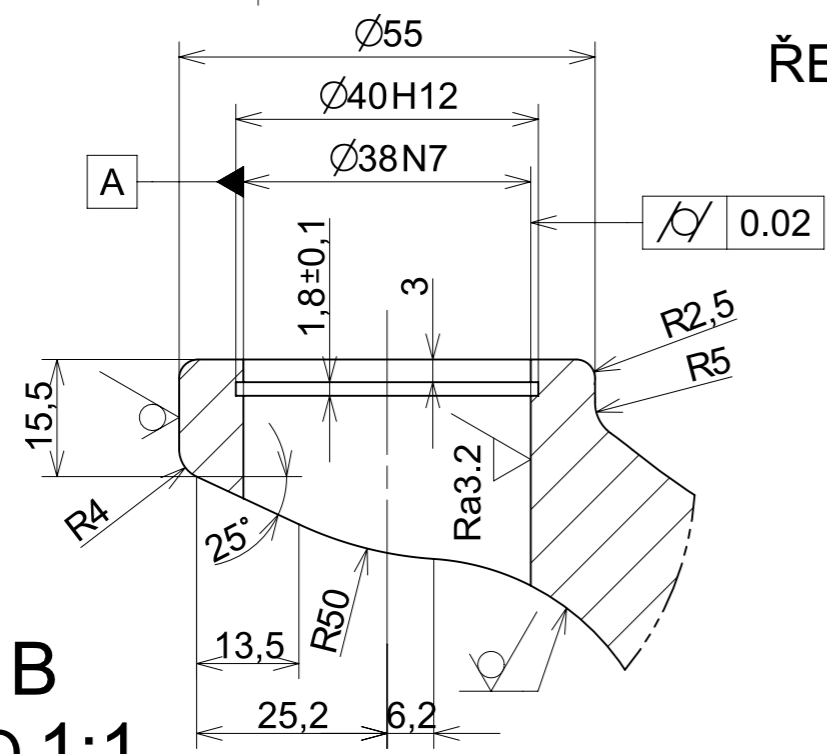


5	Pojistný kroužek 38	ČSN 02 2930	---/---	0,004	---	8
4	Kříž kloubu	---	---/---	1,396	---	2
3	Vidlice kloubu s přírubou	Odlitek	42 2303/---	2,438	KH_01_03	2
2	Vidlice s vnitřním drážkováním	Odlitek	42 2303/---	3,688	KH_01_02	1
1	Vidlice s vnějším drážkováním	Odlitek	42 2303/---	5,128	KH_01_01	1
Poz.	Nazev	Polotovar	Material konecny/vychozi	C.hmot	Cislo vykresu	Pocet ks.
Pos.	Title	Blank	End material/Start material	Weight	Drawing No.	Quant.

CAD 1		Datum / Date		Jmeno / Name		 FAKULTA STROJNI ZAPADOCESTKE UNIVERZITY V PLZNI <small>Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved</small>
Kreslil / Drawn by		15. 05. 2023		Adam Babka		
Prezkoušel / Checked by		---		---		
Schválil / Approved by		---		---		
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:	
---	---	---	---	---	---	
---	---	---	---	---	---	
 Tolerance / Tolerovani ISO 128 ISO 8015 ISO 2768mK		Soubor-model / ASM-file		Projekt / Project:		Meritko / Scale
		Sestava_v3		---		
		Soubor-vykres / DRW-file		C.sestavy / Assembly No.		1:2
		Sestava_v3		KH_01		
				C.hmot.sestavy		16,52
Nazev / Title				Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.	
Kloubový hřídel - sestava				0	KH_01	
				List / sheet no.	Pocet listu / sheets	
				1	4	
				Format	A3	

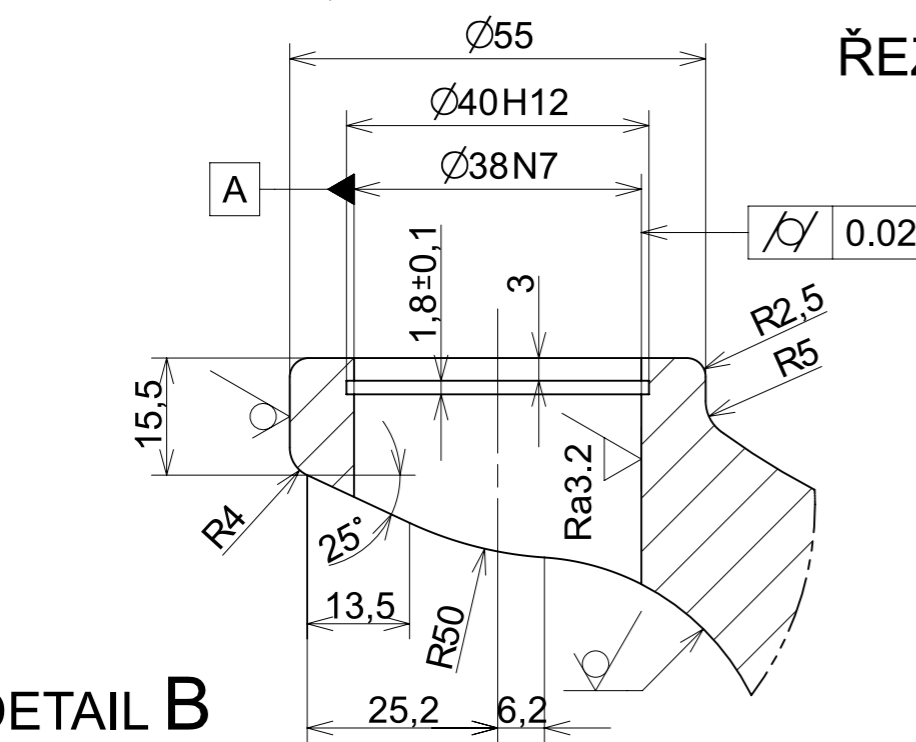
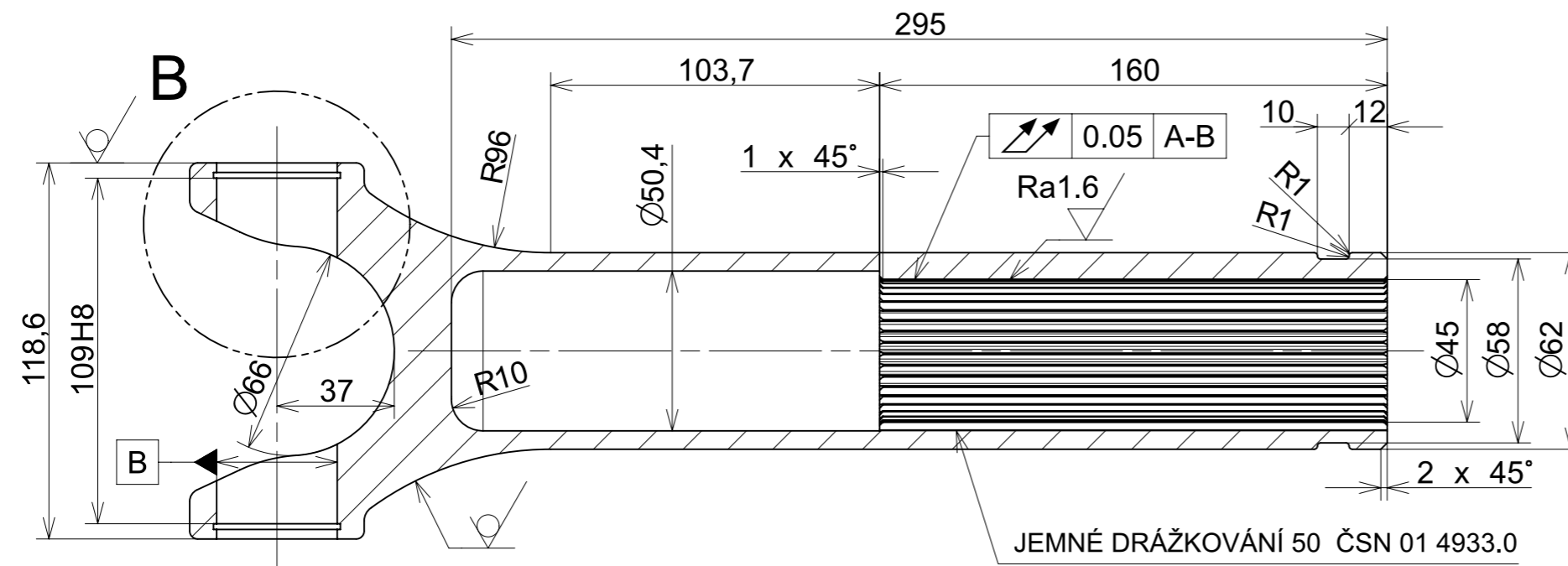
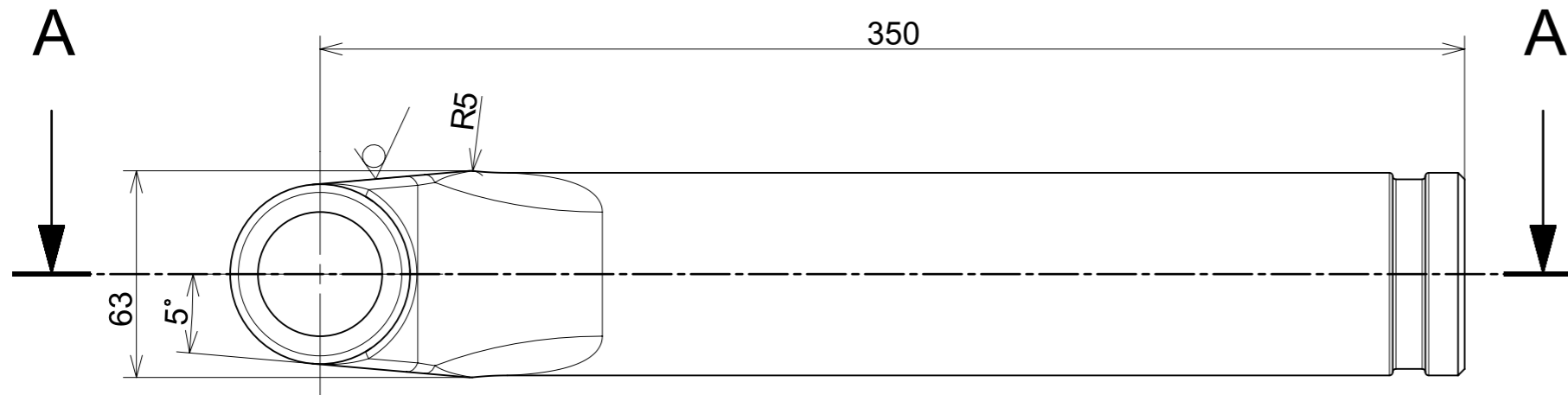


ŘEZ A-A



DETAIL B
MĚŘÍTKO 1:1

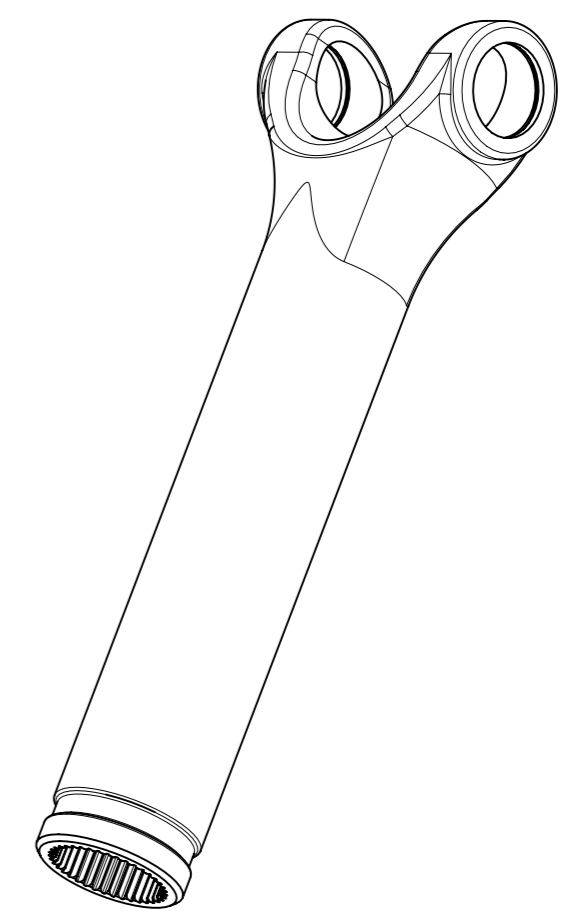
1	Vidlice s vnějším drážkováním	Odlitek	42 2303	---	5,128	---	KH_01	1
Poz.	Nazev	Polotovar	Material konecny/vychozi	T.O.	C.hmot.	H.hmot	Cislo vykresu sestavy	Pocet ks.
Pos.	Title	Blank	End material/Start material	C.W.	Weight	R.weig.	Assembly drawing no.	Quant.
CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name		 FAKULTA STROJNI ZAPADOCESKE UNIVERZITY V PLZNI <small>Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved</small>				
Kresil / Drawn by	07. 05. 2023	Adam Babka						
Prezkoušel / Checked by	---	---						
Schválil / Approved by	---	---						
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:			
---	---	---	---	---	---			
---	---	---	---	---	---			
ISO 128	Tolerance / Tolerovani	Soubor-model / ASM-file		Projekt / Project:	---			Meritko / Scale
ISO 8015 ISO 2768mK	0.02	Vidlice_a_hridel_v3		C.sestavy / Assembly No.	KH_01			1:2
Nazev / Title	Soubor-vykres / DRW-file			Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.			Format
Vidlice s vnějším drážkováním	Vidlice_a_hridel_v3			0	KH_01_01			A3
---	---			---	List / sheet no.	2	Pocet listu / sheets	4



ŘEZ A-A

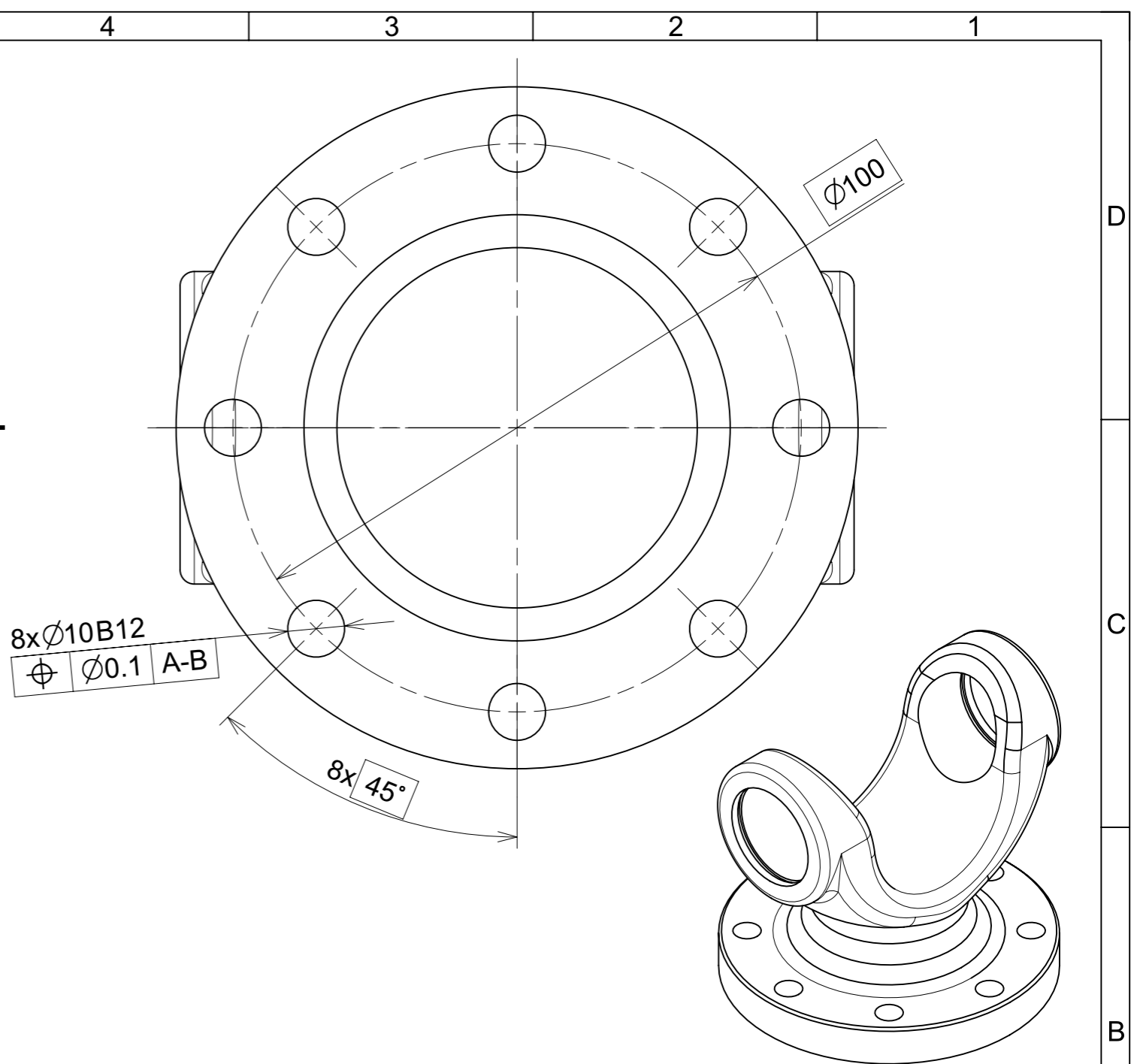
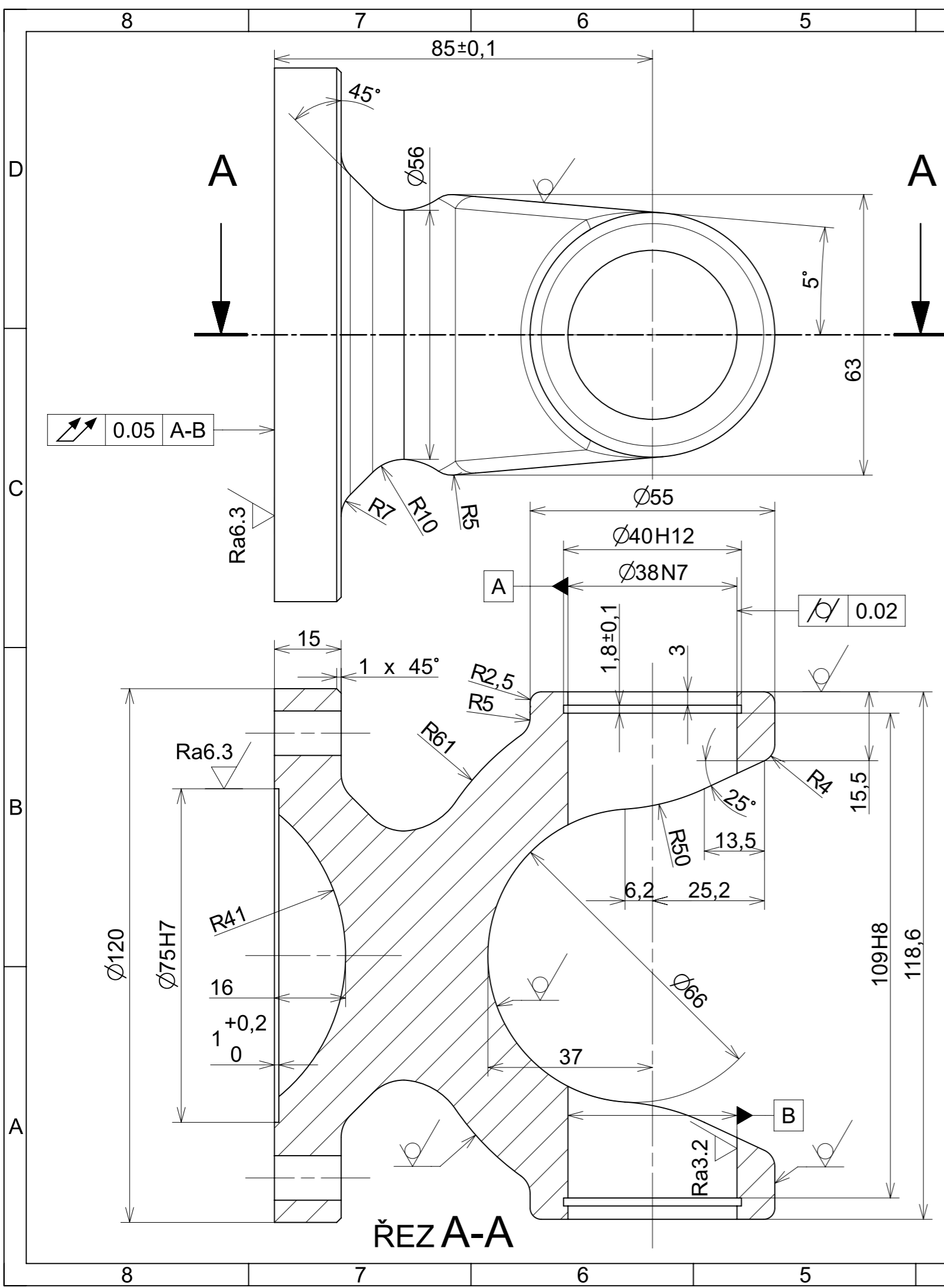
DETAIL B
MĚŘÍTKO 1:1



JEMNÉ DRÁŽKOVÁNÍ 50 ČSN 01 4933.0



2	Vidlice s vnitřním drážkováním	Odlitek	42 2303	---	3,688	---	KH_01	1
Poz.	Nazev	Polotovar	Material konecny/vychozi	T.O.	C.hmot.	H.hmot	Cislo vykresu sestavy	Pocet ks.
Pos.	Title	Blank	End material/Start material	C.W.	Weight	R.weig.	Assembly drawing no.	Quant.
CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name						
Kresil / Drawn by	08. 05. 2023	Adam Babka						
Prezkoušel / Checked by	---	---						
Schválil / Approved by	---	---						
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:			
---	---	---	---	---	---			
---	---	---	---	---	---			
ISO 128	Tolerance / Tolerovani ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file Vidlice_a_trubka_v3		Projekt / Project:	---			Meritko / Scale
		Soubor-vykres / DRW-file Vidlice_a_trubka_v3		C.sestavy / Assembly No.	KH_01			1:2
Nazev / Title				Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.			Format
Vidlice s vnitřním drážkováním				0	KH_01_02			A3
				List / sheet no.	3	Pocet listu / sheets	4	





3	Vidlice kloubu s přírubou	Odlitek	42 2303	---	2,438	---	KH_01	2
Poz.	Nazev	Polotovar	Material konecny/vychozi	T.O.	C.hmot.	H.hmot	Cislo vykresu sestavy	Pocet ks.
Pos.	Title	Blank	End material/Start material	C.W.	Weight	R.weig.	Assembly drawing no.	Quant.
CAD 1		Datum / Date		Jmeno / Name		 FAKULTA STROJNI ZAPADOCESKE UNIVERZITY V PLZNI <small>Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved</small>		
Kreslil / Drawn by		09. 05. 2023		Adam Babka				
Prezkoušel / Checked by		---		---				
Schválil / Approved by		---		---				
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:			
---	---	---	---	---	---			
---	---	---	---	---	---			
 Tolerance / Tolerovani ISO 128 ISO 8015 ISO 2768mK		Soubor-model / ASM-file Vidlice_s_pribou2		Soubor-vykres / DRW-file Vidlice_s_pribou2		Projekt / Project: ---		Meritko / Scale 1:1
Nazev / Title Vidlice kloubu s přírubou				Rev. 0	Cislo vykresu / Drawing No. KH_01_03			Format A3
---				List / sheet no.	4	Pocet listu / sheets	4	