



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

NÁVRH SPOJENÍ TŘECÍ PODLOŽKY A VNĚJŠÍHO KROUŽKU SPOJKOVÉHO LOŽISKA

DESIGN OF THE CONNECTION OF THE FRICTION PAD AND THE OUTER RING OF THE CLUTCH BEARING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Alexandr Kopytko

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Řehák, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Bc. Alexandr Kopytko**
Studijní program: Automobilní a dopravní inženýrství
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Řehák, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24

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

Návrh spojení třecí podložky a vnějšího kroužku spojivého ložiska

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V důsledku snižování výrobních nákladů je snahou využívat různých materiálů, zejména plastů. Spojení s kovovým materiálem může představovat kritické místo a to zejména při těžkých provozních podmínkách.

Cíle diplomové práce:

Provedení rešerše v dané oblasti.
Analýza možností spojování plastových a kovových komponentů.
Konceptní návrh řešení.
Výběr nejvhodnějšího řešení.
Detailní návrh jednotlivých komponentů.
Návrh vyrobiteľnosti a montážního postupu.
Pevnostní kontrola spoje.

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, MISCHKE, Charles R. a BUDYNAS, Richard G. (ed.). Konstruování strojních součástí. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUUM, 2010. 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

BUDYNAS, Richard G., NISBETT, J. Keith a SHIGLEY, Joseph Edward. Shigley's mechanical engineering design. 10th edition. New York, NY: McGraw-Hill Education, 2015. 1104 s. ISBN 0073398209.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24.

V Brně, dne

L. S.

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

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zaměřuje na konstrukční návrh spojení třecí podložky s vnějším kroužkem vypínacího spojkového ložiska. Při montáži třecí podložky dochází k občasnému poškození, což vede ke znehodnocení materiálu a způsobuje výrobní prodlevy. Vzhledem k široké nabídce polyamidů používaných v automobilovém průmyslu zahrnuje řešerše přehled těchto materiálů, jejich modifikace a metody spojování plastu s kovem. Třecí podložka představuje další krok ve zdokonalení spojkového mechanismu, proto řešerše pojednává také o jednodotoučové třecí spojce a jejím vývoji. Spojení třecí podložky s ložiskem je v této práci realizováno pomocí klipů, které zajišťují pevné mechanické spojení. Pro analýzu bylo využito metody konečných prvků (MKP) v programu Ansys Workbench s využitím 3D geometrie z programu Creo Parametric. Na základě deformačně-napět'ové analýzy byly navrženy konstrukční modifikace klipového spoje. Výsledkem práce jsou dva nové modely třecí podložky a jejich modifikace, přičemž rozměry klipů se pohybují na hranici vyrobiteľnosti. Závěrem práce je srovnání nově vzniklých modelů s komerčně dostupným návrhem, návrh vyrobiteľnosti a montážního postupu. Tento komplexní přístup zajišťuje, že nové konstrukční řešení je nejen technicky proveditelné, ale také může být ekonomicky výhodné a prakticky aplikovatelné v průmyslové výrobě.

KLÍČOVÁ SLOVA

třecí podložka, vypínací spojkové ložisko, převodová ústrojí, metoda konečných prvků, deformačně-napět'ová analýza, spojení plast-kov

ABSTRACT

This thesis focuses on the design of the connection between the friction pad and the outer ring of the clutch release bearing. During the assembly of the friction pad, occasional damage occurs, leading to material degradation and production delays. Given the wide range of polyamides used in this application, the research includes an overview of these materials, their modifications, and methods for joining plastic with metal. The friction pad represents a further step in the improvement of the clutch mechanism; thus, the research also covers the single-plate friction clutch and its development. The connection between the friction pad and the bearing is implemented using clips that ensure a firm mechanical bond. The analysis employs the finite element method (FEM) in Ansys Workbench, utilizing 3D geometry from Creo Parametric. Based on the stress-strain analysis, design modifications of the clip connection were proposed. The outcome of the thesis includes two new models of the friction pad and their modifications, with clip dimensions approaching the manufacturability limits. The conclusion of the thesis compares the newly developed models with the commercially available design, proposing manufacturability and assembly procedures. This comprehensive approach ensures that the new design solution is not only technically feasible but also can be economically viable and practically applicable in industrial production.

KEYWORDS

friction pad, clutch release bearing, powertrain, finite element method, stress-strain analysis, plastic-metal connection

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOPYTKO, Alexandr. Návrh spojení třecí podložky a vnějšího kroužku spojivého ložiska [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/154080>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Kamil Řehák.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 10. května 2024

.....

Alexandr Kopytko

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Kamilovi Řehákovi, Ph.D. za cenné rady a odbornou pomoc, bez které by tato práce nevznikla.

Taktéž děkuji mé rodině a blízkým za trpělivost a podporu během studia, díky které jsem neztratil motivaci dovést práci do konce.

OBSAH

Úvod.....	12
1 Plasty	13
1.1 Alifatické polyamidy.....	13
1.1.1 Modifikace	14
1.2 Pryže.....	16
1.2.1 Rozdělení	17
2 Výroba plastových dílů	18
2.1 Vstřikování – injection molding	18
3 Spoje	22
3.1 Klipový spoj.....	22
3.2 Lepený spoj.....	23
3.3 Nýtování.....	23
3.4 Samořezné šrouby	24
3.5 Svařování plastu s kovem	25
4 Spojky.....	26
4.1 Druhy rozjezdových spojek	26
4.2 Jednokotoučová třecí suchá spojka	27
4.2.1 Ovládací pružina	28
4.2.2 Vypínací ložisko	30
4.2.3 Spojkové kotouče.....	31
4.2.4 Setrvačnick.....	32
4.2.5 Aktivace / deaktivace	34
4.2.6 Ovládací okruhy.....	36
4.2.7 Třecí podložka.....	37
5 Návrh spojení třecí podložky	38
5.1 Koncepční návrhy	38
5.1.1 Návrh 1.....	38
5.1.2 Návrh 2.....	39
5.1.3 Návrh 3.....	40
5.2 Výběr nejvhodnějšího řešení.....	41
5.3 Optimalizace	43
5.3.1 Výpočtový model.....	44
5.3.2 Komerčně dostupný model	45
5.3.3 Návrh 1.....	46
5.3.4 Návrh 2.....	49
5.4 Vyhodnocení	51
5.5 Vyrobitelnost.....	51
5.6 Montážní postup.....	55

Závěr	56
Použité informační zdroje.....	58
Seznam použitých zkratek a symbolů.....	61

ÚVOD

V moderním automobilovém průmyslu jsou plasty stále více považovány za nedílnou součást konstrukce vozidel. Jejich význam spočívá nejen ve snaze o snížení celkové hmotnosti vozidel, ale také ve zlepšení jejich výkonu a efektivity. Díky své lehkosti, pevnosti a odolnosti vůči korozním činidlům poskytují plasty konstruktérům automobilů široké spektrum možností při tvorbě částí s optimálními vlastnostmi pro různé aplikace. Snaha o snížení hmotnosti vozidel není jen otázkou ekonomickou, ale také prostřednictvím nižší spotřeby paliva a snížením emisí CO₂ přispívá k ochraně životního prostředí. Důraz na lehčí vozidla může rovněž vést ke zlepšení výkonu, akceleraci a ovladatelnosti, což přináší vyšší bezpečnost a komfort pro cestující. Využití plastů v automobilovém průmyslu není pouze trendem současnosti, ale jde o dlouhodobý vývoj, který ovlivňuje design, výrobu a výkonnost moderních vozidel. Vedle snižování hmotnosti vozidel poskytují plasty také širokou škálu možností pro design a tvarování, což umožňuje inženýrům a designérům vytvářet atraktivní a ergonomické interiéry a exteriéry vozidel, které splňují požadavky moderního trhu a zákazníků.

Metody spojování plastových a kovových prvků v automobilech mají klíčový význam pro zajištění spolehlivosti a trvanlivosti konstrukce. Moderní vozidla kombinují různé materiály, včetně plastů a kovů, a je nezbytné zajistit, aby spoje mezi těmito materiály byly trvanlivé a odolné vůči různým provozním podmínkám. Techniky spojování se stále vyvíjejí a inovují, aby splňovaly požadavky na výkon, spolehlivost a efektivitu. Mechanické spoje, adhezivní spoje a tepelné spoje jsou používány v závislosti na konkrétních požadavcích aplikace a materiálu, který je spojován. Důležitost správného spojení plastových a kovových prvků se projevuje v celé řadě klíčových komponentů vozidel, od karoserie až po pohonné ústrojí, a má vliv na celkovou spolehlivost, bezpečnost a výkon vozidla. Různé techniky spojování mají své výhody a nevýhody a volba správné metody závisí na konkrétních požadavcích aplikace, materiálu a provozních podmínkách.

U novějších vozidel se lze setkat se spojením třecí podložky z plastu s vnějším kroužkem spojového ložiska. Pokud není použita třecí podložka, dochází při kontaktu mezi membránovou pružinou a spojovým ložiskem ke tření, postupnému úbytku materiálu a vzniku koroze. Aby se dalo efektivně využít třecí podložky, je potřeba zajistit její spolehlivé spojení s ložiskem, jinak dojde k poškození třecí podložky během její instalace.

1 PLASTY

Plasty se staly neodmyslitelnou součástí automobilového průmyslu a nahradily mnoho tradičních kovových součástí. I přesto, že plasty tvoří téměř polovinu objemu automobilu, jejich váha je pouze 10 % z celkové hmotnosti automobilu. Využitím plastových komponentů lze dosáhnout úspor finančních prostředků, redukce hmotnosti, zvýšení bezpečnosti a zároveň lze dosáhnout lepších materiálových vlastností. Tyto vlastnosti spočívají zejména v chemické odolnosti a pevnosti plastů, což z nich činí optimální volbu pro konstrukci současných automobilových systémů. Díky plastům lze také dosáhnout vhodnějších a efektivnějších vnějších tvarů vozidla, které by nebylo možné vytvořit z oceli.

1.1 ALIFATICKÉ POLYAMIDY

Pro výrobu plastové podložky spojivového ložiska se osvědčil materiál v podobě alifatických polyamidů, konkrétně polyamidů s označením PA 6, PA 12, PA 66, apod. Tato třída termoplastů vzniká polykondenzací dikarboxylových kyselin a diaminů. Alifatické polyamidy excelují v několika klíčových vlastnostech, jako je vysoká odolnost vůči opotřebení, teplotní stabilita, vynikající mechanické tlumení, chemická odolnost vůči oleji a výborné kluzné vlastnosti. Jejich specifické charakteristiky závisí na počtu uhlíkových atomů ve stavebních jednotkách řetězce. [1] Pro dosažení některých z uvedených vlastností je třeba přidat aditiva. Tímto se zabývá další kapitola.

Alifatické polyamidy, označované například jako PA 6, PA 12, PA 66, atd., jsou v praxi využívány při výrobě kapotáží silničních motocyklů, vodících prvků, chladičů a nádobek na olej posilovačů řízení. [2] Tato široká aplikace zdůrazňuje jejich výjimečné materiálové vlastnosti a schopnost přizpůsobit se požadavkům specifických aplikací v automobilovém průmyslu. Je nutné brát v úvahu, že každý díl vyrobený z plastu je vystavený odlišnému zatížení a vnějším podmínkám, proto lze přidáním aditiv určité materiálové vlastnosti zlepšit na úkor jiných.

Tab. 1.: Materiálové vlastnosti alifatických polyamidů bez příměsi [3]

	Hustota [g/cm ³]	Pevnost [MPa]	Tažnost [%]	E-Modul [MPa]	Teplota tavení [°C]	Maximální dlouhodobá teplota [°C]	Minimální teplota použití [°C]	Nasákavost při 23°C/50% [%]
PA 6	1,14	45	70/200	1000	220	90	-40	3
PA 12	1,01	36	280/250	1100	180	95	-70	0,8
PA 66	1,14	50	40/150	1100	260	101	-40	2,8

Materiálové vlastnosti polyamidů, uvedené v Tab. 1, byly získány z datových listů poskytovaných firmou LPM. Je nutné zdůraznit, že v odborné literatuře se mohou vyskytovat

mírně odlišné hodnoty materiálových charakteristik. Vzhledem k tomu je klíčové při výběru materiálu brát v úvahu specifické vlastnosti, kterých může daný výrobce dosáhnout.

1.1.1 MODIFIKACE

Polykondenzací dikarbonových kyselin a diaminů bohužel nelze vždy dosáhnout požadovaných materiálových vlastností. Proto se přidávají aditiva. Mezi klíčová aditiva patří změkčovadla, plniva, tepelné stabilizátory, světelné stabilizátory, retardéry hoření a tvrdidla. [1] Tímto způsobem je možné upravit chemické a fyzikální charakteristiky materiálu, a tím i jeho chování v různých podmínkách *Tab. 2*.

Tato aditiva představují klíčový prvek v procesu vývoje materiálů s cílem dosáhnout optimálních výsledků v rámci konkrétních požadavků dané aplikace. Jejich správná kombinace umožňuje výrazně zlepšit výkon materiálu a přizpůsobit ho specifickým potřebám konkrétního průmyslu nebo aplikace.

V kontextu alifatických polyamidů se často setkáváme s různými označeními, jako je například PA 66 GF25. Toto označení specifikuje polyamid 66 s obsahem 25 % aditiv ve formě skleněného vlákna. Skleněné vlákno, působící jako tvrdidlo, přispívá ke zvýšení celkové pevnosti materiálu. Tento kompozitní materiál je vhodný pro výrobu součástí, které jsou vystaveny vysokotlakému statickému zatížení při zvýšených teplotách. [1] Je však důležité zdůraznit, že tento materiál není optimální pro aplikace, kde součástky podléhají vysokému kluznému tření. [4] Z tohoto materiálu se vyrábějí ochranné kryty motoru, kryty ventilátoru a chladiče, nárazníky, panelování dveří, držáky nápojů a mnoho dalších.

Takto identifikované označení specifikuje konkrétní složení a vlastnosti materiálu, což umožňuje konstruktérům a inženýrům přesně vybrat materiál, který odpovídá požadavkům dané aplikace. Tato specifikace usnadňuje správnou volbu materiálu v rámci návrhu a výroby komponentů s ohledem na konkrétní podmínky a funkční požadavky.

Jako další přídavek může být využito uhlíkové vlákno, označované jako PA 66 CF20. Toto označení identifikuje polyamid 66 s vyztužením 20 % uhlíkových vláken. Přidání uhlíkových vláken přináší několik výhod, včetně zvýšené tuhosti, mechanické pevnosti, creepové odolnosti, lepších kluzných vlastností a vyšší tepelné vodivosti. Tímto způsobem je teplo generované třením rychleji odváděno ve spojení s nižší hustotou při nižším obsahu plniva ve srovnání s PA 66 GF25. Z tohoto materiálu se vyrábějí části karoserie, podvozku, motorové kryty, nebo ventily a mnoho dalších.

Přestože tato modifikace přináší mnoho výhod, je důležité si být vědom nevýhody spočívající v potenciální vysoké křehkosti. Tato materiálová charakteristika se projevuje již při přidání 30 % uhlíkových vláken. [4] Při výběru tohoto materiálu je klíčové pečlivě zvážit potřeby konkrétní aplikace a přizpůsobit složení materiálu tak, aby odpovídalo konkrétním technickým a provozním požadavkům.

Tab. 2.: Vliv aditiv na materiálové vlastnosti polymeru 66 [3]

	Hustota [g/cm ³]	Pevnost [MPa]	Tažnost [%]	E-Modul [MPa]	Teplota tavení [°C]	Maximální dlouhodobá teplota [°C]	Minimální teplota použití [°C]	Nasákavost při 23°C/50% [%]
PA 66	1,14	50	40/150	1100	260	101	-40	2,8
PA 66 CF20	1,22	150	3/6	11000	260	120	-40	2
PA 66 GF25	1,32	120	3/5	6500	260	130	-40	1,9

Na trhu jsou dostupné varianty polyamidu, jako například PA 66 LA, který obsahuje přídavek pevného lubrikantu. Tato modifikace s lubrikantem zlepšuje abrazivitu materiálu a jeho odolnost vůči kluznému tření. [4] Je však důležité zdůraznit, že s touto výhodou přichází kompromis v podobě horších vlastností týkajících se pevnosti, tuhosti a tvrdosti materiálu.

Další variantou je PA 66 HI, který obsahuje aditivum zaměřené na minimalizaci teplotně podmíněné degradace molekulárních řetězců. Díky této modifikaci může být dosaženo zvýšení provozní teploty až o 15 °C. Tato varianta se hodí pro aplikace, kde je klíčovým faktorem odolnost vůči vyšším teplotám. [4]

PA 66 MO představuje další možnost, obsahující sulfid pro optimalizaci kluzných a třecích vlastností. V tomto případě je však třeba brát v úvahu sníženou odolnost vůči nárazu. [4] Každá z těchto variant nabízí specifické vlastnosti, a volba mezi nimi by měla být pečlivě zvážena v závislosti na konkrétních požadavcích a provozních podmínkách dané aplikace.

V současné době se výroba některých podložek zaměřuje na materiál PA46-GF30/PTFE5/H. Tento kompozitní materiál kombinuje polyamid 46 s 30% obsahem skleněných vláken a 5 % teflonu (PTFE). Teflon zde plní roli snižující tření materiálu, zvyšující chemickou odolnost a poskytující stabilitu při vysokých teplotách. Označení „H“ znamená, že je komponent po výrobě vysušený (heat stabilized). Tento materiál je též temperovaný a ošetřený proti vlhkosti, což zajišťuje jeho optimální vlastnosti při různých provozních podmínkách. Tento materiál bude v praktické části použit při montážní simulaci.

V období od roku 2025–2027 plánuje Evropská unie zákaz používání materiálů obsahujících per- a polyfluorované chemikálie (PFAS). Tyto látky jsou známé svou karcinogenní povahou a odolností vůči rozkladu, což vede k vážné kontaminaci podzemních vod, povrchových vod a půdy. [8][5] Navrhovaný zákaz by měl významný dopad na celý výrobní proces a používání plastových komponentů v automobilovém průmyslu, kde jsou PFAS materiály tradičně využívány. Tato opatření reflektují snahu o ochranu životního prostředí a lidského zdraví, a zároveň klade výrobce a průmysl před výzvou přizpůsobit se novým normám a hledat alternativní materiály, které budou šetrnější k životnímu prostředí.

1.2 PRYŽE

Vulkanizovaný kaučuk představuje materiál s vynikajícími elastickými vlastnostmi v širokém rozmezí teplot. Tento materiál je nezbytnou součástí moderních automobilů, kde se využívají pryžo-kovové a pryžo-plastové komponenty. Pryž se aplikuje například při uchycení motoru, v hydraulických sestavách, pro hřídelová těsnění a rovněž při těsnění oken, dveří a kapot.

V automobilovém průmyslu je pryž ceněna zejména pro svou schopnost tlumit a odstraňovat vibrace, což výrazně přispívá ke zvýšení komfortu a bezpečnosti vozidla. Kromě toho pryž umožňuje efektivní spojování vychýlených součástí pomocí gumových hadiček a poskytuje spolehlivé těsnění, což je klíčové například u těsnění dveří a oken.

Vulkanizace kaučuku, proces, při kterém se přidávají sírové můstky mezi polymerní řetězce, výrazně zlepšuje mechanické a chemické vlastnosti pryže, což ji činí vhodnou pro náročné aplikace. Vulkanizovaný kaučuk se vyznačuje nejen svou vysokou odolností vůči deformacím a opotřebením, ale také výjimečnou odolností vůči různým chemikáliím, teplotním extrémům a stárnutí.

V automobilovém sektoru nachází vulkanizovaný kaučuk široké uplatnění nejen z výše zmíněných důvodů, ale také díky své schopnosti přizpůsobit se specifickým požadavkům jednotlivých aplikací. Pryžo-kovové komponenty například kombinují pružnost pryže s pevností kovu, čímž se dosahuje optimálního výkonu v dynamicky náročných podmínkách. Pryžo-plastové komponenty zase využívají kombinaci vlastností pryže a plastů pro dosažení lehkosti a odolnosti proti korozi.

Celkově vzato, využití vulkanizovaného kaučuku v automobilovém průmyslu představuje zásadní faktor, který přispívá k vývoji bezpečnějších, komfortnějších a spolehlivějších vozidel.

Tyto díly a jejich spojení s kovem je vidět na *Obr. 1*.



Obr. 1.: Ukázka pryžových dílů z automobilu [6]

1.2.1 ROZDĚLENÍ

Kaučuky pro všeobecné použití se používají k získání pryže, která má vysokou pevnost, dobrou odolnost proti oděru a vysokou pružnost. Jsou však nepolární, to znamená, že je poškodí olej, benzín a rozpouštědla. Taktéž vykazují slabou odolnost proti stárnutí. [7] Tato pryž se používá jako těsnění u oken.

Kaučuky pro speciální aplikace se vyznačují svojí polaritou. Z kaučuku s vysokou polaritou lze vyrobit pryž, která bude odolávat oleji, benzínu i rozpouštědlům i za zvýšené teploty. Například akrylátové kaučuky se používají k výrobě hadic. Vynikají svojí odolností prakticky proti všem mazivům a odolávají dlouhodobému působení vysokých teplot. Silikonové kaučuky se používají pro spojovací části mezi díly motoru, jsou teplovzdorné a mrazuvzdorné.

2 VÝROBA PLASTOVÝCH DÍLŮ

V oblasti výroby plastových produktů se uplatňuje několik různých technologií, jejichž volba závisí na specifických požadavcích na konečný produkt, použitém materiálu a dostupném rozpočtu. Každá z těchto technologií má své vlastní charakteristiky a výhody, umožňující efektivní a přesné výrobní procesy. Následuje přehled několika klíčových technologií v oblasti výroby plastových výrobků [8]:

- **Tváření** – Tato technologie zahrnuje zvýšení teploty nebo tlaku, což mění pevný stav materiálu na kaučkovitě elastický nebo viskózně tekutý. Výběr optimální teploty závisí na konkrétním materiálu a příměsích. Mezi techniky tváření patří vstřikování, které je nejčastěji používanou metodou, lisování, válcování, vytlačování a další.
- **Tvarování** – Tato technologie zahrnuje procesy jako je tvarování, spékání, obrábění, ohýbání a výroba dutých tvarů. Některé úpravy lze provést až v druhém kroku výroby, aby bylo dosaženo optimálního výsledku, například kvůli minimálním změnám v konstrukci výrobku nebo variabilitě změn, které lze aplikovat na stejný výrobek.
- **Doplňkové technologie** – Tato kategorie zahrnuje úpravy, které nemění vlastnosti nebo geometrii hotových plastových výrobků, jako je gravírování, mazání atd. Dále zahrnuje úpravy provedené před samotným výrobním procesem, jako je granulace, sušení atd.

2.1 VSTŘIKOVÁNÍ – INJECTION MOLDING

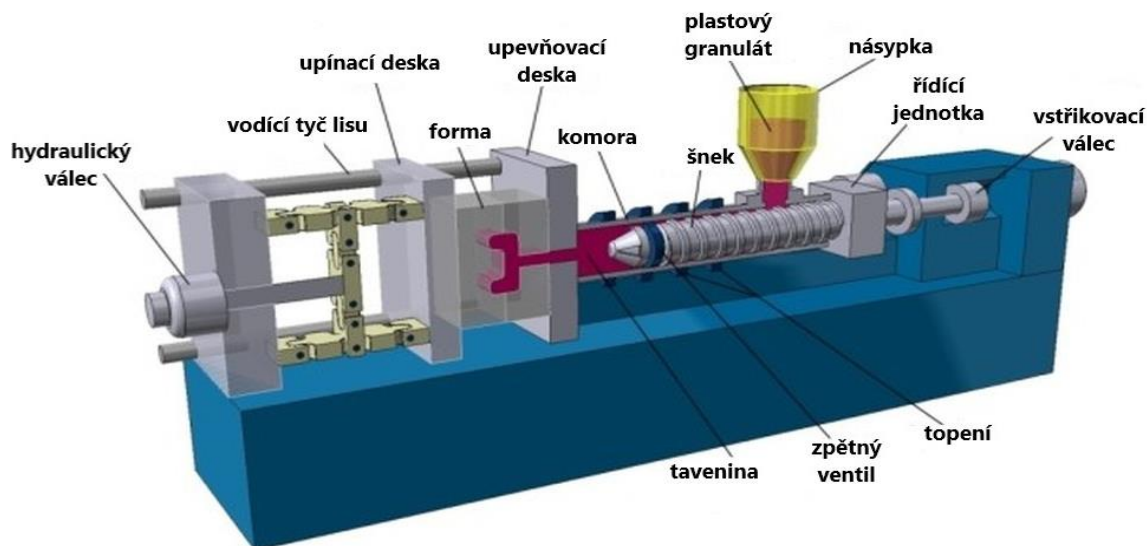
Vstřikování plastu představuje sofistikovaný výrobní proces, během něhož je roztavený plast za vysokého tlaku vstřikován do formy, která přijímá konečný tvar výrobku. Po naplnění formy plastovou hmotou následuje etapa ochlazování, během které dochází k tuhnutí plastového výrobku. Tento proces vyniká svou efektivitou a přesností, což umožňuje rychlou výrobu velkého množství prakticky identických komponent.

Jeho klíčovou výhodou je schopnost vytvářet složité tvary a detaily s vysokou přesností, což z něj činí oblíbenou volbu pro výrobu plastových součástek. Díky vysokému tlaku a teplotě umožňuje homogenní a rovnoměrné naplnění formy, čímž eliminuje vady výrobků. Navíc umožňuje sériovou výrobu, což přispívá k efektivitě a nízkým nákladům na jednotkový kus.

Vstřikování plastu nachází široké uplatnění v průmyslovém sektoru díky své schopnosti rychle a přesně reprodukovat velké množství identických dílů, což je klíčové zejména v automobilovém průmyslu a výrobě spotřebičů.

Z obrázku *Obr. 2* je patrné, že se jedná o robustní a prostorově náročný stroj. Příkladem může být model stroje Zeus 200, jehož rozměry činí výšku 186 cm, šířku 1435 cm a délku 566 cm. Tento vstřikovací stroj vyžaduje nemalý prostor a disponuje solidními rozměry, což je nutné zohlednit při plánování pracovního prostoru nebo haly. Náklady spojené s pořízením vstřikovacího stroje jsou značné, přičemž cena vstřikovací formy, která určuje konečný tvar výrobku, rovněž představuje významnou investici. Tyto náklady jsou odpovídající komplexitě

a počtu dělicích rovin formy, které ovlivňují složitost výrobního procesu a kvalitu výsledného výrobku. V případě výroby složitých a precizních plastových komponentů jsou tyto investice nezbytné pro zajištění vysoké úrovně kvality a opakovatelnosti výrobního procesu.



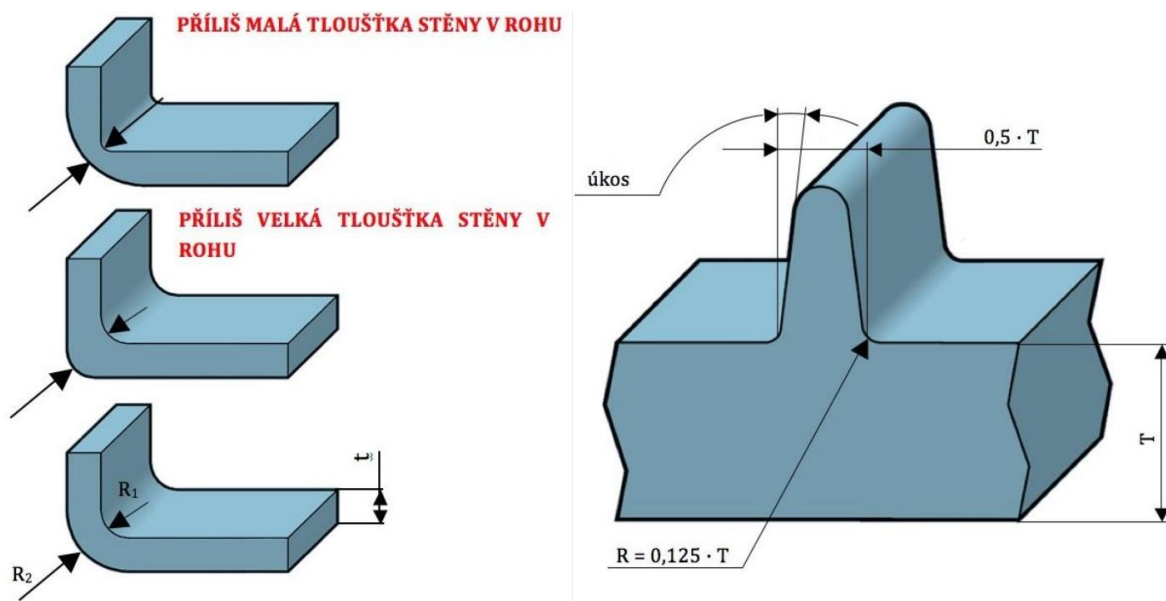
Obr. 2.: Vstřikovací lis [9]

Aby se podařilo vyrobit díl bez defektů, je potřeba dodržovat určitá geometrická pravidla při návrhu. Mezi tyto pravidla patří [10]:

- Udržet maximálně rovnoměrnou tloušťku stěn Obr. 3 (vlevo).
- Vytvořit úkosy na stěnách a žebrování aspoň $0,5^\circ$ Obr. 3 (vpravo).
- Použít vhodný rádius u žebrování Obr. 3 (vpravo).
- Dodržet doporučenou tloušťku žeber ve vztahu k tloušťce vstřikovaného dílu. Díly s tloušťkou stěny menší než 1,5 mm mohou být opatřeny žebry s tloušťkou stěny cca o 30% vyšší, než je uvedeno v Tab. 3.

Tab. 3.: Doporučená tloušťka žeber ve vztahu k tloušťce vstřikovaného dílu [10]

Typ plastu	Nepatrná propadlina	Mírná propadlina
PC	50 %	66 %
ABS	40 %	60 %
PA (neplněný)	50 %	66 %
PA (plněný)	30 %	40 %
PA (se skleněnými vlákny)	33 %	50 %
PBT (neplněný)	30 %	40 %
PBT (plněný)	33 %	50 %

Obr. 3.: Porovnání vnitřních a vnějších rádiusů vstřikovaného dílu (vlevo)
Základní rozměry žebra (vpravo) [10]

Důvody, proč se jedná o nejrozšířenější metody výroby plastových komponent [9]:

- Vysoká návratnost investice přes vysokou pořizovací cenu: I přes značné pořizovací náklady vstřikovacích strojů a forem je tato metoda výroby plastových komponent výhodná díky vysokému počtu vyrobených dílů, což umožňuje efektivní rozložení nákladů.

- Velká výrobní rychlost díky automatizovanému systému a řídicí jednotce: Vstřikovací proces je automatizovaný, což umožňuje dosažení vysoké výrobní rychlosti a efektivity díky preciznímu řízení a monitorování.
- Neměnná kvalita se zvyšujícím se množstvím vyrobených dílů: Výrobní proces vstřikování plastů poskytuje konzistentní a neměnnou kvalitu výrobků, a to i při hromadné výrobě.
- Velká volnost v návrhu geometrie výstupního produktu: Oproti jiným metodám umožňuje vstřikování plastů návrh a výrobu složitých geometrií bez výrazných omezení, což je zvláště výhodné při výrobě plastových dílů s komplexními tvary.

Všestrannost použití v jakémkoliv průmyslu, kde jsou zapotřebí plastové díly: Vstřikování plastů je využíváno ve všech odvětvích průmyslu, kde je potřeba výroby plastových dílů, ať už jde o automotive, elektroniku, spotřební zboží nebo lékařské aplikace. Tato metoda je tak všestranná a flexibilní, že lze vyrábět plastové komponenty pro různé odvětví s různými požadavky.

3 SPOJE

Spoje lze klasifikovat do dvou hlavních kategorií: rozebíratelné a nerozebíratelné. Mezi rozebíratelné spoje patří spoje s tvarovým stykem, které zahrnují čepy a kolíky, spoje se silovým stykem (svěrné spoje), a spoje kombinované, což zahrnuje šrouby a klíny. Tyto rozebíratelné spoje umožňují demontáž bez poškození spojovaných částí.

Naopak, nerozebíratelné spoje nelze demontovat bez poškození ať už jedné ze spojených součástí nebo samotné spojovací části. Patří sem metody jako lepení, svařování, pájení a spoje s kombinovaným stykem, například spoje pomocí nýtů. Při pokusu o demontáž těchto spojů může dojít k nenapravitelnému poškození spojovaných částí.

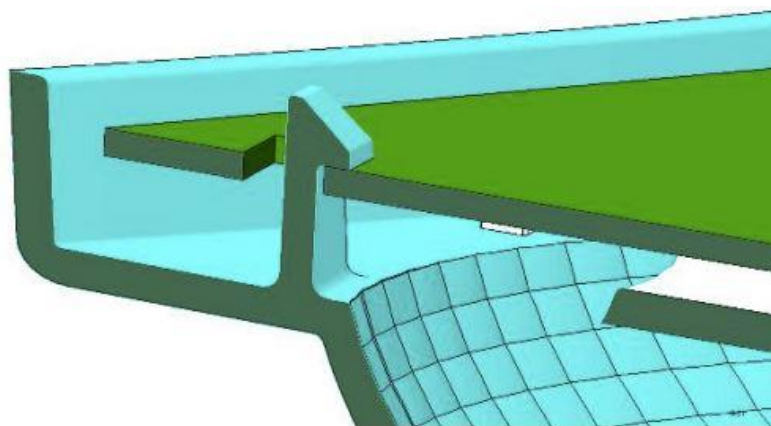
3.1 KLIPOVÝ SPOJ

Mechanismus spojení pomocí klipů neboli západek slouží ke spojení dvou, nebo více dílů, kde plastový díl obsahuje klipy, které jsou navaknuté do protikusu s přilehlými výřezy nebo otvory, které slouží k zajištění mechanického spojení dílů *Obr. 4*. Při montáži dochází k elastické deformaci klipů až do jejich navaknutí, kde se vrací do původní polohy. Tento druh spojení je často využíván díky své jednoduchosti a rychlé montáži a demontáži.

Tento jednoduchý mechanismus využívají:

- 1) Dveřní panely, které jsou připevněné k ocelové karosérii auta
- 2) Motorové komponenty jako jsou kryty motoru nebo ventilátorů
- 3) Exteriérové díly – kryty kol nebo nárazníky
- 4) Vnitřní obložení – jsou lišty, kryty sloupců, palubní deska

U tohoto spoje může dojít k plastické deformaci západky během montáže. Tím je pak často znehodnocen celý díl.



Obr. 4.: Uchycení desek plošných spojů k reflektoru pomocí klipů [11]

3.2 LEPENÝ SPOJ

Lepené spoje nabízejí výhodu zachování původního tvaru komponent, ovšem jsou zároveň nerozebíratelné. Tím odpadá potřeba vytvářet závity, vrtat díry či implementovat další spojovací prvky. Při zatížení jsou síly rovnoměrněji distribuovány ve srovnání s mechanickým spojem. Klíčovým faktorem je však schopnost lepícího materiálu adheze, která je závislá na povaze materiálů. [12]

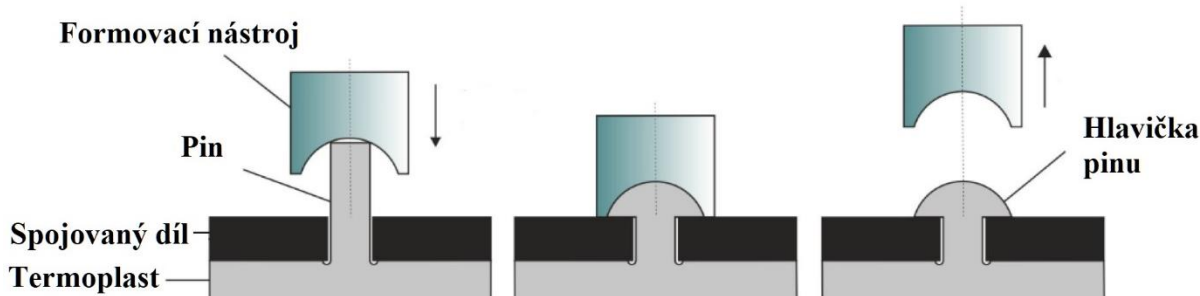
Materiály se dělí do tří adhezních skupin:

- 1) Slabě a středně polární materiály, které jsou lepitelné polárními lepidly stejného původu.
- 2) Silně polární materiály jako například polyamid (PA), jsou méně lepitelné.
- 3) Nepolární materiály – jsou téměř nelepitelné.

Pro lepení polyamidu s různými materiály jsou vhodná kyanakrylová lepidla, zejména pro menší plochy. Pro spojení s kovy jsou efektivní dvousložková epoxidová lepidla, například typu ChS EPOXY 1200. [12] Pro dosažení optimálních výsledků je důležité povrch lepeného spoje předem zdrsňit a následně odmastit.

3.3 NÝTOVÁNÍ

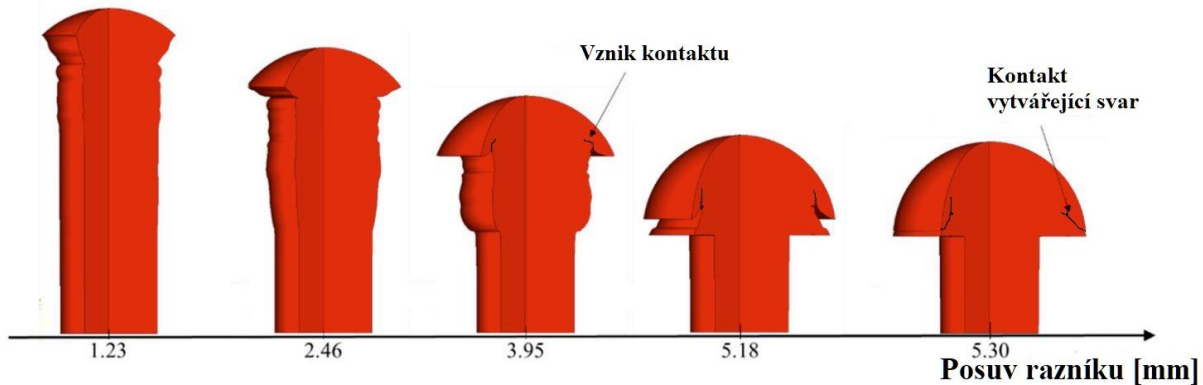
Při nýtování dochází ke spojení dvou nebo více dílů pomocí tavných pinů. Tavné piny jsou vytvořené na jedné ze spojovaných komponent a při jejich montáži dojde k průniku pinů skrz otvor v druhém dílu. Následně je výstupek pinu deformovaný a vznikne hlavička, která zajišťuje pevné spojení. [13] Tento proces je nevratný a vzniká permanentní spoj, který je vidět na Obr. 5.



Obr. 5.: Princip formování tavného pinu za studena [14]

Tento proces lze realizovat různými mechanismy. Používá se tepelné nýtování, kdy je razník rozehrátý a předává teplo na pin, nebo se teplo předává na pin pomocí proudu horkého vzduchu a následně razník vytvaruje hlavičku pinu. [13] Taktéž se používá infračerveného světla nebo ultrazvuku k natavení pinu před jeho deformací pomocí razníku.

Mezi nejčastější problémy patří špatné nastavení posuvu výrobní stanice. To vede k nedotvarované hlavici pinu. Další defekt nastává, když je poškozený povrch razníku, nebo je jeho teplota příliš vysoká. Pak se materiál, ze kterého jsou vytvořeny piny, přilepí na razník a dojde k znečištění razníku a poškození pinu. [13] Při nedostatečném nahřátí pinu může dojít k nevhodné deformaci materiálu. Důvodem je nedostatečný podíl nataveného plastu, který se bude tvarovat. Vznikají svarové linie a dochází k samokontaktu. [14] Na *Obr. 6* je tento děj znázorněn. Optimální čas nahřívání pinu byl stanoven na 8 s, pozorovaný děj na obrázku nastal při nahřívání po dobu 3 s.



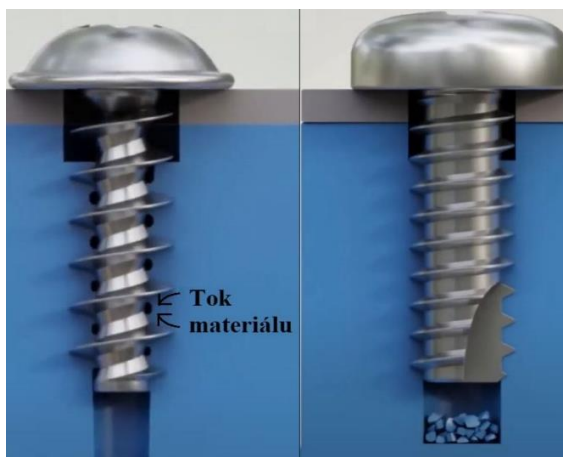
Obr. 6.: Tok materiálu při horkovzdušném ohřevu s dobou ohřevu 3 s [14]

3.4 SAMOŘEZNÉ ŠROUBY

Tento spojovací element se dělí na závitotvorné a závitořezné šrouby. Tento šroub se namontuje do předlisovaného otvoru v plastovém dílu a zajistí velice pevné rozebíratelné spojení dvou komponent.

Závitotvorné šrouby se používají v měkkých polymerech s nižším modulem ohybu, jelikož dochází k vysokému pnutí při vytvoření spojení. [15] Tento typ šroubu nemá špičatý hrot a musí být vytvořený vodící otvor, do kterého se šroub namontuje. Následně je při montáži materiál vodícího otvoru vytlačován závitem šroubu a dochází k obtékání šroubu, jak je vidět na *Obr. 7* vlevo.

Závitořezné šrouby se používají pro tvrdší plasty s vyšším modulem ohybu. [15] Svoji ostrou řeznou hranou odebírají materiál a tím vytvářejí závit.



Obr. 7.: Obtékání závitotvorného šroubu (vlevo) a řez závitorezného šroubu (vpravo) [15]

Mezi výhody tohoto spojení patří nízká cena, jednoduché nástroje pro montáž a snadná demontáž, odolnost vůči nárazům a vibracím a není potřeba předem vytvářet závit.

Nevýhodou je koncentrace vyššího napětí kolem závitů, nízká tolerance dovoleného momentu při utahování (aby nedošlo ke stržení závitu, dokáže zajistit přibližně 10 cyklu montáže a demontáže), větší počet potřebných dílů a ovlivněný konečný design.

3.5 SVAŘOVÁNÍ PLASTU S KOVEM

Jedním ze způsobů, jak lze dosáhnout pevného spojení mezi kovem a polymerním kompozitem, je svařování. Existují různé metody, jako například laserové přímé svařování, které je vhodné pro spojování titanu nebo hliníku s polyamidy, polykarbonáty a bioplasty z kukuřice. [16] Třecí svařování promíšením poskytuje nejlepší spojení materiálu na bázi kovu s polyamidem. [17] Dále se používá ultrazvukové svařování, odporové svařování, bodové svařování a indukční svařování. Nejlepšího spojení nepolárního polypropylenu s kovem bylo zajištěno bodovým svařováním s vloženým tenkým filmem z polyamidu mezi svařované materiály. [17]

Výhodou této metody je možnost vytvoření trvanlivého spojení, které odolává mechanickému namáhání a vibracím bez přidání spojovacích látek, jako je lepidlo, které je náchylné na extrémní teploty a prostředí, v kterém se nachází. Taktéž je estetický vliv minimální a není třeba vytvářet klipy nebo jiné spojovací prvky, ve kterých dochází ke koncentraci napětí. Nevýhodou je technická náročnost realizace spojení, která vyžaduje speciální techniky. Při svařování může dojít k poškození plastu při přehřátí plastového dílu a kvalita spoje závisí na druhu plastu a kovu, které jsou spojovány.

4 SPOJKY

Historie a vývoj automobilových rozjezdových spojek je fascinující příběh inovací, technologických pokroků a neustálého zdokonalování. Na počátku automobilové éry na konci 19. století, kdy se místo parních strojů používají spalovací motory, se začaly používat spojky. Spalovací motor má totiž využitelný moment pouze v úzkém rozsahu otáček. Na konci 19. století byla vynalezena kuželová spojka, která se do záběru přiváděla pomocí pružin a bubnová spojka. Ve 30. letech 20. století byla vynalezena vícedisková spojka. Jednalo se o prvotní konstrukci třecí suché spojky, kdy byly lamely vyrobeny z azbestu a místo membránové pružiny se použila centrální vinutá pružina. Inovace v ovládní spojky proběhla v polovině 20. století, kdy místo mechanického ovládní pomocí lanek se začalo využívat hydraulického ovládní.

Díky těmto jednoduchým mechanismům a jejich neustálému zdokonalování vznikla dvojitá spojka. Dvojitá spojka zajišťuje lepší dynamiku jízdy a účinnost pohonného systému vozidla, je využita například v DSG převodovce, kde jedna spojka přebírá kontrolu nad řazením sudých převodů, zatímco druhá se stará o liché převody. Tím se eliminuje tradiční zpoždění spojené s řazením a je zajištěn plynulý přenos točivého momentu.

4.1 DRUHY ROZJEZDOVÝCH SPOJEK

Spalovací motor osobního automobilu vykazuje omezený rozsah využitelného točivého momentu v úzkém rozmezí otáček a je limitován maximálními otáčkami. Pro efektivní přenos tohoto momentu z motoru na kola je nezbytný mechanismus převodovky, který umožňuje regulaci velikosti přenášeného momentu a otáček. [18] Mezi motorem a převodovkou je umístěna mechanicky ovládaná spojka, která přenáší točivý moment od motoru k převodovce.

Rozjezdová spojka představuje klíčový prvek v pohonném systému vozidla a její konstrukce a funkčnost musí být pečlivě navržena, aby plně vyhovovala následujícím specifickým požadavkům:

- 1) Za prvé, je zásadní, aby rozjezdová spojka spolehlivě přenášela točivý moment z motoru na hnací (vstupní) hřídel převodovky. Tato schopnost je klíčová pro efektivní přenos výkonu a zajištění plynulého fungování vozidla.
- 2) Dále musí být schopna umožnit měkký a plynulý rozjezd vozidla, eliminující rázy, škubání a zbytečné prokluzování. Tato vlastnost přispívá k celkovému komfortu řízení a prodlužuje životnost klíčových komponent pohonného systému.
- 3) Rozjezdová spojka by také měla umožňovat krátkodobé přerušování přenosu točivého momentu pro rychlé a plynulé řazení rychlostních stupňů, což přispívá k dynamice jízdy a efektivitě při řízení.

- 4) Dalším důležitým aspektem je schopnost tlumit torzní kmitání, což zahrnuje efektivní eliminaci torzních vibrací od motoru. Tato vlastnost přispívá k celkovému pohodlí posádky a snižuje namáhání klíčových komponent.
- 5) Rozjezdová spojka by měla být navržena tak, aby chránila jednotlivé díly před přetížením, umožňující prokluz při nižším zatížení, než na které jsou dimenzovány klíčové komponenty pohonného řetězce. To zajišťuje dlouhou životnost spojky a snižuje riziko poškození ostatních částí pohonného systému.
- 6) Zároveň je klíčové, aby rozjezdová spojka byla schopna přenést větší točivý moment, než je maximální točivý moment hnacího motoru. Poskytnutí rezervy v rozmezí 15–25 % umožňuje vyproštění uvíznutého vozidla a zvyšuje celkovou výkonnost vozidla. [19]
- 7) Kromě toho je žádoucí, aby rozjezdová spojka umožňovala své ovládání malými ovládacími silami, což zvyšuje ergonomii ovládacího systému a zlepšuje celkovou ovladatelnost vozidla. Zajištění těchto specifických vlastností je klíčové pro optimální funkčnost a spolehlivost rozjezdové spojky v rámci pohonného systému automobilu.

Existují různé druhy rozjezdových spojek, jako jsou lamelové spojky, které pracují v olejové mlze, odstředivé spojky, elektromagnetické spojky, hydrodynamické spojky a jednokotoučové třecí suché spojky. Jednokotoučová spojka bude popsána podrobněji v následující kapitole, protože třecí podložka je určena pro tento druh spojky.

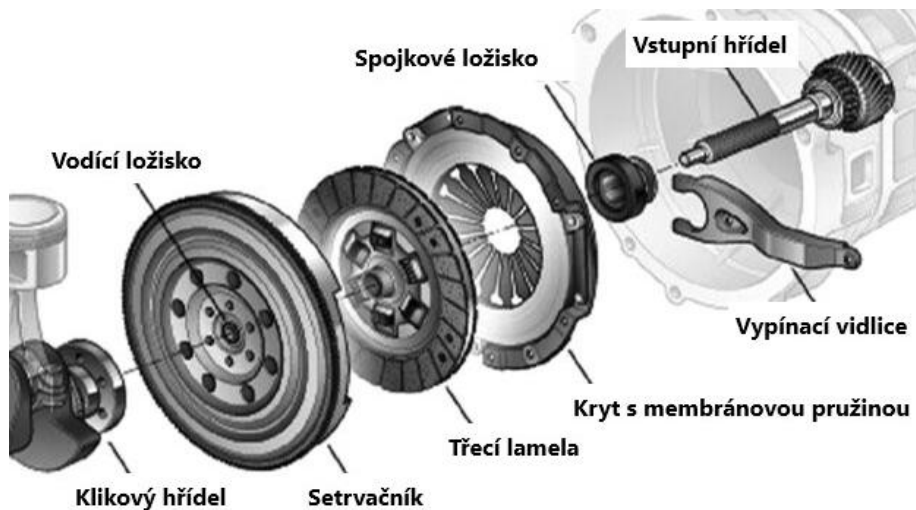
4.2 JEDNOKOTOUČOVÁ TŘECÍ SUCHÁ SPOJKA

Historicky první třecí spojky byly použity na konci 19. století a skládaly se ze dvou třecích desek, které se stlačovaly proti sobě, aby přenesly moment z motoru na převodovku.

Jedná se o klíčový systém, který se nachází ve většině moderních automobilů s různými konstrukčními modifikacemi. Z tohoto důvodu je tato spojka popsána podrobněji, než je tomu u ostatních spojek.

Kliková hřídel slouží k přenosu kroutícího momentu přes setrvačnick, s nímž je pevně spojena. Mezi setrvačnickem a přítlačným kotoučem se nachází třecí lamela, která je propojena se vstupním hřídelem převodovky. Pro zajištění účinného přenosu točivého momentu a zabránění prokluzu je umístěna membránová pružina, která generuje dostatečný přítlak mezi přítlačným kotoučem, třecí lamelou a setrvačnickem.

Při stlačení spojkového pedálu tlačí vypínací spojkové ložisko na vnitřní stranu membránové pružiny. Tím dochází k redukci přítlačné síly a následnému uvolnění třecí lamely od přítlačného kotouče a setrvačnicku, čímž je zastaven přenos točivého momentu. Tato funkce umožňuje plynulé řazení a opětné spojení třecí lamely se setrvačnickem, což umožňuje bezrázový a bezkmitový rozjezd vozidla. [18] Základní konstrukce je na *Obr. 8*.



Obr. 8.: Popis suché kotoučové spojky s membránovou pružinou [20]

4.2.1 OVLÁDACÍ PRUŽINA

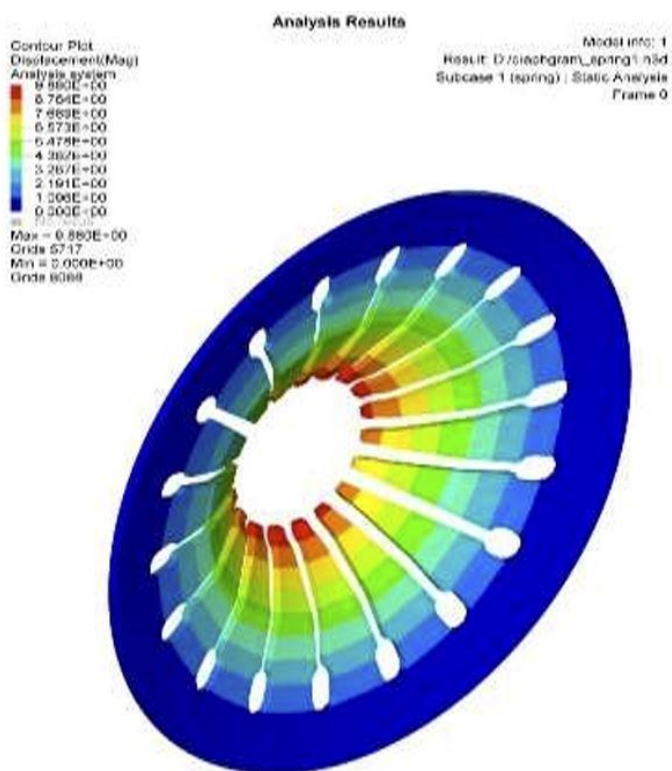
Vypínáním ovládací pružiny je zajištěno spojení přitlačného kotouče a lamely. Tímto spojením dojde k zajištění přenosu točivého momentu od motoru na převodovku.

Prvním typem použité vypínací pružiny byla centrální pružina. Ve 30. letech 20. století byla tato pružina nahrazená vinutými pružinami po obvodu. [21] V moderních automobilech se s touto konstrukcí už nesetkáme. Lze se s ní ale setkat u zemědělské techniky, kde jsou velké vypínací síly vhodné. K rozpojení spojky s vinutými pružinami je potřeba větší síla, než je tomu u membránové pružiny, a její přitlačná síla s opotřebením klesá, proto je potřeba zajistit dostatečné předpětí, aby nedošlo k prokluzu při jejím opotřebení. Důsledkem je také těžký spojkový pedál.

Ve 40. letech 20. století došlo k nahrazení obvodových pružin membránovou pružinou. Tato pružina je nejpoužívanější v moderních automobilech. Spojka obsahuje membránovou pružinu s radiálními zářezy, vedoucími z centra pružiny Obr. 9. Díky těmto membránám je deformace v axiálním směru jednodušší. Při namáhání dochází ke koncentraci napětí na konci drážek. [18] To lze vidět díky MKP analýze na Obr. 10.



Obr. 9.: Membránové a talířové pružiny [22]

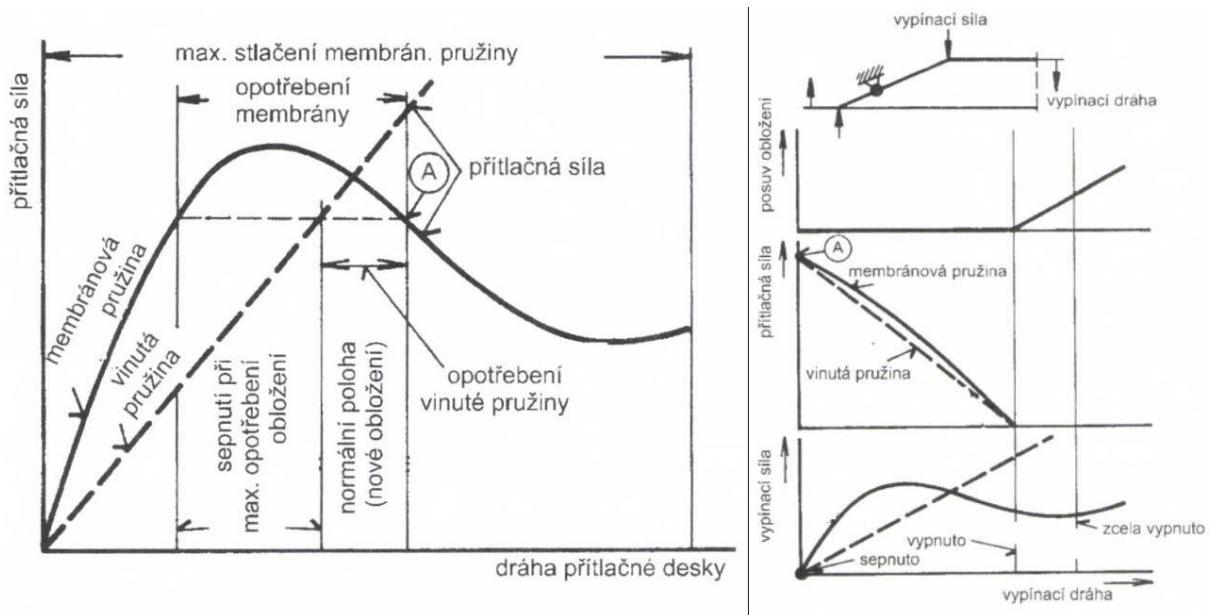


Obr. 10.: Rozložení napětí v membránové pružině [23]

Výhodou konstrukce s membránovou nebo talířovou pružinou je rovnoměrné rozložení tlaku po celém obvodu lamely, prodloužená životnost mechanismu a jednodušší konstrukce ve srovnání se spojkami vybavenými vinutými pružinami. Spojka s talířovou pružinou

vykazuje podobnou silovou charakteristiku jako membránová pružina, avšak liší se tím, že neobsahuje radiální zářezy, které vycházejí ze středu a přispívají ke zlepšení jejích vlastností. [18]

Hlavní výhodou spojky s talířovou pružinou je snížené opotřebení pružiny ve srovnání s obvodovými vinutými pružinami a následné udržení dostatečné síly, kterou tyto pružiny vyvíjejí na přítlačný kotouč. [18] Rozdílné silové charakteristiky membránové a vinuté pružiny jsou zobrazeny na Obr. 11.

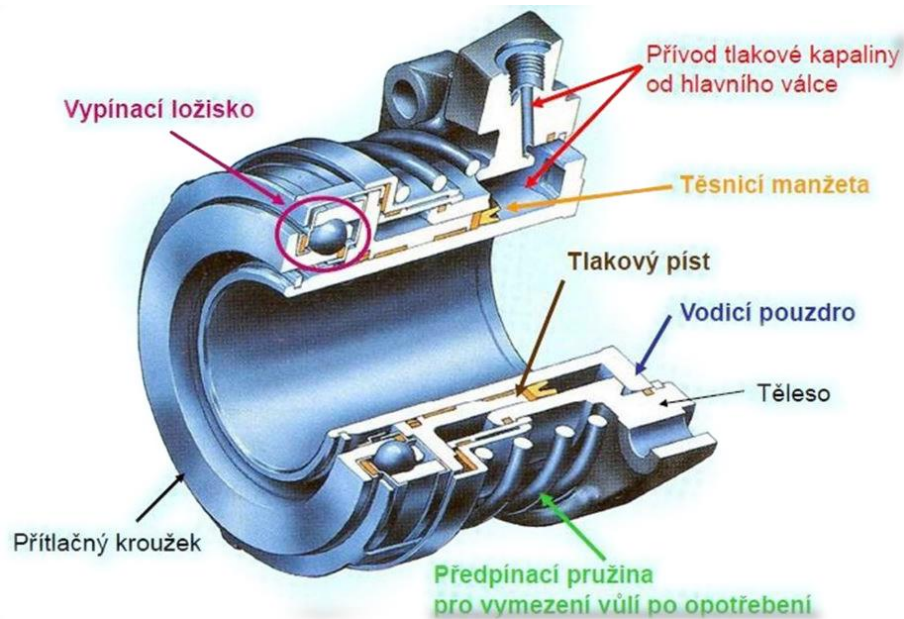


Obr. 11.: Silová charakteristika membránové a vinuté pružiny [18]

4.2.2 VYPÍNACÍ LOŽISKO

Využívá se axiálně – radiální ložisko, které zajišťuje spojení mezi vypínací vidličkou a membránovou pružinou. Při vypínání spojkového ložiska je zapotřebí docílit spojení mezi vypínací vidličkou, která nerotuje, a rotující membránovou pružinou tak, aby nedošlo k poškození. Jedna část ložiska je spojena s vypínacím mechanismem, druhá část ložiska je spojena s rotující membránovou pružinou. Při vypínání dochází k axiálnímu pohybu a společně s membránovou pružinou rotuje vnitřní nebo vnější ložiskový kroužek.

V moderních automobilech se často používají vypínací ložiska s integrovaným pomocným spojkovým válcem (CSC – concentric slave cylinder), pokud se jedná o hydraulicky ovládanou spojku. [24] Tato konstrukce nabízí vyšší celistvost celého mechanismu, jelikož je ložisko přímo spojené s hydraulickým systémem. Hrozí zde však riziko úniku hydraulické kapaliny do prostoru spojky a snížení součinitele tření, pokud se kapalina dostane mezi třecí plochy. Tento problém může nastat i u pákového typu s hydraulickým vypínáním. Únik nehrozí pouze u lankového systému, který se kombinuje s vypínací pákou. Popis hydraulicky ovládaného spojkového ložiska Obr. 12.



Obr. 12.: Hydraulické ovládání vypínacího ložiska [25]

4.2.3 SPOJKOVÉ KOTOUČE

Lamela se nachází mezi setrvačником a přítlačným kotoučem a při dostatečně silném stlačení setrvačником se přenáší kroutící moment ze setrvačniku na lamelu a dále na výstupní hřídel převodovky. Lamela je uložena na vstupní hřídeli převodovky a je axiálně posuvná v drážkování této hřídele. Třecí obložení musí zajistit plynulé přenesení hnacího momentu s bezpečností k_s a bezproblémové řazení. Pro osobní vozidla je bezpečnost $k_s=(1,3 \div 1,5)$, pro nákladní automobily $k_s=(1,5 \div 2)$ a pro zemědělskou techniku $k_s=(2,0 \div 2,5)$.

Bezpečnost vůči momentu motoru [19]:

$$k_s = \frac{M_s}{M_{t \max}} \quad [-] \quad (1)$$

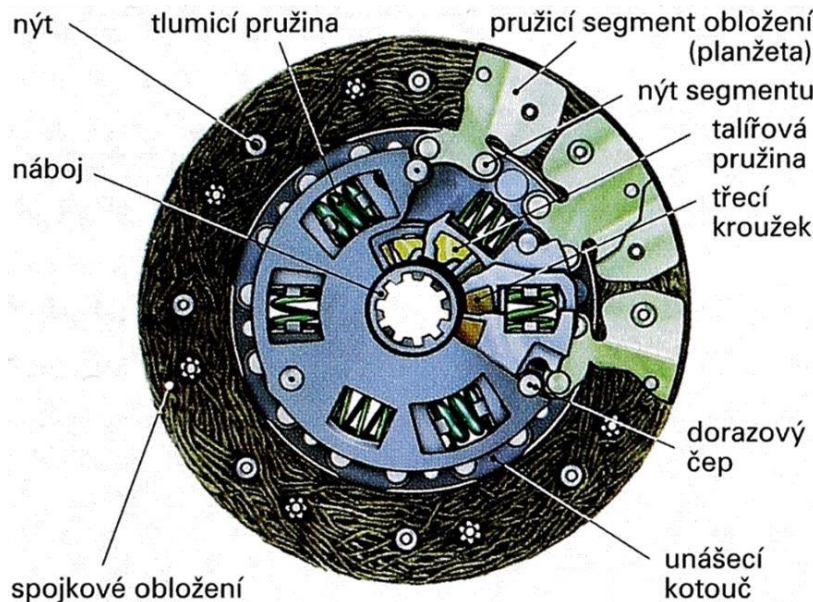
Kde

M_s – maximální moment, který přenesou spojka [Nm]

$M_{t \max}$ – maximální točivý moment motoru [Nm]

Historicky původní obložení bylo ze dřeva, kůže a plsti. Tento materiál byl ve 20. letech 20. století nahrazen azbestem, díky kterému bylo možné zmenšit velikost kotouče a přenést větší moment. I přesto, že azbest byl materiálem vhodnějším a efektivnějším, stále se vyráběly kotouče s korkem, které se občas vznítily nebo slepily, pokud byly namočené v oleji. V 80. letech se začíná použití azbestu omezovat, až dojde k jeho úplnému zákazu v automobilovém průmyslu kvůli karcinogenním účinkům. [26] Azbest je nahrazen organickými a anorganickými materiály.

Spojkový kotouč přenáší kroutící moment pomocí segmentů, které se nacházejí po obvodu lamely. Materiál obložení může být organický, nebo anorganický. Materiál se volí s ohledem na velikost úhlové rychlosti lamely, která zvyšuje napětí v obložení a může dojít k prasknutí. Dalším faktorem je cena a aplikace. Popis spojkového kotouče *Obr. 13.*



Obr. 13.: Popis spojkového kotouče [27]

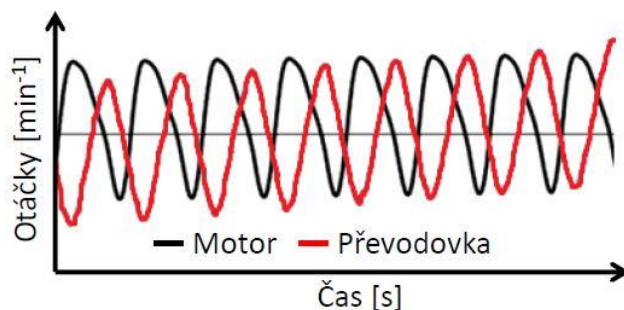
Organické materiály se v dnešní době používají ve většině případů. Dříve se aplikovala vlákna azbestu, ale od tohoto složení se ustoupilo, protože azbest je silně karcinogenní látka. Obložení se vyrábí z vláken uhlíku, minerální vlny, nebo aromatických polyamidů. Pro zpevnění se používá matrice z kaolinu, barytu, nebo oxidu hliníku. Ke spojení se používá pryskyřice. [24] Tyto materiály jsou stabilní do 350 °C a koeficient tření je okolo 0,3. [19] Organické materiály mají nižší sklon k cukání, tedy lepší komfort pro posádku.

Anorganické obložení se využívá ve sportovních a závodních vozidlech, kde dochází k většímu teplotnímu namáhání. Tyto segmenty jsou stabilní až do 600 °C a koeficient tření je okolo 0,45. [19] K výrobě se využívá spékaný bronz nebo železo. Vyšším koeficientem tření dochází k většímu opotřebení setrvačnicku a přitlačného kotouče.

4.2.4 SETRVAČNÍK

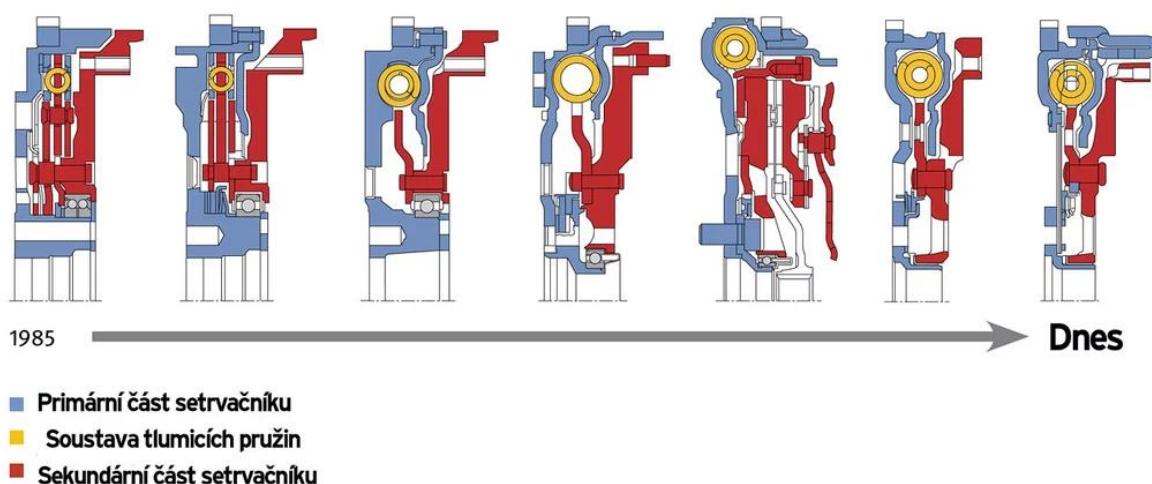
Je to rotující disk upevněný na konci klikové hřídele a je jednou ze dvou dosedacích ploch lamely. Odvádí tedy také teplo od lamely. Jeho úkolem je vyrovnávání chodu spalovacího motoru. Čím je setrvačnick těžší, tím lépe plní svojí funkci. Je však třeba brát ohled na akceleraci a deceleraci vozidla, protože setrvačnickem se otáčí motor a příliš těžký setrvačnick by měl negativní efekt.

První používanou variantou je jednohmotový setrvačník, který je popsán výše. Není nijak zvlášť komplexní a amplituda přenášených torzních kmitů od motoru k převodovce je téměř identická *Obr. 14*.



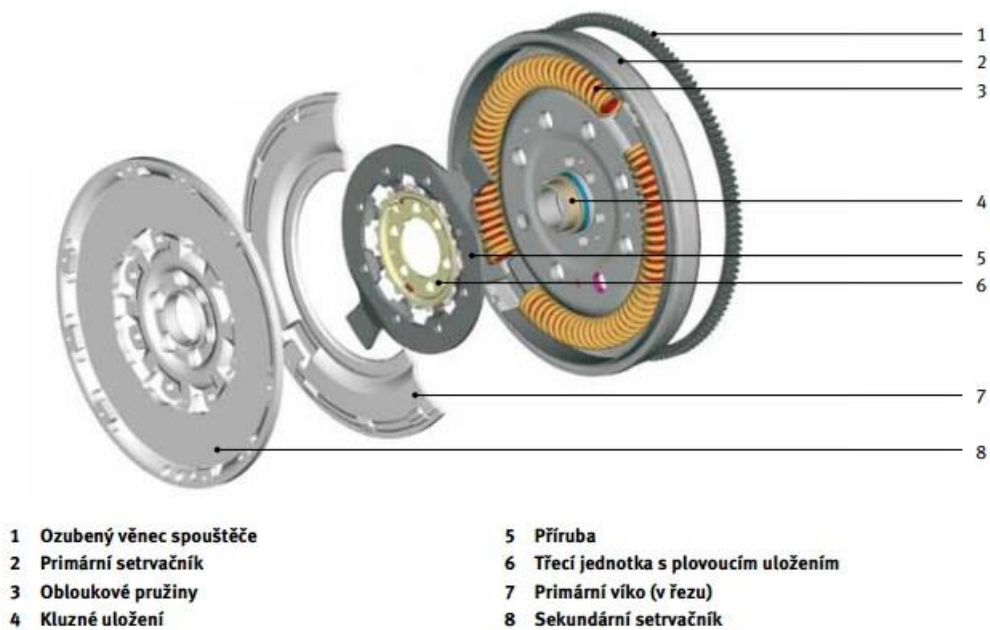
Obr. 14.: Torzní vibrace motor – převodovka jednohmotového setrvačníku [19]

V polovině 80. let se poprvé dvouhmotový setrvačník objevuje u BMW E28 a jeho konstrukční vývoj lze pozorovat na *Obr. 15*.

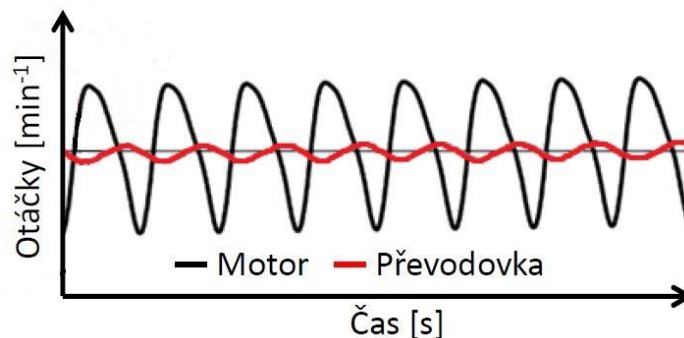


Obr. 15.: Vývoj dvojhmotového setrvačníku firmy LuK v čase [28]

Dvouhmotový setrvačník se skládá z primárního disku, který je pevně spojen s klikovou hřídelí a sekundárního disku, který je uložen pomocí kluzného ložiska na primárním setrvačníku. Mezi disky jsou uloženy obloukové pružiny ve vodících pouzdrech, které tvoří tlumicí systém. Podrobný popis je na *Obr. 16*. Točivý moment se přenáší z primárního setrvačníku na vnější tlumič, posléze na vnitřní tlumič, a nakonec na sekundární setrvačník. [29] Jak je vidět na *Obr. 17*, použitím dvouhmotového setrvačníku dojde ke snížení torzních kmitů.



Obr. 16.: Popis dvoumotového setrvačnicku [30]



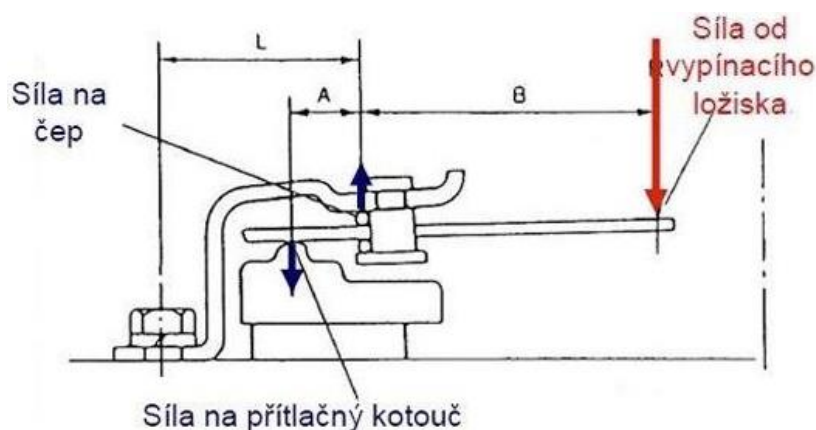
Obr. 17.: Torzní vibrace motor – převodovka dvoumotového setrvačnicku [19]

4.2.5 AKTIVACE / DEAKTIVACE

Uvolňovací mechanismus, který napomáhá hladkému záběru, může díky pákovému mechanismu ovlivnit nejen sílu, kterou je potřeba vyvinout k sešlápnutí spojkového pedálu, ale i váhu spojkového pedálu. Tyto požadavky určovaly, zda ve vozidle byla použita spojka tažného nebo tlačného typu.

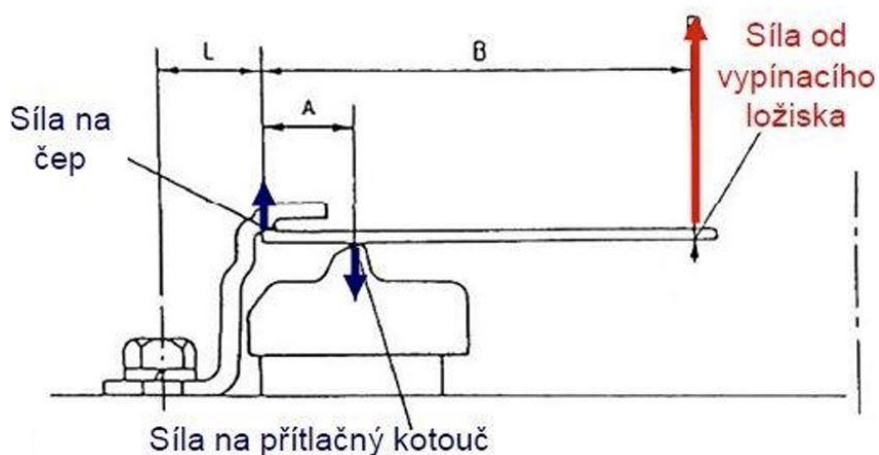
Při vypínání tlakem vypínací ložisko tlačí na vnitřní konce membránové pružiny směrem k spojkovému kotouči, tím dojde k naklonění vnějšího obvodu pružiny přes opěrný kroužek, který je součástí štítu spojky. Nakloněním dojde k oddálení přitlačného kotouče od lamely Obr. 18. Na přitlačný kotouč je vyvíjena síla rovná síle vypínacího ložiska zvětšená o poměr B/A.

[24] Díky této konstrukci je celková výška spojky nižší a v osobních automobilech nejběžnější. Účinnost této spojky je 60÷80 %.



Obr. 18.: Silové poměry na tlačné membránové pružině [25]

Při vypínání tahem talířová pružina působí jako jednoramenná páka uložena mezi setrvačником a vypínacím ložiskem. V sepnutém stavu pružina tlačí vnějším okrajem na přítlačný kotouč, který tlačí třecí lamelu. Přenos točivého momentu se přeruší vysunutím spojkového ložiska směrem od spojky, což způsobí oddálení vnějšího okraje pružiny a rozpojení přítlačného kotouče a třecí lamely Obr. 19. [31] V této konstrukci je výška spojky větší kvůli tažné pružině. U menších automobilů to může vést k zástavbovým komplikacím. Účinnost této spojky je 80÷90 %, tedy vyšší než u spojky vypínané tlakem. Konstrukce vypínacího ložiska je komplikovanější než u předešlé varianty.



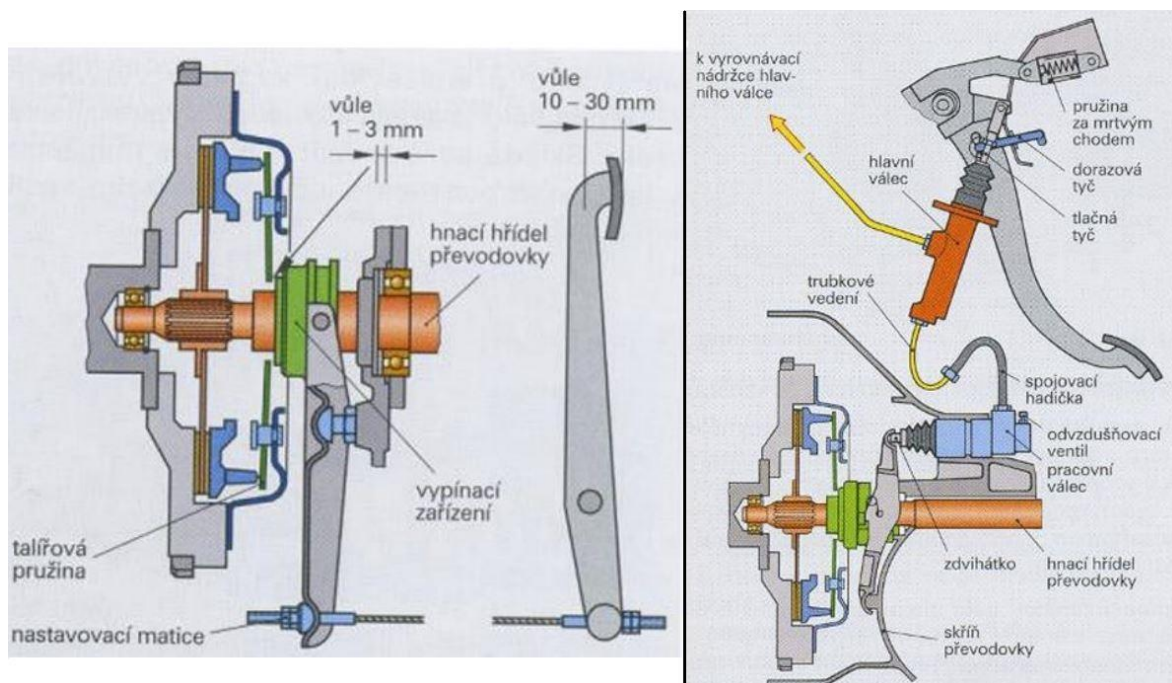
Obr. 19.: Silové poměry na tažné membránové pružině [25]

4.2.6 OVLÁDACÍ OKRUHY

Třecí spojky mohou být ovládané: přímo (mechanicky), nepřímo (pneumaticky, hydraulicky), kombinovaně a automaticky. Důvodem zlepšování těchto systémů je snaha zvětšit komfort řidiče a bezpečnost a spolehlivost celého mechanismu.

U mechanicky ovládané spojky je mechanismus sestaven z pák, lanovodů a táhel, které jsou navraceny do své původní polohy díky pružinám *Obr. 20*. Celkový přenos pohybu je určen prostřednictvím převodu spojky pedálu, převodu vidličky pro ovládání vypínacího ložiska a převodu membránové pružiny.

Hydraulicky ovládané spojky dovolují snížit sílu potřebnou k sešlápnutí spojkového pedálu a jeho váhu. Toho je docíleno převodovým poměrem mezi hlavním a pomocným hydraulickým válcem *Obr. 20*. Tento typ spojek se začal využívat v 90. letech 20. století a využívá se dodnes.



Obr. 20.: Mechanicky ovládaný okruh spojky vlevo; hydraulicky vpravo [32]

Automatické spojky jsou u moderních aut nejpoužívanější. Zaručují komfort a řidič je zbaven potřeby starat se o spojkový pedál. Sběrnice CAN ve spolupráci se systémem ESP a řídicí jednotkou rozpojuje a vrací do záběru elektronicky podle toho, jaký signál vyšle řídicí jednotka dle nasbíraných dat jako je: rychlost vozidla, otáčky motoru, poloha pedálu, aktuálně zařazeného rychlostního stupně atd. [24]

4.2.7 TŘECÍ PODLOŽKA

Jedním z předních výrobců specializujících se na vývoj a optimalizaci převodových systémů je firma Schaeffler. Tato společnost dodává spojky společně s CSC modulem současně s třecí podložkou u vypínacího spojivého ložiska a představuje inovativní řešení v podobě speciální plastové podložky, která posiluje mechanickou odolnost a chrání před kontaktem kovu s kovem. [5] Tím dochází k eliminaci prokluzu ložiska a potlačení vzniku koroze vyvolané třením mezi ložiskem a pružinou. V důsledku použití této technologie dochází ke zvýšení účinnosti celého systému a k minimalizaci odchylek v ovládací síle.

Pro lepší porozumění úlohy byl zakoupen komerčně dostupný návrh modelu třecí podložky a ložiska, se kterým je možné se setkat v současných automobilech *Obr. 21*. U zakoupeného modelu je realizované spojení pomocí klipů na třecí podložce, který po nalisování zajistí pevné spojení obou komponent. Tento typ třecí podložky bude následně srovnán s nově vzniklými návrhy.



Obr. 21.: Třecí podložka [33]

5 NÁVRH SPOJENÍ TŘECÍ PODLOŽKY

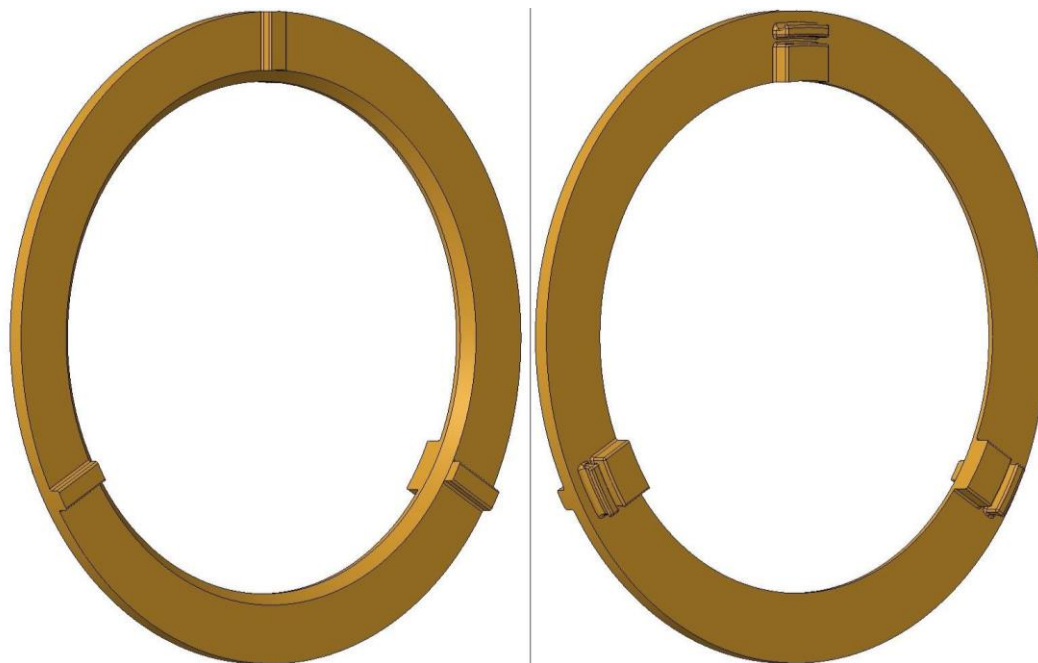
Cílem této fáze je vytvořit inovativní metody mechanického spojení plastové třecí podložky s vnějším kroužkem vypínacího spojovacího ložiska. Klíčovým požadavkem je zajistit, aby montáž těchto dvou komponentů byla co nejjednodušší, současně minimalizovat radiální a axiální posun podložky vůči vnějšímu kroužku. Taktéž je nutné minimalizovat požadavky na úpravu materiálu a zároveň zajistit vysokou vyrobiteľnosť navrhovaných spojovacích prvků. Konceptní návrhy byly vytvořeny za použití studentské verze programu Creo Parametric.

5.1 KONCEPČNÍ NÁVRHY

Následující konceptní návrhy vznikly na základě geometrie dosavadně dostupných řešení. Tyto návrhy budou v následujících kapitolách vyhodnoceny, budou provedeny FEA simulace a na základě výsledků dojde k úpravě geometrie.

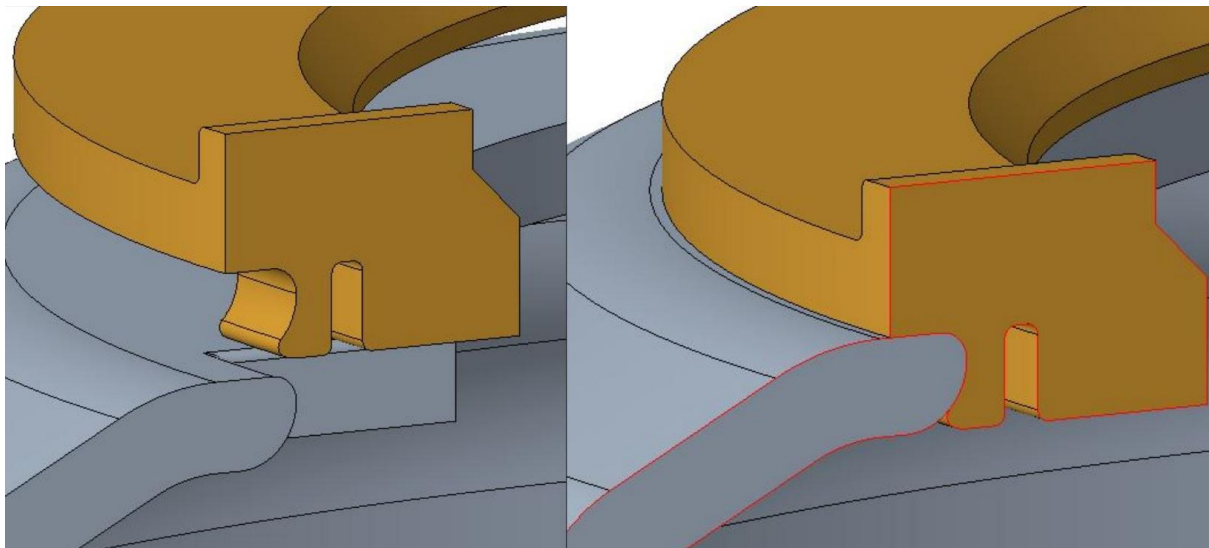
5.1.1 NÁVRH 1

Na levé straně *Obr. 22* je zobrazeno čelo podložky, které se dotýká membránové pružiny. Tři výběžky na podložce zapadají mezi membrány pružiny a zabraňují rotaci podložky vzhledem k pružině.



Obr. 22.: První konceptní návrh podložky

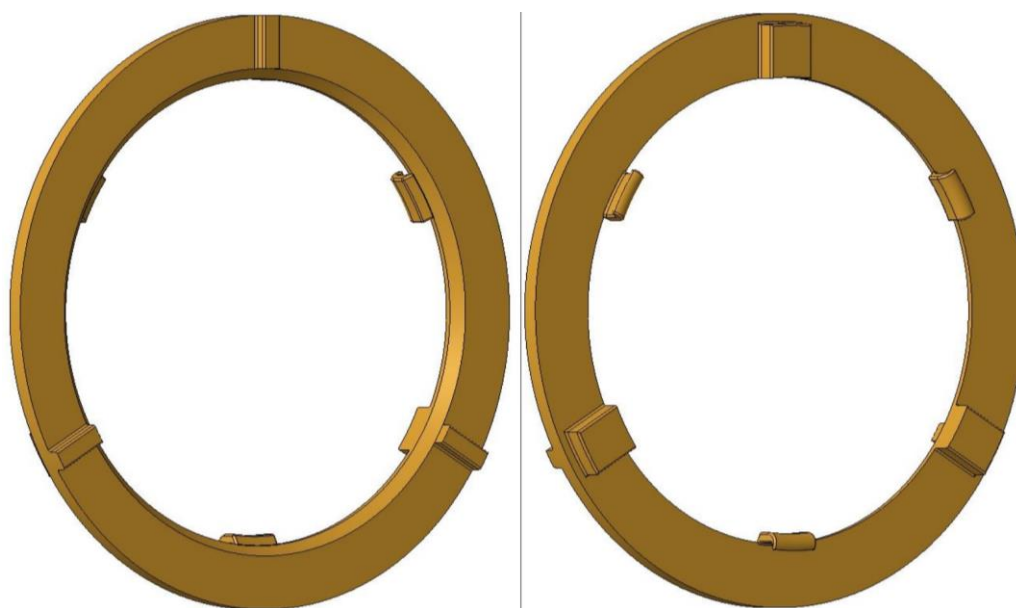
Na *Obr. 23* je znázorněno spojení mezi podložkou a ložiskem. Toto spojení je realizováno pomocí tří klipů, které se zacvaknou do dosedací drážky. Piny slouží k zamezení radiálního a axiálního pohybu podložky vzhledem k ložisku.



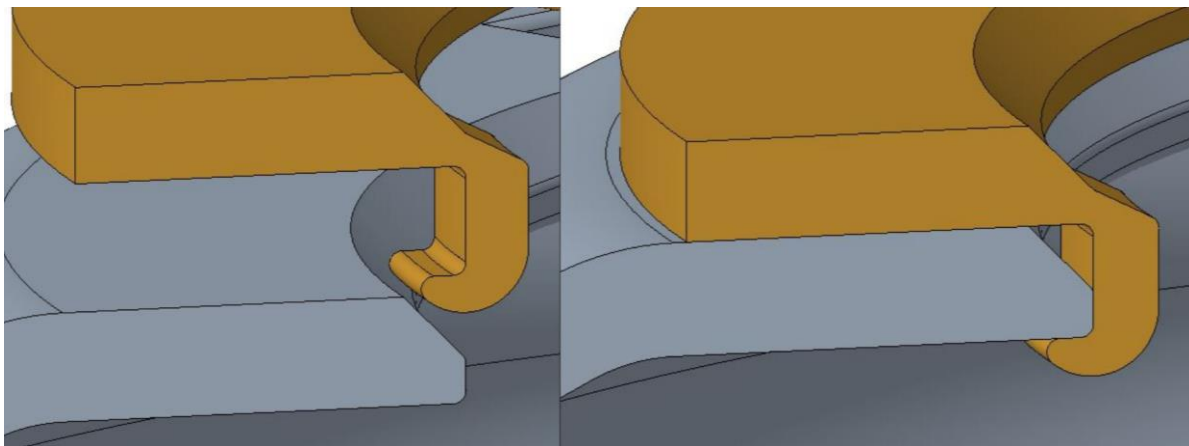
Obr. 23.: Detail spojení podložky s vnějším kroužkem ložiska

5.1.2 NÁVRH 2

Na *Obr. 24* je znázorněn druhý návrh podložky. Čelo podložky je identické s předchozím návrhem. Dosedací plocha na ložisko je vybavena speciálními piny, které slouží k zamezení radiálního pohybu, a klipy, které slouží k spojení s ložiskem a brání axiálnímu pohybu. Na vnitřním obvodu ložiska je vytvořeno zkosení, aby se předešlo případnému ulomení klipů při nasazování podložky.



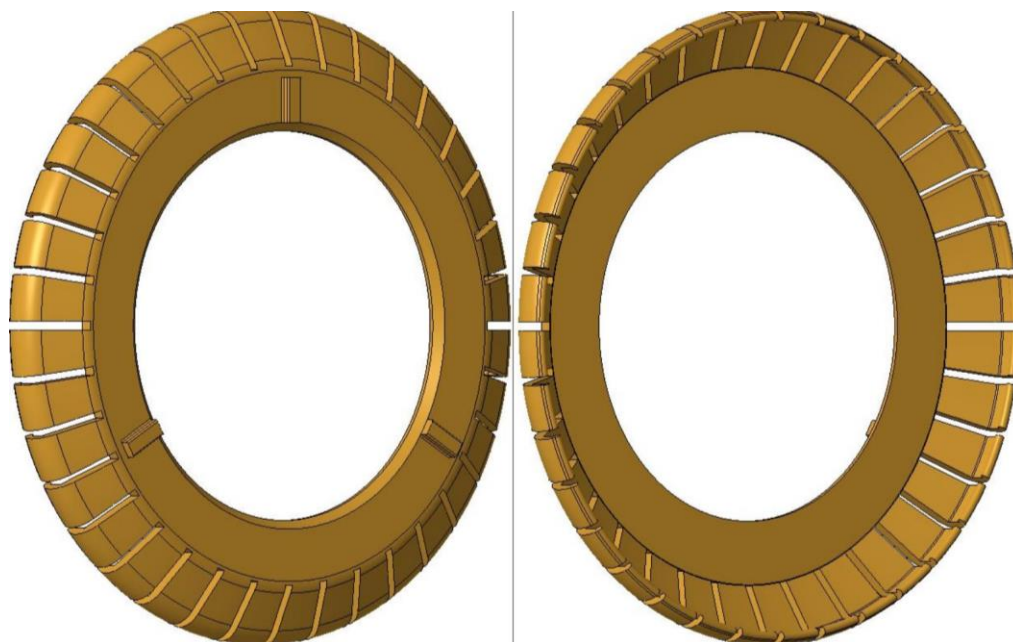
Obr. 24.: Druhý koncepční návrh podložky



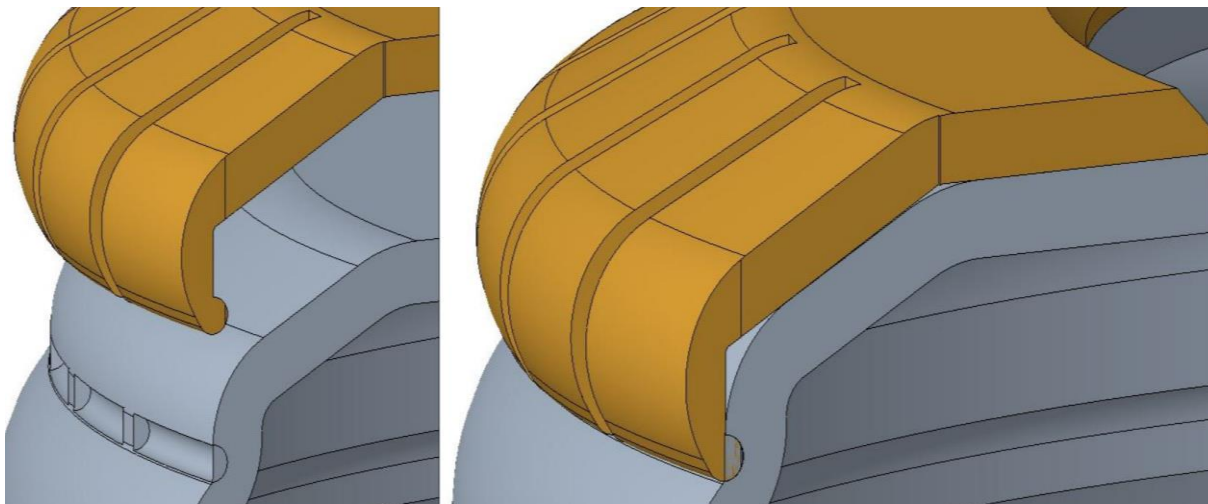
Obr. 25.: Detail spojení podložky s vnějším kroužkem ložiska

5.1.3 NÁVRH 3

Pro uchycení podložky je vytvořeno vybrání na vnějším obvodu ložiska, jak je patrné na *Obr. 27*. Velikost vybrání musí být pečlivě navržena tak, aby nedošlo k poškození ložiska přílišným zúžením stěny. Konce vybrání jsou konstruovány bez zaoblení, přičemž jejich stěny slouží k zamezení radiálního pohybu, jak je ilustrováno na *Obr. 27*. Podložka obsahuje klipy, které na nachází na jejím vnějším obvodu *Obr. 26*.



Obr. 26.: Třetí koncepční návrh podložky



Obr. 27.: Detail spojení podložky s vnějším kroužkem ložiska

5.2 VÝBĚR NEJVHODNĚJŠÍHO ŘEŠENÍ

Každý z koncepčních návrhů byl vyhodnocen pomocí metody „Pugh“. Tato vyhodnocovací metoda umožňuje strukturovaně a objektivně porovnat alternativy na základě stanovených kritérií [34].

Základní postup metody Pugh zahrnuje následující kroky:

- 1) Stanovení klíčových kritérií, které mají význam pro posouzení navrhovaných řešení. Tyto kritéria představují klíčové aspekty, které se mezi sebou budou porovnávat. [34] Kritéria jsou zobrazená v *Tab. 4* v levém sloupci.
- 2) Vypracování referenční varianty, nebo výběr variant, které budou mezi sebou srovnány. Jedná se o koncepční návrhy 1–3.
- 3) Výpočet váhového faktoru, kdy dojde k porovnání kritérií mezi sebou a všechna kritéria získají svojí určitou hodnotu důležitosti neboli váhový faktor. V *Tab. 4* je oranžový řádek, který udává, jaké řádky jsou mezi sebou hodnocené pro daný sloupec. V sloupci 1 se porovnává 1x2 (vyrobitelnost vnějšího kroužku X výrobitelnost podložky), tedy první řádek s druhým. Vyrobitelnost vnějšího kroužku je vyhodnoceno jako důležitější kritérium, proto dostává jeden bod a výrobitelnost podložky nula bodů. Potom, co se porovnají veškerá kritéria, tak na konci řádku se získá součtem získaných bodů váhový faktor W_i .
- 4) Vytvoření Pughovy matice *Tab. 5*, kde jsou v levém sloupci kritéria a v horním řádku porovnávané návrhy.

- 5) Porovnání návrhů dle kritérií, kdy každý návrh dostane hodnocení 1 (složitě, nevhodně) – 5 (jednoduché, vhodné) v závislosti na daném kritériu. V *Tab. 5* návrh 1 získává čtyři body u kritéria vyrobitelnost vnějšího kroužku a návrh 3 získává jeden bod u stejného kritéria.
- 6) Vyhodnocení. Body u jednotlivých kritérií každého návrhu jsou vynásobeny příslušným váhovým faktorem a sečteny. Tím vzniká celkové hodnocení jednotlivých návrhů.

Tab. 4.: Výpočet váhového faktoru

Kritéria	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Wi
	1x2	1x3	1x4	1x5	2x3	2x4	2x5	3x4	3x5	4x5	
Vyrobitelnost vnějšího kroužku (složitost)	1	1	1	0							3
Vyrobitelnost podložky (složitost)	0				1	0	1				2
Zamezení axiálního posuvu		0			0			0	1		1
Zamezení rotace			0			1		1		1	3
Náročnost montáže				1			0		0	0	1

Tab. 5.: Výběr nejvhodnějšího řešení

Návrh \ Kritérium	1	2	3	Váhový faktor Wi
Vyrobitelnost vnějšího kroužku (složitost)	4	4	1	3
Vyrobitelnost podložky (složitost)	4	3	1	2
Zamezení axiálního posuvu	5	5	4	1
Zamezení rotace	5	5	5	3
Náročnost montáže	4	3	1	1
Vyšší=Lepší	44	41	25	

Koncepční návrh 1 byl vyhodnocen metodou „Pugh“ jako nejlepší jak z hlediska bodového hodnocení, tak i z pohledu výrobitelnosti a funkčnosti.

U některých kritérií jednotlivých návrhů lze pozorovat velmi nízké bodové hodnocení. Tento faktor poukazuje na místa, která je potřeba změnit a zlepšit. Například návrh 3 získal pouze dva body u kritéria náročnost montáže. To je zapříčiněno tím, že je potřeba vyvinout velkou sílu k tomu, aby došlo k potřebnému roztažení úchytek po obvodu pro nasazení na vnější kroužek ložiska. Při montáži je pravděpodobné, že by nedošlo k zacvaknutí úchytek při spojení čelní plochy vnějšího kroužku ložiska a vnitřní plochy podložky. Důvodem je příliš velké vyosení úchytek. Z důvodu složitého montážního procesu a složitě výrobitelnosti jak podložky, tak vnějšího kroužku ložiska, nebude návrh číslo tři optimalizován.

5.3 OPTIMALIZACE

Optimalizace proběhla v závislosti na výsledcích, kterých bylo dosaženo použitím simulačního programu Ansys Workbench při simulaci spojení třecí podložky a vnějšího kroužku ložiska. Materiálem ložiska je konstrukční ocel, materiálem třecí podložky je polyamid 46 s 30% obsahem skleněných vláken a příměsí teflonu (PA46+PTFE) GF30. Materiálové vlastnosti plastu jsou uvedené v *Tab. 6*.

Tab. 6.: Materiálové vlastnosti (PA46+PTFE) GF30

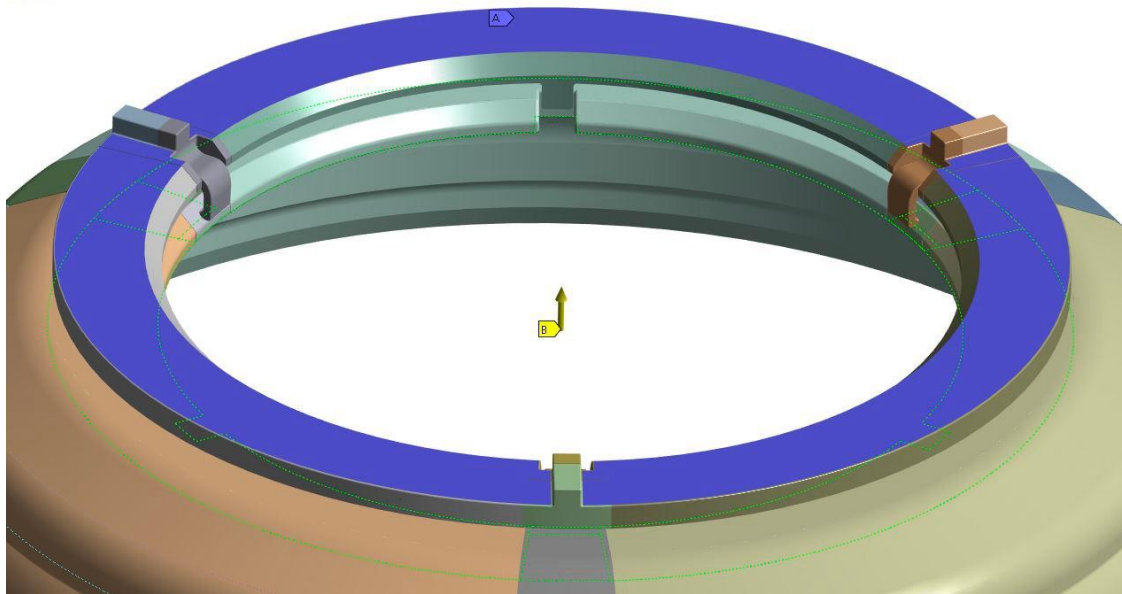
Materiálové vlastnosti	Hodnota	Jednotka
Hustota	1530	kg/m ³
Koeficient teplotní roztažnosti	0,00023	1/C
Youngův modul	8396	MPa
Poissonova konstanta	0,39	
Objemový modul pružnosti	12,72	GPa
Modul pružnosti ve smyku	3020	MPa
Mez kluzu	240	MPa
Mez pevnosti v tahu	300,6	MPa
Mez pevnosti v tlaku	451	MPa

Celkem je vytvořeno 16 modelů. Každý nový model řešil kritická místa jeho předchůdce. Nejlepších výsledků bylo dosaženo při použití minimální výrobitelné tloušťky stěn. O těchto výsledcích pojednává kapitola 5.5.

5.3.1 VÝPOČTOVÝ MODEL

Pro simulaci pevného uložení jednoho z těles je zavedená funkce „Fixed Support“. Tato okrajová podmínka zabraňuje vybraným plochám v posuvu. Funkce „Displacement“ je zavedená na druhé těleso. U této funkce je nastaven posuv pouze ve směru spojení třecí podložky s vnějším kroužkem ložiska *Obr. 28*.

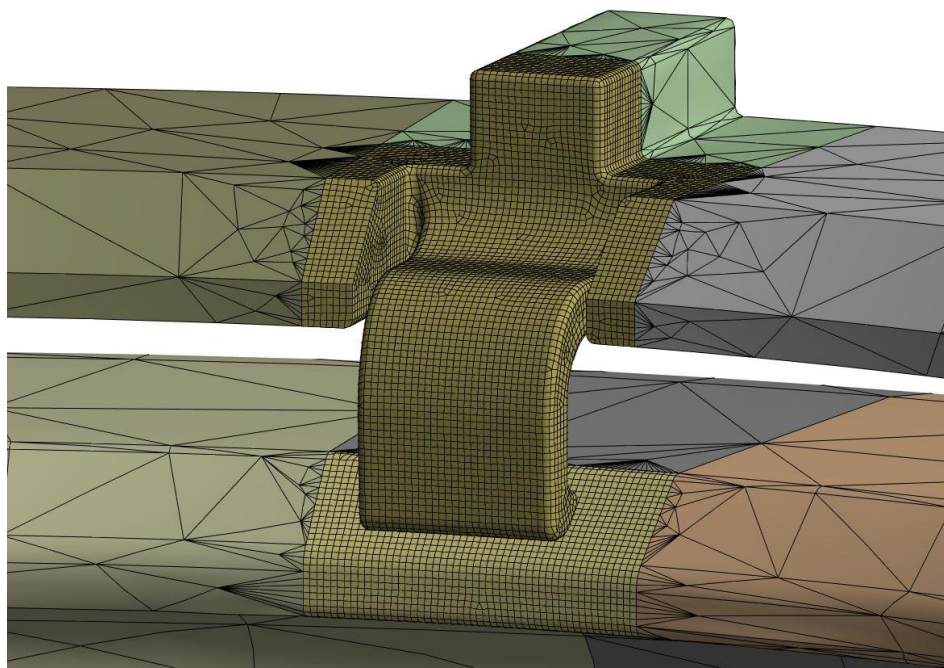
- A** Fixed Support
- B** Displacement



Obr. 28.: Nastavení okrajových podmínek

Jedná se o kontaktní úlohu a musí být vytvořený vztah mezi dvěma povrchy, aby se zabránilo jejich vzájemnému průchodu při analýze. Je zaveden třecí kontakt mezi podložkou a ložiskem. Metoda kontaktní formulace je nastavena na „Pure Penalty“ z důvodu snížení výpočetní náročnosti úlohy. Faktor normálové tuhosti je snížen na hodnotu 0,01. Tím se zvýšila dovolená penetrace kontaktních těles a snížila výpočetní náročnost.

Pozornost byla věnována nastavení velikosti elementů v klíčových oblastech, přičemž byla provedena i citlivostní analýza na velikost prvku. Z důvodu nastavení kontaktu byla v daných oblastech zvolena hexagonální síť *Obr. 29*.

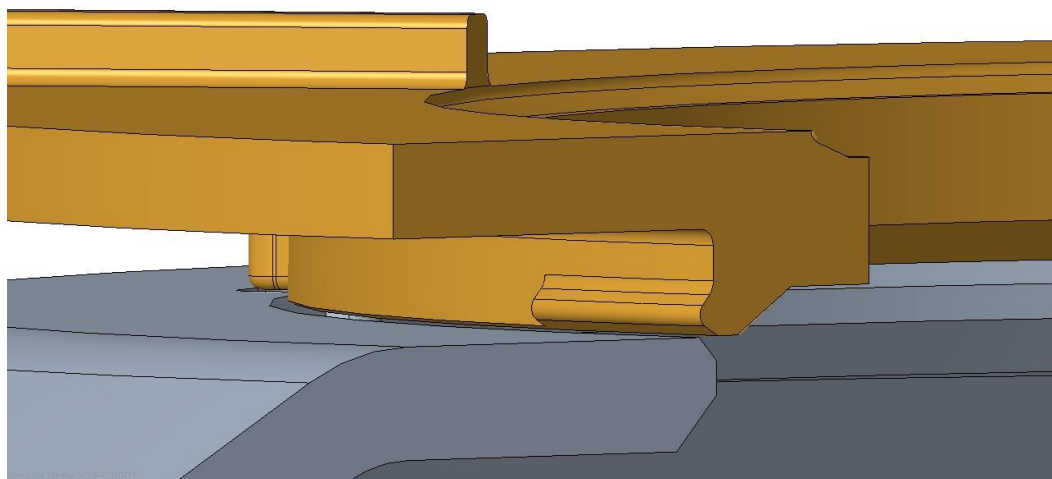


Obr. 29.: Vytvořená síť kontaktních ploch u třecí podložky a vnějšího kroužku ložiska

Vzhledem k dosažení lepší konvergence a lepší kontroly nad analýzou bylo přistoupeno k rozdělení analýzy do 16 kroků, kdy došlo v každém kroku o posunutí o 0,1 mm ve směru spojení komponent, s možností navázání dalšího výpočtu na předchozí krok.

5.3.2 KOMERČNĚ DOSTUPNÝ MODEL

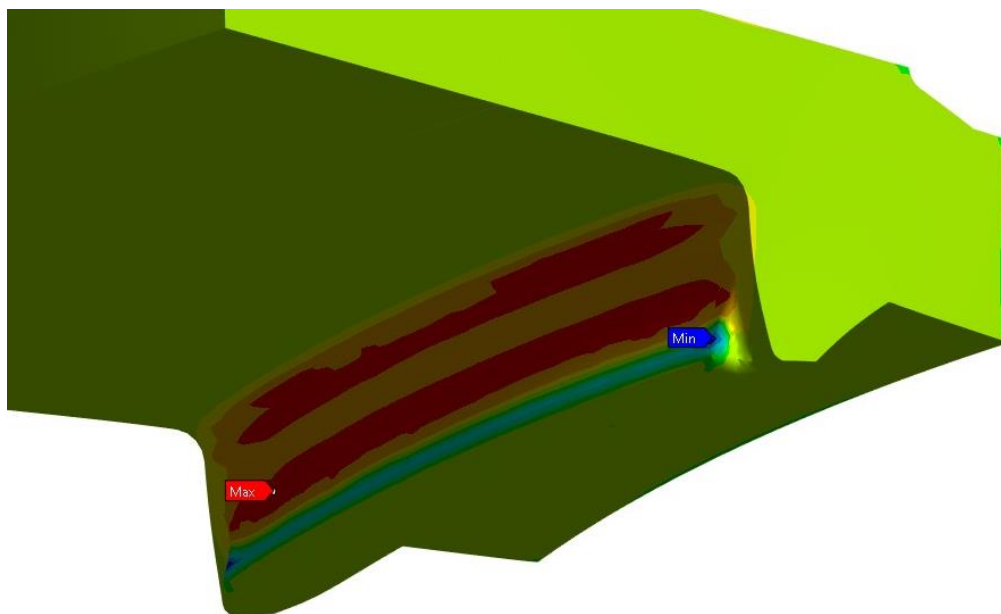
Podložka byla oddělená od ložiska, obě komponenty byly remodelované a podrobené stejnému simulačnímu procesu. Díky tomu lze porovnat dosavadně používaný model a nově vzniklé návrhy. Remodelované komponenty jsou zobrazené na Obr. 30.



Obr. 30.: Remodelované komerčně dostupné řešení třecí podložky

Pro výpočtový model byl použit lineární elastický model materiálu a na základě toho nelze přesně popsat průběh napěťové charakteristiky. Vhodnější by bylo použití bilineárního nebo multilineárního modelu.

Maximální napětí v tahu u komerčně dostupného modelu vyšlo při montážní zkoušce 1876 MPa a v tlaku 2471 MPa. Místa vzniku maximálního napětí jsou zobrazená na *Obr. 31*. Tyto hodnoty jsou za mezí pevnosti použitého materiálu. Aby bylo možné podložku spojit s ložiskem, musí být dle výpočtu vyvinutá síla 5550 N. Lze tedy konstatovat, že pro spojení podložky s ložiskem je nezbytné použít lisovací stroj a vzniklá napětí mohou způsobit poškození třecí podložky, která znemožní její použití.



Obr. 31.: Místa vzniku maximálního napětí při montážní zkoušce

5.3.3 NÁVRH 1

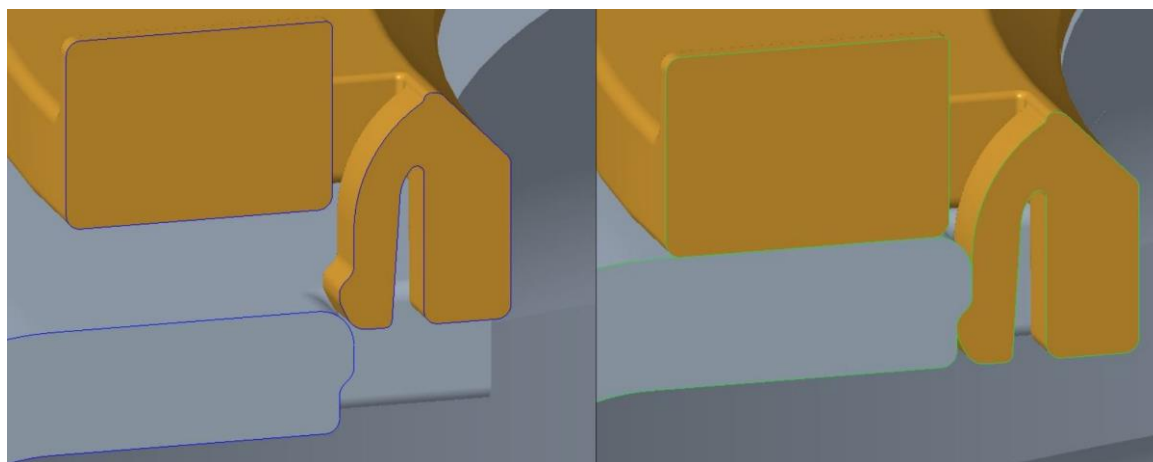
U prototypního návrhu 1 vzniklo maximální napětí v tahu při montážní zkoušce 1385 MPa a napětí v tlaku na zobáčku pinu 655 MPa, rozložení napětí je zobrazeno na *Obr. 32*. Tyto hodnoty jsou za hranicí pevnosti a od této geometrie se odvíjela konečná geometrie klipu.



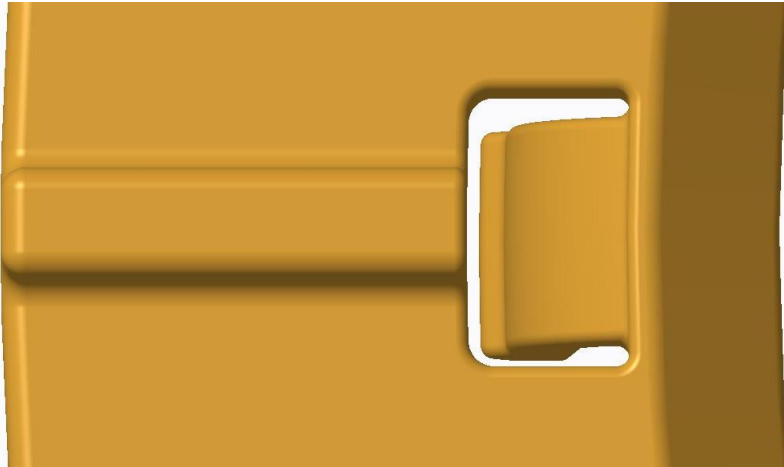
Obr. 32.: Místa vzniku maximálního napětí při montážní zkoušce

Nadměrný úbytek materiálu na vnějším kroužku ložiska může způsobit jeho poškození při zatížení, proto jsou piny pro zamezení radiálního pohybu zmenšeny. Velikost těchto pinů se odvíjela od geometrie komerčně dostupné třecí podložky.

Došlo k úpravě geometrie klipu, který svým zacvaknutím zajistí spojení mezi podložkou a ložiskem Obr. 33. Díky otvoru, který je vytvořen kolem klipu, bylo eliminováno místo, kde vznikalo největší napětí při montáži Obr. 34.

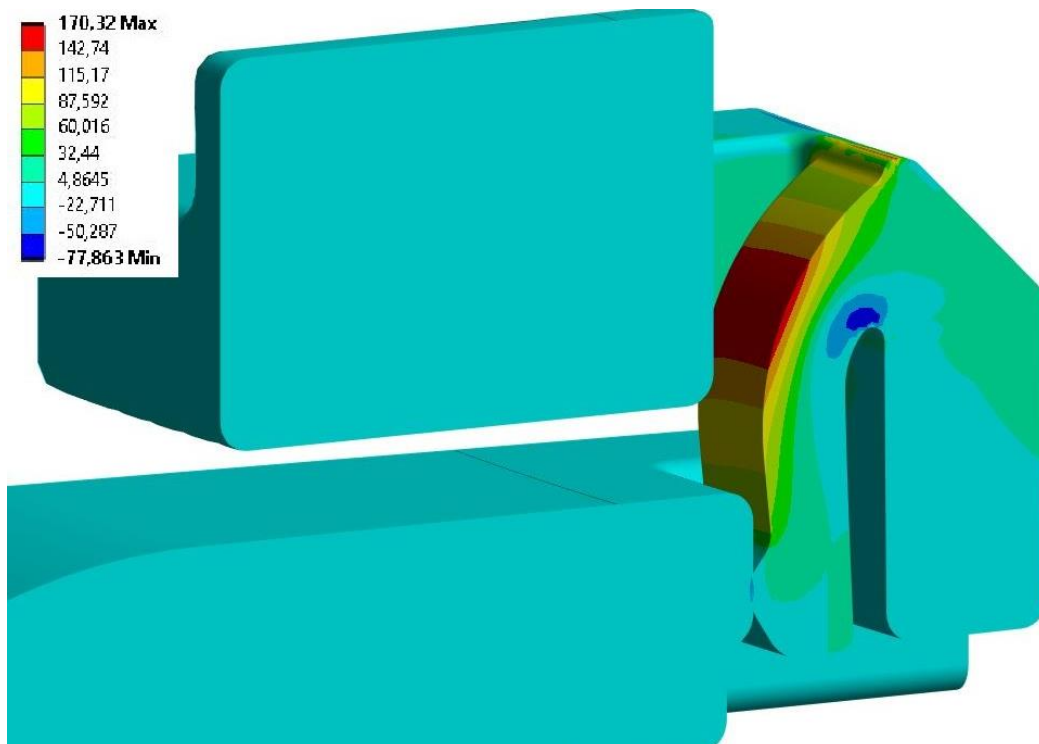


Obr. 33.: Řez spojení třecí podložky s ložiskem



Obr. 34.: Horní pohled na otvor v třecí podložce kolem klipu

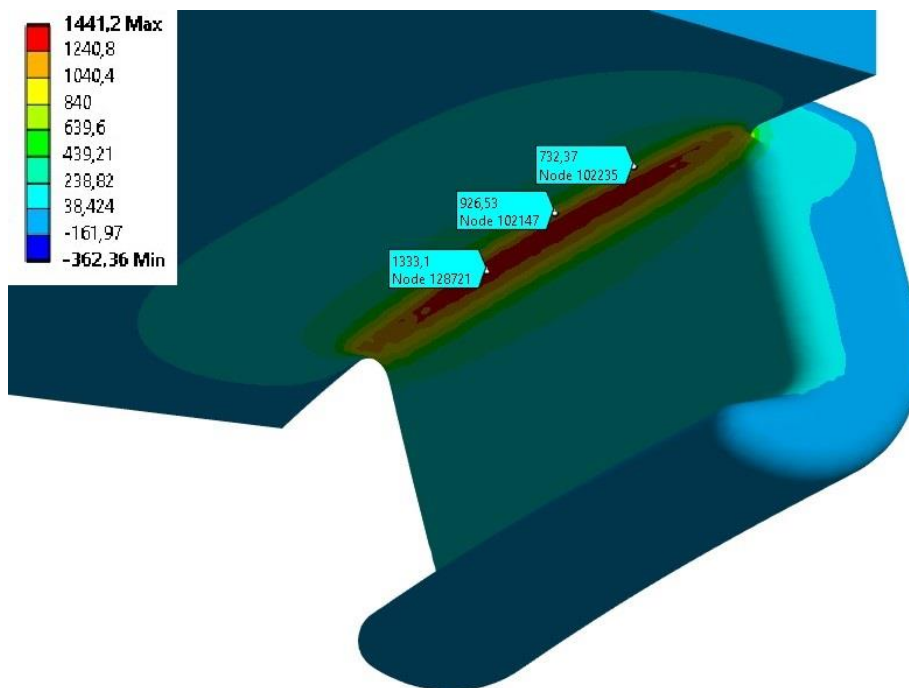
Snahou je vytvořit co největší rádiusy a udržet konstantní tloušťku klipu po celé jeho délce, aby došlo k rovnoměrnému rozložení napětí při montáži. Maximální napětí se projevilo na dvou místech. Na vnitřní straně klipu vzniká tlakové napětí 77,9 MPa a na vnější straně 170,3 MPa v tahu Obr. 35. Tyto hodnoty leží v mezích dovoleného napětí, než nastane trvalé poškození materiálu.



Obr. 35.: Místa vzniku maximálního napětí při montážní zkoušce

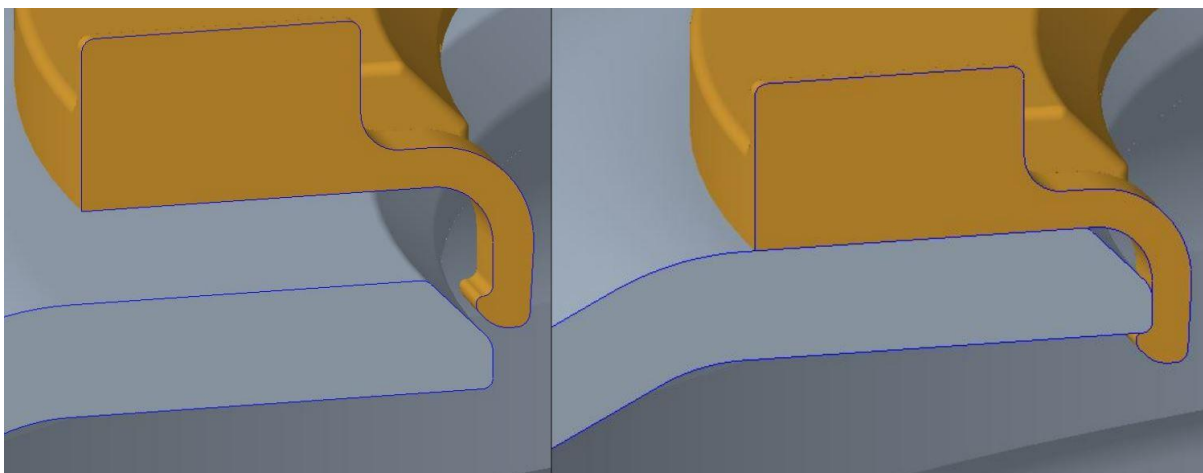
5.3.4 NÁVRH 2

U prototypního návrhu 2 vzniklo maximální napětí v tahu při montážní zkoušce 1441 MPa a napětí v tlaku na zobáčku pinu 362 MPa, rozložení napětí je zobrazeno na *Obr. 36*.



Obr. 36.: Místa vzniku maximálního napětí při montážní zkoušce

Piny pro zamezení radiálního pohybu jsou zmenšeny podobně jako v předchozím návrhu. Snahou je vytvořit co největší rádiusy a udržet konstantní šířku klipu po celé délce *Obr. 37*. Jsou vytvořené drážky kolem klipu, díky kterým se zvětšila délka klipu a došlo k většímu rozložení napětí při montáži *Obr. 38*.

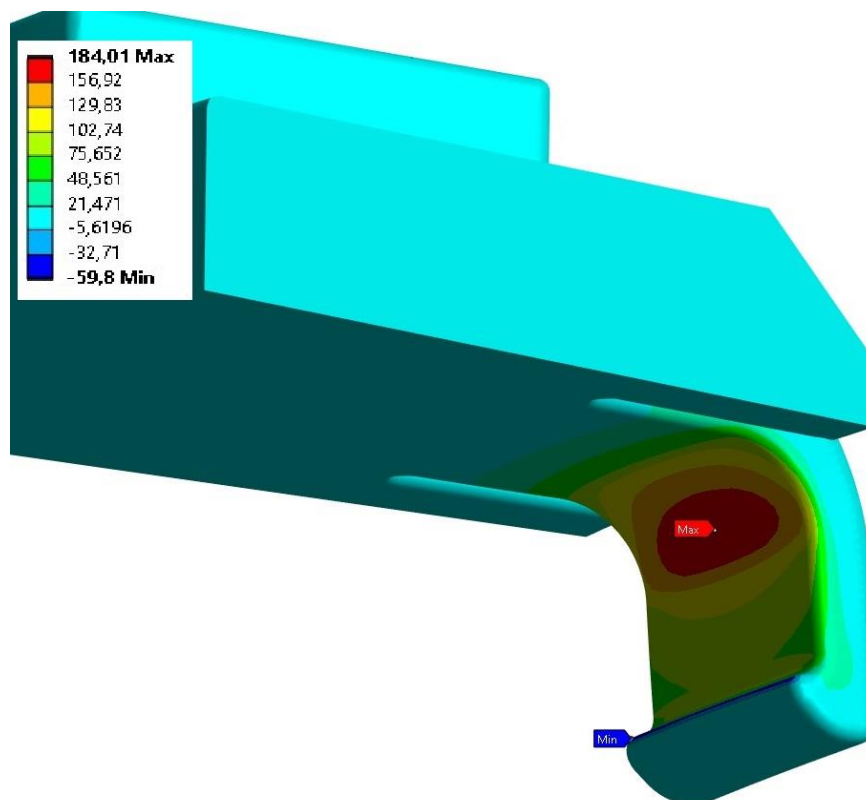


Obr. 37.: Řez spojení třecí podložky s ložiskem



Obr. 38.: Vytvořené drážkování kolem klipu

Maximální napětí v tahu, které vzniká na vnitřní straně klipu je 184 MPa a napětí v tlaku na zobáčku klipu je 59,8 MPa Obr. 39. Tyto hodnoty jsou vyhovující a nedojde k poškození třecí podložky.



Obr. 39.: Místa vzniku maximálního napětí při montážní zkoušce

5.4 VYHODNOCENÍ

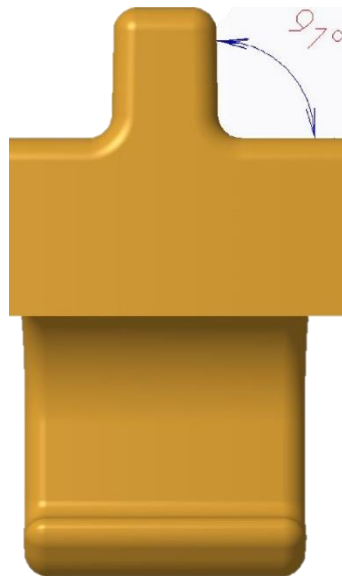
Mezi plusy komerčně dostupného řešení patří jednoznačně nižší výrobní cena. Geometrie třecí podložky je jednodušší a výrobní forma bude levnější. Mezi nevýhody patří spolehlivost. S největší pravděpodobností dojde k občasnému poškození třecí podložky při montáži, protože vzniklá napětí jsou příliš velká pro použitý plast a může tedy dojít k utržení klipu. Jistotu správné montáže mohou poskytnout nové návrhy, díky kterým nebude docházet k plýtvání materiálu kvůli jeho poškození. Dalším plusem u nových návrhů je menší síla, kterou je potřeba vyvinout ke spojení třecí podložky s ložiskem. U prvního návrhu je reakční síla, kterou je potřeba vyvinout k zacvaknutí podložky 37 N, u druhého návrhu je síla 42 N a u komerčně dostupného návrhu je tato síla 5550 N. Hodnota 5550 N nebude skutečně potřebnou hodnotou ke spojení ložiska s podložkou, jelikož používáme lineární elastický model materiálu. Z výsledků je však patrné, že pro realizaci spojení podložky s ložiskem je u komerčně dostupného modelu zapotřebí lisovacího stroje. Tato potřeba u dvou nově vzniklých návrhů odpadá. Při zjištění defektu po spojení třecí podložky s ložiskem, je u nově vzniklých návrhů jednoduchá demontáž díky zpětnému zkosení na klipech a poddajnější geometrii. U komerčně dostupného řešení je demontáž náročná a destruktivní, vytvořený spoj je velice pevný. To lze považovat jako další výhodu nově vzniklých návrhů. Srovnání vlastností nově vzniklých návrhů a komerčně dostupného řešení lze vidět v *Tab. 7*.

Tab. 7.: Srovnání nových návrhů s komerčně dostupným řešením

	Návrh 1	Návrh 2	Současné řešení
Cena / Výroba	–	–	+
Spolehlivost	+	+	–
Potřebná síla při montáži	+	+	–
Demontáž	+	+	–
Výroba ložiska	–	+	+

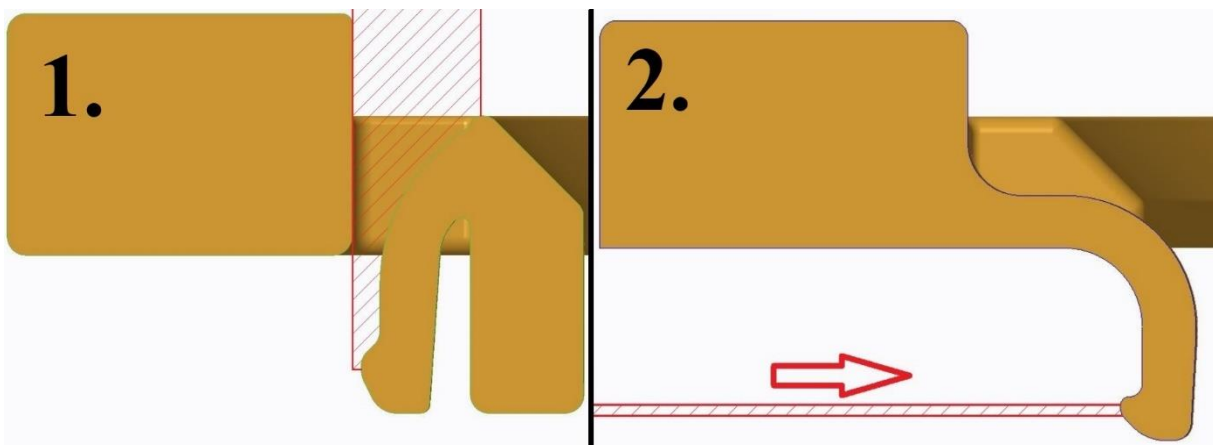
5.5 VYROBITELNOST

Nejvhodnější metodou pro výrobu třecí podložka je metoda vstřikování. Tato metoda je podrobněji popsána v kapitole č. 2. Veškeré žebrování a piny, které zamezují rotaci, jsou zkoseny o 1°. Díky tomuto zkosení je možné bezpečně vyndat díl z formy *Obr. 40*.



Obr. 40.: zkosení pinu na čele třecí podložky

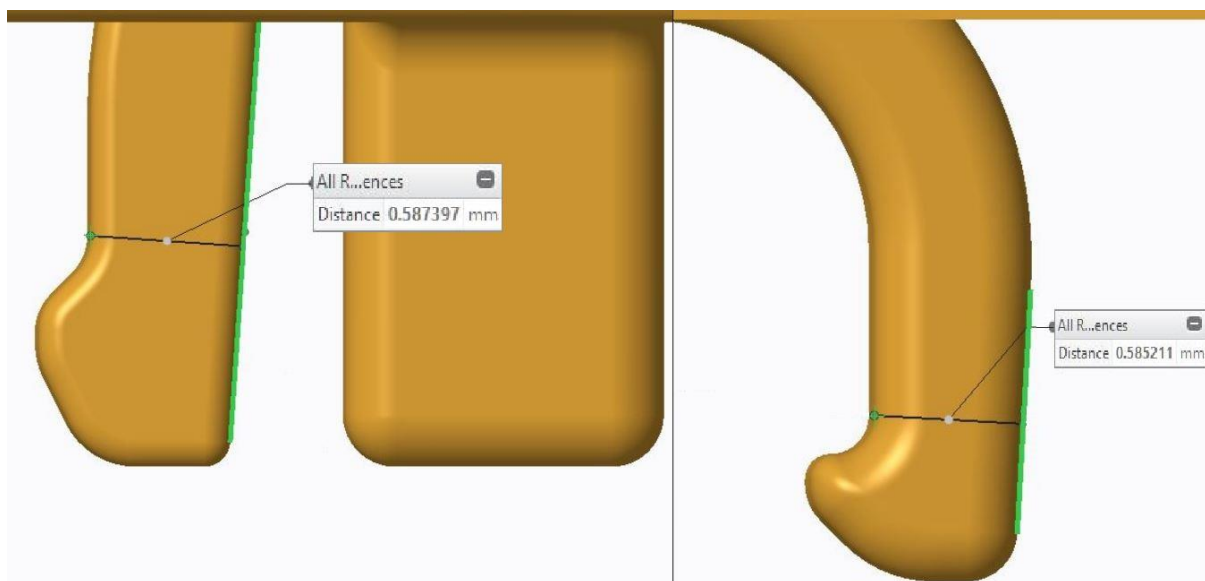
Díky otvoru, který se nachází nad klipem v prvním návrhu, bude výroba jednodušší. Do otvoru bude zavedené jádro (červeně) a nebude třeba používat stírací desky pro vycvaknutí zobáčku klipu. Stírací desku (červeně) bude zapotřebí využít u druhého návrhu. Stírací deska zajistí vycvaknutí zobáčku pinu z tvarovací formy. Místo stírací desky by bylo možné použít další dělicí rovinu.



Obr. 41.: Umístění jádra, koncept 1 (vlevo) a stírací desky, koncept 2 (vpravo)

Minimální tloušťka stěny u obou návrhů je necelých 0,6 mm. Výrobci obvykle udávají minimální vyrobiteľnou tloušťku stěny u polyamidů okolo 0,45 mm a doporučenou (0,7 - 0,8) mm. Rozměry jsou zobrazeny na Obr. 42. Byly provedené výpočty, kde byla tloušťka stěny zmenšená o 0,1 mm a jednalo se o téměř minimální vyrobiteľnou tloušťku stěny u některých výrobců. Výsledky ukázaly, že by se u obou návrhů zmenšilo maximální napětí

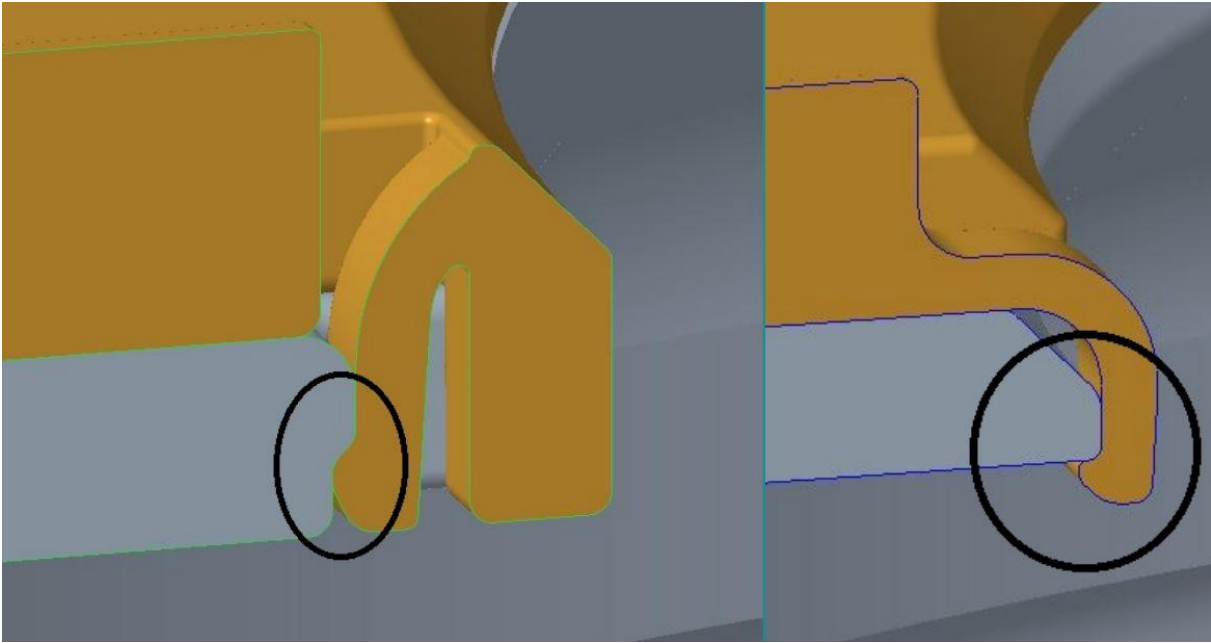
o několik desítek MPa a zmenšila by se potřebná síla ke spojení podložky s ložiskem přibližně o 10 N u obou návrhů.



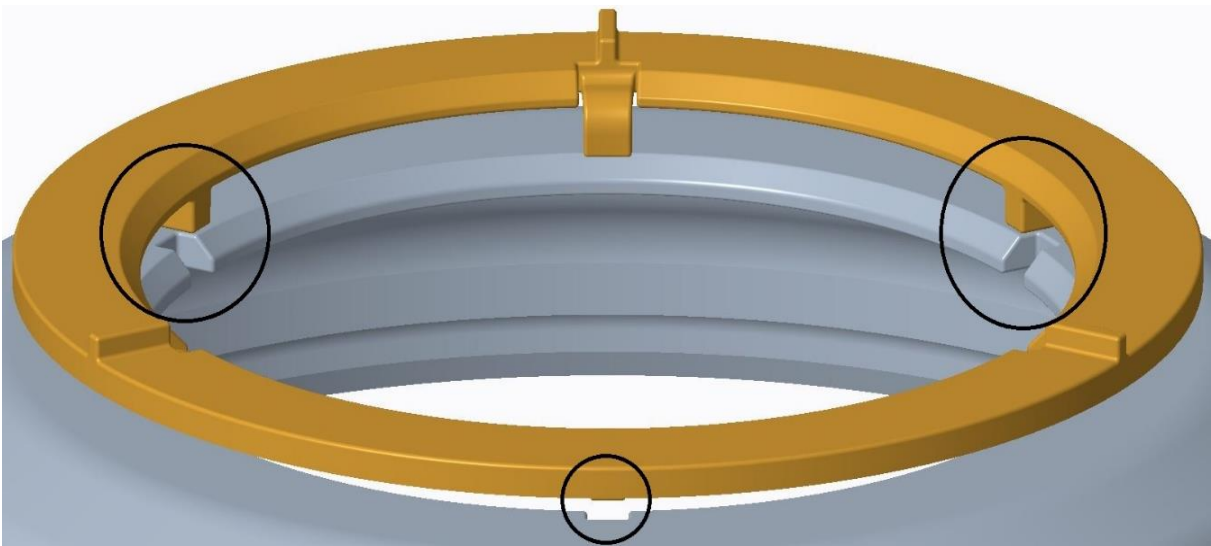
Obr. 42.: Minimální tloušťka stěny klipu u třecí podložky. Návrh 1 (vlevo) návrh 2 (vpravo)

Po provedení simulace montáže bylo naměřeno u prvního návrhu maximální napětí v tahu 152,7 MPa a maximální napětí v tlaku 31,5 MPa. Potřebná síla ke spojení podložky s ložiskem je 21 N. U druhého návrhu bylo naměřeno maximální napětí v tahu 176,5 MPa a maximální napětí v tlaku 65 MPa. Potřebná síla ke spojení podložky s ložiskem je 30 N. Tyto hodnoty se nacházejí v mezích dovoleného napětí. Místa, ve kterých docházelo ke koncentraci napětí, jsou shodná, jako je tomu v kapitole 5.3.

Geometrie vnějšího kroužku ložiska se bude odvíjet od geometrie spojovacích klipů třecí podložky. V prvním návrhu je spojovací klip umístěn ve vybrání ložiska, při obrábění ložiska musí dojít k doplňkové operaci, aby vzniklo zkosení, do kterého zapadne klip pinu Obr. 43 (vlevo). U druhého návrhu tento proces není potřebný, jelikož klip se uchycuje na vnitřním obvodu ložiska Obr. 43 (vpravo), budou pouze vytvořené drážky pro uložení pinu, který zabraňuje rotaci při zatížení Obr. 44.



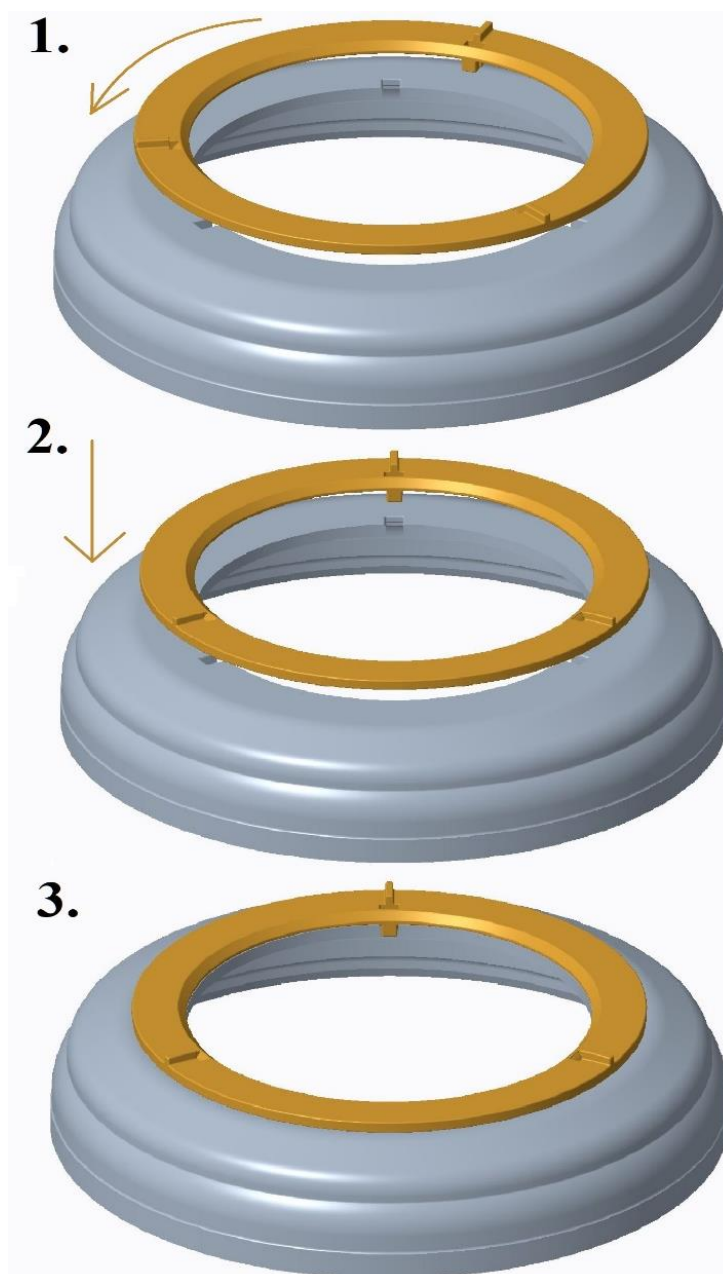
Obr. 43.: Uchycení třecí podložky



Obr. 44.: Drážky v ložisku pro zamezení rotace třecí podložky při zatížení

5.6 MONTÁŽNÍ POSTUP

Potřebná síla ke spojení třecí podložky a ložiska snížila na 37 N a 42 N, je možné spojovat komponenty pomocí jednoduchého ručního lisovacího stroje, aby došlo k rovnoměrnému rozložení napětí na všech klipech při montáži. Spojení lze provést i ručně, nedojde však k rovnoměrnému zatlačení klipů třecí podložky do ložiska, pro tento přístup by bylo vhodné provést simulaci. Spojení třecí podložky s ložiskem je u obou návrhů identické. Třecí podložka bude vycentrovaná vůči ložisku a pootočená tak, aby piny na třecí podložce přesně zapadly do otvorů na ložisku po zatlačení silou na podložku *Obr. 45*.



Obr. 45.: Spojení třecí podložky s vnějším kroužkem ložiska

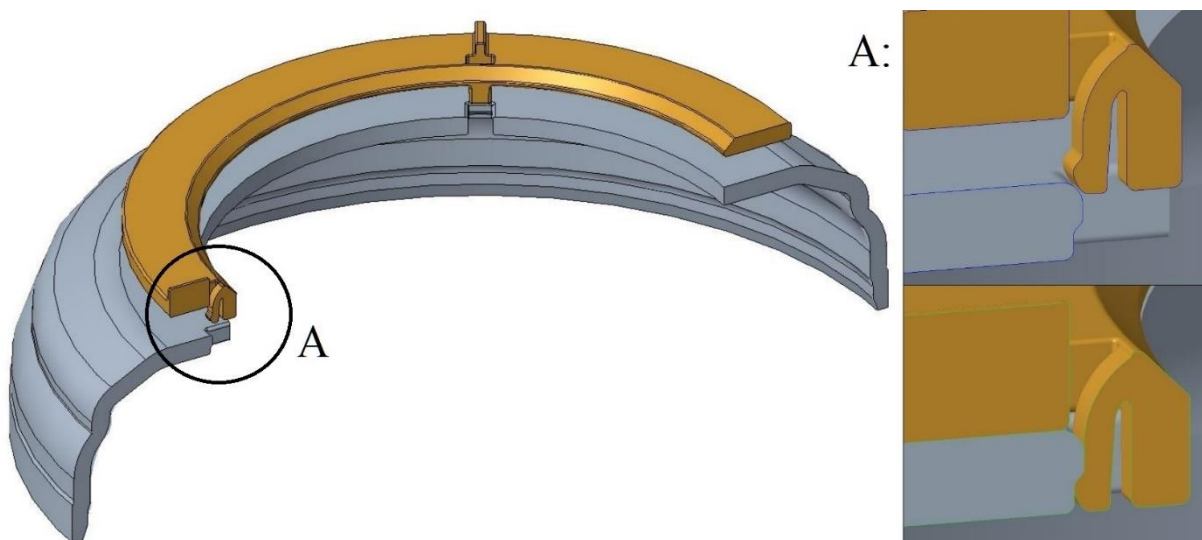
ZÁVĚR

Tato diplomová práce se věnovala konstrukčnímu návrhu spojení třecí podložky a vypínacího spojovacího ložiska. U komerčně dostupného návrhu při spojování třecí podložky s ložiskem vzniká v místě spojení koncentrace napětí, které několikanásobně přesahuje mez pevnosti materiálu a docházelo k občasnému poškození třecí podložky, přičemž tento proces vyžadoval použití lisovacího stroje s potřebnou silou v řádech kilonewtonů. Cílem nových konstrukčních návrhů bylo zajistit spojení třecí podložky s ložiskem, aniž by došlo k poškození materiálu a snížit potřebou sílu pro spojení komponent na minimum.

V první fázi došlo k zmapování současných stavů poznání v oblasti používaných materiálů a způsobů, jakými lze spojovat plast s kovem. Následně byly vytvořeny koncepční návrhy, každý z nich se soustředil na spojení třecí podložky s vnějším kroužkem vypínacího ložiska na jiném místě. Tyto návrhy byly posouzeny z hlediska výrobitelnosti a spolehlivosti a výsledky ukázaly, že nejlépe lze realizovat spojení v oblasti vnitřního obvodu vnějšího kroužku ložiska. Podrobně je vyhodnocení popsáno v kapitole 5.2.

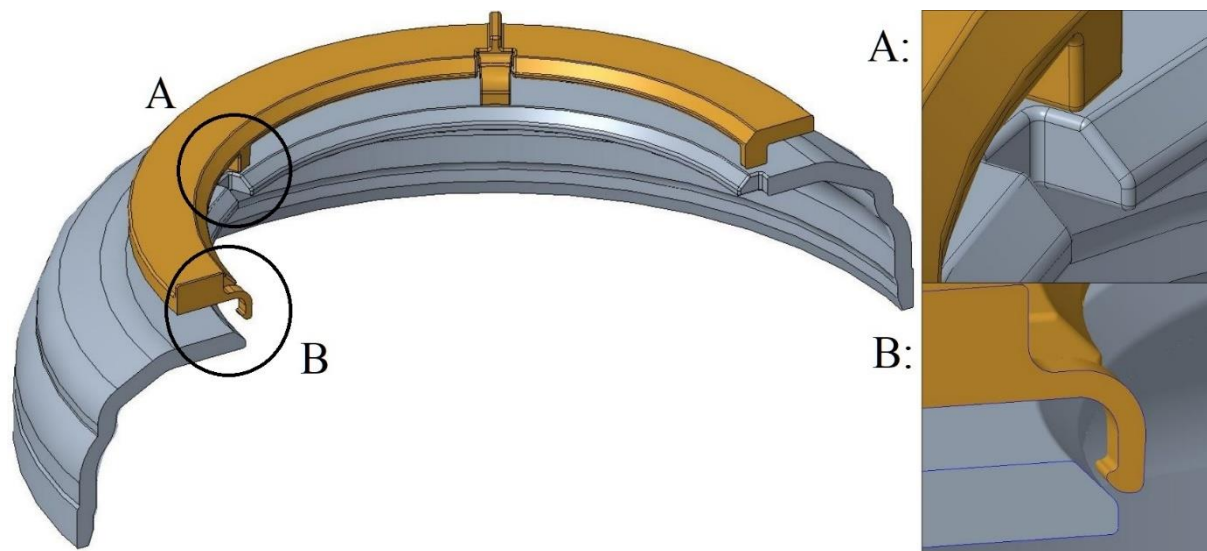
Na počátku optimalizace byla provedena pevnostní analýza koncepčních návrhů. Tato analýza identifikovala kritická místa během montáže a stanovila optimální tloušťku stěn necelých 0,6 mm. Tato tloušťka se blíží k doporučeným rozměrům pro výrobu podložky metodou vstřikování a zároveň nedochází k plastické deformaci při montáži. Výsledky jsou obsažené v kapitole 5.3.3 a 5.3.4.

Výsledkem konstrukční části jsou dva nové návrhy, které se liší umístěním spojovacích klipů. První návrh vyžaduje větší úpravu vnějšího kroužku ložiska, protože v místě spojení třecí podložky s ložiskem je zkosení, do kterého zapadne klip třecí podložky *Obr. 46*, třecí podložka je snáze výrobitelná díky otvoru nad zobáčkem klipu, do kterého lze při vstřikování vložit jádro.



Obr. 46.: geometrie spojovacího klipu u prvního návrhu a zkosení na ložisku

Druhý návrh nevyžaduje tak složitou úpravu ložiska, protože spojení je zajištěno na vnitřním obvodu ložiska. Jedinou úpravou bude vytvoření otvorů, do kterých zapadnou piny zamezující pootáčení podložky vůči ložisku a zkosení po celém obvodu ložiska, které plní funkci náběhové hrany pro spojovací klipy podložky.



Obr. 47.: geometrie spojovacího klipu u druhého návrhu a zkosení na ložisku

Výsledky pevnostní analýzy ukazují, že oba tyto návrhy splňují stanovené cíle. U prvního návrhu je maximální vzniklé napětí 170,3 MPa a síla, která je potřebná ke spojení podložky s ložiskem, je 37 N. U druhého návrhu je maximální napětí 184 MPa a potřebná síla 42 N. Při spojování podložky s ložiskem tedy nedojde k poškození podložky a potřebná síla je dostatečně malá, aby bylo možné nahradit výkonný lisovací stroj jednoduchým ručním lisem.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] VOJTĚCH, Dalibor. Materiály a jejich mezní stavy. 1. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010. ISBN 978-80-7080-741-5.
- [2] LOYDA, Miloslav. Svařování termoplastů. 2. Praha: UNO Praha, 2011. ISBN 978-80-904949-0-9.
- [3] *LPM. Technické datové listy [online]. [cit. 2024-04-19]. Dostupné z: <https://www.lpm.cz/cs/technicky-datovy-list-plasty>*
- [4] ENSINGER. TECAMID 66 CF20 black. Ensinger [online]. 2024 [cit. 2024-04-19]. Dostupné z: <https://www.ensingerplastics.com/cs-cz/polotovary/plast/pa66-tecamid-66-cf20-black>
- [5] Clutch Release Bearings and Components [online]. Schaeffler Brasil Ltda, 2007.
- [6] COOKE, Robert. The Importance of High-quality Rubber in Auto Manufacturing [online]. [cit. 2024-04-02]. Dostupné z: <https://www.carnewscafe.com/2022/07/the-importance-of-high-quality-rubber-in-auto-manufacturing/>
- [7] GUMEX. Pryže [online]. [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.gumex.cz/slovník-pojmu/pryze-69>
- [8] EUROPEAN CHEMICALS AGENCY. Perfluoroalkylové chemické látky (PFAS) [online]. [cit. 2024-04-19]. Dostupné z: <https://echa.europa.eu/cs/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas>
- [9] TEEL, John. Introduction to Injection Molding for Mass Production of Custom Plastic Parts [online]. [cit. 2024-04-19]. Dostupné z: <https://predictabledesigns.com/introduction-to-injection-molding/>
- [10] Základní principy konstrukce plastových dílů [online]. [cit. 2024-05-16]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/10.html#10-5>
- [11] MATZKE, Patrik. Porovnání spojů používaných pro plastové díly. Brno, 2023. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [12] Osten OSTEN, Miloš. Lepení plastických hmot. 2. Praha: SNTL, 1974. Signatura: I 219230.
- [13] METESS. Tepelné nýtování – Heat Staking [online]. [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: https://i0.cz/s/nosf/w1-EXz/378564/Prospekt_tepelne_nytovani_V4.pdf
- [14] HÄRTEL, Sebastian. Development of a Numerical Model of the Hot Air Staking Process Based on Experimental Data. Chemnitz, Germany, 2020. Article. Chemnitz University of Technology.
- [15] ENGINEERING PRODUCT DESIGN. Self-tapping screws for plastics [online]. [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/self-tapping-screws-for-plastics/#google_vignette

- [16] KATAYAMA, Seiji a Yousuke KAWAHITO. Laser direct joining of metal and plastic [online]. Osaka, Japan, 2008 [cit. 2024-04-16]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359646208006234>. Osaka University.
- [17] A.S. Khan, F. Liu a P. Dong. Joining of metal and non-polar polypropylene composite through a simple functional group seeding layer [online]. USA, 2023 [cit. 2024-04-16]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1526612522007952>. University of Michigan.
- [18] VLK, František. *Převodová ústrojí motorových vozidel. 1. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5275-2.*
- [19] KAPLAN, Zdeněk a Aleš PROKOP. Převodová ústrojí vozidel: Spojky [online]. VUT.
- [20] JABBAR, Nasr A., Ihsan Y. HUSSAIN a Oday I. ABDULLAH. Thermal and thermoelastic problems in dryfriction clutch: A comprehensive review. Baghdad, 2021. Výzkumný článek. Bagdáská univerzita.
- [21] AUTOTECHNICIAN. History in the making – the single-plate dry clutch [online]. [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://autotechnician.co.uk/history-in-the-making-the-single-plate-dry-clutch/>
- [22] CIMA. Diaphragm springs for clutc [online]. [cit. 2024-04-19]. Dostupné z: <http://www.cimabelfin.com/products/diaphragm-springs-for-clutc.html>
- [23] KARALE, Akash Suryakant, A. BABAR, A. RUPNAR a Sanket GUNDAWAR. Design and Analysis of Diaphragm Spring of a Single Plate Dry Clutch [online]. [cit. 2024-04-19]. Corpus ID: 134689623. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/Design-and-Analysis-of-Diaphragm-Spring-of-a-Single-Karale-Babar/cabf85a03db73c4000eb00f5a524001a625ce621>
- [24] SLABÝ, Michal. Sestava rozjezdové spojky osobního automobilu. Praha, 2015. Diplomová práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE.
- [25] ACHTENOVÁ, Gabriela. 6-spojky [online]. In: . [cit. 2024-04-19]. Dostupné z: [https://ssl.fs.cvut.cz/studium/u12120/2211581-Prevody/6 spojky.pdf](https://ssl.fs.cvut.cz/studium/u12120/2211581-Prevody/6%20spojky.pdf)
- [26] INTERNATIONAL LABOR ORGANIZATION. Chronology of Asbestos Bans and Restrictions [online]. [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: http://www.ibasecretariat.org/chron_ban_list.php
- [27] JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Jiří ČUPERA. *Automobily. 2., aktualiz. vyd. Brno: Avid, 2009. ISBN 978-80-87143-12-4.*
- [28] DUSIL, Tomáš. Technika: Dvuhmotový setrvačnick [online]. [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/technika-dvuhmotovy-setrvacnik-87264>
- [29] Dvuhmotový setrvačnick: Diagnostika závad/speciální náradí/návod k obsluze [online]. [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.motora.cz/upload/file/00060082702018.pdf>

- [30] TRUCK MOTOR. Dvuhmotový setrvačnick LUK [online]. [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.motora.cz/informace/luk/dvuhmotovy-setrvacnik-luk.htm>
- [31] ZDENĚK, Jan. Automobily I. Podvozek a převodná ústrojí. 1. Brno: CERM, 2003. ISBN 80-7204-262-9.
- [32] ZICHA, Martin. Konstrukční návrh ovládání vypínání rozjezdové spojky pro pneumatický řadicí robot. Praha, 2017. Bakalářská práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE.
- [33] Clutch release bearing SACHS 3151 001 116 [online]. [cit. 2024-04-16]. Dostupné z: <https://www.buycarparts.co.uk/sachs/7956939>
- [34] FELDMAN, Ken. Pugn matrix [online]. [cit. 2024-04-19]. Dostupné z: <https://www.isixsigma.com/dictionary/pugn-matrix/>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

<i>ABS</i>		Akrylonitrilbutadienstyren
<i>CAN</i>		Controller area network
<i>CF</i>		Carbon fiber
<i>CO₂</i>		Oxid uhličitý
<i>CSC</i>		Concentric slave cylinder
<i>ESP</i>		Electronic stability program
<i>FEM</i>		Finite element method
<i>GF</i>		Glass fiber
<i>H</i>		Heat stabilized
<i>HI</i>		Oxidant, stabilizační přísada
<i>k_s</i>	[-]	Bezpečnost
<i>LA</i>		Pevný lubrikant
<i>MKP</i>		metoda konečných prvků
<i>MO</i>		Molybdenum
<i>M_s</i>	[Nm]	Maximální moment, který přenese spojka
<i>M_{t max}</i>	[Nm]	Maximální točivý moment motoru
<i>PA</i>		Polyamid
<i>PBT</i>		Polybutylentereftalát
<i>PC</i>		Polycarbonate
<i>PFA</i>		Perfluor alkoxyalkan kopolymer
<i>PTFE</i>		Polytetrafluoroethylene
<i>R</i>	[mm]	Zaoblení
<i>T</i>	[mm]	Tloušťka stěny
<i>Wi</i>	[-]	Váhový faktor