

Konstrukční návrh nestandardních spojů plastových dílů v automotive

Bc. Jakub Kostron

Diplomová práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Jakub Kostron
Osobní číslo:	T22987
Studijní program:	N3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní inženýrství
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	Konstrukční návrh nestandardních spojů plastových dílů v automotive

Zásady pro vypracování

- Vypracování literární studie na dané téma.
- Návrh nestandardních spojů.
- Ověření provedených návrhů za využití simulačních softwarů.
- Zhodnocení provedených návrhů.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

JAROSCHEK, Christoph. *Design of injection molded plastic parts*. 1st ed. [online]. [s.l.]: Hanser Publications, 2018. eISBN 978-1-56990-894-5.

TROUGHTON, Michael J. *Handbook of plastics joining: a practical guide*. Norwich: William Andrew Publishing, 2008. ISBN 978-0-8155-1581-4.

BONENBERGER, Paul R. *The first snap-fit handbook: creating and managing attachments for plastic parts*. 3rd ed. [online]. [s.l.]: Hanser Publications, 2016. eISBN 978-1-56990-596-8.

BIRON, Michel. *Material selection for thermoplastic parts: practical and advanced information for plastics engineers*. Oxford: William Andrew Publishing, 2015. ISBN 978-0-7020-6284-1.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2024**
Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2024**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 1. března 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem nestandardních spojů plastových dílů v automobilovém průmyslu. Teoretická část je zaměřena na podrobnější popis oblasti pružných spojů plastových dílů a slouží jako podklad pro konstrukční návrhy v praktické části práce. V praktické části práce je popsán vybraný díl, konstrukční návrhy pružných spojů aplikované na vybrané díly, proces vývoje konstrukčních řešení, postupy porovnání návrhů a ověření vhodnosti návrhů. Poslední část se zabývá vyhodnocením dosažených výsledků.

Klíčová slova: Pružný spoj, upevňovací elementy, vodící elementy, krycí rámeček

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the design of non-standard joints of plastic parts in the automotive industry. The theoretical part focuses on a more detailed description of the field of snap-fit attachments of plastic parts and serves as a basis for the design proposals in the practical part of the work. The practical part of the thesis describes the selected part, the structural designs of snap-fit attachments applied to the selected parts, the process of development of the design solutions, the procedures of comparison of designs and verification of the suitability of the designs. The last part deals with the evaluation of the achieved results.

Keywords: Snap-fit attachment, locking features, locating features, cover bezel

Rád bych zde poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Martinu Bednaříkovi, Ph.D. za jeho čas a úsilí při odborném vedení diplomové práce, zejména za možnost realizace tohoto tématu a pomoci návrhu struktury celkové práce. Velké poděkování patří také odborným konzultantům firmy HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o., Ing. Juraji Chovancovi a Ing. Petru Svobodovi za odborné školení a cenné rady.

Velké díky patří mé rodině za obrovskou podporu za celou dobu studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1.1 POROVNÁNÍ NÁVRHU PLASTOVÝCH A KOVOVÝCH DÍLŮ	11
1.2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ	12
2 SPOJENÍ DÍLŮ PRUŽNÝMI SPOJI	14
2.1 ROZHRANÍ PRUŽNÉHO SPOJE.....	15
2.1.1 Úroveň funkce	15
2.1.2 Úroveň systému.....	15
2.2 KLÍČOVÉ POŽADAVKY PRUŽNÝCH SPOJŮ	17
2.2.1 Vazby	17
2.2.2 Kompatibilita.....	19
2.2.3 Robustnost.....	20
2.2.4 Pevnost	20
2.3 POHYB SJEDNOCENÍ.....	21
2.4 MONTÁŽNÍ POHYB.....	23
2.4.1 Zatlačení a nasunutí.....	23
2.4.2 Naklopení a krut	24
2.4.3 Natočení	25
2.5 VODÍCÍ ELEMENTY	25
2.5.1 Tvarový výstupek a kolejnice	26
2.5.2 Vodící žebro a vodící klín	26
2.5.3 Vodící kolík a vodící kužel	26
2.5.4 Úchytný prvek	26
2.5.5 Plošné a tvarové navádění	27
2.5.6 Navádění pomocí hrany	28
2.5.7 Navádění pomocí otvoru a drážky	28
2.5.8 Navádění pomocí výřezu.....	29
2.6 UPEVŇOVACÍ ELEMENTY	29
2.6.1 Vetknutý pružný háček s nosem	30
2.6.2 Vetknutý pružný háček s horizontální příčkou	33
2.6.3 Rovinné pružné spojení.....	34
2.6.4 Torzní pružný háček.....	35
2.6.5 Pružné spojení cylindrického tvaru	36
2.6.6 Pružné spojení sférického tvaru	36
II PRAKTICKÁ ČÁST	39
3 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	40
4 POPIS DÍLŮ	42
5 TVORBA KONCEPTŮ PRUŽNÝCH SPOJŮ	43
5.1 MONTÁŽNÍ POHYB.....	43

5.2	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ 1	43
5.2.1	Vodící elementy	44
5.2.2	Upevňovací elementy	46
5.2.3	Odformování vstřikovaných výrobků	48
5.3	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ 2	51
5.3.1	Vodící elementy	51
5.3.2	Upevňovací elementy	52
5.3.3	Odformování vstřikovaných výrobků	54
6	OPTIMALIZACE NAVRŽENÝCH KONCEPTŮ S PODPOROU FEM ANALÝZ	58
6.1	POSTUP ZADÁVÁNÍ FEM SIMULACÍ	58
6.2	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ 1	60
6.2.1	Analýza navrženého konceptu	60
6.2.2	Korekční smyčka 1	63
6.2.3	Korekční smyčka 2	64
6.2.4	Korekční smyčka 3	65
6.3	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ 2	66
6.3.1	Analýza navrženého konceptu	66
6.3.2	Korekční smyčka 1	69
6.3.3	Korekční smyčka 2	70
6.3.4	Korekční smyčka 3	71
7	POROVNÁNÍ NAVRŽENÝCH ŘEŠENÍ.....	73
8	KONEČNÉ ÚPRAVY A VERIFIKACE PROVEDITELNÉHO ŘEŠENÍ	76
8.1	KONEČNÉ ÚPRAVY KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ	76
8.2	FINÁLNÍ STAV KRYCÍHO RÁMEČKU S PRUŽNÝMI HÁČKY	77
8.3	ANALÝZA PLNĚNÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY U FINÁLNÍ VERZE NÁVRHU	79
8.4	OVĚŘENÍ MONTÁŽE	80
	ZÁVĚR	83
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	85
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	88
	SEZNAM OBRÁZKŮ	90
	SEZNAM TABULEK.....	93

ÚVOD

Technologie vstřikování plastů jsou vyvíjeny už po desetiletí a jejich produkty nacházejí uplatnění zejména v automotive, elektronice, optice, zdravotnictví, ve výrobě plastového nábytku a další. Trh požaduje, aby doba produktu od fáze konceptu po uvedení produktu na trh byla co nejkratší a aby produkt byl konkurenceschopný a svým provedením následoval aktuální trendy. U komplexních výrobků se vyžadují delší časy tvorby konceptu, vývoje, výroby nástroje, montáže dílů a odladění zkušebních sérií výstřiků pro náběh na následnou velkosériovou výrobu. V současnosti má významný vliv na zefektivnění těchto fází a odhalení potenciálních hrozeb využití CAE neboli Počítačem podporované inženýrství. Pomocí nástrojů CAE je možné například určit a optimalizovat dělicí roviny součásti, vtokovou soustavu, procesní parametry, zvolit vhodný materiál součásti nebo simulovat chování dílu při mechanickém zatížení.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PLASTOVÉ DÍLY

Plasty jsou makromolekulární látky, u kterých lze za působení tepla a tlaku měnit jejich formu a tvar. Je možné je dělit na termoplasty a reaktoplasty, při čemž u termoplastů vznikají při ohřevu fyzikální změny. Jsou pro ně charakteristické lineární, rozvětvené makromolekuly a možnost recyklace. U reaktoplastů dochází při ohřevu k chemickým reakcím a jsou charakteristické svou prostorově zesíťovanou strukturou a nemožností recyklace. Materiály pro výrobu produktů z reaktoplastů často vyžadují příměsi speciálních aditiv, plniv a retardérů hoření. Pro zajištění správného výrobního procesu je často potřeba vyšších teplot a tlaků a delší doby chlazení. Tyto charakteristiky vedou k tomu, že výroba plastových výrobků z reaktoplastů je nákladnější jak u výrobků z termoplastu, a proto se pro výrobu ve velkých sériích v mnoha případech upřednostňují termoplastické polymerní materiály [1,2].

1.1 Porovnání návrhu plastových a kovových dílů

Výrobky z termoplastů vyrobené technologií vstřikování se oproti kovovým výrobkům liší několika aspekty:

- Plastové díly jsou pro stejnou funkci charakterizovány odlišným provedením geometrie a větší variabilitou tvaru oproti kovovým.
- Montáž plastových dílů lze realizovat bez přidání externích spojovacích prvků (spojovací prvky je možné často integrovat do samotného komponentu) [3,4].

Pro výrobky vytvořené technologií vstřikováním termoplastů je typické, že jejich konstrukční provedení může nabývat velmi složitých tvarů. Schopnost výroby součástí složitých tvarů je získána zejména díky fyzikálním vlastnostem termoplastů spolu s procesními podmínkami při vstřikování. Během vývoje vstřikovaného dílu by měl být kladen hlavní zřetel na konstrukci nástroje (vstřikovací formy). Je to proto, že výrobek je přímým odrazem dutiny formy a její konstrukce musí zohledňovat její funkci a vyrobitelnost dílu. Dutina formy je vytvořena přímým stykem tvárníku a tvárnice. Tyto komponenty jsou nedílnou součástí nástroje, nicméně forma je dále složena z mnoha dalších dílů, které vcelku tvoří poměrně složitou sestavu. Díly se složitou konstrukcí, u nichž se vyskytují například podkoso v hlavním vstřikovacím směru, je nutné opatřit posuvnými čelistmi. Posuvné čelisti vytvoří části dutiny formy, u kterých by jejich absence způsobila problémy s odformováním výstřiku. Nástroj vstřikovaného dílu, u kterého je vyžadováno užití posuvných čelistí, je

výrazně cenově nákladnější. Proto je často snahou díly navrhovat tak, aby jejich konstrukce vyžadovala použití posuvných čelistí pouze v místech, kde je to nezbytně nutné. U forem opatřenými posuvnými čelistmi jsou kladeny vyšší nároky na údržbu a je u nich nutné brát v potaz vznik potenciální rizik při výrobním procesu. Vstříkované výrobky jsou mnohdy vyráběny ve velkých sériích, kde riziko poruch a zastavení výroby může být kritické, proto je vhodná konstrukce dílu, resp. vstříkovací formy, klíčová [3,4].

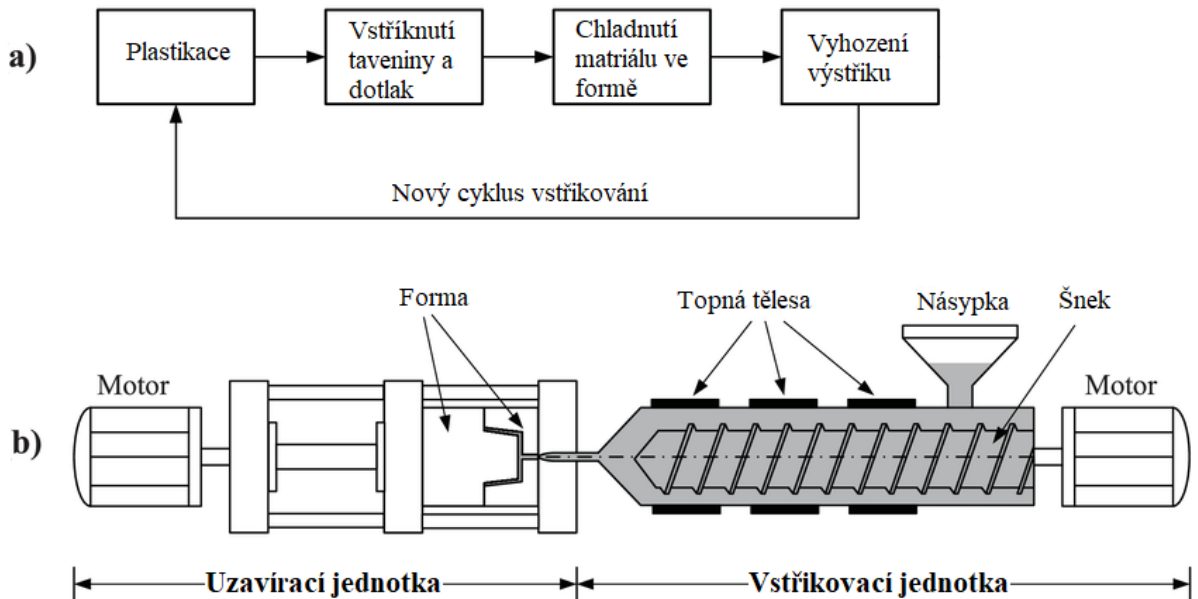
Ve srovnání s kovy jsou plasty charakterizovány výrazně nižším Youngovým modulem pružnosti. Z tohoto důvodu nejsou plasty vhodné pro aplikaci jako nosné prvky podléhající velkému zatížení, jelikož by nosný prvek byl podroben příliš velké deformaci. Oproti kovům se polymery vyznačují výrazně nižší pevností. Což při vysokém namáhání může vést k selhání materiálu, jako je lom nebo trvalá deformace. Velikost Youngova modulu pružnosti a pevnosti polymeru jsou vysoce závislé na teplotě. Pro aplikace zahrnující působení vysokých teplot, které mohou být i 50 °C, musí být obzvláště věnována pozornost volbě vhodného materiálu, aby plastový díl byl schopen odolávat dlouhodobému zatížení [3-5].

Polymerní materiály jsou dále charakterizovány nízkou tepelnou vodivostí, což ve výrobním procesu vede k obtížnému odvodu tepla výrobku ze vstříkovací formy. Větší tloušťka výrobku vede k delšímu cyklu chlazení. Z tohoto důvodu je snahou výrobky z polymerních materiálů navrhovat jako tenkostěnné. Nicméně díky nízké tepelné vodivosti lze během vstříkování polymerů spolehlivě vyplnit i dlouhé a tenké segmenty v dutině vstříkovací formy, což v konečném důsledku umožňuje vytvářet výrobky s výrazně nižší tloušťkou oproti výrobkům kovovým [4-6].

1.2 Technologie vstříkování termoplastů

Plasty mohou být zpracovávány technologií vstříkování díky jejich tvárnosti a plasticitě. Samotné vstříkování je proces, kdy tekutý polymer je dopraven do dutiny formy prostřednictvím vstříkovacího stroje. Polymerní materiál, nejčastěji ve formě granulátu, je dopravován přes násypku do vstříkovacího stroje, kde je polymer následně pomocí šneku a pracovního válce taven a převáděn do tekutého stavu [4,5,7,8].

K tavení polymeru dochází generovaným teplem prostřednictvím topných těles a třením polymeru mezi šnekem a válcem vstříkovacího stroje. Roztavený polymer se dopravuje před čelo šneku k trysce, kde je udržován na teplotu vstříkování [4,5,7,8].



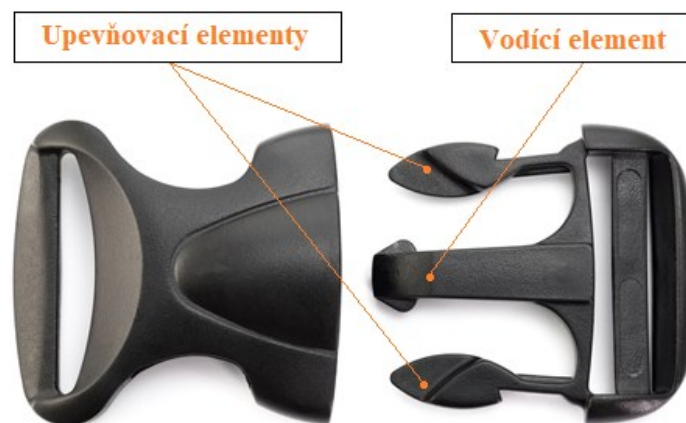
Obrázek 1. Popis: a) vstříkovací cyklus, b) zjednodušený model vstříkovacího stroje [9].

Dále je dávka zplastikovaného polymeru vtačována za působení vstříkovacího tlaku do tvarové dutiny vstříkovací formy. Jakmile je dutina plně zaplněna polymerem, následuje dotlak. Při dotlaku je další množství taveniny vysokým tlakem vstříkováno do dutiny formy. Dotlak zabezpečí spolehlivé vyplnění dutiny formy a pomáhá tak k vyrovnání poklesu objemu chlazeného polymeru. Dotlak působí tak dlouho, dokud nedojde k zatuhnutí vtokového systému. Posledním krokem je otevření formy a vyhození výstřiku. Na jedné straně pevná část formy drží ztuhnutý výstřik, na druhé straně pohyblivá část odjíždí na danou pozici a vyhazovací systém umožní odformování vstříkovaného dílu. Tento výrobní proces je známý pod názvem vstříkovací cyklus (Obr. 1a) [4,8].

2 SPOJENÍ DÍLŮ PRUŽNÝMI SPOJI

Pružný spoj je označení systému mechanického spojení dvou součástí, kde počet vazeb hmotného objektu je definován pomocí upevňovacích a vodících elementů. V praxi se při konstruování plastových dílů často používá výraz „zácvak“, což je označení pro „pružný háček“, nicméně toto označení vyjadřuje pouze upevňovací element pružného spoje [10].

Upevňovací elementy jsou pružné prvky, které se při spojení dílů musí vychýlit ze své původní polohy, aby bylo možné vytvořit spojení s vodícími prvky druhé součásti, po čemž následuje návrat upevňovacího prvku do původní polohy. Naopak vodící elementy jsou pevné a nepoddajné a poskytují stabilitu při spojení. Toto konstrukční řešení je označováno jako pružný spoj (Obr. 2) [10,11].



Obrázek 2. Spona plastová „trojzubec“ – pružný háčkový spoj [12].

Použití pružných spojení v oblasti konstruování výrobků z plastů nachází na trhu čím dál větší uplatnění. Je to z důvodů, že při tomto spojení lze docílit jednoduché montáže, demontáže a ekonomičnosti výroby. Úspory nákladů jsou dosaženy díky tomu, že spoj je integrální součástí výrobku, což eliminuje použití dodatečných volných spojovacích prvků, které by zvýšily celkovou cenu produktu [10,13].

Volba aplikace pružného spojení či volného spojovacího prvku, jako je například samořezný šroub, hraje zásadní roli ve fázi vývoje. Nelze říct, který způsob spojení plastových dílů je lepší nebo horší. Každá technologie má své specifické uplatnění pro danou aplikaci.

Při spojení plastových dílů volnými spojovacími prvky není tolik kladen zřetel na konstrukci spojení dílů a jejich mechanické vlastnosti. Problém s neudržením spoje ve stálé poloze lze často vyřešit volbou materiálu spojovacího prvku s vyšší pevností, aplikací větší upevňovací síly nebo použitím více volných spojovacích prvků. Hlavní výhodou spojení dílů volnými spojovacími prvky spočívají převážně v tom, že pevnost spoje není závislá na vlastnostech spojovaných dílů. To ovšem nelze říct v případě aplikace spojení dílů pružnými spoji [10,13].

Ve většině případů materiál součásti je volen na základě dané aplikace výrobku, nikoli podle způsobu upevnění. Proto je potřeba pracovat s provedením geometrie pružného spojení tak, aby bylo dosahováno stanovených mechanických vlastností spoje společně se splněním spolehlivosti jeho funkce. Navíc je také potřeba brát v úvahu zásady týkající se vyrobitelnost příslušného dílu. Technologie spojení dílů pružnými spoji musí být tedy dobře pochopena a její principy musí být reflektovány na následném designu výrobku [10,13,14].

2.1 Rozhraní pružného spoje

V sestavě komponent v jeden celek je spojení dvou dílů definováno jako rozhraní. Úspěšný návrh produktu by neměl být postaven na přístupu, kdy každý díl je vyvíjen izolovaně, ale naopak by k tomu mělo být přistupováno, jako k systému, ve kterém jsou díly charakterizovány vzájemnými vztahy [10,15,16].

2.1.1 Úroveň funkce

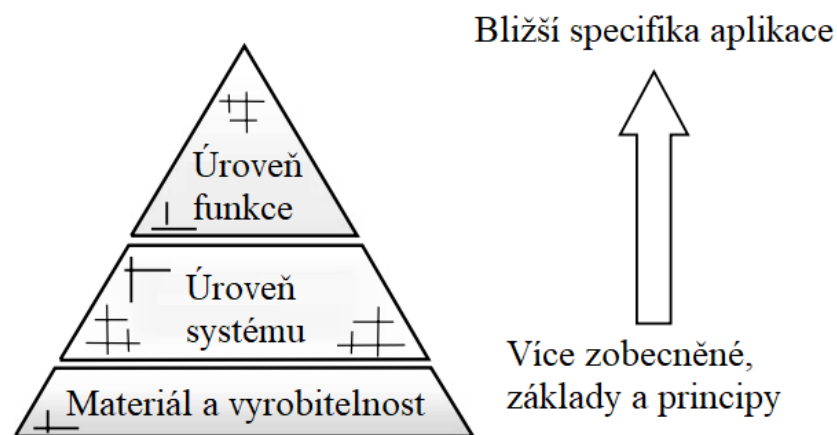
V oblasti pružných spojů jsou zácvaky pružnými prvky, které se při montáži deformují a vzájemným zapadnutím geometrií součástí vytvoří pružný spoj. Pružný háček obdélníkového průřezu je běžným typem upevňovacího elementu. Výpočty montážní síly, deformace vniklé při montáži a síly při demontáži jsou nezbytné k zajištění toho, aby konstrukce zácvaků splňovala požadavky aplikace [10,15].

2.1.2 Úroveň systému

Oproti úrovni funkce, se úroveň systému zabývá rozhraním jako systémem zahrnující jak mechanické vlastnosti zácvaků, tak i provedení geometrie celé součásti a dalších okolních podmínek. Pomocí přistupování k pružnému spoji jako k systému je konstruktér schopný spolehlivě vytvořit návrh konceptu. Jakmile je vytvořen dobrý koncept, aplikuje se analýza na úrovni funkce a jsou zjištěny výkonnostní parametry upevňovacích elementů, prostřednictvím kterých jsou dále stanoveny jejich patřičné rozměry [10,15].

Pokud není nejprve navržen dobrý koncept celého rozhraní, tak i se správně navrženými zácvaky může dojít k selhání sestavy.

Přístup vývoje pružného spojení jako k systému zahrnuje logické uspořádání znalosti problematiky pružných spojů a dalších podmínek jednotlivých komponent (Obr. 3) [10,15].

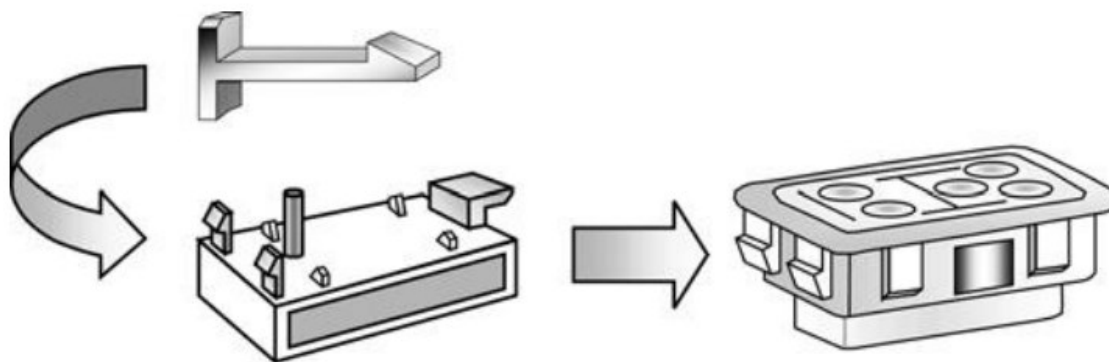


Obrázek 3. Hierarchie porozumění problematice pružných spojů [8].

Je zřejmé, že při přístupu k pružnému spoji jako k systému, nikoli jako k funkčnímu prvku vede blíže k samotné funkci produktu. Při chybném designu produktu mají pravidla a pokyny návrhu na úrovni systému daleko vyšší relevantnost nežli v případě funkčních pravidel samotného prvku [10,15].

Při zkoumání příčin selhání pružných spojů bylo zjištěno, že hlavní příčinou selhání funkčních prvků není jejich konstrukce. Selhání funkčních prvků může být příznakem zásadnějšího problému, který může být vyřešen pouze na úrovni systému. Plastové díly, u kterých vznikla chyba na úrovni systému (Obr. 4) budou pravděpodobně vycházet z:

- složité montáže,
- poškození nebo selhání zácvků,
- hlučné nepravidelné vibrace vzniklé nežádoucím třením mezi díly,
- deformace dílů,
- příliš velkých vůlí mezi díly [10,15].



Obrázek 4. Úroveň systému a finální produkt [15].

2.2 Klíčové požadavky pružných spojů

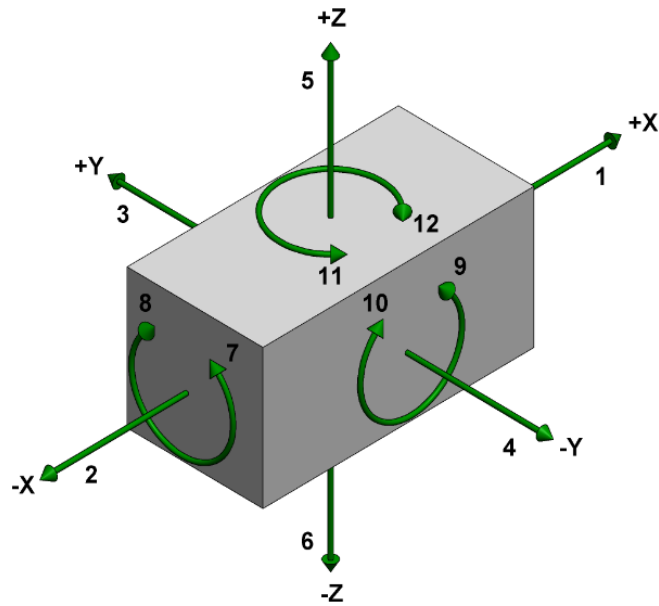
Jedná se o běžné technické charakteristiky, které jsou společné pro všechny standartní typy pružných spojů. Splnění těchto požadavků je součástí úspěšného dokončení vývoje produktu. Jsou to klíčové požadavky na nejvyšší hladině úrovně systému. Specifické požadavky produktu na životnost, spolehlivost, kvalitu, jednoduchou montáž a nákladnost by bylo nemožné splnit bez dodržení klíčových požadavků pružného spoje [15,17].

Klíčové požadavky každého pružného spoje jsou kladeny na:

1. vazby,
2. kompatibilitu,
3. robustnost,
4. pevnost [10,15].

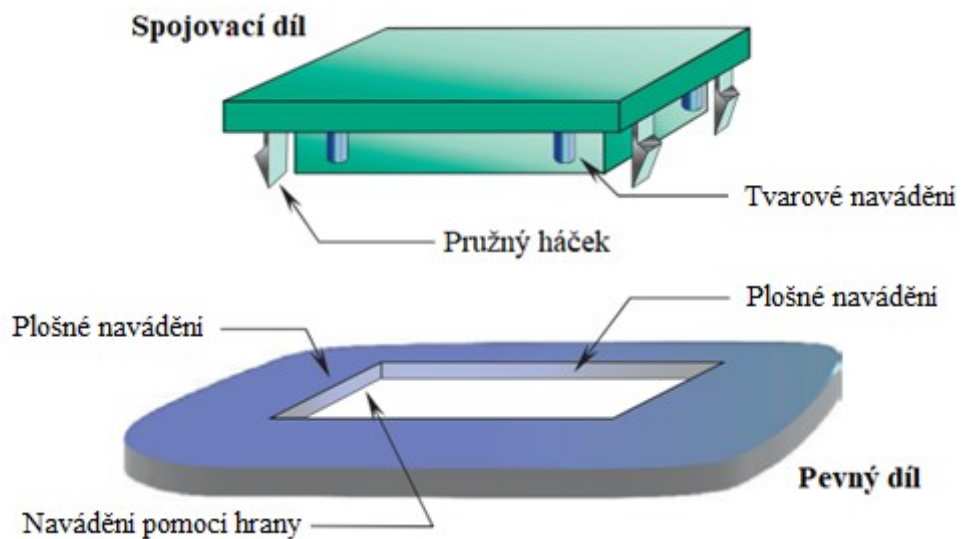
2.2.1 Vazby

Správná funkce pružného spojení je splněna, jestliže pohyb soustavy těles je vhodně vazbami omezen. Tuhé těleso je v kartézském souřadném systému definováno stupni volnosti (vazbami), translačním a rotačním pohybem v kladném a záporném směru podél osy x, osy y a osy z (Obr. 5).



Obrázek 5. Tuhé těleso – 6 stupňů volnosti [18].

Vazby jsou tvořeny rozhraním pevného a spojovacího dílu. Vodicí elementy poskytují vymezení vzájemné polohy spojovacího a pevného dílu. Dvojice upevňovacích elementů (zácvaků) umožní pevné spojení těchto dvou součástí. I pro splnění dalších klíčových požadavků je základní podmínkou vhodně zavazbená soustava. Je to z toho důvodu, že pružné spoje vyjadřují vzájemné vztahy mezi díly. Proto je potřeba koncept produktu tvořit jako systém prvků na sobě závislých [15].



Obrázek 6. Sestava dílů – pružný spoj [10].

Způsob zavazbení součástí dokáže zásadně ovlivnit montáž, náklady, spolehlivost, nežádoucí zvuky při vibracích nebo dokonce i přesnou analýzu upevnění [10,15].

Pro většinu aplikací dosažení dokonalého zavazbení součástí není žádoucí. A to z důvodu toho, že by výroba součástí vyžadovala nulové rozměrové úchytky výrobku, a tím by cena výroby významně vzrostla. Naopak je snaha součásti vazbit vhodně a předejít tak buď k jejich převazbení nebo naopak k nedostatečnému zavazbení.

Součásti, u nichž je vhodně omezen pohyb, se vyznačují těmito vlastnostmi:

- Díly je možné spojit bez použití nadměrné síly.
- Po montáži dílů se v upevňovacích elementech nenachází žádné významné reziduální napětí.
- Střední třída přesnosti je aplikovatelná pro rozhraní pružného spoje a není vyžadována jemná třída.
- Je možné použít pro výpočet působících sil na upevňovací elementy statickou analýzu.
- Aplikované síly nevytváří relativní pohyb dílů.
- Lze spatřit, že jsou díly spojeny v jeden celek.
- Tepelná roztažnosti dílů či smrštění nezpůsobí deformaci dílů, poškození, nebo nedojde k jejich vybočení [10,15].

2.2.2 Kompatibilita

Kompatibilita je jednotná interakce dílů mezi elementy pružného spoje. Některé kombinace tvarů součástí, upevňovacích elementů, vodících elementů, způsobů montážních a demontážních pohybů mohou způsobovat obtížné sestavení nebo poškození dílů a mělo by se jim vyhýbat.

Nekompatibilita je často nenápadná chyba, kterou lze odhalit až při sestavení dílů. Proto je důležité při vývoji dílů spojenými pružnými spoji uvažovat v širším měřítku. Kompatibilita není vyhodnocována početně jako v případě vazbení součástí, ale je aplikována jako faktor při kvalitativním posuzování možnosti upevnění [10,15].

Důležité podmínky kompatibility jsou:

- Vodící a upevňovací elementy musí být kompatibilní s montážním pohybem sestavy.
- Pohyb demontáže musí být stejný jako montáže ale opačného směru.
- Musí být stanovena adekvátní vůle pro průhyb upevňovacího prvku při montáži a demontáži [10,15].

2.2.3 Robustnost

Pojem robustnost označuje odolnost vůči několika různým druhům podnětů, které mohou ovlivnit spolehlivost výrobku, jeho životnost a kvalitu pružného spojení. Tyto proměnné vznikají během navrhování výrobku, výrobě, montáži a po čas užití [10,15].

Mezi proměnné, které mohou ovlivnit odolnost pružného spojení patří:

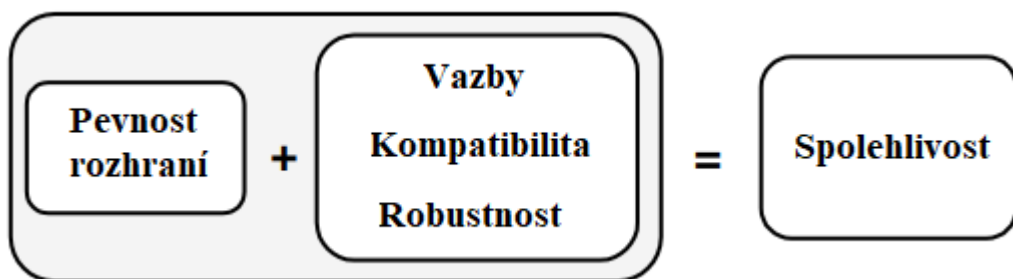
- Konstrukce formy použité k výrobě dílu. Což zahrnuje rozměrové tolerance formy, temperační systém a množství vstřikované dávky.
- Délka vstřikovacího cyklu, opotřebení formy nebo materiál vstřikovaného výrobku.
- Podmínky, při kterých jsou díly montovány, zahrnující i extrémně vysoké či nízké teploty.
- Schopnost zákazníka správně aplikovat montáž dílů zacvaknutím jednoho do druhého.
- Možnost nesprávného použití.
- Aplikování nadměrných sil, při kterých se při navrhování nepočítalo.
- Schopnost servisního technika nebo zákazníka bez poškození rozebrat a znovu složit spojení dílů pro účely servisu [15].

2.2.4 Pevnost

Pevnost je podstatný parametr zácvaků při jejich montáži a také schopnost upevňovacích a spojovacích elementů zajistit soudržnost rozhraní spojovaných součástí. Soudržnost spoje vyjadřuje zachování vazeb mezi díly bez jejich uvolnění, zlomení nebo vrzání dílů. Životnost produktu zahrnuje počáteční manipulaci, montáž, provoz, demontáž a opětovnou montáž pro účely údržby nebo opravy [10,15,19].

Při výpočetních analýzách pružných spojů jsou vyhodnocovány jejich výkonnostní parametry. Design musí zajistit, aby spoj byl skutečně pevný, byl schopný přenášet a odolávat působícímu napětí a nedošlo při montáži k poškození jednotlivých částí.

Nicméně, pevnost je pouze prvek popisující nadřazenou vlastnost, nazývanou se spolehlivost. Spolehlivost vyjadřuje soubor vlastností poskytující pružnému spoji jeho samotnou funkci. Pokud nejsou splněny všechny požadavky spadající pod spolehlivost, může dojít k selhání pružného spoje. Spolehlivost je splněna pouze v případě, když jsou dodrženy i ostatní 3 klíčové požadavky. Splněním všech klíčových požadavků (Obr. 7) je zabráněno nesprávné montáži, používání nebo případné údržbě produktu [10,15,19].



Obrázek 7. Klíčové požadavky pružných spojů – spolehlivost [15].

2.3 Pohyb sjednocení

Pohyb sjednocení dílů (Obr. 8) nastává před konečným pohybem zacvaknutí. Směr pohybu sjednocení není směr, při kterém je upevňovací element vychýlen k zacvaknutí. Vztah mezi směrem pohybu oddělení a upevňovacími elementy je velice významný. U dvojic upevňovacích elementů je vyžadováno, aby odolávaly jakýmkoli silám snažící se porušit soudržnost spojovaných dílů. Důležitým pravidlem při navrhování pohybu sjednocení je zvolit (opačný) pohyb oddělení tak, aby směr jeho působení nebyl totožný s žádnou významnou silou působící na rozhraní. Přesněji řečeno, aby žádná dlouhodobě nebo přerušovaně působící síla se nesnažila uvolnit upevňovací elementy se zacvaknuté polohy [10,15].

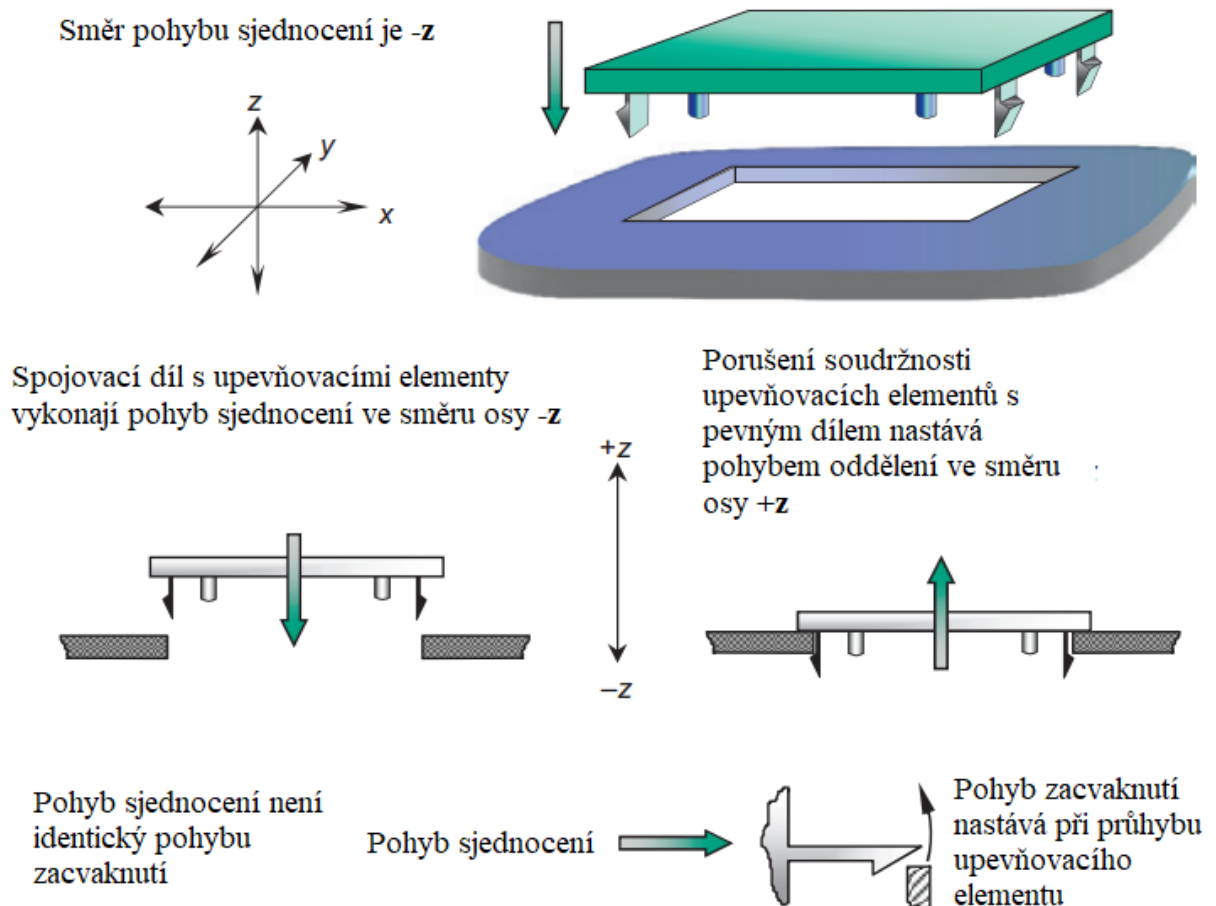
Při určování velikosti namáhání působící na výrobek během jeho funkce a návržení vhodného konstrukčního řešení, se konstruktér neobejde bez využití materiálového listu použitého polymeru. Řešení by mělo být stanoveno na základě provozního prostředí,

velikosti sil, cyklech, očekávané doby působících sil, dlouhodobých a krátkodobých vlastnostech materiálu zvoleného pro daný díl.

Ačkoli může existovat mnoho možných směrů sjednocení dílů, skutečné proveditelné řešení pro daný případ bude limitováno několika prvky, zahrnující vhodný montážní pohyb, geometrii spojovaných součástí, problémy s ergonomií, okolní prostor a přístup k rozhraní. Z čehož vyplývá, že možnosti předcházet působícím silám ve směru pohybu oddělení jsou často omezené [10,15].

Mezi možnosti zlepšení soudržnosti patří:

- Volba odlišného typu upevňovacího elementu.
- Navrhnout pružný spoj jako nerozebíratelný.
- Upevňovací drážky [15].



Obrázek 8. Pohyb sjednocení [10].

2.4 Montážní pohyb

Ačkoli se zdá, že montážní pohyb je to jisté jako pohyb sjednocení, není tomu tak.

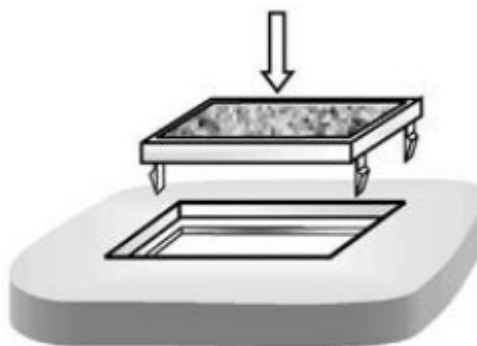
Montážní pohyb může označovat několik základních pohybů:

- zatlačení,
- nasunutí,
- naklopení,
- krut,
- natočení [10,15].

Při návrhu montážního pohybu je důležité se zamyslet nad tím, jaké kroky musí operátor podniknout, aby správně složil komponenty. Tak jako při návrhu samotného tvaru a rozměrů komponentů, je také při návrhu montážního pohybu nutné prostorově uvažovat s volným místem kolem komponent. V některých případech, kdy koncept sestavování dílů je navržen nevhodným způsobem, nebo působí nadměrná montážní síla, může opakovaně docházet k selhání sestavy. Tento fakt může mít nepřímý, ale i přesto významný vliv na pevnost rozhraní [10,15].

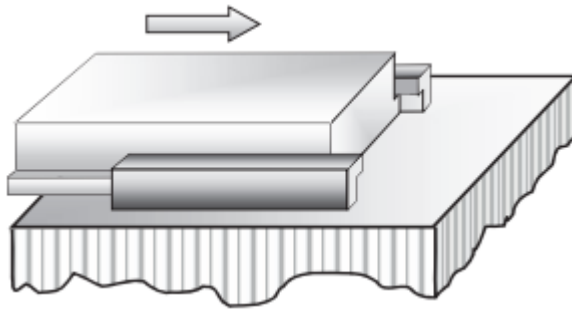
2.4.1 Zatlačení a nasunutí

Před konečným zacvaknutím upevňovacích elementů spojovacího dílu dochází ke krátkému dotyku mezi pevným a spojovacím dílem (Obr. 9) [10,15].



Obrázek 9. Montážní pohyb – zatlačení [15].

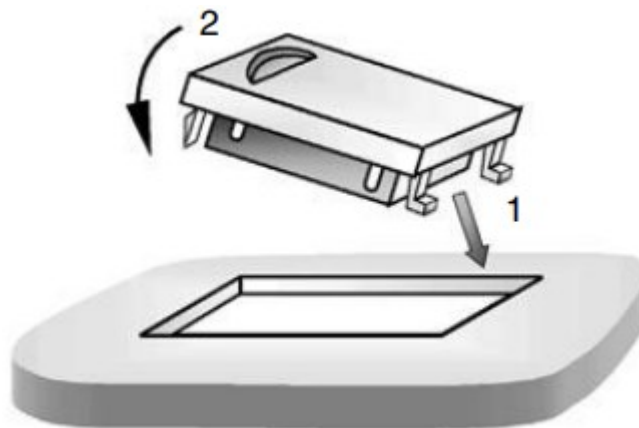
Konečnému zacvaknutí předchází taktéž kontakt dílů prostřednictvím nasunutí spojovacího dílu na pevný díl (Obr. 10) [10,15].



Obrázek 10. Montážní pohyb – nasunutí [15].

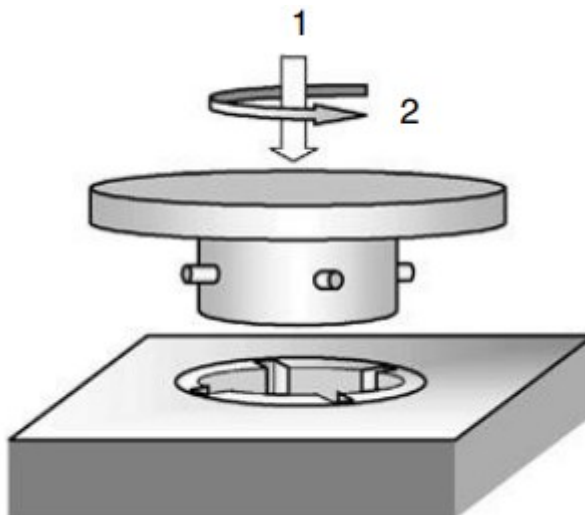
2.4.2 Naklopení a krut

Vodící elementy spojovacího dílu jsou v přímém kontaktu s pevným dílem, dokud spojovací díl není pootočen do polohy, kdy dojde k zacvaknutí upevňovacích elementů (Obr. 11) [10,15].



Obrázek 11. Montážní pohyb – naklopení [15].

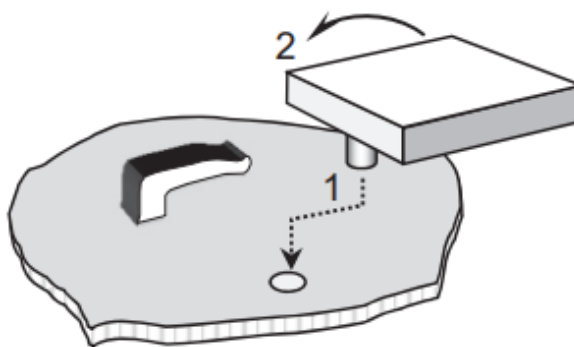
Přestože montážní pohyb je složen ze dvou pohybů, posunu spojovacího dílu zatlačením a poté jeho krutem, charakteristickým pohybem je krut (Obr. 12). Nejprve dochází k dotyku mezi díly a následně ke krutu spojovacího dílu, který vede k zavazbení sestavy [10,15].



Obrázek 12. Montážní pohyb – krut [15].

2.4.3 Natočení

Montážní pohyb je také složen ze dvou pohybů, kdy dochází k navedení vodícího elementu spojovacího dílu na pevný díl a poté je spojovací díl natočen do polohy, kdy dojde k zapadnutí upevňovacího elementu do pevného dílu (Obr. 13) [10,15].



Obrázek 13. Montážní pohyb – natočení [15].

2.5 Vodící elementy

Počátky konceptu rozhraní pružného spoje spočívají nejprve v návrhu vodících elementů, a až poté následuje návrh upevňovacích elementů. Oproti upevňovacím elementům, které jsou více komplexní a rozmanitější svým provedením, se jedná o poměrně jednoduché prvky. Jak už bylo dříve zmíněno, vodící elementy jsou pevné prvky, které umožňují vzájemné napozicování dílů a měly by přenášet všechny významné síly působící na rozhraní [10,15,20].

2.5.1 Tvarový výstupek a kolejnice

Tvarové výstupky jsou přidané prvky na základním tvaru výrobku. Jsou charakterizované tvarem „L“. Spojení součástí je vytvořeno tak, že tento vodící element zapadne za hranu protikusu. Tvarové výstupky jsou často konstruovány v páru, v tomto případě je montáž dílu zprostředkována nasunutím jedné součásti obsahující tyto výstupky na součást druhou, která je obstarána vodícími elementy zvanými kolejnice (Obr. 14) [15].

2.5.2 Vodící žebro a vodící klín

Vodící žebra jsou vyčnívající geometrie s tloušťkou odpovídající stěny výrobku nebo mírně zúženou. Běžně zapadají za hranu protikusu nebo do jeho drážky (Obr. 14) [15].

Vodící klíny jsou podobné vodícím žebřům. Liší se tím, že jejich základna nabývá mnohem větších tloušťek a mohou být potenciálně mnohem pevnější než vodící žebra. Nicméně použitím těchto vodících elementů vznikají rizika spjatá s nerovnoměrnou tloušťkou výrobku. Sjednocení dílů může být realizováno spojením součástí opatřenou vodícím klínem s protikusem obsahující vodící prvky označované jako otvor nebo drážka (Obr. 14) [15].

2.5.3 Vodící kolík a vodící kužel

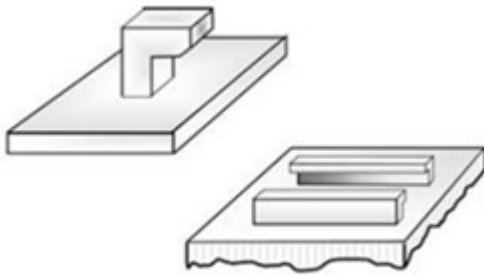
Vodící kolíky jsou vodící elementy, u kterých je rozměr volného konce oproti jeho základně zmenšen pouze o navržený úkos elementu. Navržený úkos musí umožňovat spolehlivé odformování vstřikovaného výrobku. Průřez elementu bývá kruhového, čtvercového nebo komplexního tvaru (Obr. 14) [15].

Vodící kužely jsou obdobou vodících elementů označované jako vodící kolíky, s tím rozdílem, že jejich rozměr základny je značně větší jak jejich zakončení. Vodící kužely zapadají do otvorů protikusu a poskytují navádění součástí v axiálním směru. A stejně jako vodící klíny umožňují pozicování součástí prostřednictvím ukosených hran i v šikmém směru (Obr. 14) [15].

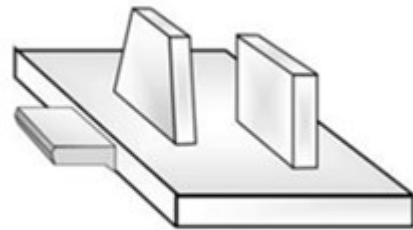
2.5.4 Úchytný prvek

Tyto vodící elementy (Obr. 14) mají podobný tvar geometrie jako vodící klíny. Ale oproti vodícím klínům jsou určeny pouze pro montážní pohyb, kdy spojení s protikusem vznikne zapadnutím za hranu protikusu, nikoli do jeho drážky nebo díry [15].

Tvarový výstupek a kolejnice



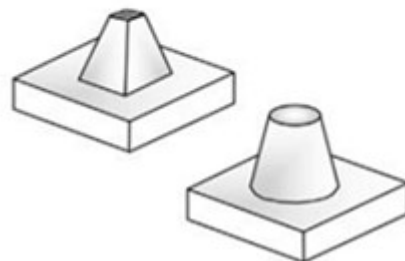
Vodící žebro



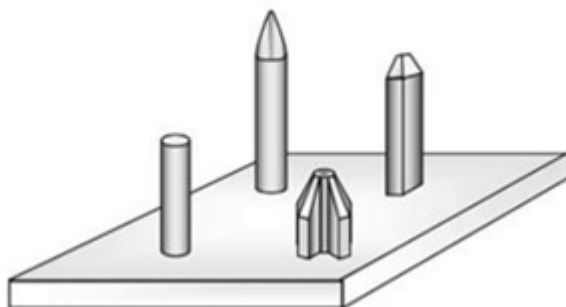
Vodící klin



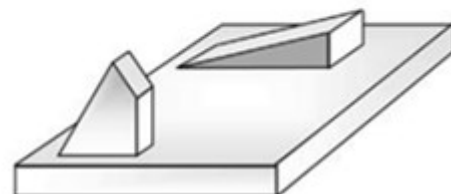
Vodící kužel



Vodící kolík



Úchytňý prvek



Obrázek 14. Vodící elementy charakteru vyčínající ze základní geometrie součásti [15].

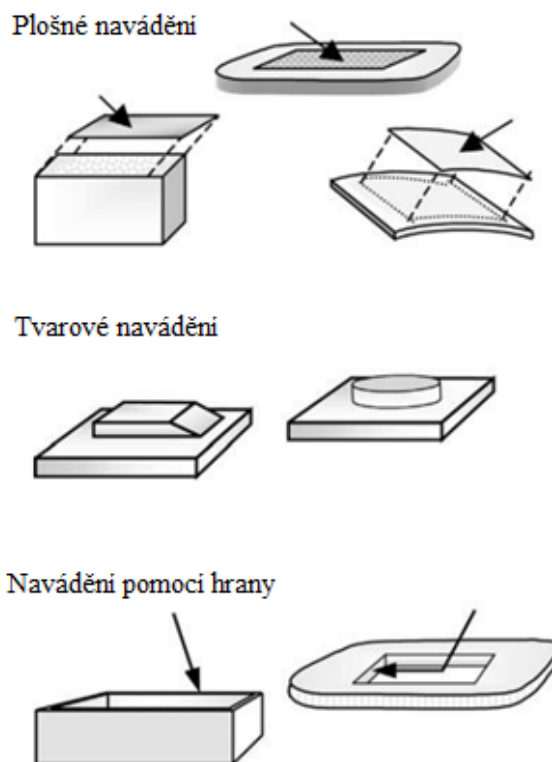
2.5.5 Plošné a tvarové navádění

Plošné navádění jsou lokální oblasti na výrobku s rovnými nebo hladkými plochami (Obr. 15). Řadí se mezi spojovací elementy, které jsou základní geometrií výrobku [15].

Oproti tomu tvarové vodící elementy se vyznačují zvýšenou geometrií na povrchu součásti. Tvarové navádění poskytuje vedení dílů, a navíc umožňuje kontrolu a řízení rozměrů v lokálních oblastech tam, kde pro typ vodícího elementu, označovaného jako plošné navádění, to není proveditelné [15].

2.5.6 Navádění pomocí hrany

Vodící elementy tohoto typu jsou relativně malé plochy a jsou obvykle lineární nebo kolmé k povrchu součásti. Navádění pomocí hrany je většinou součástí stěny výrobku nebo žebra výrobku (Obr. 15). Oblasti s tímto typem vodících elementu je poměrně snadné rozměrově řídit [15].



Obrázek 15. Vodící elementy charakteru základní geometrie součásti 1 [15].

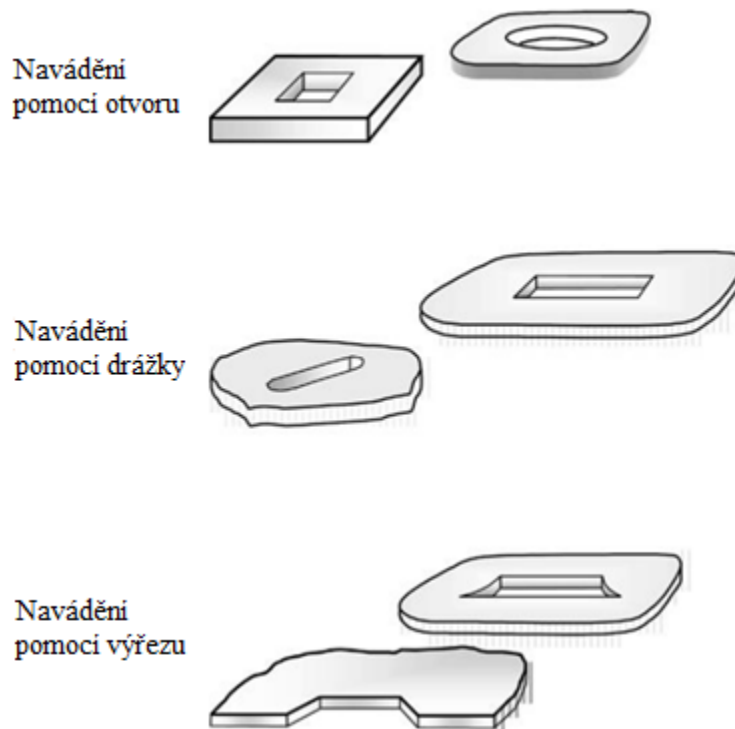
2.5.7 Navádění pomocí otvoru a drážky

Vodící elementy při navádění pomocí otvoru jsou oblasti, kde dochází k lokálnímu otevření základní geometrie součásti. Mohou být kruhového, čtvercového nebo jiného tvaru (Obr. 16). Umožňují zavazbit dvojici dílů ve čtyřech až pěti stupních volnosti [10,15].

U navádění pomocí drážky dochází v lokálních oblastech k otevření geometrie součásti, oproti navádění pomocí otvoru je vodící element podlouhlý podél jedné osy (Obr. 16). Ve směru podlouhlého otvoru je přidán jeden stupeň volnosti. Použitím tohoto vodícího elementu je zvětšena vůle mezi díly v jednom směru, což může následně vést k příznivější montáži dílů [10,15].

2.5.8 Navádění pomocí výřezu

Navádění pomocí výřezu je svým principem kombinací navádění pomocí otvoru a navádění pomocí hrany. Vodící element tohoto typu má tři funkční hrany (Obr. 16). Stejně jako navádění pomocí otvoru umožňuje tento typ vodícího elementu další možnosti odebrání stupňů volnosti. A stejně jako vodící element typu navádění pomocí hrany poskytuje více možností sestavení dílů. [10,15]



Obrázek 16. Vodící elementy charakteru základní geometrie součásti 2 [15].

2.6 Upevňovací elementy

Upevňovací elementy představují konstrukční dilema. Musí být pružné, aby došlo k jejich průhybu při montáži a zároveň musí být tuhé, aby spolehlivě udržely pevné spojení dílů. Tyto protichůdné požadavky musí být splněny při jakékoli aplikaci pružného spojení. Kritérium, jak moc upevňovací element splňuje tyto požadavky závisí na tom, jak pevně udrží spoj, aniž by došlo k oddělení součástí [15,20,21,22].

Jedním způsobem, jak vyhodnocovat účinnost upevnění, je podle vztahu založeném na poměru síly potřebné k udržení spoje ku montážní síle [15]:

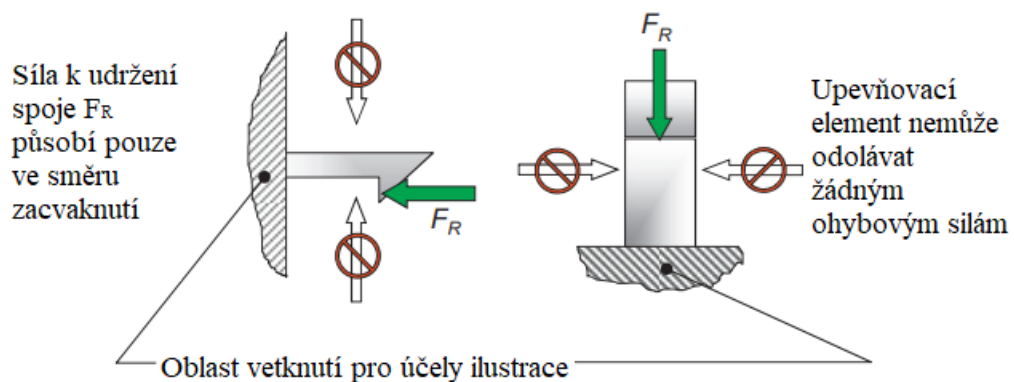
$$E_L = \frac{F_R}{F_A}, \quad (1)$$

kde: E_L označuje účinnost upevnění, F_R označuje sílu k udržení spoje a F_A označuje maximální montážní sílu. Ačkoli lze účinnost upevňovací síly vypočítat, rozhodujícím měřítkem, zda bude pružný spoj spolehlivě plnit svou funkci závisí na konstrukčním provedení rozhraní součástí [15].

2.6.1 Vetknutý pružný háček s nosem

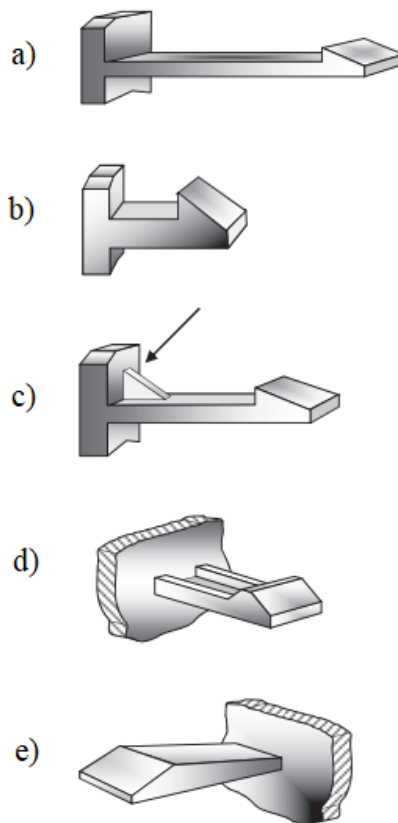
Upevňovací elementy tohoto typu jsou v aplikacích pružných spojů zdaleka nejpoužívanější variantou. Část, která podléhá u vetknutého pružného háčku průhybu se nazývá nosník. Nosníky jsou nejčastěji obdélníkového průřezu, rovné nebo zkosené. Analýza chování nosníku při montáži a oddělení vychází z klasického ohybu. Účelem analýzy je určit ohybovou sílu nosníku a maximální hodnotu deformace. Ohybová síla je pak použita k výpočtům chování upevňovacího elementu při pohybech montáže a oddělení. Tyto výsledky určují konečné rozměry upevňovacího elementu [15,20,21].

Pro správnou funkci pružného spoje je potřeba zajistit, aby na upevňovací element nepůsobily síly v žádném jiném směru nežli ve směru zacvaknutí. Právě vodící elementy pružného spojení slouží k přenášení těchto sil [15,20,21].



Obrázek 17. Vetknutý pružný háček s nosem – Síly působící ve směru zacvaknutí [15].

Na následujícím obrázku (Obr. 18) jsou znázorněny nevhodné varianty konstrukčního provedení v případě vetknutého pružného háčku s nosem.



Obrázek 18. Vetknutý pružný háček s nosem – nevhodné varianty konstrukčního provedení [15].

Typicky nevhodné konstrukční řešení nastává ve chvíli, kdy tloušťka nosné části upevňovacího elementu je malá vzhledem k jeho značné délce (Obr. 18a) a v důsledku toho není dosažena dostatečně velká síla k udržení pružného spojení. Běžným pravidlem je, že délka nosníku by měla být menší, než je desetinásobek jeho tloušťky.

Pravým opakem je upevňovací element s nadměrně velkou tloušťkou nosné části vzhledem k jeho malé délce společně s příliš strmou geometrií nosu háčku (Obr. 18b). Zde platí pravidlo, že délka nosníku by měla být minimálně pětinašobek jeho tloušťky.

Mechanické vlastnosti pružného háčku mohou být zlepšeny přidáním vyztužujícího žebra (Obr. 18c). Žebro ale musí být umístěno ze strany, kde je nosník namáhán tahem a nikoli tlakem (namáhání tlakem může v žeburu vyvolávat koncentraci napětí).

Obdobný problém nastává v případě žebrování nosné části upevňovacího elementu (Obr. 18d), které by mělo být umístěno ze strany, kde dochází k tahu.

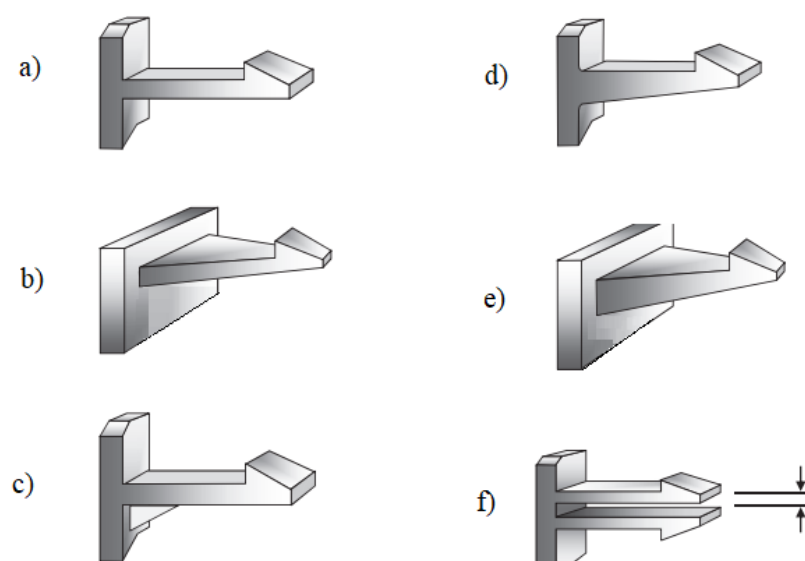
V případě, kdy je geometrie nosníku po jeho bočních stranách zkosená (Obr. 18e), mělo by být zkosení konstruováno tak, aby průřez základny byl větší jak průřez zakončení upevňovacího elementu [15].

I když vyztužující žebra u upevňovacích elementů nacházejí své uplatnění, tak přidáním žebra je většinou znamením, že prvotní design prošel několika sériemi oprav.

V případě pružného háčku s nosem se doporučují následné varianty konstrukčního provedení:

- Pružný háček s přiměřeným poměrem délky ku tloušťce (Obr. 19a).
- Pružný háček s širokou základnou a zúženým koncem. Širší základna může zmírnit průhyb závaku (Obr. 19b).
- Přidání vyztužujícího žebra do dané oblasti, kde při průhybu nosníku dochází k namáhání tahem – žebro zmírní deformaci upevňovacího elementu (Obr. 19c).
- Pružný háček charakteristický poměrem dvojnásobné tloušťky základny ku jeho konci (Obr. 19d).
- Pružný háček, u kterého rozměr průřezu základny v obou směrech je dvojnásobný oproti průřezu na jeho konci (Obr. 19e).

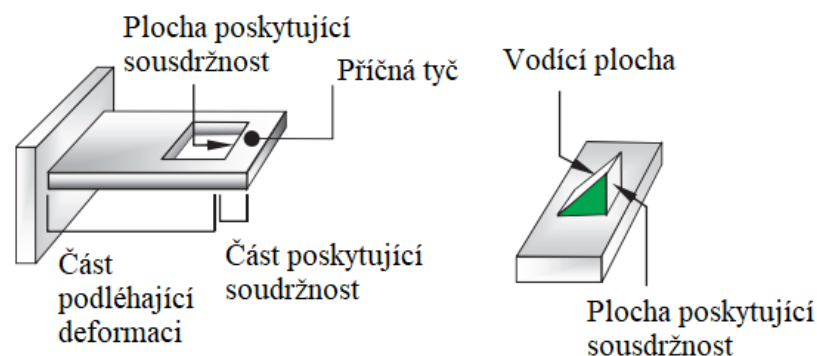
Návrh vhodného rozestupu protilehlých závaků, aby konstrukce byla příznivá pro výrobní proces i pro deformaci upevňovacího elementu (Obr. 19f) [15].



Obrázek 19. Vetknutý pružný háček s nosem – doporučené varianty konstrukčního provedení [15].

2.6.2 Vetknutý pružný háček s horizontální příčkou

Upevňovací element, pro který je charakteristické, že na jeho volném konci je vytvořen výřez pro účely vzniku spojení s protikusem, je ve své podstatě pevnější než klasický pružný háček se zakončením ve tvaru nosu. V anglické terminologii se tento typ upevňovacího elementu označuje názvem „Loop“, což vyjadřuje smyčku. Závazek si nese toto pojmenování, jelikož se chová jako smyčka lana, která nemá žádnou pevnost v ohybu, ale disponuje mimořádně vysokou pevností v tahu. Výhodou tohoto typu je, že pokud nastává případ, kdy při montáži je deformace nosníku limitována prostorem, tento typ upevňovacího elementu nevyžaduje tak velký průhyb pro zacvaknutí [15,20,22].



Obrázek 20. Vetknutý pružný háček s horizontální příčkou [15].

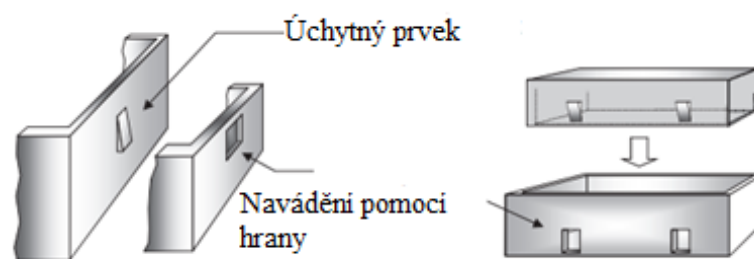
Upevňovací elementy tohoto typu běžně vytváří pružné spojení s vodícími elementy označované jako úchytné prvky. Jelikož při montáži nedochází k deformaci vodících elementů tohoto typu, není problém z důvodů přepočítání montážní síly měnit úhel zkosení vodící plochy [15,20].

Tento typ pružného spojení může vytvářet velmi pevný kontakt mezi díly a na rozdíl od klasických pružných háčků se zakončením ve tvaru nosu dokáží lépe odolávat neúmyslné separaci spoje vzniklé vysokým nebo náhlým zatížením.

U běžného vetknutého pružného háčku s horizontální příčkou působí separační síla ve směru neutrální osy nosníku a plocha úchytného prvku, poskytující soudržnost spoje, uzavírá se základní plochou součásti úhel o velikosti 90°. Vlivem této kombinace geometrií nedochází při působení separační síly k ohybu nosníku. Namísto toho je síla k udržení spoje definována napětím v tahu a ve smyku. Tento typ spojení oproti vetknutým pružným háčkům s nosem poskytuje mnohem spolehlivější soudržnost spoje [15,20].

2.6.3 Rovinné pružné spojení

Vytvoření pružného spoje probíhá průhybem stěn jedné nebo obou spojovaných součástí. Soudržnost spoje je zajištěna působením tlaku a smykového napětí a je ovlivněna mechanickými vlastnostmi funkčních stěn a samotných komponent. Tyto stěny jsou relativně tenké vůči jejich délce a výšce a tím pádem je průběh montážního a separačního pohybu postaven na základě rovinné napjatosti desky. Pro tento pružný spoj je typické, že upevnění je složeno z dvou vodících elementů, kdy jedna součást obsahuje vodící elementy typu navádění pomocí otvoru a druhá úchytné prvky [15,20,22].



Obrázek 21. Rovinné pružné spojení [15].

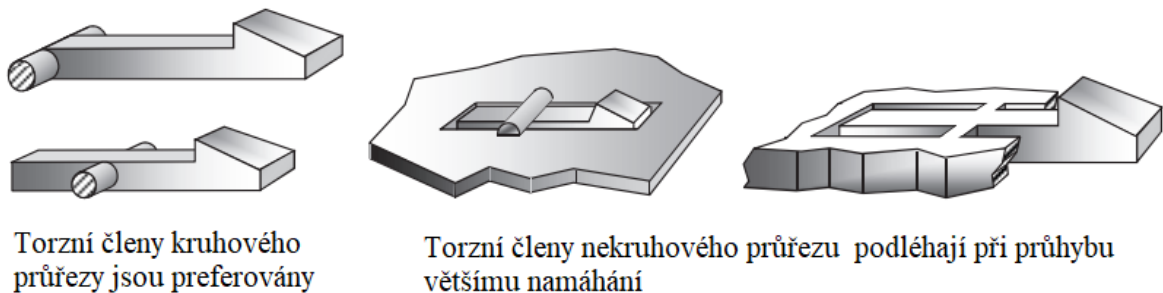
Rovinná pružná spojení mohou být poměrně pevná, ale protože geometrie spojovacího členu zvaného úchytný prvek vyčnívá ze stěny součásti, reakční síla nebude působit v neutrální ploše desky, což může vést ke vzniku velkých deformací stěny a následné neúmyslné separaci dílů. Tuhost stěny může být zvýšena přidáním vyztužujících žebér či přidáním tloušťky v oblasti vodícího elementu [15,20].

U tohoto pružného spojení je třeba brát v potaz, že oba spojovací prvky mohou být při montáži deformovány. Respektive, při montážním pohybu jsou stěny obou součástí podrobeny průhybu, díky čemuž je zajištěna jednoduchá montáž bez působení velkých sil, ale oproti tomu může snadno docházet k porušení soudržnosti spoje.

Jelikož oba členy jsou pružné a podléhají deformaci, sestava se spíše chová jako pružné spojení, které obsahuje dvojici upevňovacích elementů než běžněji vyskytované spojení upevňovacího a vodícího elementu. [15,20]

2.6.4 Torzní pružný háček

Torzní pružné háčky jsou při montáži namáhány především krutem, ale v některých případech dochází i k ohybu. Soudržnost spoje závisí na tuhosti upevňovacího elementu a na konstrukčním provedení pružného spojení. Člen upevňovacího elementu, který podléhá torzi při montáži, je upřednostňován v provedení kruhového průřezu [15,23-25].



Obrázek 22. Torzní pružné háčky [15].

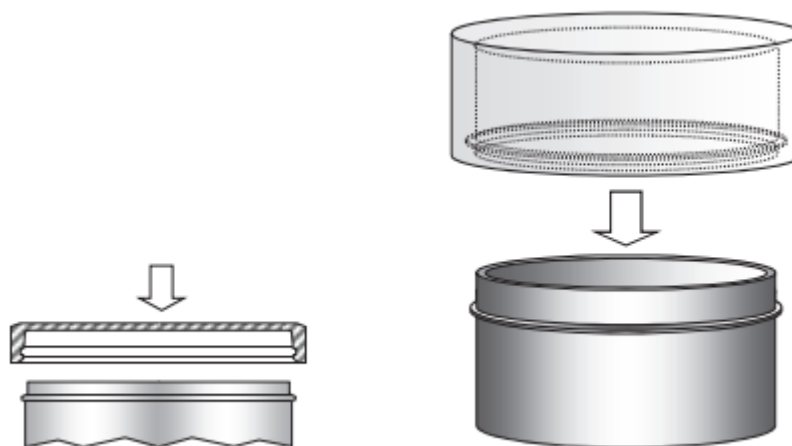
Upevňovací elementy tohoto typu nejsou tolik používané, nicméně při jejich volbě jsou uplatněny v případech, kdy není možné pro montáž dílů použít klasické pružné háčky, a to z důvodů omezeného montážního prostoru, zástavbového prostoru nebo malých vůlí mezi díly [15,23,25].

Torzními háčky jsou označovány závacky u kterých je upevňovací element ještě před samotným zacvaknutím primárně vychýlen krutem. Některé konstrukční provedení závacků jsou podrobeny i kombinacemi krutu a ohybu.

K selhání soudržnosti sestavy a nežádoucí separaci dílů může docházet působením krutu, ohybu, nebo dokonce i tlaku. Proto je důležité pro zabránění nežádoucí separace dílů určit dominantní složku namáhání a důkladně porozumět vzájemným interakcím mezi díly a navrhnout tak konstrukční řešení vyhovující správné montáži a spolehlivé funkci sestavy [15,23,25].

2.6.5 Pružné spojení cylindrického tvaru

Tento typ upevňovacího elementu využívá interakci mezi tvarovými výstupky, které jsou součástí jednoho dílu s drážkami druhém dílu. Tvarové výstupky a drážky jsou umístěny na styčných vnitřních a vnějších stěnách dílů. Součásti musí být pro spolehlivou montáž dostatečně pružné v radiálním směru a pro demontáž musí být přiměřeně pevné, aby nedocházelo k porušení dílů. Pružná spojení cylindrického tvaru mohou být rozebíratelného nebo nerozebíratelného typu [15,26-28].

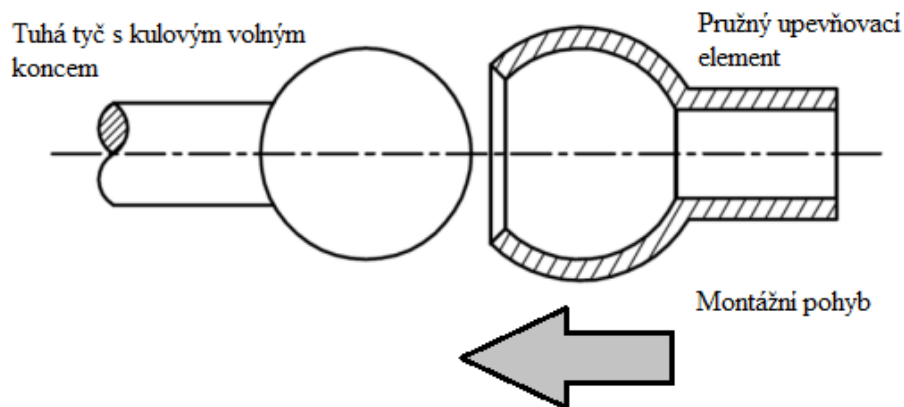


Obrázek 23. Pružné spojení cylindrického tvaru [15].

Výpočetní model klasických pružných háčků je postaven na základě ohybu vetknutého nosníku, zatímco pružná spojení cylindrického tvaru jsou založena na výpočtu válcového pláště [15,25,26].

2.6.6 Pružné spojení sférického tvaru

Spojení dílů pomocí sférického pružného spoje je založeno na principu, kdy díl opatřený pružným upevňovacím elementem je při montážním pohybu zacvaknut s protikusem, který má vysokou mechanickou pevnost a tuhost. Protikus představuje nejčastěji tyč s kulovým zakončením. Své uplatnění nachází sférický pružný spoj například v automotive, jako prvek, který je součástí mechanismus naklápění světel automobilu [27,29-31]



Obrázek 24. Pružné spojení sférického tvaru [24].

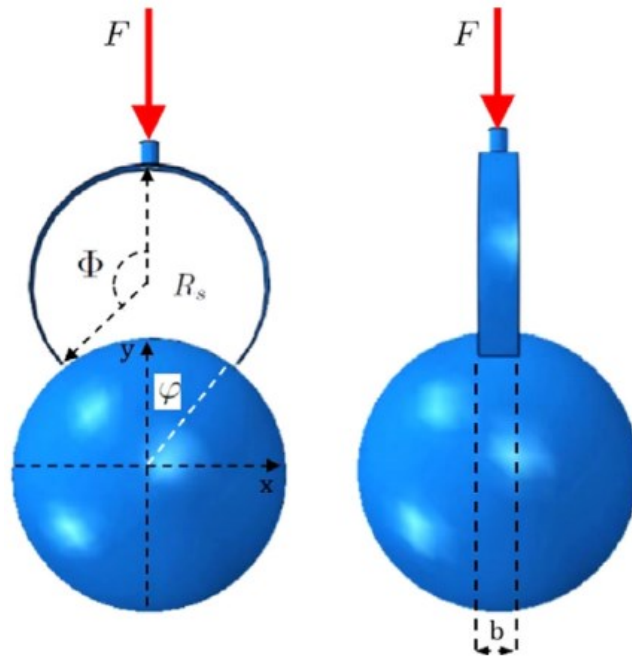
Pro sférické pružné spojení je charakteristické, že demontáž oproti montáži vyžaduje použití daleko větších sil. V některých aplikacích není možné demontáž ani realizovat, jelikož by způsobila poškození dílů. Tento typ spojení se potom považuje za nerozebíratelný. Výhodou takového spoje je, že je zabráněno neúmyslné separaci součástí. Pružnému upevňovacímu elementu sférického pružného spoje je umožněno pohybu ve 3 směrech volnosti [32].

Kulové tvary při zatížení podléhají dvouosému zakřivení. Velikost a způsob zakřivení má významný vliv na únosnost pružného elementu. Záměna osy, v které bude element podléhat deformaci může až 100krát změnit výslednou deformaci pružného elementu (Obr. 25). Proto by u pružného spojení sférického tvaru montážní a demontážní síla měla nabývat mnohem větších velikostí nežli v případě pružného spojení cylindrického tvaru [32].



Obrázek 25. Vliv zakřivení na působící síle [32].

Výpočetní model pružného spojení sférického tvaru může být postaven na základě teorie hyperbolické semi-cylindrické skořepiny. Uvažujeme tedy hyperbolickou semi-cylindrickou skořepinu o poloměru R_s , tloušťce t , šířce b a úhlu rozevření φ . Skořepina je přitlačena na povrch tuhé koule s poloměrem R_c . Přitlačením pružné skořepiny na tuhou kouli dojde k vytvoření jednočelistového kulové zaklapnutí. Studie s výpočetní modelem byla vytvořena řešitelským týmem Guo a Sun [32] v roce 2023.



Obrázek 26. Jednočelist'ové sférické pružné spojení [32].

Výsledky studie vypovídají, že konečně prvková simulace výpočetního modelu jednočelist'ové sférické semi-cylindrické skořepiny je v souladu s variací křivky konečných prvků cylindrického pružného elementu, což naznačuje, že pružné spojení sférického tvaru opravdu odpovídá zákonu mechanické asymetrie, tzn. snadné montáži, ale obtížné demontáži. Dále autoři ve své studii ověřili, že výpočetní model pružného spojení sférického tvaru se blíží k teoretickému vzorci pružného spojení cylindrického tvaru, kdy síla potřebná k zaklapnutí vícečelist'ového pružného elementu odpovídá mechanické asymetrii, ale na druhou stranu neodpovídá predikovanému roznásobenému vztahu jednočelist'ové hyperbolické semi-cylindrické skořepiny, a to z důvodu vlivů zakřivení a dalších účinků, které musí být dále zkoumány [32].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomová práce je orientována na konstrukční návrh nestandardních spojů plastových dílů v automotive. Praktická část práce je realizována s podporou společnosti HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o., která pro návrh pružných spojů umožnila využití nástrojů CAD, CAE a FEM. HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o. působí v oboru vývoje a výroby světlometů, zadních skupinových svítilen a elektroniky pro významné světové automobilky. Konstrukce světlometů se primárně skládá z plastových dílů, jako je pouzdro, krycí sklo, nosné a krycí rámečky. Největší uplatnění v oblasti světlometů nachází pružné spoje zejména ve spojení rámečků (např. sestava rámečků, skládající se z hlavního rámečku, ke kterému jsou připevněny krycí rámečky, tvořící design světlometu). Ve společnosti HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o. je snaha upřednostňovat použití standardizovaných pružných spojů, jelikož nabízí robustní design a dostatečně velké rozměry, díky čemuž při opakovaném použití na dalších projektech není třeba pružné spoje znovu pomocí FEM softwarů ověřovat.

Nicméně užití standardizovaných pružných spojů není často možné, jelikož to nemusí umožňovat zástavba ve světlometu, geometrie spojovaných součástí, nebo vzájemná vzdálenost mezi spojovanými díly. V praxi se tyto pružné spoje standardizované svým provedením často modifikují mírnými úpravami některých z jejich rozměrových parametrů. Avšak tyto úpravy významně nezmění velikost pružného spoje, takže v případech velmi omezené zástavby nemusí být aplikovatelné. Zmenšení celkového měřítko pružného spoje je nepřijatelné, jelikož by pružný spoj nesplnil dovolenou hodnotu krátkodobé poměrné deformace a při montáži by došlo k porušení pružného spoje.

Hlavním cílem této práce je tedy navržení pružného spoje, který bude charakteristický svým nestandardním provedením a minimálními rozměry. Společně s těmito charakteristikami musí spoj splňovat i podmínku dovolené hodnoty krátkodobé poměrné deformace. Takto navržené nestandardní pružné spojení bude možné v budoucnu použít pro aplikace, kdy konstrukce dílů je velmi omezena zástavbovým prostorem uvnitř světlometu. Dvojice dílů, pro které je spoj navrhován, byla zvolena především z toho důvodu, že díky své geometrii nabízí širší variabilitu možností v provedení spoje.

Při návrhu pružného spoje je nutné dodržet následující podmínky:

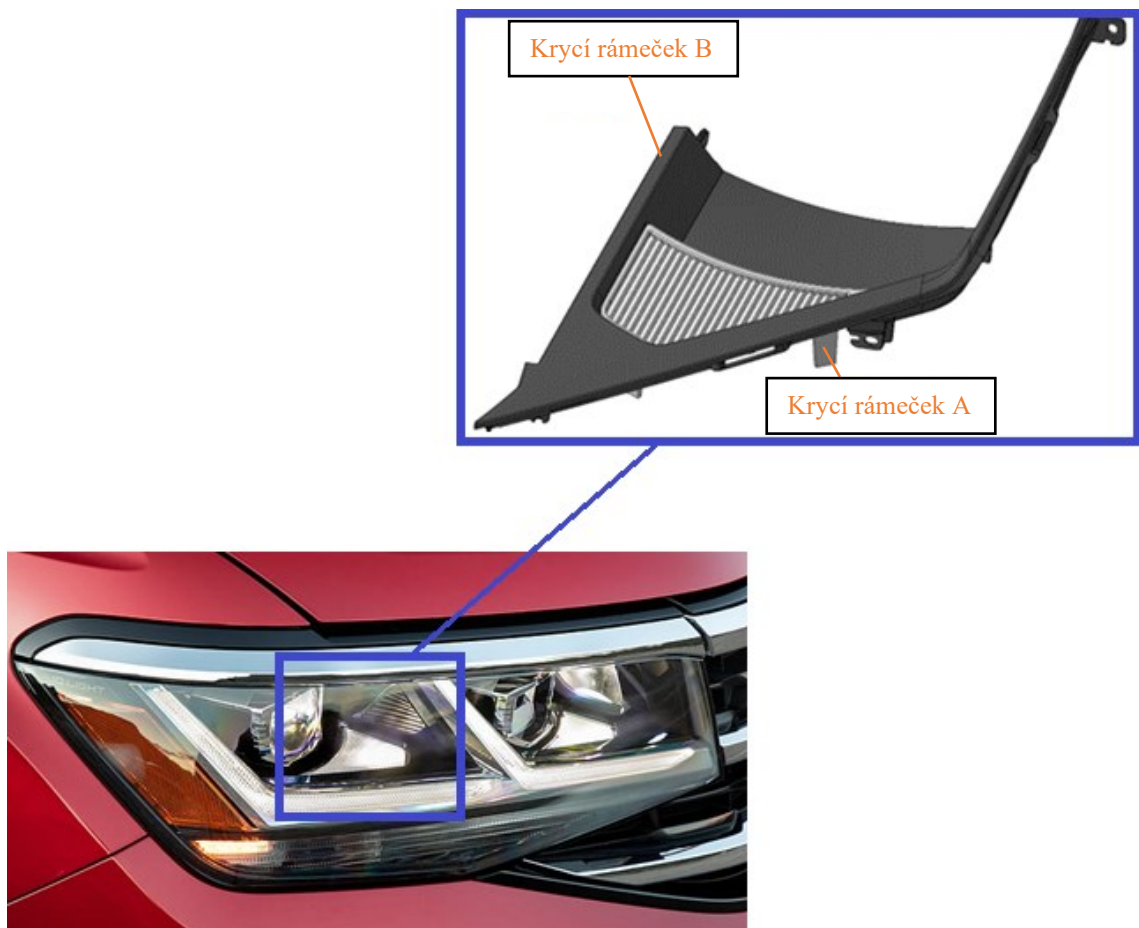
1. Materiál spojovaných součástí: PC Makrolon 2205.
2. Průhyb pružného háčku pro montáž: 1,3 mm (konstrukční řešení 1) a 2 mm (konstrukční řešení 2).
3. Dovolena hodnota krátkodobé poměrné deformace ϵ_{DOV} : 4,3 %.

Konstrukce krycích rámečků musí dále splňovat:

1. Jednoduchou a spolehlivou montáž.
2. Bezproblémovou vyrobiteľnosť dílů bez vzniku dekorativních vad na pohledové straně.

4 POPIS DÍLŮ

Jedná se o skupinku dvou rámečků, označených v diplomové práci jako krycí rámeček A a krycí rámeček B (Obr. 27). Krycí rámečky jsou ve světlometu připevněny k hlavnímu nosnému rámečku. Tyto rámečky plní především designovou funkci a současně s tím zamezují možnosti vidět dovnitř světlometu. Pro účely této práce jsou konstrukční návrhy nestandardních spojů plastových dílů vytvořeny pro tuto skupinku rámečků. Skupinka krycích rámečků je umístěna ve světlometu automobilu přímo pod jeho LED modulem (Obr. 27).



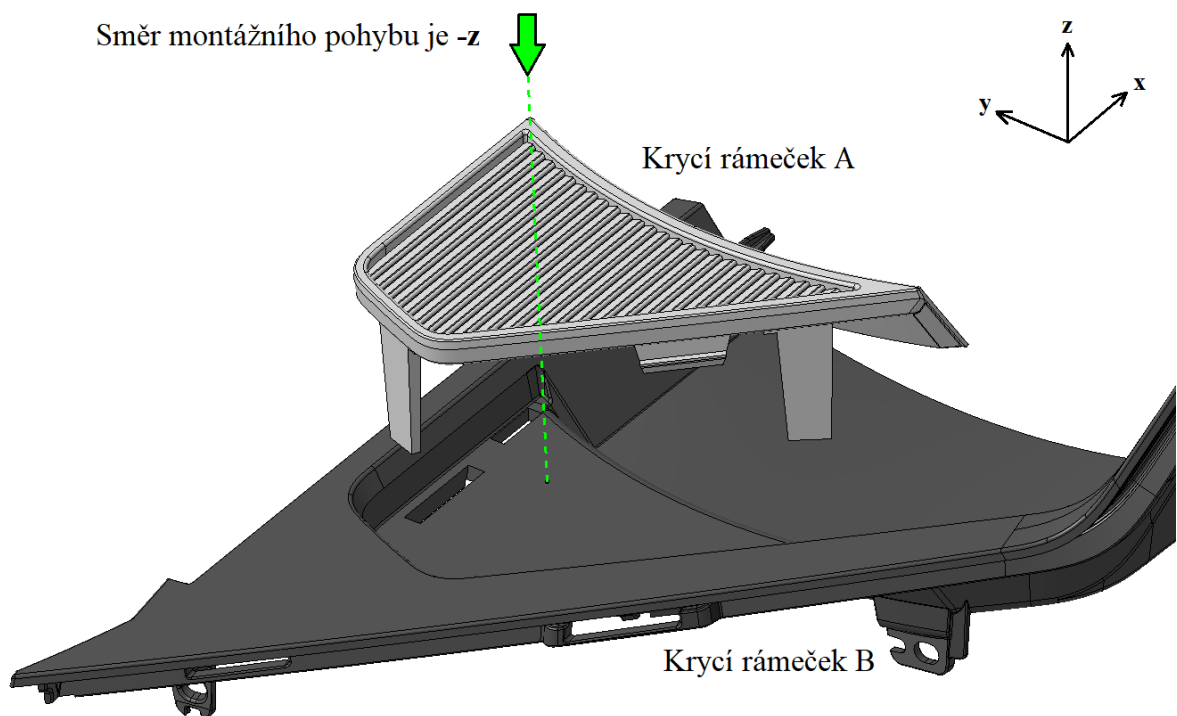
Obrázek 27. Umístění skupinky krycích rámečků ve světlometu automobilu [33].

5 TVORBA KONCEPTŮ PRUŽNÝCH SPOJŮ

V rámci řešení této diplomové práce byly provedeny 2 konstrukční řešení, které se liší svým provedením. Každý z navržených konceptů je blíže popsán v následujících kapitolách.

5.1 Montážní pohyb

Montážní pohyb je uskutečněn zatlačením krycího rámečku A na krycí rámeček B, kdy krycí rámeček B představuje pevný díl a krycí rámeček A spojovací díl (Obr. 28). Směr montážního pohybu je shodný se směrem odformování obou dílů, což vede k příznivému vzájemnému navedení součástí a možného odladění rozměrů vodících elementů ve finální fázi vývoje. Pro oba konstrukční návrhy je navržen totožný směr montáže dílů.



Obrázek 28. Montáž skupinky krycích rámečků.

5.2 Konstrukční řešení 1

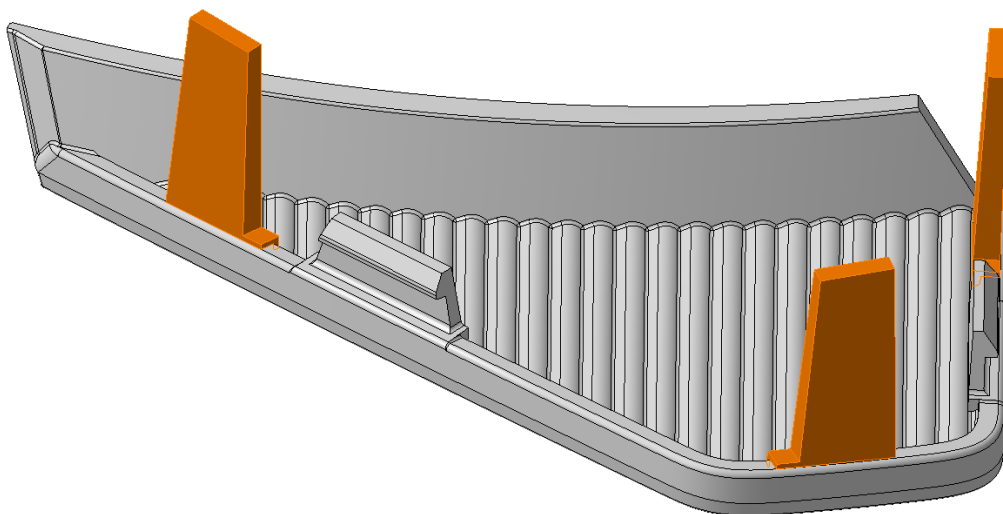
Konstrukční řešení 1 obsahuje umístění dvou upevňovacích elementů a tří vodících elementů po stranách krycího rámečku A. Na krycím rámečku B je pro každý z těchto elementů vytvořena geometrie umožňující spojení této skupinky krycích rámečků (Obr. 28).

5.2.1 Vodící elementy

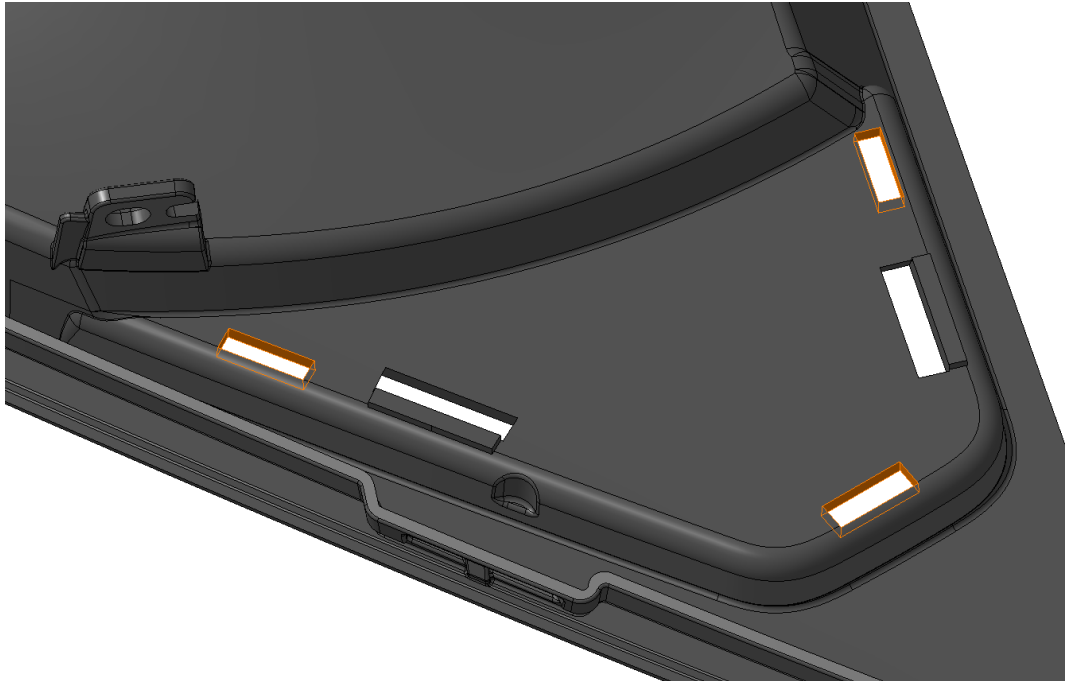
Vodící elementy neslouží pouze k vzájemnému navedení součástí, ale umožňují i jejich zavazbení. Zavazbení součástí je umožněno malými vůlemi mezi vodícími elementy a vzájemným dotykem.

U tohoto případu spojení dílů se jevil vhodný způsob omezení pohybu soustavy prostřednictvím Pravidla 3-2-1. Pravidlo 3-2-1 je založeno na principu, že těleso má v prostoru 6 stupňů volnosti, tedy schopnost konat translační a rotační pohyb podél tří pravoúhlých os. Podstatou tohoto pravidla je přesné určení polohy tělesa, prostřednictvím eliminace těchto 6 stupňů volnosti. V případě spojů plastových dílů, je pohyb součásti omezen vhodně, což zahrnuje takové rozmístění vodících elementů a zároveň omezení možnosti pohybu tělesa v daném místě tak, aby sestavení plastových dílů bylo realizovatelné z hlediska výrobních tolerancí a bezproblémové montáže. Touto metodou je získáno bezproblémového navedení krycího rámečku A na krycí rámeček B a vytvoření pevného pružného spoje.

Vodící elementy ve tvaru žebra na krycím rámečku A (Obr. 29) byly zvoleny z důvodu, že tvar rámečku umožňuje umístění elementů po obvodu, zásluhou čehož je zabráněno vzniku propadlin na pohledové straně rámečku. Pro navedení krycího rámečku A při jeho montáži, popřípadě zavazbení soustavy, je krycí rámeček B opatřen vodícími elementy typu navádění pomocí otvoru (Obr. 30).

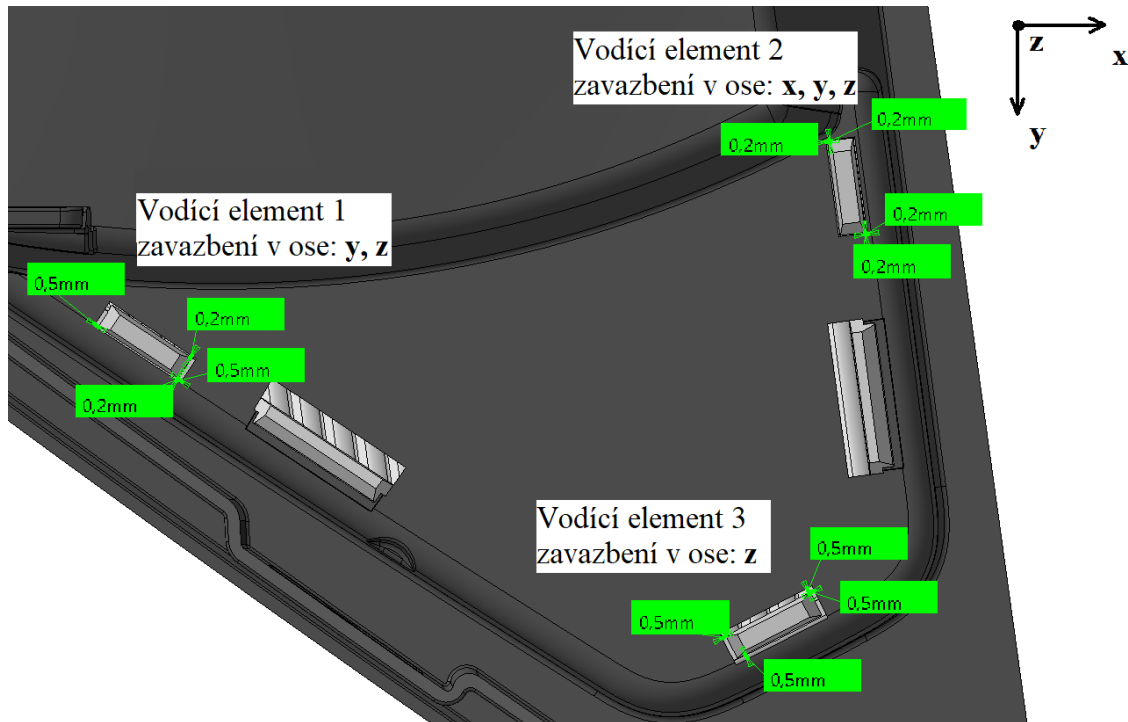


Obrázek 29. Vodící elementy krycího rámečku A – koncept konstrukčního řešení 1.



Obrázek 30. Vodící elementy krycího rámečku B – koncept konstrukčního řešení 1.

Na následujícím obrázku (Obr. 31) je znázorněno zavazbení sestavy. U konstrukčního řešení 1 bylo v místě vodícího elementu 2 zamezeno pohybu krycího rámečku A ve všech směrech, díky čemuž se zabránilo rotaci v místě a zároveň je dosaženo přímého kontaktu soustavy dílů pomocí dosedu v ose z. Pomocí vodícího elementu 1 je zamezeno pohybu soustavy v ose y a z. Prostřednictvím čehož je zabráněno nežádoucí separaci sousedního upeňovacího elementu a dosaženo dosedu v ose z. Vodící element 3 poskytuje pouze navedení krycího rámečku A při montáži a přímý kontakt s krycím rámečkem B v ose z. Dosedý v ose z zamezují nežádoucí separaci upeňovacích elementů.

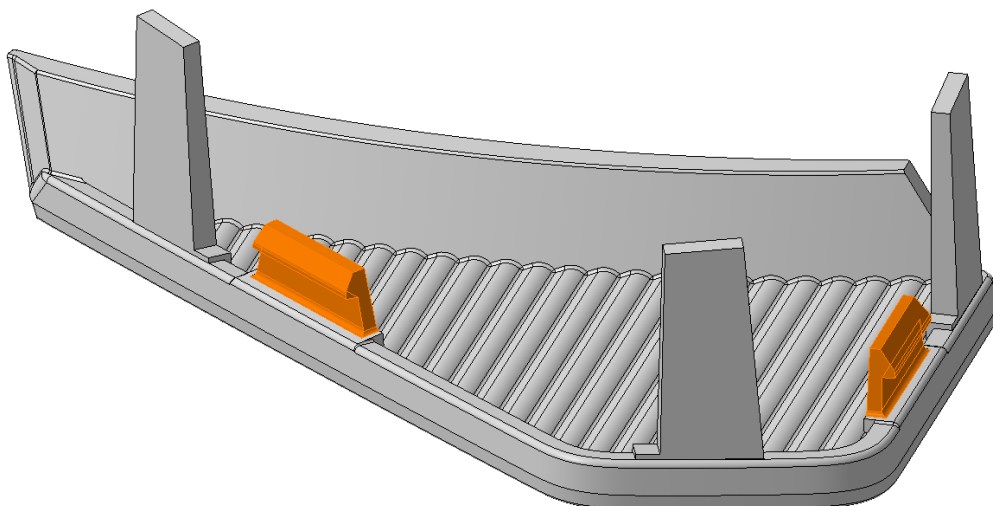


Obrázek 31. Zavazbení soustavy pomocí Pravidla 3-2-1 – koncept konstrukčního řešení 1.

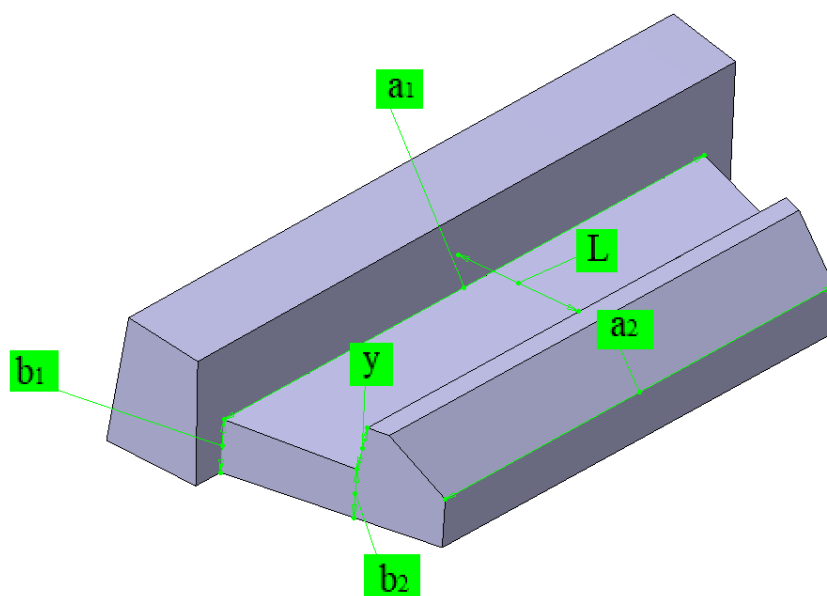
5.2.2 Upevňovací elementy

Pro konstrukční řešení 1 byl navržen vetknutý pružný háček s nosem, charakterizovaný nestandardními rozměry. Oproti vetknutému pružnému háčku s nosem běžného provedení má tento pružný háček několikanásobně větší šířku základny i šířku na jeho konci. Jeho rozměr v podélném směru je kratší a tloušťka menší než základní tloušťka výrobku (Obr. 32).

Je odhadováno, že aplikací vetknutého pružného háčku s nosem, charakterizovaným s tímto provedením, bude docíleno průhybu bez překročení stanovené hodnoty krátkodobé deformace.



Obrázek 32. Upevňovací elementy krycího rámečku A – koncept konstrukčního řešení 1.



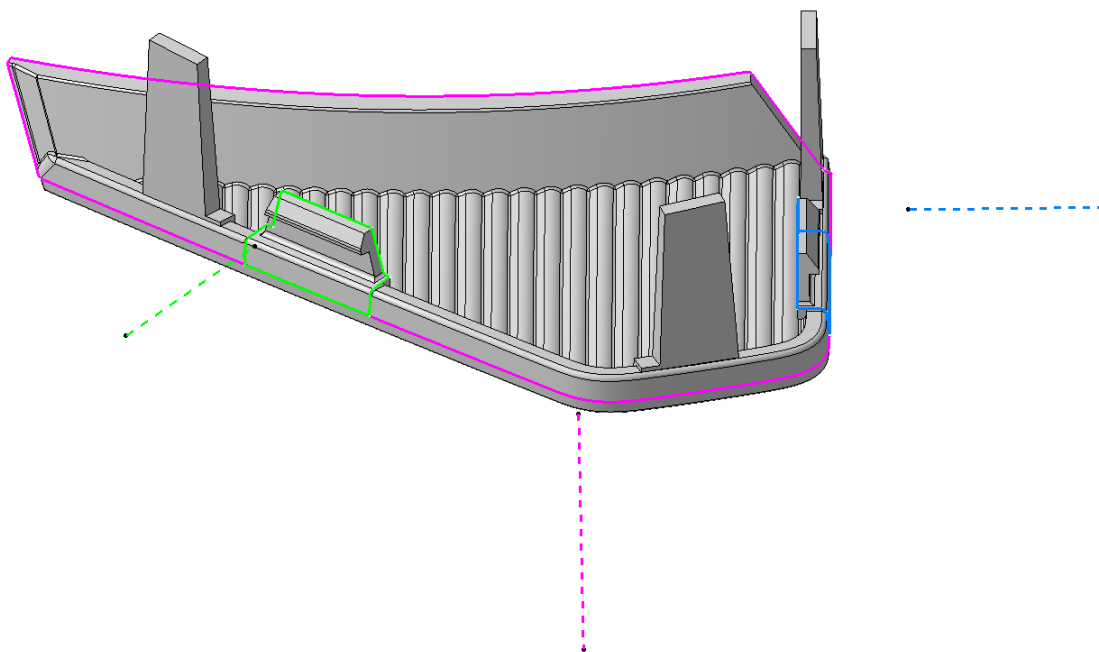
Obrázek 33. Vetknutý pružný háček s nosem – koncept konstrukčního řešení 1 ($a_1 = 15,1$ mm, $a_2 = 12,3$ mm, $b_1 = 1,3$ mm, $b_2 = 1,15$ mm, $y = 1,1$ mm, $L = 3,4$ mm).

5.2.3 Odformování vstřikovaných výrobků

Nezbytnou součástí návrhu vstřikovaného výrobku je správné umístění hlavních a vedlejších dělicích rovin. Obě konstrukční řešení obsahují použití dvou posuvných čelistí.

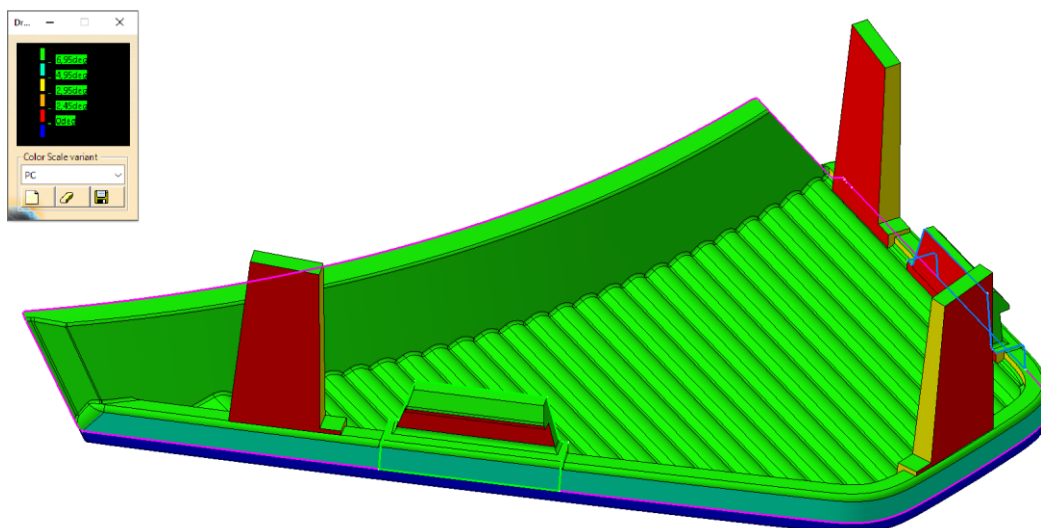
Krycí rámeček A

Hlavní směr odformování vstřikovaného výrobku je zaznačen fialovou přerušovanou přímkou. Hlavní dělicí rovina je definována fialovou spojitou konturou. Pro spolehlivé odformování pružných háčků byly navrženy posuvné čelisti. Vedlejší dělicí roviny a vedlejší směry odformování jsou vyznačeny spojitými konturami a přerušovanými přímkami modré a zelené barvy (Obr. 34).

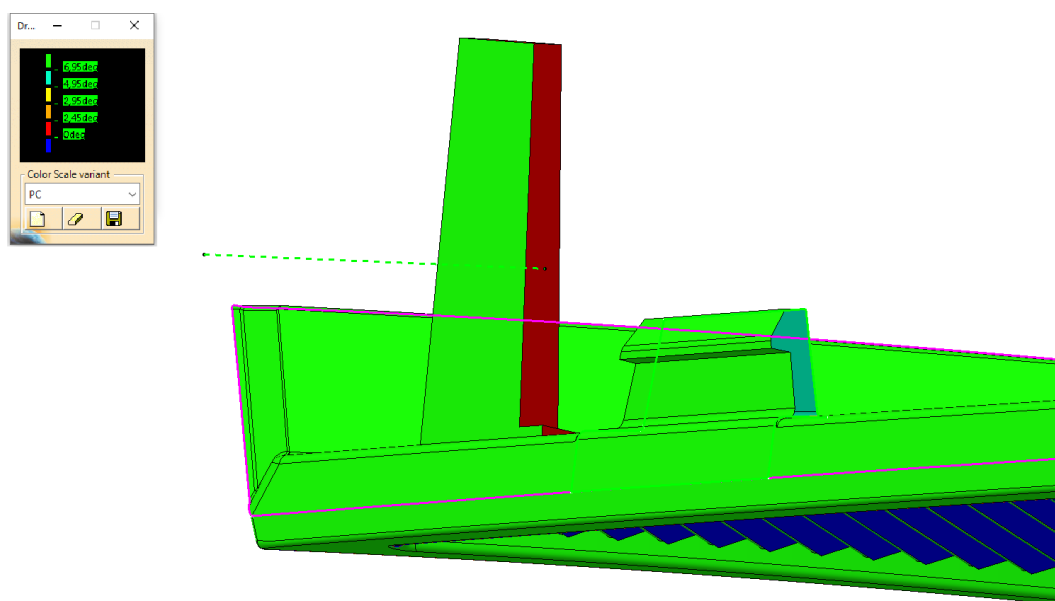


Obrázek 34. Odformování krycího rámečku A – koncept konstrukčního řešení 1.

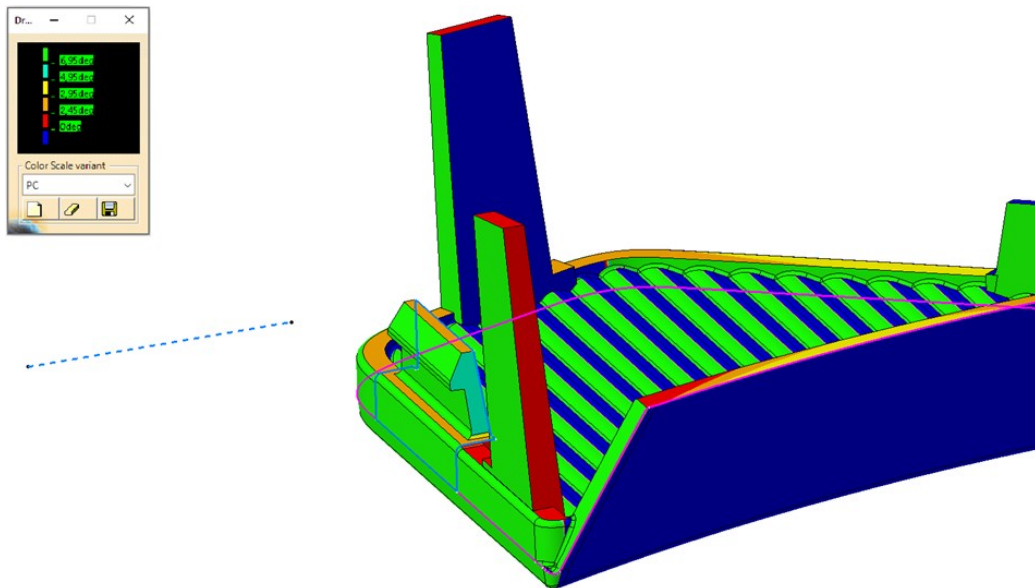
Pro kontrolu vyrobiteľnosti vstřikovaného výrobku byla využita funkce Draft Analysis v softwaru CATIA V5 Dassault Systèmes. Nejmenší úkos na vstřikovaném výrobku je 1° a byl aplikován na zadní stěny pružných háčků a vnitřní a vnější stěny vodících elementů. Tento úkos umožní spolehlivé odformování vodících a upevňovacích elementů bez značného nárůstu rozměru v jejich základně (Obr. 35-37).



Obrázek 35. Funkce Draft Analysis – koncept konstrukčního řešení 1, hlavní směr odformování krycího rámečku A.



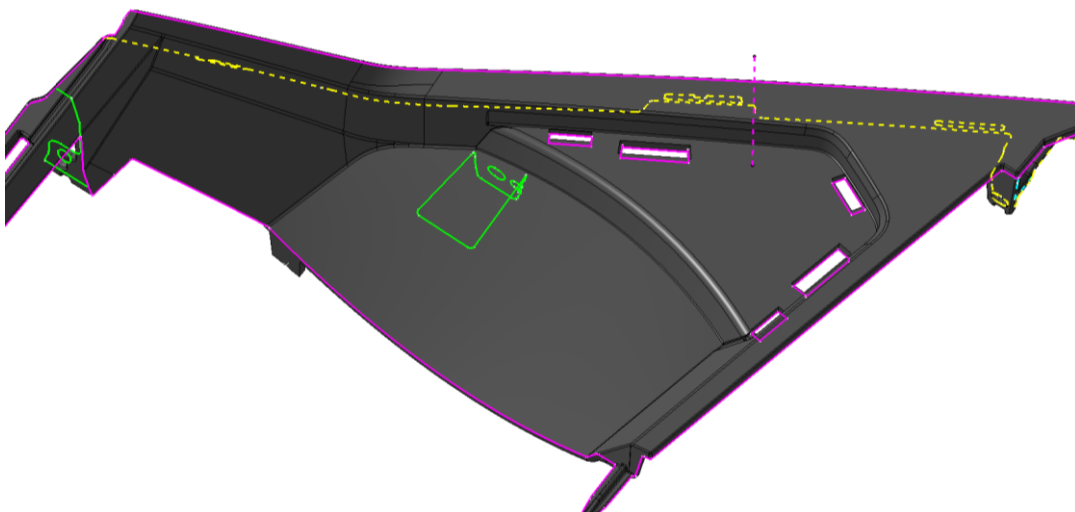
Obrázek 36. Funkce Draft Analysis – koncept konstrukčního řešení 1, odformování krycího rámečku A ve směru čelisti upevňovacího elementu 1.



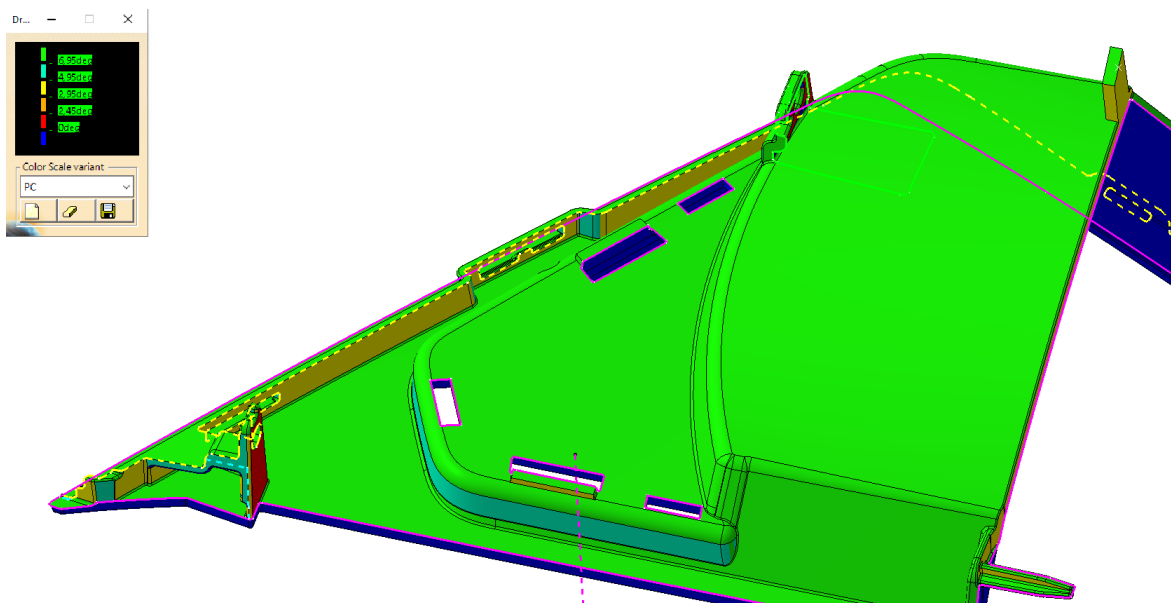
Obrázek 37. Funkce Draft Analysis – koncept konstrukčního řešení 1, odformování krycího rámečku A ve směru čelisti upevňovacího elementu 2.

Krycí rámeček B

Veškeré upevňovací a naváděcí geometrie poskytující vytvoření pružného spojení s krycím rámečkem A bylo možné vytvořit bez nutnosti použití posuvných čelistí. Hlavní směr odformování vstříkovaného výrobku s hlavní dělicí rovinou jsou vyznačeny v modelu fialovou barvou (Obr. 38). Řešení geometrií umožňující spojení s ostatními díly na krycím rámečku B není cílem této práce.



Obrázek 38. Odformování krycího rámečku B – koncept konstrukčního řešení 1.



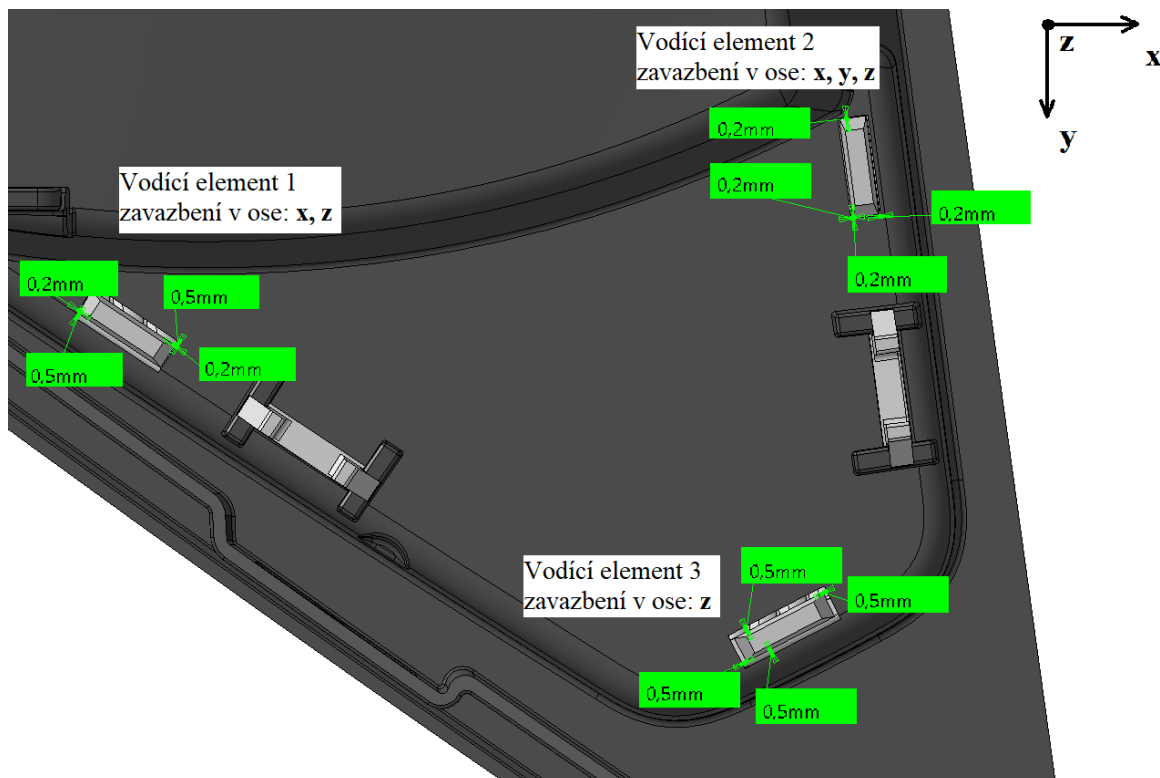
Obrázek 39. Funkce Draft Analysis – koncept konstrukčního řešení 1, hlavní směr odformování krycího rámečku B.

5.3 Konstrukční řešení 2

Konstrukční řešení 2 obsahuje umístění upevňovacích a vodících elementů na identické pozice jako u konstrukčního řešení 1. Provedení vodících elementů je u obou konstrukčních řešení stejné, avšak provedení upevňovacích elementů se liší. U konstrukčního řešení 2 upevňovací elementy představují dvě dvojice protilehlých pružných háčků. Bližší popis návrhu je uveden v následujících podkapitolách.

5.3.1 Vodící elementy

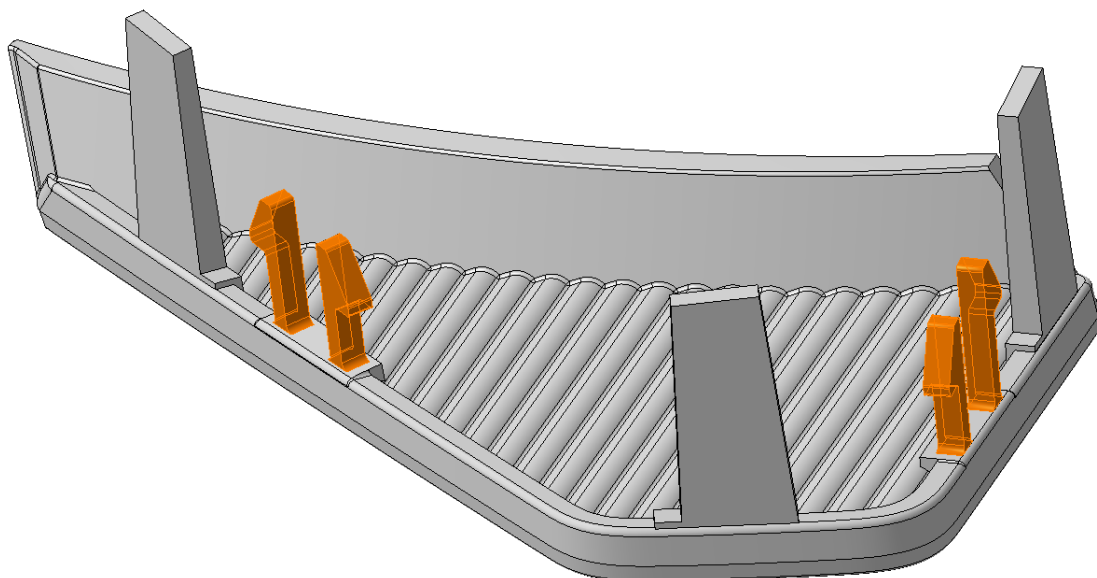
V rámci konstrukčního řešení 2 bylo v místě vodícího elementu 2 zamezeno pohybu krycího rámečku A ve všech směrech (stejným způsobem jako u konstrukčního řešení 1). Pomocí vodícího elementu 1 je zamezeno pohybu soustavy v ose x a ose z. Vazba v ose x slouží k předejití separace sousedního pružného háčku. Dosed v ose z vytváří protitlak pro tento zácvak. Vodící element 3 je identický jako v případě konstrukčního řešení 1 (Obr. 40).



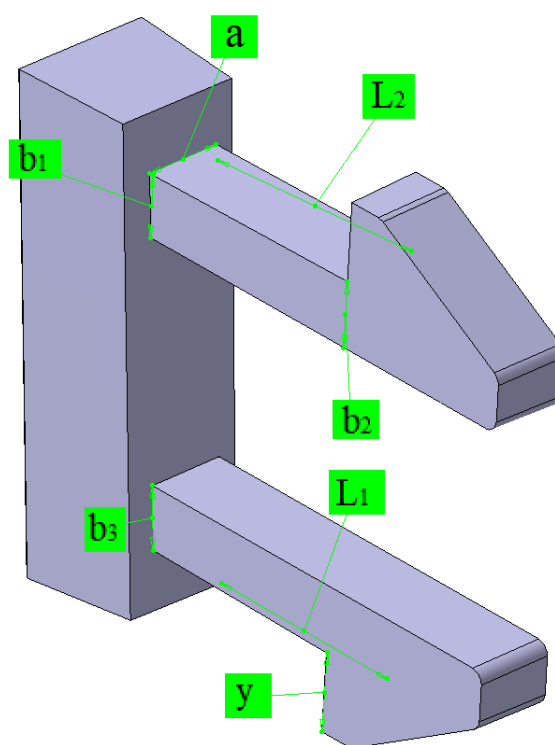
Obrázek 40. Zavazbení soustavy pomocí Pravidla 3-2-1 – koncept konstrukčního řešení 2.

5.3.2 Upevňovací elementy

Pro konstrukční řešení 2 byl navržen vetknutý pružný háček s nosem, který je konstruovaný v páru. Protilehlé zácvaky vytvoří pružné spojení, jakmile jsou při montážním pohybu navedeny otvory krycího rámečku B a na konci své dráhy zaskočí za hrany vodících elementů (fixačních žeber). Oproti běžnému vetknutému pružnému háčku s nosem má tento pružný háček znatelně menší šířku základny.



Obrázek 41. Upevňovací elementy krycího rámečku A – koncept konstrukčního řešení 2.



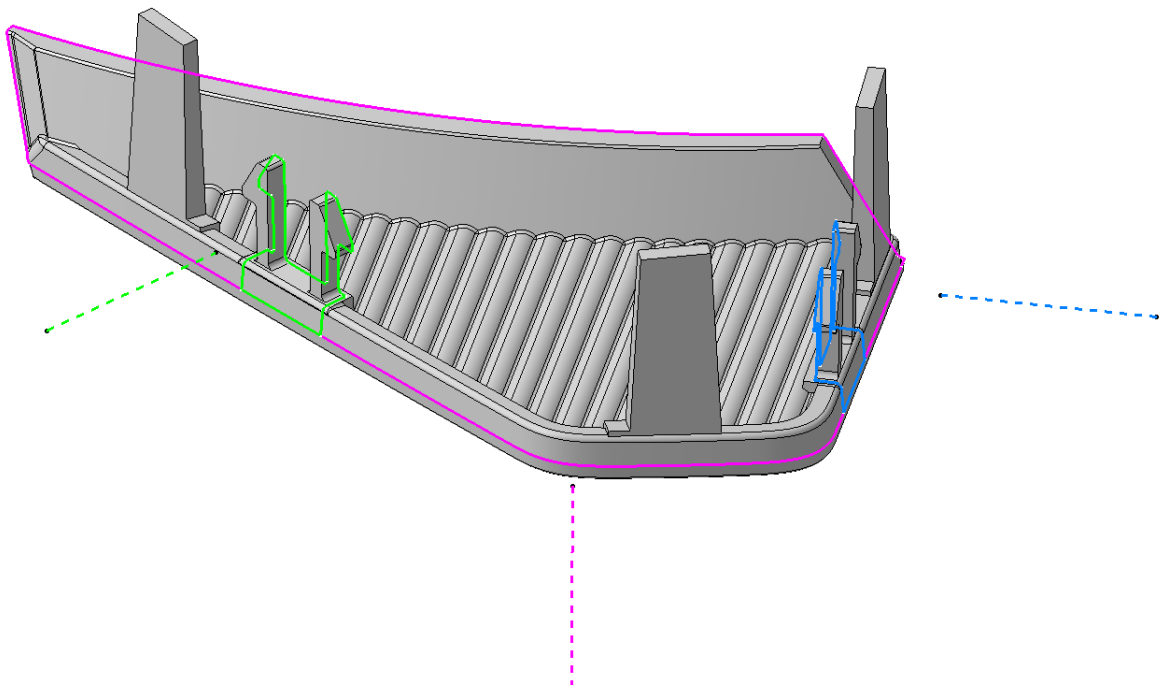
Obrázek 42. Dvojice vetknutých pružných háčků s nosem – koncept konstrukčního řešení 2 ($a = 2 \text{ mm}$, $b_1 = 1,7 \text{ mm}$, $b_2 = 1,6 \text{ mm}$, $b_3 = 1,7 \text{ mm}$, $y = 2 \text{ mm}$, $L_1 = 6,3 \text{ mm}$, $L_2 = 5,4 \text{ mm}$).

5.3.3 Odformování vstřikovaných výrobků

Obdobně, jako v případě konstrukčního řešení 1, je i zde nezbytnou součástí návrhu vstřikovaného výrobku správné umístění hlavních a vedlejších dělicích rovin.

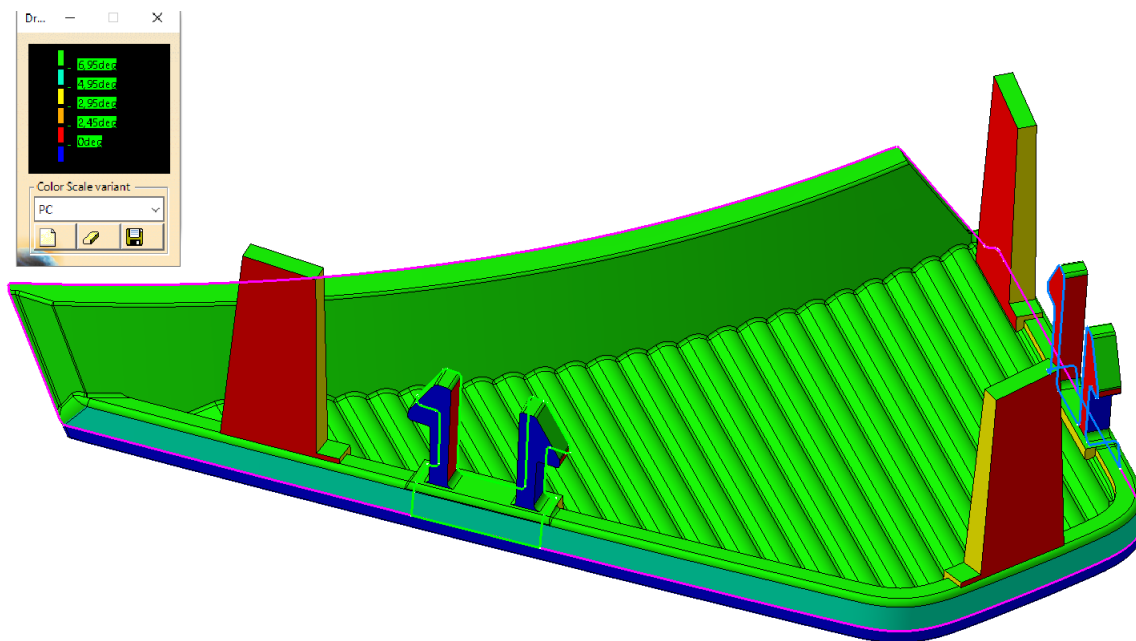
Krycí rámeček A

Značení hlavních a vedlejších dělicích rovin a směrů odformování vstřikovaných výrobků je identické jako u konstrukčního řešení 1. Stejně tak i k odformování pružných háčků byly využity 2 posuvné čelisti.

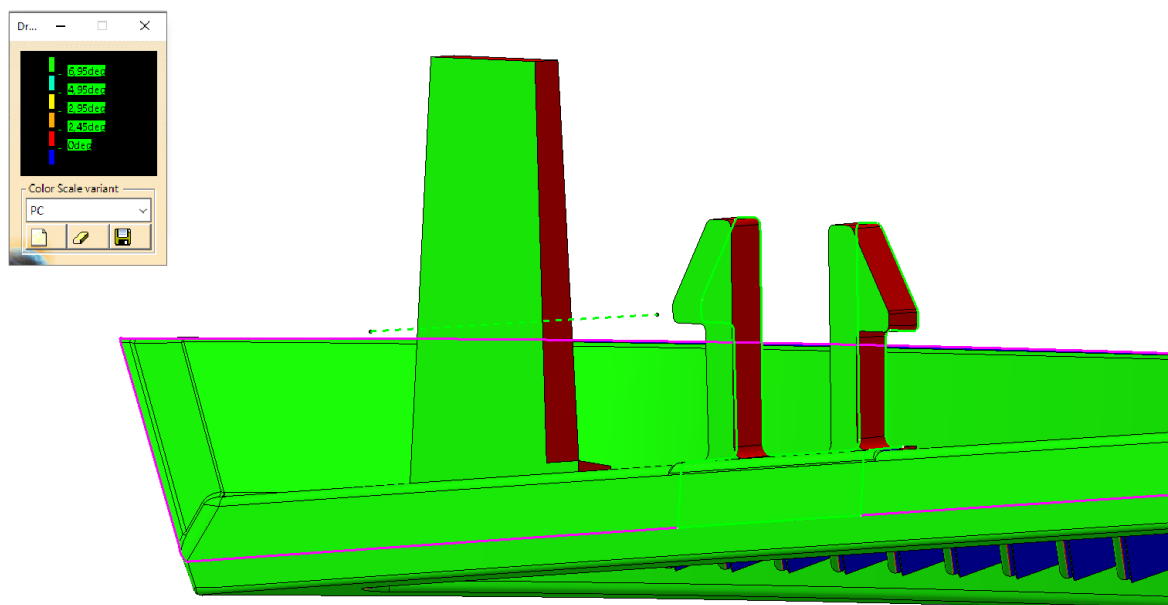


Obrázek 43. Odformování krycího rámečku A – koncept konstrukčního řešení 2.

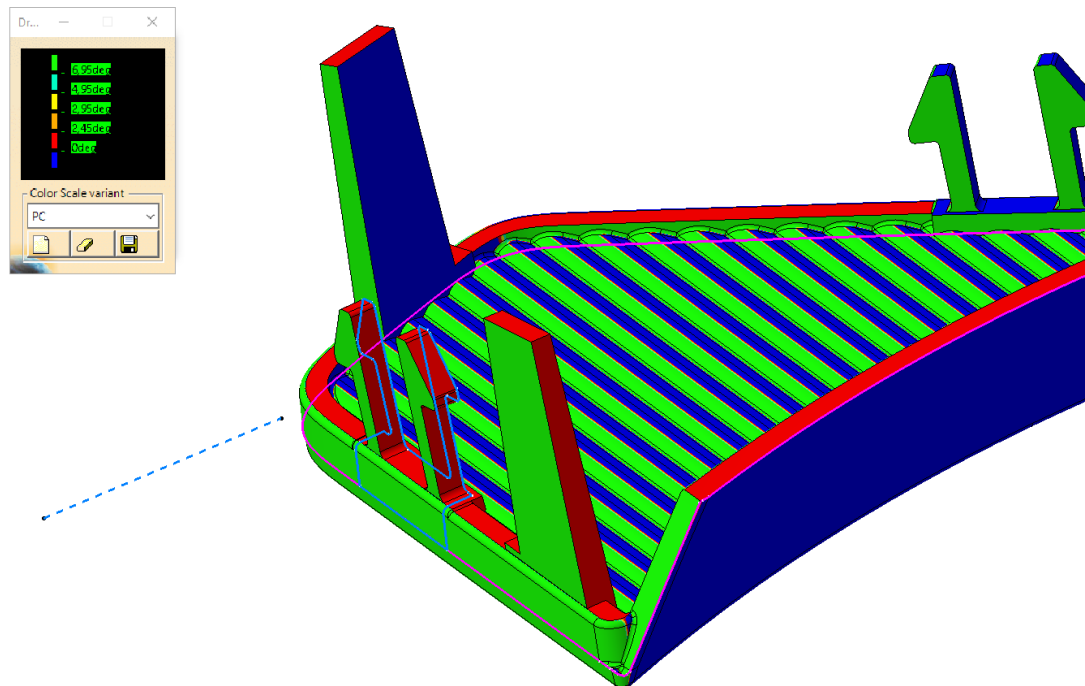
Velikosti úkosů hran vodících elementů jsou totožné konstrukčnímu řešení 1. Velikost úkosů dvojic upevňovacích elementů ve směru posuvných čelistí činí 1° . Vnitřní stěny pružných háčků jsou ukoseny v hlavním směru odformování, kde velikosti úkosů náleží rovněž velikosti 1° (Obr. 45-47).



Obrázek 44. Funkce Draft Analysis – koncept konstrukčního řešení 2, hlavní směr odformování krycího rámečku A.



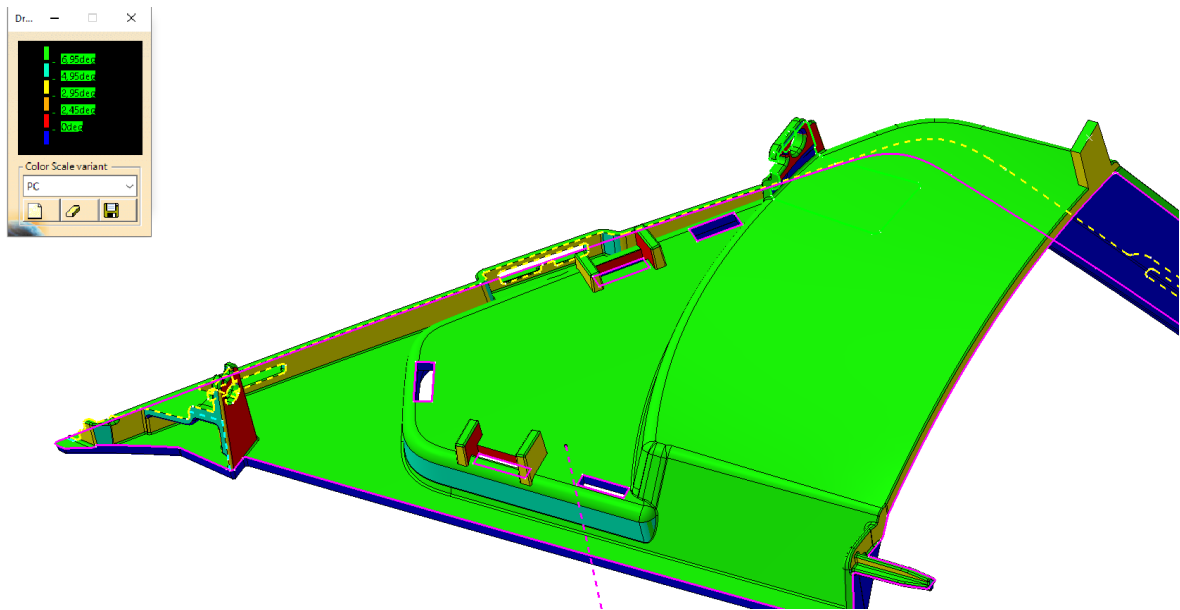
Obrázek 45. Funkce Draft Analysis – koncept konstrukčního řešení 2, odformování krycího rámečku A ve směru čelisti upevňovacího elementu 1.



Obrázek 46. Funkce Draft Analysis – koncept konstrukčního řešení 2, odformování krycího rámečku A ve směru čelisti upevňovacího elementu 2.

Krycí rámeček B

Pro spolehlivé navedení krycího rámečku A při montáži jsou otvory krycího rámečku B ukoseny ve stejných směrech jako jsou stěny vodících a upevňovacích elementů krycího rámečku A. Otvory na krycím rámečku B umožňující vznik pružného spojení s krycím rámečkem A bylo možné vytvořit bez použití posuvných čelistí.



Obrázek 47. Funkce Draft Analysis – koncept konstrukčního řešení 2, hlavní směr odformování krycího rámečku B.

6 OPTIMALIZACE NAVRŽENÝCH KONCEPTŮ S PODPOROU FEM ANALÝZ

Velikost vzniklého namáhání pružných háčků při montáži bylo odsimulováno prostřednictvím softwaru Altair HyperMesh. Hlavním měřítkem pro určování adekvátních rozměrů pružných háčků byl stanoven parametr krátkodobé poměrné deformace ϵ_K (Kap. 3). V případě překročení stanovené hodnoty následovala úprava konstrukčního řešení, nejčastěji zvětšením délky upevňovacího elementu.

Před zadáním podmínek namáhání a vytvořením průběhu simulace pružného háčku při montáži bylo nutné upravit CAD modely spojovaných součástí, a to ořezáním jejich geometrie pouze na oblasti, které jsou při montáži podrobeny namáhání. Tato úprava CAD modelu významně zkrátí dobu výpočtu úlohy.

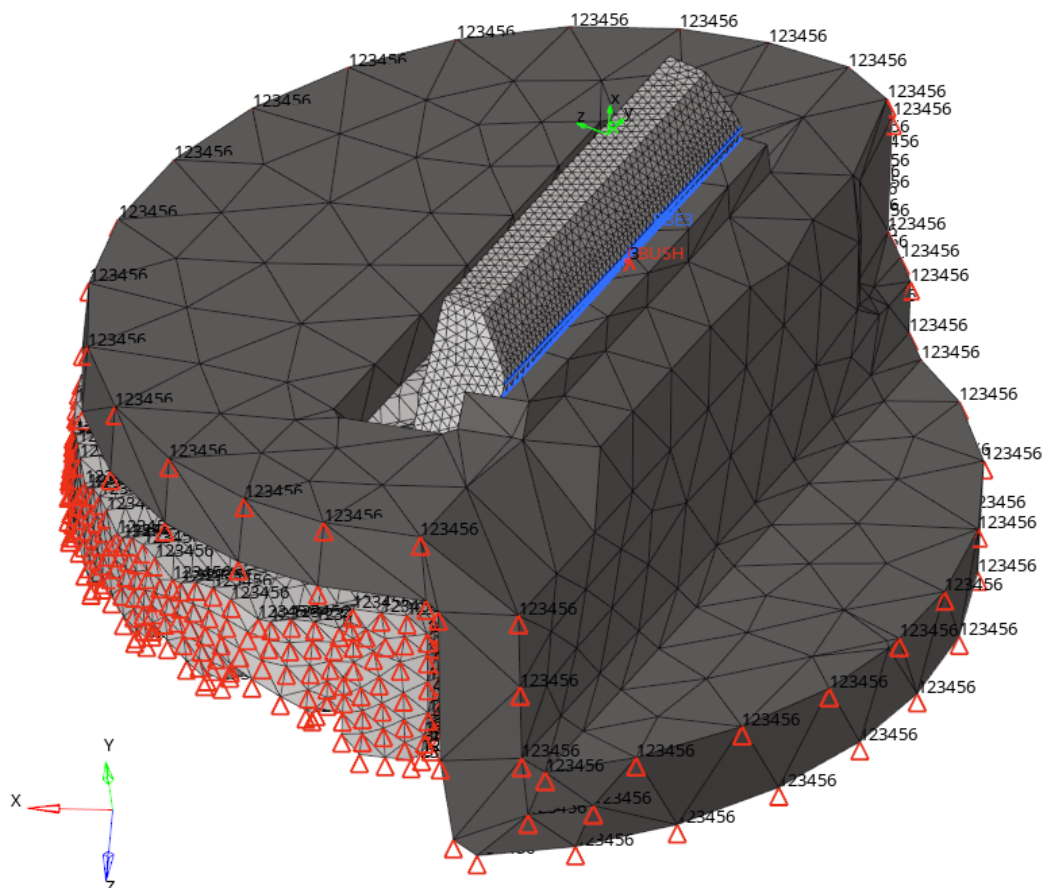
6.1 Postup zadávání FEM simulací

Spuštění výpočtu úlohy předcházelo nastavení podmínek simulace (Obr. 48), a to v těchto krocích:

- 1. Vysít'ování těles.** První krok obsahoval vytvoření 2D sítě tělesa se zácvaky (krycího rámečku A). Pro všechny úlohy byl nastaven stejný typ sítě, obsahující elementy typu trojúhelníku. Nejvíce namáhané oblasti byly vysít'ování elementy o nejmenší velikosti. Za tyto oblasti byly brány rádiusy ve vetknutí zácvaků. Oblasti nabývaly velikosti 0,1 až 0,2 mm. Geometrie zácvaku byla vysít'ována středně velkými elementy, a to o velikosti 0,3 až 0,5 mm. Pro zbytek namáhaného tělesa byly zvoleny elementy o velikosti 0,5 až 1 mm. Dále proběhla kontrola celistvosti sítě a poškozených elementů. Vysít'ované těleso vždy obsahovalo překrývající elementy a ty byly při následném kroku vymazány. Odstranění problémových elementů bylo nezbytné pro tvorbu následné 3D sítě. Po vytvoření 3D sítě byla smazána 2D síť. Stejný postup byl aplikován i v případě krycího rámečku B. Krycí rámeček B není při montáži podroben deformaci, proto obsahoval hrubší síť, a to o velikosti elementů 1 až 5 mm. Do úlohy byl krycí rámeček B zahrnut pro ověření, zda pružný háček má dostatečné místo pro jeho deformaci a zda následně zaskočí za hranu protikusů.
- 2. Vytvoření spojovacího členu.** Jelikož se namáhání nezadává přímo na plochu podrobenou působení tohoto namáhání, ale do prostoru, ve vzdálenosti 0,1 až 0,2 mm od této plochy, je vytvořen spojovací člen, který působící namáhání přejímá

bezprostředně na vysíťované těleso. Vytvoření spojovacího členu předchází nalezení středu namáhaní plochy a vytvoření odsazeného bodu.

- 3. Vytvoření působícího namáhání.** Namáhání je charakterizováno posunem namáhané plochy pružného háčku při jeho průhybu. Velikost posunu je definována výškou zobáčku pružného háčku a působí ve směru průhybu. Působící namáhání je zadáno na volném konci spojovacího členu. Aby byl pružný háček deformován ve správném směru, což je v jedné z os souřadného systému vloženého z CAD modelu, je potřeba vložený souřadný systém nastavit jako referenční.
- 4. Zavazbení soustavy.** Oběma krycím rámečkům je zamezen pohyb ve všech 6 stupních volnosti. Vazby jsou umístěny na bočních plochách obou těles a jsou vyznačeny malými červenými trojúhelníky (Obr. 48).
- 5. Přidání materiálu.** Posledním krokem před spuštěním simulace je přidání materiálu oběma krycím rámečkům. Pro veškeré úlohy byl zadán totožný materiál těles, a to PC Makrolon 2205.



Obrázek 48. Skupinka krycích rámečků – nastavení podmínek FEM simulace.

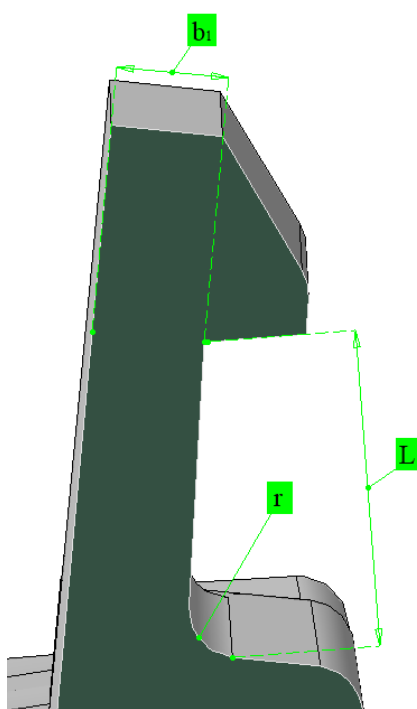
Jakmile úspěšně proběhne simulace, předchozí typ lineárního výpočtu je změněn na výpočet parabolický. Úloha počítána parabolickým výpočtem trvá delší dobu, ale díky ní je možné docílit přesnějších výsledků. Přepočítání úloh parabolickým výpočtem bylo dosaženo hodnot krátkodobé poměrné deformace zpravidla až o 0,2 % nižší nežli v případě lineárního výpočtu.

6.2 Konstrukční řešení 1

V této kapitole je pružný háček s prvotními rozměry podroben analýze konečných prvků. Po několika korekčních smyčkách je dosaženo konstrukčního návrhu, který při simulaci montážního pohybu splňuje podmínku dovolené hodnoty krátkodobé poměrné deformace.

6.2.1 Analýza navrženého konceptu

Pro zpřehlednění jsou v korekčních smyčkách uvedeny pouze rozměrové parametry pružného háčku, které byly v každé fázi přímo měněny.



Obrázek 49. Pružný háček – konstrukční návrh 1.

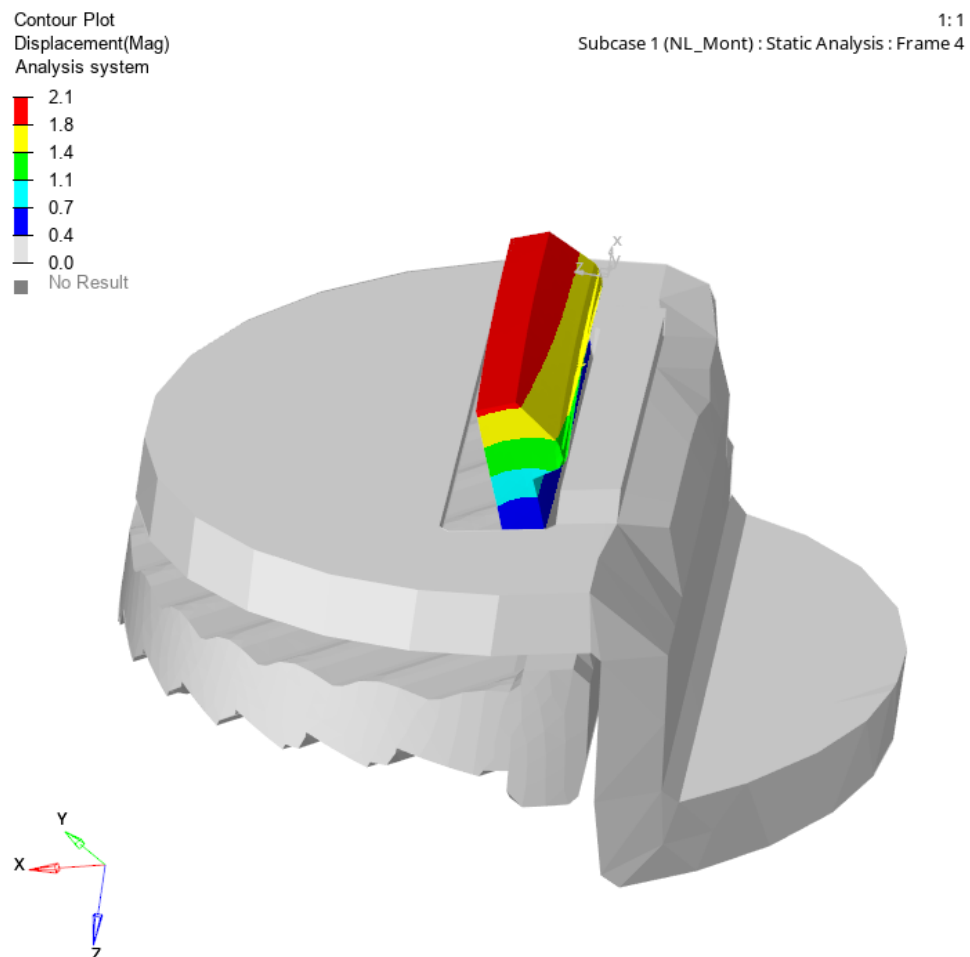
Prvotní návrh pružného háčku je znázorněn na obrázku 49 a je charakterizován těmito parametry:

$$L = 3,4 \text{ mm},$$

$$b_2 = 1,15 \text{ mm},$$

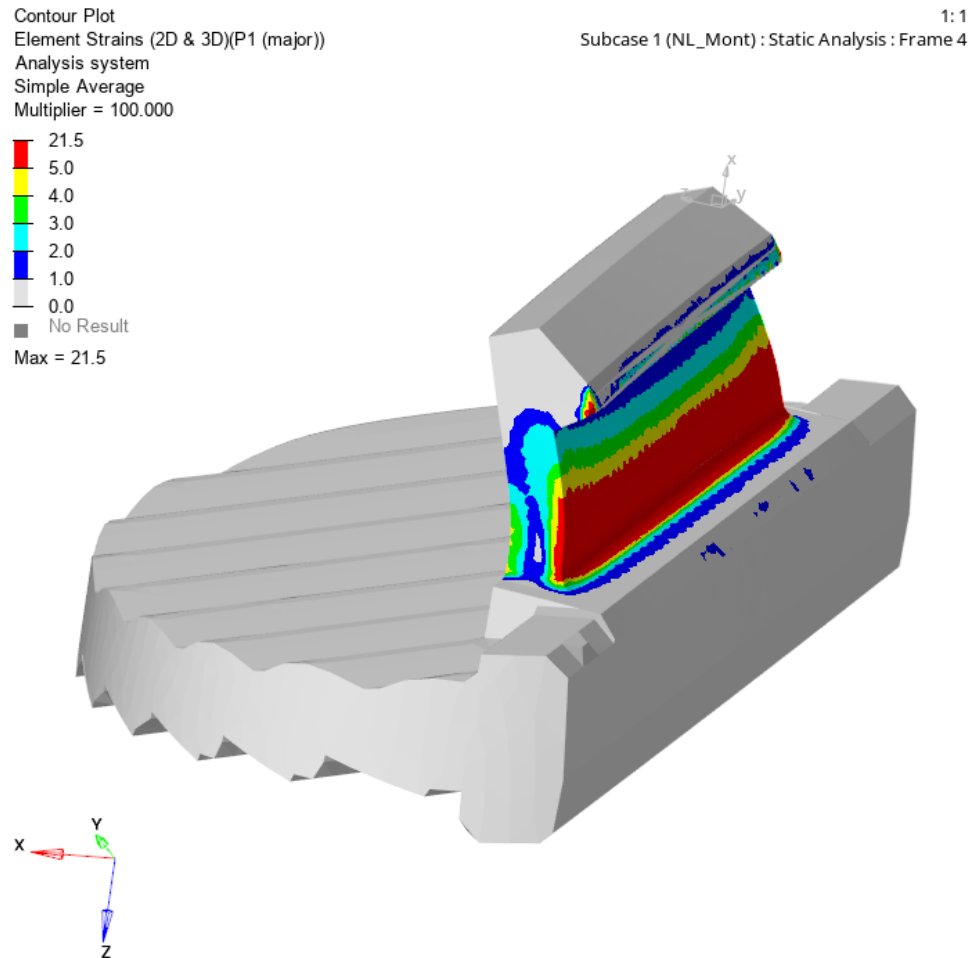
$$r = 0,5 \text{ mm}.$$

Výsledky simulací jsou interpretovány formou digitální korelace obrazu, tzn. že jsou založeny na posunu a deformaci jednotlivých bodů počítaného modelu. Sledovanými veličinami byly obecná deformace a krátkodobá poměrná deformace. Stupně těchto deformací jsou barevně rozlišeny.



Obrázek 50. Deformace konceptu pružného háčku – konstrukční návrh 1.

Na výsledku obecné deformace lze spatřit velikosti posunutí jednotlivých bodů (Obr. 50) a pomocí tohoto výsledku je ověřeno, že zácvak nenarazí při jeho průhybu do stěny protikusu a spolehlivě zapadne za jeho hranu. Z výsledků vyplývá, že vodící geometrie protikusu je dostačující pro umožnění průhybu pružného háčku a rozměr otvoru nemusí být dále optimalizován.



Obrázek 51. Krátkodobá poměrná deformace konceptu pružného háčku – konstrukční návrh 1.

Velikost krátkodobé poměrné deformace dosahuje v maximu 21,5 % (Obr. 51), což téměř 5krát přesahuje hodnotu dovolené krátkodobé poměrné deformace. Takováto deformace by v případě vstřikovaného výrobku způsobila přelomení pružného háčku.

6.2.2 Korekční smyčka 1

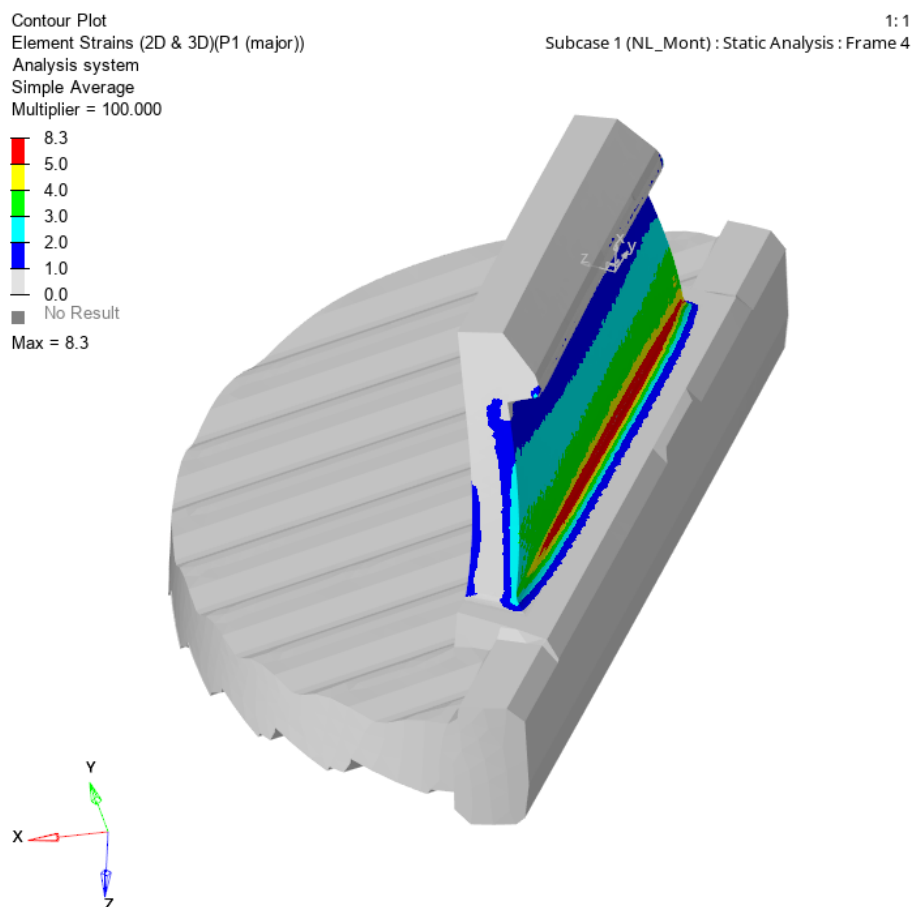
Korekční smyčka zahrnovala prodloužení pružného háčku o 3 mm, což by mělo směřovat k výraznému poklesu krátkodobé poměrné deformace. Druhou úpravou bylo zvětšení minimální tloušťky na 1,35 mm. Tato změna byla provedena pro spolehlivého zatečení taveniny vstřikovaného výrobku při výrobním procesu. Vhodnost této úpravy je potvrzena pomocí analýzy vstřikovacího procesu v softwaru Moldflow (Kap. 8).

Upravené parametry pružného háčku u konstrukčního návrhu 1 (Obr. 49) po korekční smyčce 1:

$$L = 6,4 \text{ mm},$$

$$b_2 = 1,35 \text{ mm},$$

$$r = 0,5 \text{ mm}.$$



Obrázek 52. Krátkodobá poměrná deformace po provedení korekční smyčky 1 – konstrukční návrh 1.

Modifikace pružného háčku prodloužením jeho délky téměř o dvojnásobek znatelně snížila hodnotu maxima krátkodobé poměrné deformace (8,3 %). Nicméně, hodnota je stále 2krát větší jak maximální dovolená (Obr. 52), a proto je vyžadována další úprava konstrukčního řešení.

6.2.3 Korekční smyčka 2

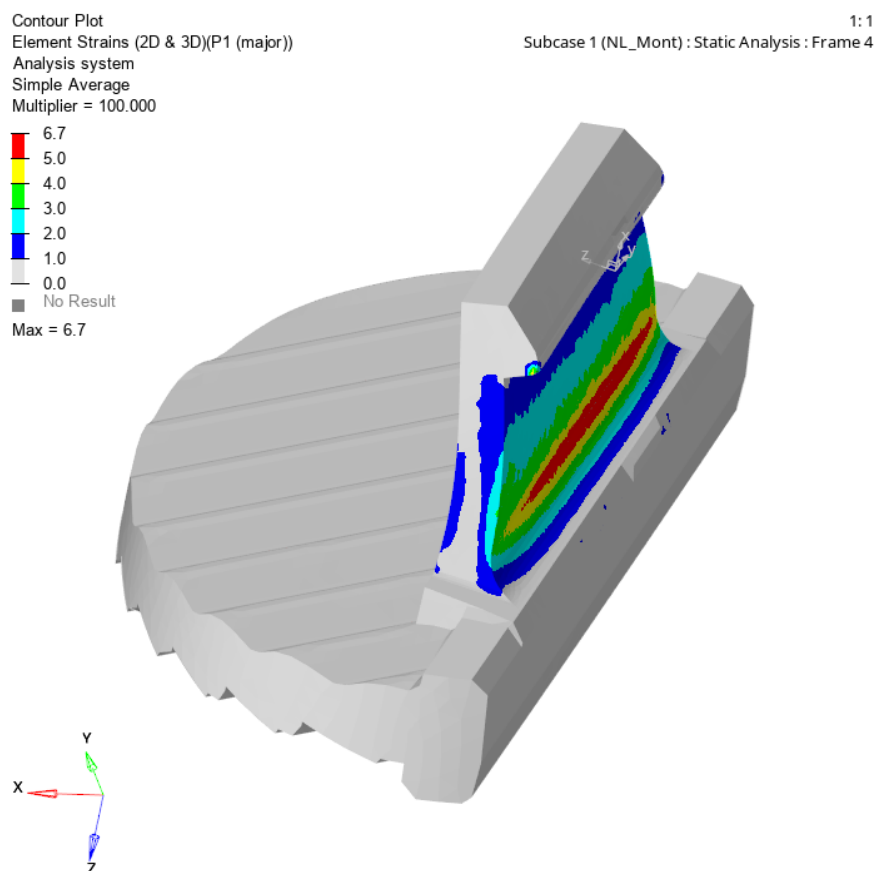
V rámci korekční smyčky 2 bylo provedeno zvětšení radiusu, který podléhá deformaci, z hodnoty 0,5 mm na 1,35 mm.

Upravené parametry pružného háčku u konstrukčního návrhu 1 (Obr. 49) po korekční smyčce 2:

$$L = 6,4 \text{ mm},$$

$$b_2 = 1,35 \text{ mm},$$

$$r = 1,35 \text{ mm}.$$



Obrázek 53. Krátkodobá poměrná deformace po provedení korekční smyčky 2 – konstrukční návrh 1.

Zvětšení rádiusu napomohlo k poklesu maxima krátkodobé poměrné deformace na hodnotu 6,7 % (Obr. 53). Tato maximální hodnota stále přesahuje dovolenou hodnotu krátkodobé poměrné deformace (4,3 %).

6.2.4 Korekční smyčka 3

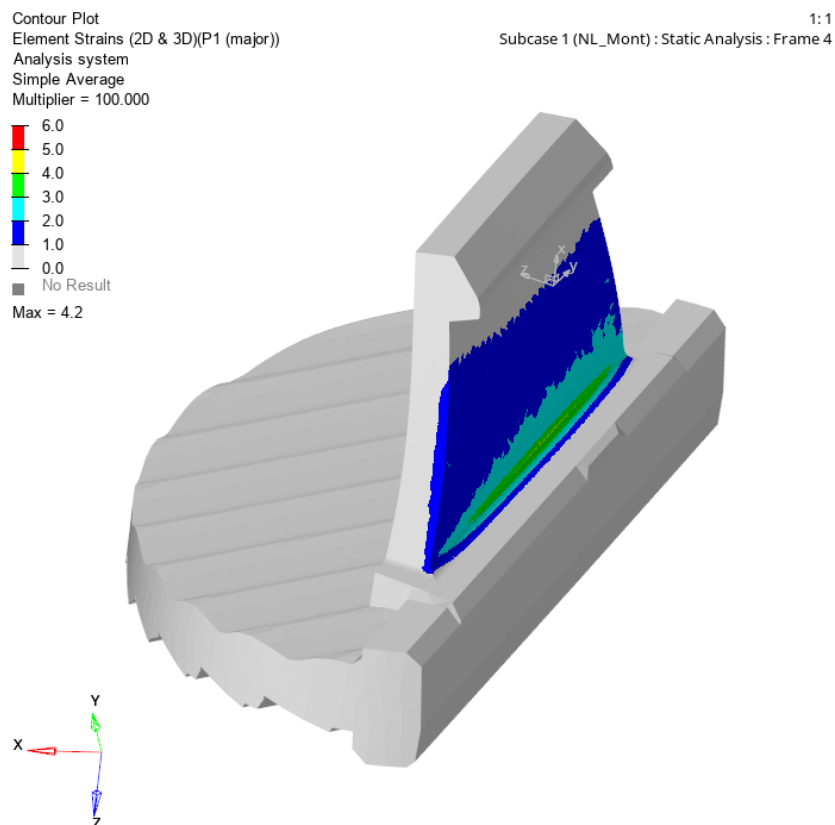
Korekční smyčka 3 zahrnovala prodloužení pružného háčku od minulého stavu o 2 mm a velikost rádiusu byla vrácena zpět na hodnotu 0,5 mm. Modifikace rádiusu na předešlou hodnotu byla provedena z důvodu, aby se předešlo kolizi s vodící geometrií krycího rámečku B během montáže.

Upravené parametry pružného háčku u konstrukčního návrhu 1 (Obr. 49) po korekční smyčce 3:

$$L = 8,4 \text{ mm},$$

$$b_2 = 1,35 \text{ mm},$$

$$r = 0,5 \text{ mm}.$$



Obrázek 54. Krátkodobá poměrná deformace po provedení korekční smyčky 3 – konstrukční návrh 1.

Pružný háček s těmito rozměry dosahuje při jeho průhybu maximální hodnoty 4,2 % (Obr. 54), takže při jeho montáži by nemělo docházet k jeho porušení a měl by bezpečně plnit svoji funkci. Zácvak s těmito rozměry je finální podobou konstrukčního řešení 1.

6.3 Konstrukční řešení 2

Pro konstrukční řešení 2 je proveden stejný postup jako u konstrukčního řešení 1, prvotní návrh pružného háčku je podroben FEM analýze a po několika jeho modifikacích, v rámci korekčních smyček, je dosaženo návrhu splňující podmínku dovolené hodnoty krátkodobé poměrné deformace.

6.3.1 Analýza navrženého konceptu

Stejně tak jako u konstrukčního řešení 1 jsou pro přehlednost vyjádřeny pouze rozměrové parametry, které byly v korekčních smyčkách přímo měněny.

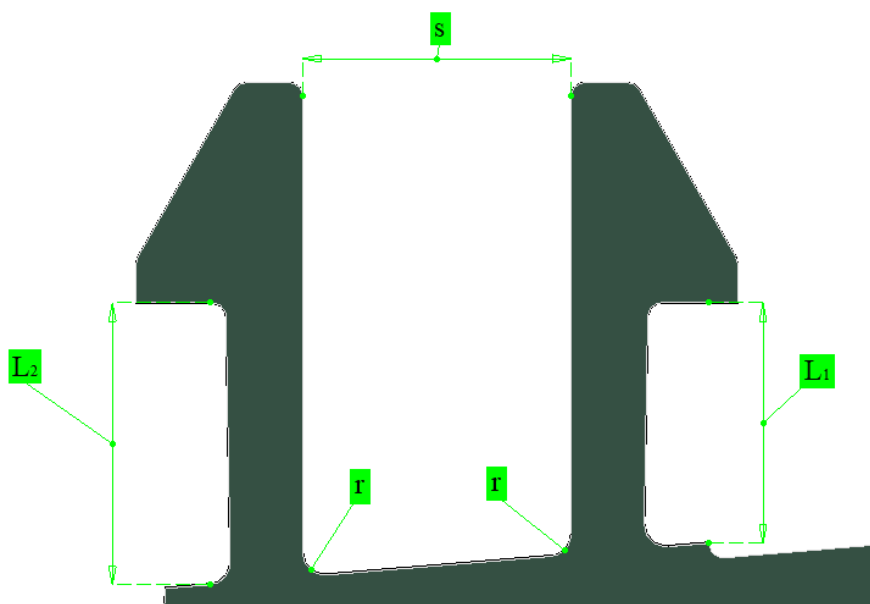
Prvotní návrh páru pružných háčku je znázorněn na obrázku 55 a je charakterizován těmito parametry:

$$L_1 = 5,4 \text{ mm,}$$

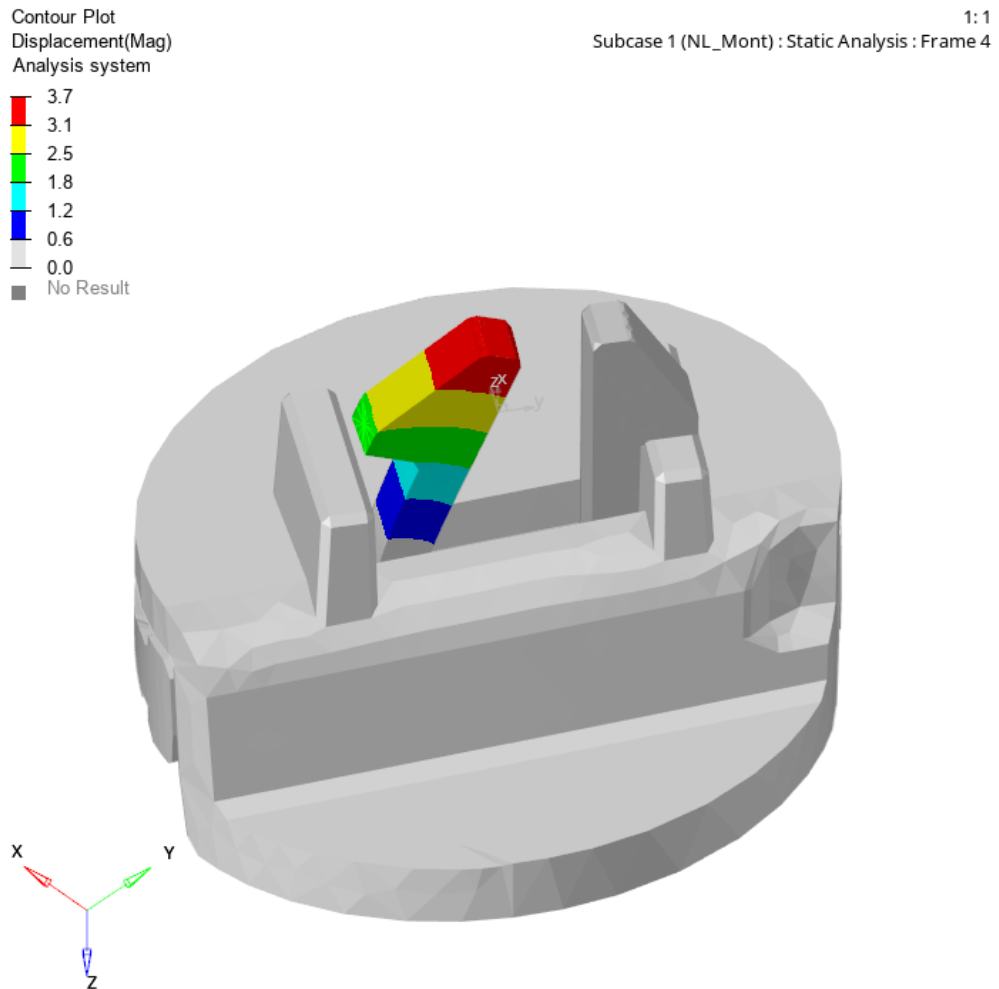
$$L_2 = 6,3 \text{ mm,}$$

$$r = 0,5 \text{ mm,}$$

$$S = 6 \text{ mm.}$$

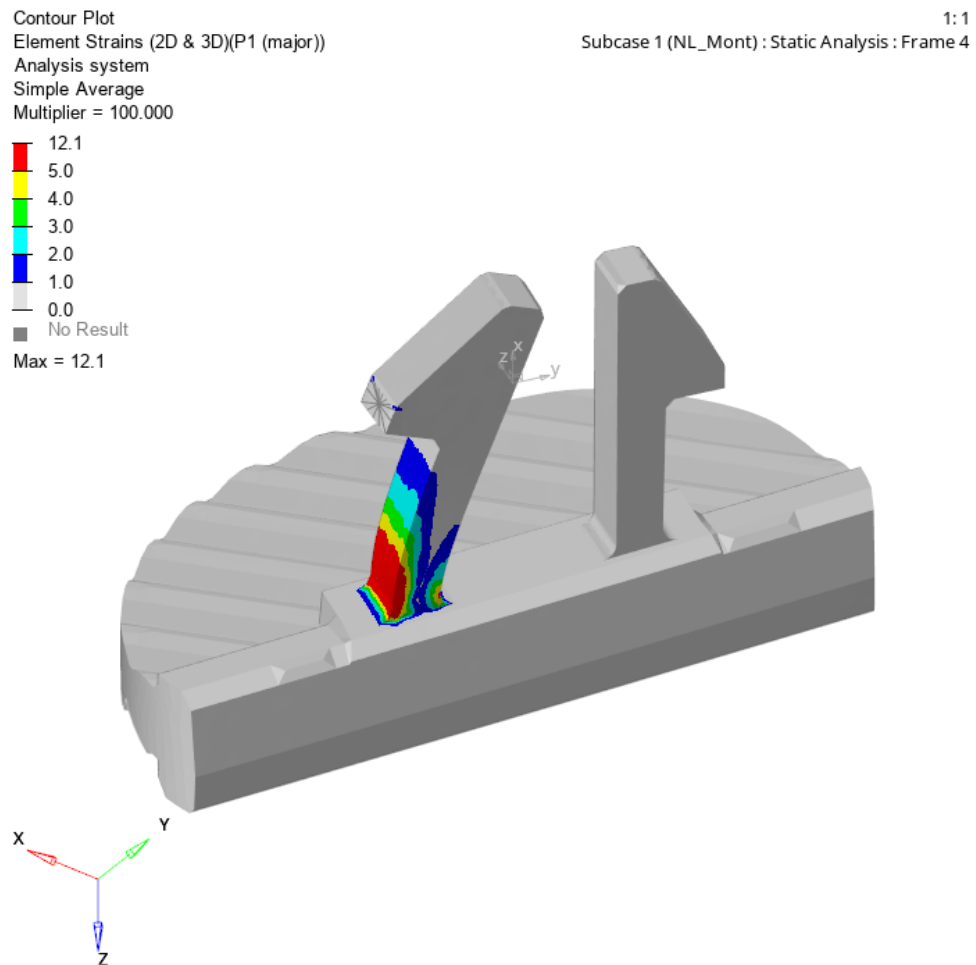


Obrázek 55. Dvojice pružných háčků – konstrukční návrh 2.



Obrázek 56. Deformace konceptu páru pružných háčků –
konstrukční návrh 2.

Z výsledku obecné deformace lze vyčíst, že při průhybu obou pružných háčků zároveň dojde k jejich vzájemné srážce (Obr. 56), proto bude následně v optimalizační fázi sjednána úprava konstrukčního řešení.



Obrázek 57. Krátkodobá poměrná deformace konceptu páru pružných háčků – konstrukční návrh 2.

Velikost maximální krátkodobé poměrné deformace dosahuje hodnoty 12,1 % (Obr. 57), což téměř 3krát přesahuje dovolenou hodnotu krátkodobé poměrné deformace, kvůli tomu je prvotní návrh nevyhovující a musí být konstrukce pružných háčků následně upravena.

6.3.2 Korekční smyčka 1

Korekční smyčka 1 zahrnovala zvětšení délky každého pružného háčku o 2 mm. Druhou úpravou bylo zvětšení vzájemného odstupů dvojice háčků k zabránění jejich kolize při montážním pohybu.

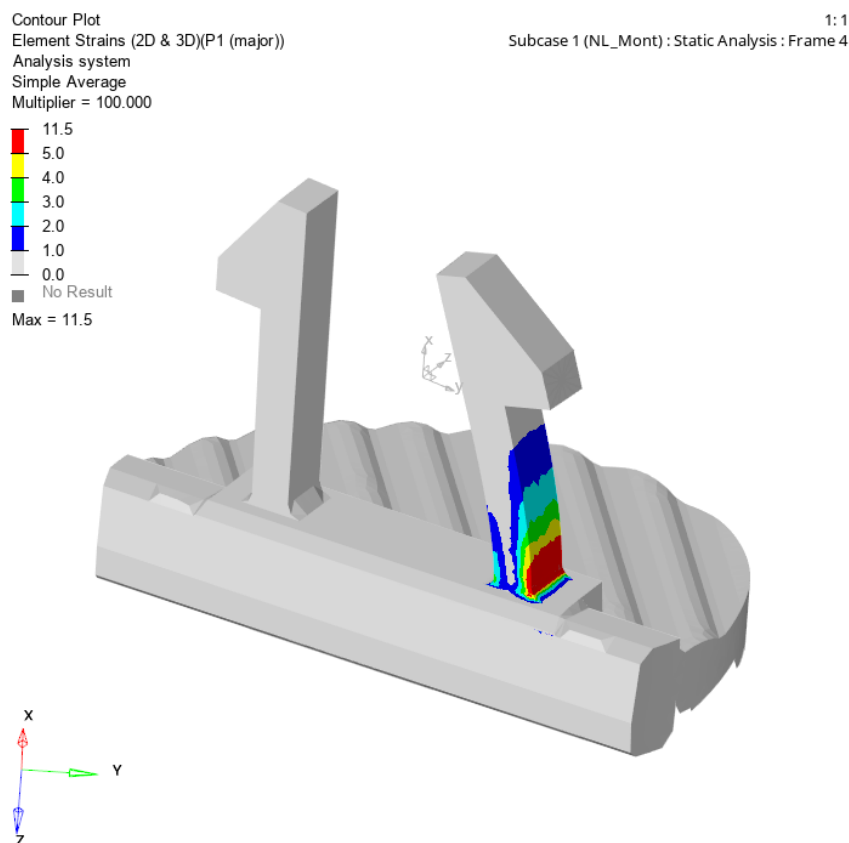
Upravené parametry páru pružných háčků u konstrukčního návrhu 2 (Obr. 55) po korekční smyčce 1:

$$L_1 = 7,4 \text{ mm},$$

$$L_2 = 8,3 \text{ mm},$$

$$r = 0,5 \text{ mm},$$

$$S = 9 \text{ mm}.$$



Obrázek 58. Krátkodobá poměrná deformace korekční smyčka 1 – konstrukční návrh 2.

Tyto změny nepatrně snížily velikost maximální hodnoty krátkodobé poměrné deformace, a to na velikost 11,5 % (Obr. 58), a společně s tím i zabránili kolizi protilehlých závčků.

Nepatrné snížení maximální hodnoty krátkodobé poměrné deformace je ovlivněna faktorem, že nebyly měřeny stejné zácvaky a délkový rozdíl zácvaků od minulého stavu činil pouze 1,1 mm. Hodnota maxima krátkodobé poměrné deformace na kratším zácvaku (11,5 %) je tedy nevyhovující a je potřeba dále podniknout kroky, které tuto hodnotu významně sníží.

6.3.3 Korekční smyčka 2

Při korekční smyčce 2 byly prodlouženy zácvaky o 2,5 mm a vnitřní rádius byl zvětšen na hodnotu 2 mm.

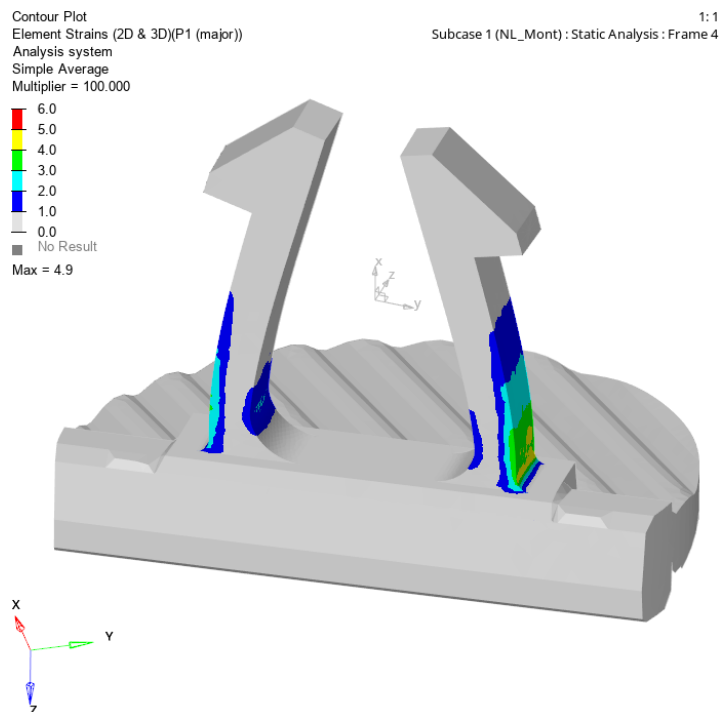
Upravené parametry páru pružných háčků u konstrukčního návrhu 2 (Obr. 55) po korekční smyčce 2:

$$L_1 = 9,9 \text{ mm},$$

$$L_2 = 10,8 \text{ mm},$$

$$r = 2 \text{ mm},$$

$$S = 9 \text{ mm}.$$



Obrázek 59. Krátkodobá poměrná deformace korekční smyčka 2 – konstrukční návrh 2.

Touto kombinací změn bylo dosaženo snížení hodnoty krátkodobé poměrné deformace více než o dvojnásobek (Obr. 59), nicméně hodnota 4,9 % stále přesahuje maximální dovolenou hodnotu krátkodobé poměrné deformace a je potřeba konstrukční návrh následně modifikovat.

6.3.4 Korekční smyčka 3

Korekční smyčka 3 zahrnovala zvětšení délek pružných háčků o 0,8 mm od předchozího stavu. Je odhadováno, že touto úpravou bude dosaženo konstrukčního řešení vyhovující podmínky dovolené hodnoty krátkodobé poměrné deformace.

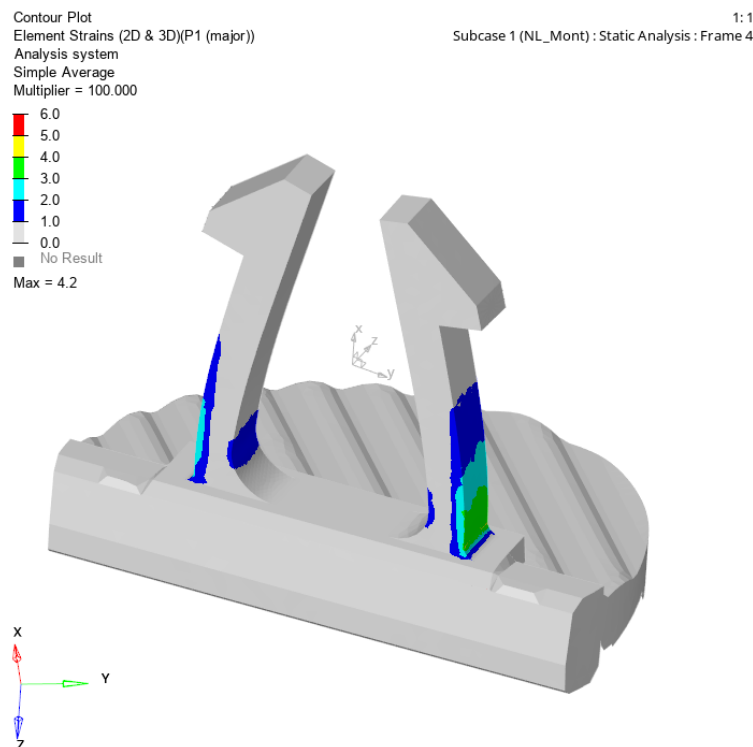
Upravené parametry páru pružných háčků u konstrukčního návrhu 2 (Obr. 55) po korekční smyčce 3:

$$L_1 = 10,7 \text{ mm},$$

$$L_2 = 11,6 \text{ mm},$$

$$r = 2 \text{ mm},$$

$$S = 9 \text{ mm}.$$



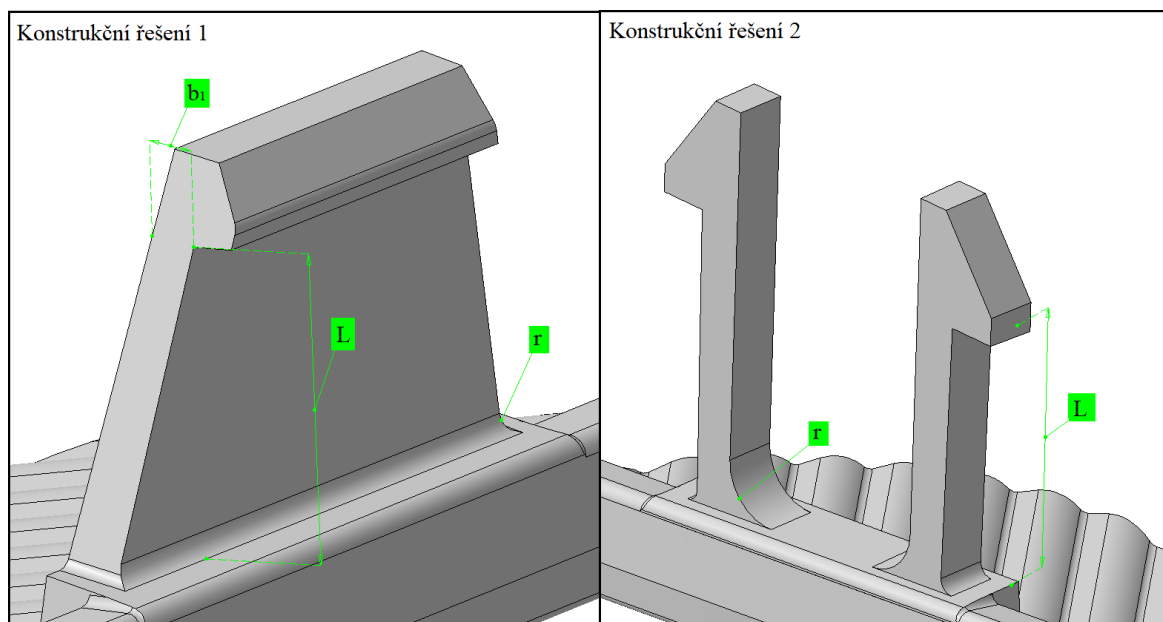
Obrázek 60. Krátkodobá poměrná deformace korekční smyčka 3 – konstrukční návrh 3.

Touto úpravou bylo získáno dvojice pružných háčků splňující podmínku dovolené hodnoty krátkodobé poměrné deformace. Hodnota maxima krátkodobé poměrné deformace činí 4,2 % (Obr. 60) a tato podoba páru pružných háčků je brána jako konečné řešení konstrukčního návrhu 2.

7 POROVNÁNÍ NAVRŽENÝCH ŘEŠENÍ

Jednotlivé návrhy pružných háčků se velmi liší svojí geometrií. Proto nelze v průběhu realizace jednotlivých korekcí porovnávat hodnotu krátkodobé deformace na základě hlavního měněného parametru – délky. Je tomu proto, že pružnost případně tuhost závaku je ovlivněna i jeho tloušťkou a šířkou.

V případě finální podoby konstrukčního řešení 1 byla zvolena nižší tloušťka pružného háčku (1,35 mm) v kombinaci s jeho vyšší šířkou (14,8 mm). Toto řešení ve finále vyhovuje podmínce z hlediska nepřekročení maximální dovolené hodnoty krátkodobé poměrné deformace. Kdyby tato tloušťka pružného háčku byla aplikována pro konstrukční řešení 2, dvojice závaků by podléhala příliš vysokým deformacím a nebyla by zaručena dostatečná tuhost soustavy. Naopak kdyby závak konstrukčního řešení 1 nabýval tloušťky (dvojice závaků) 2 mm, mohlo by při jeho průhybu dojít k jeho přelomení. Proto je nutné na každý proces vývoje těchto dvou konstrukčních řešení nahlížet zvlášť.



Obrázek 61. Porovnání konstrukčních řešení pružných háčků.

Tabulka 1. Sumarizace parametrů pružných háčků s výslednými hodnotami krátkodobé poměrné deformace – konstrukčních řešení 1.

Konstrukční řešení 1		L [mm]	b ₁ [mm]	r [mm]	ε _{DOV} [-]	ε _K [-]
	Koncept	3,4	1,15	0,5	4,3	21,5
	Korekční smyčka 1	6,4	1,35	0,5		8,3
	Korekční smyčka 2	6,4	1,35	1,35		6,7
	Korekční smyčka 3	8,4	1,35	0,5		4,2

Pozn.: ε_{DOV} vyjadřuje dovolenou hodnotu krátkodobé poměrné deformace, ε_K značí naměřenou hodnotu krátkodobé poměrné deformace.

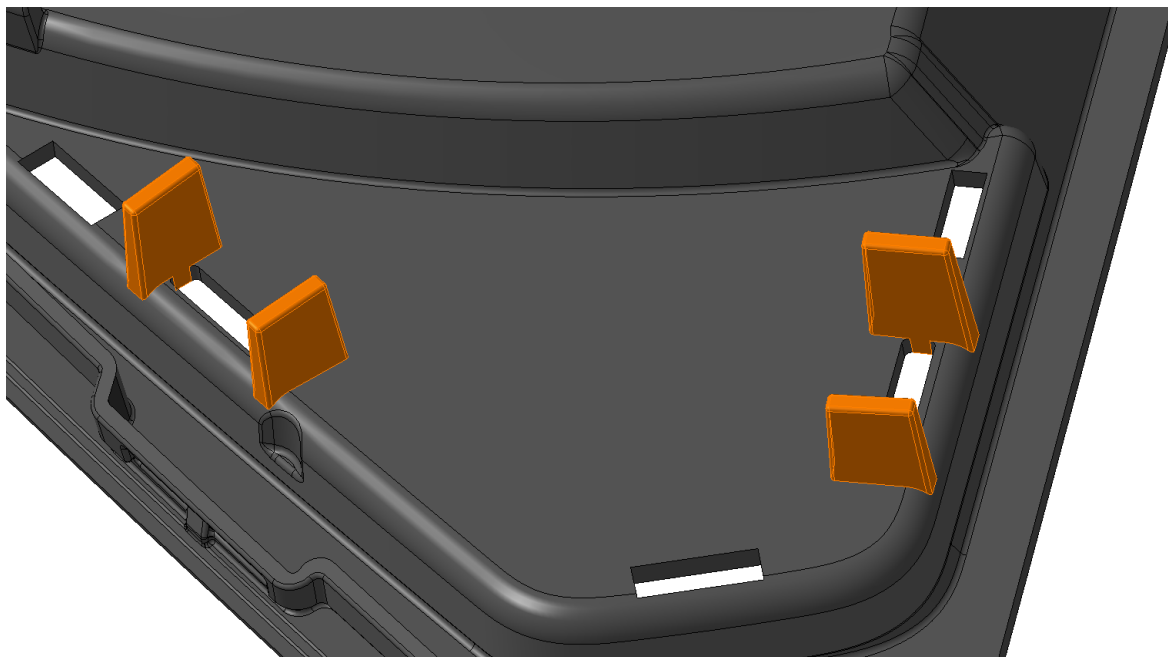
Tabulka 2. Sumarizace parametrů pružných háčků s výslednými hodnotami krátkodobé poměrné deformace – konstrukčních řešení 2.

Konstrukční řešení 2		L [mm]	r [mm]	ε _{DOV} [-]	ε _K [-]
	Koncept	6,3	0,5	4,3	12,1
	Korekční smyčka 1	7,4	0,5		11,5
	Korekční smyčka 2	9,9	2		4,9
	Korekční smyčka 3	10,7	2		4,2

Nicméně s rostoucí délkou pružného háčku musí být adekvátně přizpůsobena i geometrie protikusu umožňující vytvořit pružný spoj. V případě spojení krycího rámečku A s krycím rámečku B se jedná o zvětšení výšky fixačního žebra na krycím rámečku B.



Obrázek 62. Detailní pohled fixačního žebra krycího rámečku B – konstrukční řešení 1.



Obrázek 63. Detailní pohled fixační žebra krycího rámečku B – konstrukční řešení 2.

U konstrukčního řešení 1 se fixační žebra jeví jako bezproblémová pro jejich aplikaci, a to díky tomu, že jsou umístěna po stranách výrobku a je tak dosažena homogenita tloušťky výrobku (Obr. 62). Oproti tomu u konstrukčního řešení 2 jsou žebra vytvořena tím způsobem, že jejich geometrie směřuje do středu výrobku a není tak zajištěna konstantní tloušťka (Obr. 63), což může ve finále mít za následek vznik dekorativních vad na pohledové straně výrobku.

Benefity konstrukčního řešení 1 jsou tedy fixační žebra na krycím rámečku B, která jsou plynule napojena k základní geometrii výrobku a závsky na krycím rámečku A, které svým provedením nemusí být tolik náchylné na poruchy během výrobního procesu.

Z výše uvedeného je konstrukční řešení 1 zvoleno jako finální řešení nestandardního pružného spojení skupinky krycích rámečků. Toto řešení je bráno jako proveditelné a bude následně verifikováno.

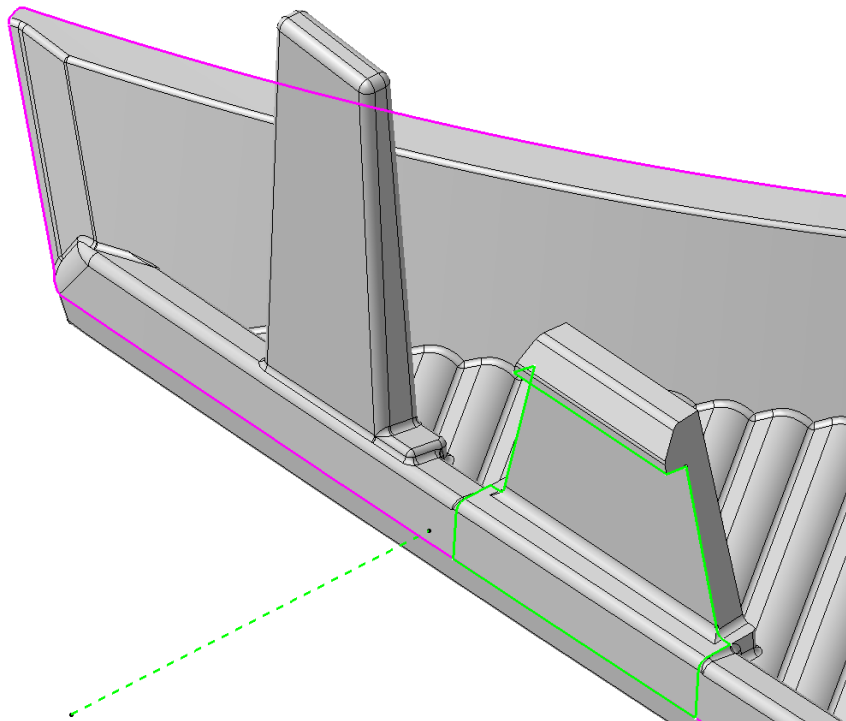
8 KONEČNÉ ÚPRAVY A VERIFIKACE PROVEDITELNÉHO ŘEŠENÍ

Finální fáze proveditelného řešení zahrnovala detailní úpravy geometrií krycího rámečku A a krycího rámečku B. Vhodnost návrhu byla verifikována pomocí analýzy plnění vstřikovací formy v softwaru Moldflow a montáží 3D vytištěných dílů.

8.1 Konečné úpravy konstrukčního řešení

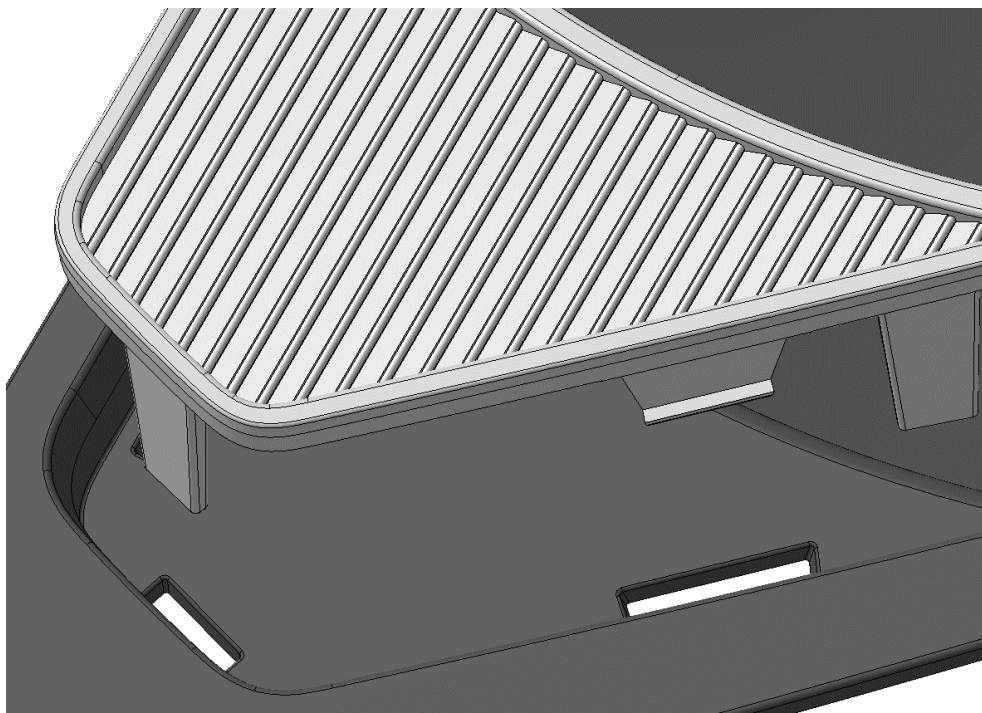
Poslední kroky dokončení konstrukčního návrhu vstřikovaných výrobků byly zaměřeny na aplikování rádiusů, úpravu dělicích rovin, kontrolu a úpravu úkosů.

Dělicí roviny posuvných čelistí byly přemístěny se zadních stran pružných háčku na čelní strany (Obr. 64). Tato změna byla provedena z toho důvodu, aby se předešlo možnému porušení pružných háčku při jejich odformování. Odformování výrobků bylo navíc zlepšeno aplikováním plynulých náběhů dělicích rovin a zvětšení úkosů bočních stěn zácvaků na hodnotu 5°.



Obrázek 64. Detailní pohled pružného háčku s dělicími rovinami – konečné úpravy konstrukčního řešení.

V neposlední řadě byly na vodící elementy krycího rámečku A i krycího rámečku B přidány rádiusy, a to z důvodu jednoduchého vzájemného navedení dílů při montáži a zaručení vyrobitelnosti (Obr. 65).



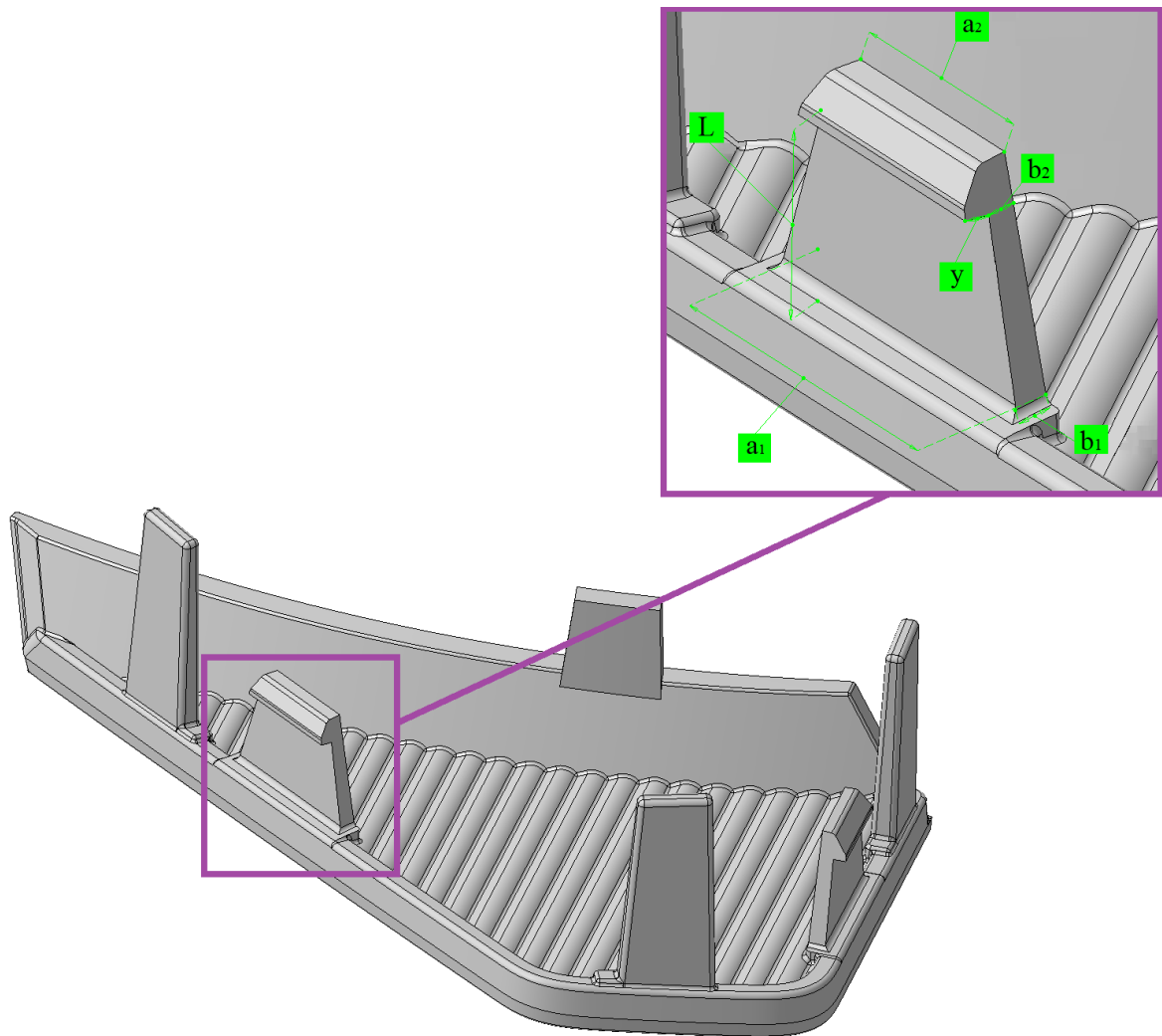
Obrázek 65. Detailní pohled skupinky rámečků s aplikovanými rádiusy pro jejich navedení – konečné úpravy konstrukčního řešení.

Poslední přidáním prvkem na krycím rámečku A bylo vtokové žebro, které bude dále blíže popsáno v podkapitole 8.3.

8.2 Finální stav krycího rámečku s pružnými háčky

Aplikací nestandardních pružných háčků na krycím rámečku A bylo získáno úspory hmotnosti 0,4 g. Úspora byla získána záměnou původních standardních zácvaků, které byly součástí krycího rámečku A, za nestandardní zácvaky, které jsou výstupem této práce. Nestandardní zácvak si nese vlastnosti, vhodné i pro jiné aplikace spojení dílů, například v případě, kdy krycí rámeček je podlouhlý v jedné ose a je spojován s nosným rámečkem, kde je vyžadováno uchycení krycího rámečku více zácvaky při realizaci montáže bez vynaložení nadměrných sil. Pro takovéto aplikace by bylo navrženo řešení vhodné díky výšce zobáčku, která je pouze 1,2 mm. O tuto hodnotu je pružný háček podroben průhybu,

než dojde při montáži k zacvaknutí. Pro pružné háčky běžného provedení je charakteristické, že jejich výška zobáčku nabývá větších velikostí, takže operátor musí vynaložit větší sílu při montáži. Další nezanedbatelnou výhodou je malá délka zácvaku, díky které je vhodné zácvak použít pro aplikace spojení dílů s malým vzájemným odstupem. Finální verze návrhu krycího rámečku s pružnými háčky je uvedena na následujícím obrázku (Obr. 66).

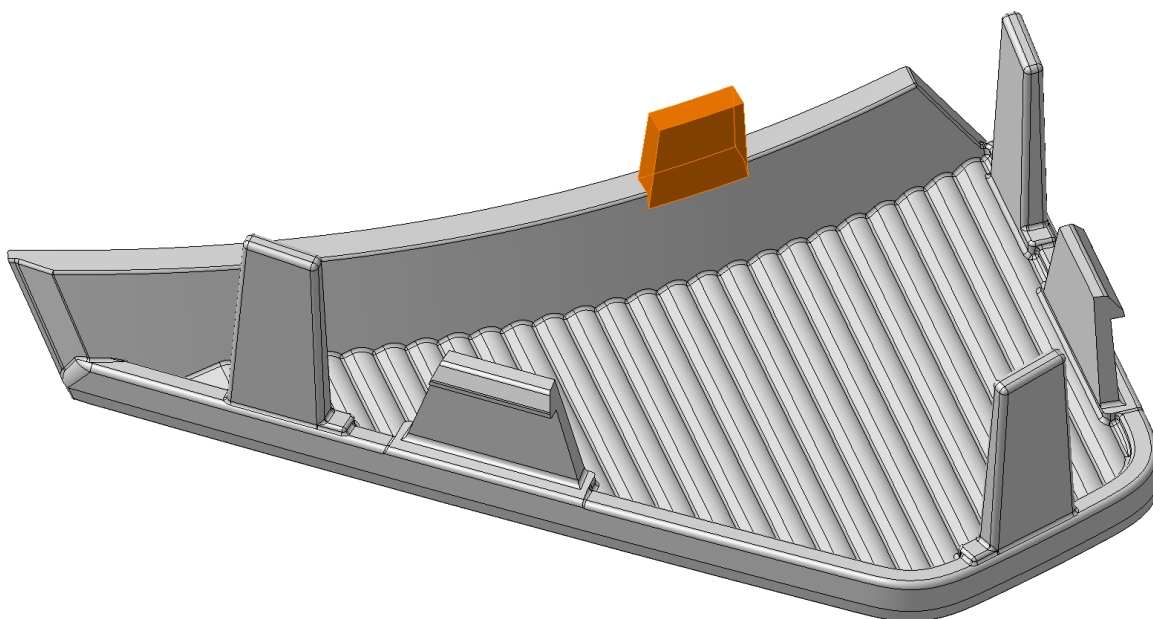


Obrázek 66. Finální verze návrhu krycího rámečku s pružnými háčky ($a_1 = 14,8$ mm, $a_2 = 9,3$ mm, $b_1 = 1,6$ mm, $b_2 = 1,3$ mm, $y = 1,2$ mm, $L = 8,3$ mm).

8.3 Analýza plnění vstřikovací formy u finální verze návrhu

K ověření, že pružné háčky na krycím rámečku A při výrobním procesu ve formě zatečou byl využit software Autodesk Moldflow Adviser.

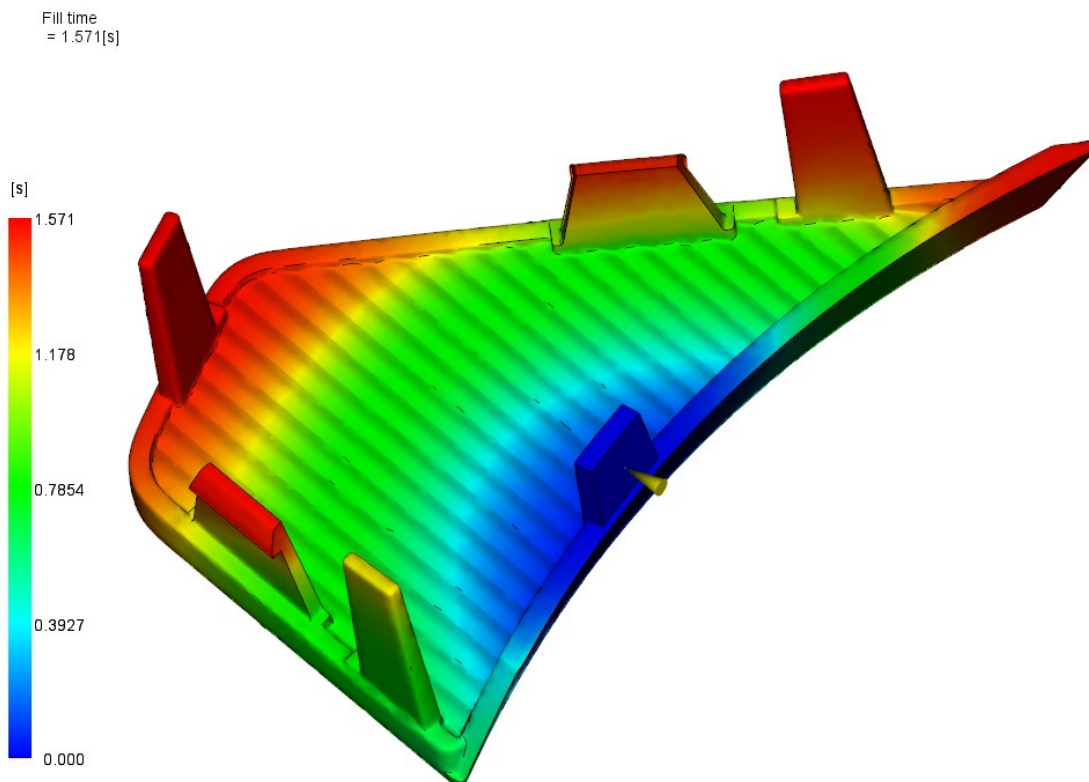
Pro správný průběh simulace bylo nutné vhodné umístění vtokového žebra a nastavení podmínek plnění formy. Vtokové žebro bylo umístěno do pozice znázorněné na následujícím obrázku (Obr. 67). Toto řešení zabezpečilo rovnoměrné zatečení taveniny.



Obrázek 67. Umístění vtokového žebra na krycím rámečku A –
konečné úpravy konstrukčního řešení.

Simulace plnění formy krycího rámečku A proběhla se zadáním těchto parametrů:

- materiál polymeru: PC Makrolon 2205,
- teplota formy: 100 °C,
- teplota tání polymeru: 300 °C,
- maximální vstřikovací tlak: 180 MPa,
- přepnutí procesu rychlostního řízení (plnění) na tlakové řízení při objemu: 98 %,
- vstřikovací čas: 1,5 s,
- doba otevření formy: 5 s.

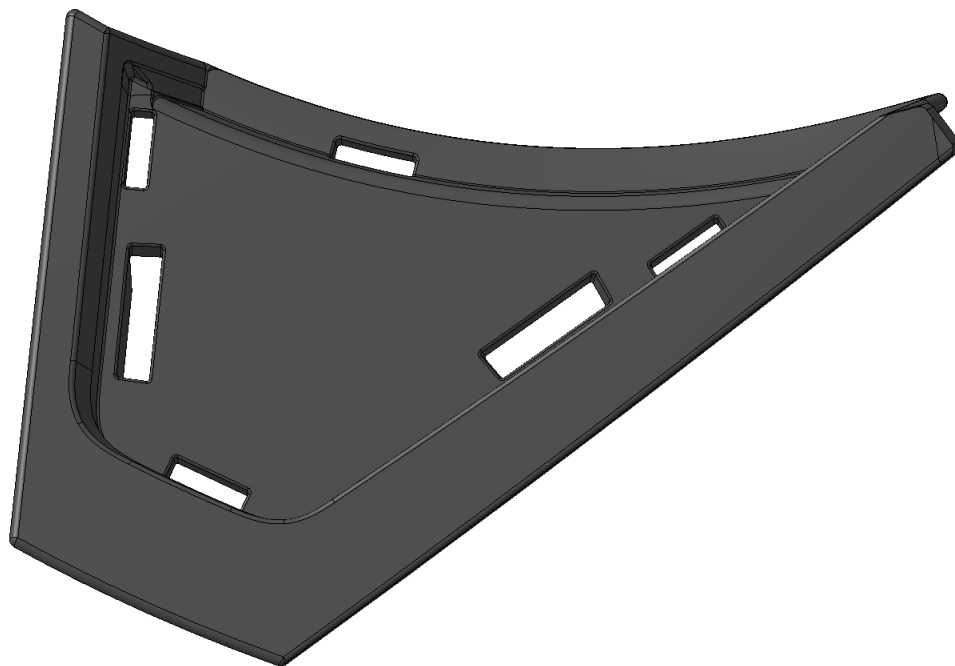


Obrázek 68. Výsledek analýzy plnění formy krycího rámečku A – verifikace proveditelného řešení.

Z výsledků analýzy vyplývá, že díl s aplikovanými nestandardními zácvaky plně zatekl (Obr. 68), díky čemuž byla ověřena vyrobiteľnosť vstříkovaného dílu.

8.4 Ověření montáže

Finální verifikací konstrukčního návrhu nestandardního spojení plastových dílů je ověření montáže spojovaných dílů. Montáž byla ověřena složením dílů vyrobených technologií 3D tisku (Obr. 70,71) za využití kyseliny polymlečné (PLA) [34]. Ještě před samotným vytištěním dílů byl krycí rámeček B zbaven geometrií umožňující spojení s ostatními díly ve světlometu (Obr. 69) (tyto geometrie nejsou pro spojení řešené skupiny krycích rámečků potřebné).



Obrázek 69. Krycí rámeček B zbavený nepotřebných fixačních geometrií.

Na vytištěných dílech bylo nejprve potřeba před samotnou realizaci montáže eliminovat pomocné podpory 3D tisku a místa, kde byly podpory k dílci napojena začistit. Podpory posloužily k udržení objektu ve stabilní poloze při nanášení vrstev roztaveného materiálu a významně usnadnily vyjmutí výrobku z tiskové desky.

Montáž byla realizována navedením krycího rámečku A na krycí rámeček B. Jakmile byly vodící elementy krycího rámečku A v těsném kontaktu s vodícími prvky (otvory) protikusů, je vyvinut rovnoměrný tlak na krycí rámeček A (z jeho pohledové strany) v oblastech, kde jsou umístěny upevňovací elementy (pružné háčky). Působícím tlakem je krycí rámeček A, v místech vodících elementů, naváděn otvory krycího rámečku B, až do okamžiku, než deformované upevňovací elementy zaskočí za hrany fixačních žeber. Úspěšnou montáží dílů byla ověřena správnost konstrukčního návrhu. Na následujících obrázcích (Obr. 70-71) lze vidět rozložený a složený stav skupinky krycích rámečků.



Obrázek 70. Rozložený stav skupinky krycích rámečků – finální verifikace.



Obrázek 71. Složený stav skupinky krycích rámečků – finální verifikace.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo vytvořit konstrukční návrh nestandardních spojů plastových dílů použitelný pro aplikace v oboru automotive. Práce je zaměřena na návrh pružného spojení skupiny dvou krycích rámečků (A a B), které jsou součástí světlometu. Krycí rámečky tvoří především design světlometu a zakrývají oblasti, které nemají být viditelné. Diplomová práce byla realizována s podporou společnosti HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o., které poskytla nástroje CAD, CAE a FEM pro její vypracování. Práce zahrnuje zpracování literární rešerše, která posloužila k pochopení problematiky pružných spojení, dále obsahuje vytvoření dvou konstrukčních řešení, které následně prošly několika korekčními smyčkami, a nakonec byly konstrukční řešení mezi sebou porovnány a pro proveditelné řešení byly aplikovány konečné úpravy a verifikace.

První fáze zahrnovala tvorbu konceptu konstrukčního řešení 1 a konstrukčního řešení 2, kde byl navržen způsob montáže dílů, zavazbení soustavy, provedení vodících a upevňovacích elementů a odformování vstřikovaných výrobků.

Dále byly koncepty obou konstrukčních řešení podrobeny FEM analýze upevňovacích elementů při montáži, a následně byly provedeny konstrukční úpravy upevňovacích elementů tak, aby splňovaly podmínku dovolené hodnoty krátkodobé poměrné deformace. Oba konstrukční návrhy zahrnují simulace prvotního návrhu a tří korekčních smyček, kde u obou konstrukčních řešení nebyla ve finálním návrhu překročena dovolená hodnota krátkodobé poměrné deformace.

Poté následovalo porovnání konstrukčních řešení. Při porovnávání konstrukčních řešení byly brány v úvahu geometrické provedení upevňovacích elementů krycího rámečku A a vodících elementů krycího rámečku B a s nimi spjaté podmínky procesu výroby a možný výskyt rizik při výrobě. Konstrukční řešení 1 bylo vyhodnoceno jako proveditelné řešení, a to z důvodů spolehlivějšího odformování pružných háčků, větší robustnosti pružných háčků a vhodnějšího provedení fixačních žeber. Fixační žebra u konstrukčního řešení 1 byla zhodnocena jako více vhodná, jelikož jsou umístěna na pozicích poskytujících plynulý přechod tloušťky výrobku.

Na krycím rámečku A byla dále provedena modifikace za účelem spolehlivého odformování výrobku, zahrnující úpravu dělicích rovin posuvných čelistí a zvětšení úkosů bočních stěn zácvaků. Nakonec byly na vodící elementy obou součástí aplikovány rádiusy pro jednoduché

navedení dílů při montáži. Poslední úpravou bylo přidání vtokového žebra na vhodnou pozici.

Ověření správnosti návrhu bylo provedeno pomocí analýzy plnění formy při výrobním procesu. Výsledky ukazují (Obr. 68), že pružné háčky při vstřikovacím cyklu plně vyplní dutinu formy. Na závěr práce byly vyrobeny, za pomoci 3D tisku, funkční prototypy, na kterých byla ověřena bezproblémová montáž (Obr. 72).



Obrázek 72. Skupinka krycích rámečků spojená nestandardními pružnými spoji.

Přínosem této diplomové práce je především poznání celkového vývoje konstrukčních řešení nestandardních spojů plastových dílů, od stádia, kdy konstrukční řešení svým provedením nesplňovaly podmínku dovolené hodnoty krátkodobé poměrné deformace, až po stav, kdy jejich konstrukce tuto podmínku splnila a konstrukční řešení byla následně porovnána a pro proveditelné řešení byly aplikovány finální úpravy a verifikace.

Tato finální podoba nestandardního zácvaku by pravděpodobně mohla najít uplatnění u podlouhlých krycích rámečků v jedné ose, kde spojované díly jsou mezi sebou v těsné blízkosti a pro spolehlivé spojení s protikusem je vyžadováno uchycení dílu ve více místech bez použití nadměrné síly při montáži.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav, 2011. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN isbn978-80-7080-788-0.
- [2] LERMA VALERO, José R. Plastics injection molding: scientific molding, recommendations, and best practices. Munich: Hanser publications, 2020. ISBN 978-1-56990-689-7.
- [3] MALLOY, Robert A. Plastic part design for injection molding: an introduction. 2nd ed. Munich: Hanser Publications, 2010. ISBN 978-3-446-40468-7
- [4] JAROSCHEK, Christoph. Design of Injection Molded Plastic Parts. Hanser Publications, 2022. ISBN 978-1-56990-893-8.
- [5] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [6] WANG, Maw-Ling, Rong-Yeu CHANG a Chia-Hsiang (David) HSU. Molding Simulation: Theory and Practice [online]. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co., 2018 [cit. 2024-01-01]. ISBN 978-1-56990-619-4. Dostupné z: doi:10.3139/9781569906200
- [7] KAZMER, David. Injection mold design engineering. 2nd edition. Munich: Hanser publications, 2016. ISBN 978-1-56990-570-8.
- [8] OSSWALD, Tim A. International Plastics Handbook The Resource for Plastics Engineers. Munich: Hanser Publications, 2006. ISBN 978-1-56990-399-5
- [9] ZHAO, Nan-yang, Jiao-yuan LIAN, Peng-fei WANG a Zhong-bin XU. Recent progress in minimizing the warpage and shrinkage deformations by the optimization of process parameters in plastic injection molding: a review. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology [online]. 2022, 120(1-2), 85-101 [cit. 2024-01-01]. ISSN 0268-3768. Dostupné z: doi:10.1007/s00170-022-08859-0
- [10] BONENBERGER, Paul R. The first snap-fit handbook: creating and managing attachments for plastics parts. 3rd edition. Hanser Publications, 2016. ISBN 978-1-56990-596-8.
- [11] ŠUBA, Oldřich. Dimenzování a navrhování výrobků z polymerů. Vyd. 3. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010. ISBN 978-80-7318-948-8.

- [12] Spona plastová “trojzubec“ – pružný háčkový spoj [online]. [cit. 2024-01-01]. Dostupné z: <https://www.fastradius.com/resources/tips-for-designing-snap-fit-joints/>
- [13] TROUGHTON, Michael J. Handbook of plastics joining: a practical guide, 2nd edition, Elsevier Science, 2008. ISBN: 978-0-8155-1581-4
- [14] OSSWALD, T. A., TURNG, L., & GRAMANN, P. J. Injection Molding Handbook. Munich: Hanser Publications, 2008. ISBN 978-1-56990-420-6
- [15] BONENBERGER, Paul. R. The first snap-fit handbook: creating and managing attachments for plastics parts. 2nd edition. Hanser Publications, 2005. ISBN 978-1-56990-388-3.
- [16] TRES, Paul A. Designing Plastic Parts for Assembly, 8th edition, Munich: Hanser Publications, 2017. ISBN 978-1-56990-668-2
- [17] MOAYYEDIAN, Mehdi, 2019. Intelligent Optimization of Mold Design and Process Parameters in Injection Molding [online]. Cham: Springer International Publishing [cit. 2024-05-05]. Springer Theses. ISBN 978-3-030-03355-2. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-030-03356-9
- [18] Tuhé těleso – 12 stupňů volnosti [online]. [cit. 2024-01-10]. Dostupné z: <https://www.carrlane.com/engineering-resources/fixture-design-principles/locating-clamping-principles>
- [19] MAYER, Kutz. Applied Plastics Engineering Handbook Processing, Materials, and Applications. 2nd ed, Elsevier Science, 2016. ISBN 978-0-323-39040-8.
- [20] KULKARNI, Suhas. Robust Process Development and Scientific Molding Theory and Practice, 2nd ed, Munich: Hanser Publications, 2017. ISBN: 978-1-56990-586-9
- [21] MASTRO, Paul F. Plastics product design, Salem: Scrivener Publishing LLC. 2016. ISBN 978-1-118-84271-3
- [22] CAMPO, Alferdo E. The Complete Part Design Handbook For Injection Molding of Thermoplastics: an introduction. Munich: Hanser Publications, 2006. ISBN-13: 978-1-56990-375-9
- [23] ROSATO, D., ROSATO M. G. Molding handbook. Springer, 2012. ISBN 978-1-4617-7077-2

- [24] Snap-Fit Design [online]. [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: <https://pdfcoffee.com/snap-fit-pdf-free.html>
- [25] Improving Snapfit Design (Part 3) [online]. [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: <https://www.ulprospector.com/knowledge/1248/pe-snapfit-3/>
- [26] Snap-fit Design 101: Basics, Types, and Best Practices for Snap Fit Joints [online]. [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: <https://www.china-machining.com/blog/snap-fit-design-101/>
- [27] Snap-fit Joints for Plastics [online]. [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: https://fab.cba.mit.edu/classes/S62.12/people/vernelle.noel/Plastic_Snap_fit_design.pdf
- [28] How to Design Snap Fit Joints in Plastic Parts [online]. [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: <https://www.smlease.com/entries/plastic-design/how-to-design-snap-fit-joints-in-plastic-parts/>
- [29] Snap fit design [online]. [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: <https://studylib.net/doc/18110493/snap-fit-design>
- [30] Snap Fit: Definition, Types, Design Guideline, Uses [online]. [cit. 2024-02-19]. Dostupné <https://www.mechical.com/2023/01/snap-fit.html>
- [31] Ball Sockets [online]. [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: https://asysttech.com/ball_sockets
- [32] GUO, Xiao-Lin a Bo-Hua SUN, 2023. Assembly and disassembly mechanics of a spherical snap fit. Theoretical and Applied Mechanics Letters [online]. 13(1) [cit. 2024-02-19]. ISSN 20950349. Dostupné z: doi:10.1016/j.taml.2022.100403
- [33] Světlo met automobilu [online]. [cit. 2024-04-20]. Dostupné <https://www.peakpx.com/en/hd-wallpaper-desktop-flles>
- [34] PLA [online]. [cit. 2024-04-20]. Dostupné <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/pla/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

resp.	Respektivě
°	Stupeň
°C	Stupeň Celsia
E_L	Účinnost upevnění
F_R	Síla k udržení spoje
F_A	Maximální montážní síla
R_S	Poloměr skořepiny
t	Tloušťka skořepiny
b	Šířka skořepiny
φ	Úhel rozevření skořepiny
R_C	Poloměr koule
FEM	Metoda konečných prvků
PC	Polykarbonát
CAD	Počítačem podporované navrhování
CAE	Počítačem podporované inženýrství
mm	Milimetr
2D	Dvourozměrný
3D	Trojrozměrný
%	Procenta
L	Délka pružného háčku
r	Poloměr na pružném háčku
S	Rozestup dvojice pružných háčků
b_1	Minimální tloušťka pružného háčku
ϵ_{DOV}	Dovolená hodnota krátkodobé poměrné deformace
ϵ_K	Naměřená hodnota krátkodobé poměrné deformace

MPa Megapascal

s Sekunda

PLA Polylaktidová vlákna

min Minuta

h Hodina

g Gram

LED Elektroluminiscenční dioda

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Popis: a) vstříkovací cyklus, b) zjednodušený model vstříkovacího stroje [9].	13
Obrázek 2. Spona plastová „trojzubec“ – pružný háčkový spoj [12].	14
Obrázek 3. Hierarchie porozumění problematiky pružných spojů [8].	16
Obrázek 4. Úroveň systému a finální produkt [15].	17
Obrázek 5. Tuhé těleso – 6 stupňů volnosti [18].	18
Obrázek 6. Sestava dílů – pružný spoj [10].	18
Obrázek 7. Klíčové požadavky pružných spojů – spolehlivost [15].	21
Obrázek 8. Pohyb sjednocení [10].	22
Obrázek 9. Montážní pohyb – zatlačení [15].	23
Obrázek 10. Montážní pohyb – nasunutí [15].	24
Obrázek 11. Montážní pohyb – naklopení [15].	24
Obrázek 12. Montážní pohyb – krut [15].	25
Obrázek 13. Montážní pohyb – natočení [15].	25
Obrázek 14. Vodící elementy charakteru vyčnívající ze základní geometrie součásti [15].	27
Obrázek 15. Vodící elementy charakteru základní geometrie součásti 1 [15].	28
Obrázek 16. Vodící elementy charakteru základní geometrie součásti 2 [15].	29
Obrázek 17. Vetknutý pružný háček s nosem – Síly působící ve směru zacvaknutí [15].	30
Obrázek 18. Vetknutý pružný háček s nosem – nevhodné varianty konstrukčního provedení [15].	31
Obrázek 19. Vetknutý pružný háček s nosem – doporučené varianty konstrukčního provedení [15].	32
Obrázek 20. Vetknutý pružný háček s horizontální příčkou [15].	33
Obrázek 21. Rovinné pružné spojení [15].	34
Obrázek 22. Torzní pružné háčky [15].	35
Obrázek 23. Pružné spojení cylindrického tvaru [15].	36
Obrázek 24. Pružné spojení sférického tvaru [24].	37
Obrázek 25. Vliv zakřivení na působící síle [32].	37
Obrázek 26. Jednočelist'ové sférické pružné spojení [32].	38
Obrázek 27. Umístění skupinky krycích rámečků ve světlometu automobilu [33].	42
Obrázek 28. Montáž skupinky krycích rámečků.	43
Obrázek 29. Vodící elementy krycího rámečku A – koncept konstrukčního řešení 1.	44
Obrázek 30. Vodící elementy krycího rámečku B – koncept konstrukčního řešení 1.	45
Obrázek 31. Zavazbení soustavy pomocí Pravidla 3-2-1 – koncept konstrukčního řešení 1.	46

Obrázek 32. Upevňovací elementy krycího rámečku A – koncept konstrukčního řešení 1.	47
Obrázek 33. Vetknutý pružný háček s nosem – koncept konstrukčního řešení 1 ($a_1 = 15,1$ mm, $a_2 = 12,3$ mm, $b_1 = 1,3$ mm, $b_2 = 1,15$ mm, $y = 1,1$ mm, $L = 3,4$ mm).	47
Obrázek 34. Odformování krycího rámečku A – koncept konstrukčního řešení 1.	48
Obrázek 35. Funkce Draft Analysis – koncept konstrukčního řešení 1, hlavní směr odformování krycího rámečku A.	49
Obrázek 36. Funkce Draft Analysis – koncept konstrukčního řešení 1, odformování krycího rámečku A ve směru čelisti upevňovacího elementu 1.	49
Obrázek 37. Funkce Draft Analysis – koncept konstrukčního řešení 1, odformování krycího rámečku A ve směru čelisti upevňovacího elementu 2.	50
Obrázek 38. Odformování krycího rámečku B – koncept konstrukčního řešení 1.	50
Obrázek 39. Funkce Draft Analysis – koncept konstrukčního řešení 1, hlavní směr odformování krycího rámečku B.	51
Obrázek 40. Zavazbení soustavy pomocí Pravidla 3-2-1 – koncept konstrukčního řešení 2.	52
Obrázek 41. Upevňovací elementy krycího rámečku A – koncept konstrukčního řešení 2.	53
Obrázek 42. Dvojice vetknutých pružných háčků s nosem – koncept konstrukčního řešení 2 ($a = 2$ mm, $b_1 = 1,7$ mm, $b_2 = 1,6$ mm, $b_3 = 1,7$ mm, $y = 2$ mm, $L_1 = 6,3$ mm, $L_2 = 5,4$ mm).	53
Obrázek 43. Odformování krycího rámečku A – koncept konstrukčního řešení 2.	54
Obrázek 44. Funkce Draft Analysis – koncept konstrukčního řešení 2, hlavní směr odformování krycího rámečku A.	55
Obrázek 45. Funkce Draft Analysis – koncept konstrukčního řešení 2, odformování krycího rámečku A ve směru čelisti upevňovacího elementu 1.	55
Obrázek 46. Funkce Draft Analysis – koncept konstrukčního řešení 2, odformování krycího rámečku A ve směru čelisti upevňovacího elementu 2.	56
Obrázek 47. Funkce Draft Analysis – koncept konstrukčního řešení 2, hlavní směr odformování krycího rámečku B.	57
Obrázek 48. Skupinka krycích rámečků – nastavení podmínek FEM simulace.	59
Obrázek 49. Pružný háček – konstrukční návrh 1.	60
Obrázek 50. Deformace konceptu pružného háčku – konstrukční návrh 1.	61
Obrázek 51. Krátkodobá poměrná deformace konceptu pružného háčku – konstrukční návrh 1.	62
Obrázek 52. Krátkodobá poměrná deformace po provedení korekční smyčky 1 – konstrukční návrh 1.	63
Obrázek 53. Krátkodobá poměrná deformace po provedení korekční smyčky 2 – konstrukční návrh 1.	64
Obrázek 54. Krátkodobá poměrná deformace po provedení korekční smyčky 3 – konstrukční návrh 1.	65

Obrázek 55. Dvojice pružných háčků – konstrukční návrh 2.....	66
Obrázek 56. Deformace konceptu páru pružných háčků – konstrukční návrh 2.....	67
Obrázek 57. Krátkodobá poměrná deformace konceptu páru pružných háčků – konstrukční návrh 2.	68
Obrázek 58. Krátkodobá poměrná deformace korekční smyčka 1 – konstrukční návrh 2.	69
Obrázek 59. Krátkodobá poměrná deformace korekční smyčka 2 – konstrukční návrh 2.	70
Obrázek 60. Krátkodobá poměrná deformace korekční smyčka 3 – konstrukční návrh 3.	71
Obrázek 61. Porovnání konstrukčních řešení pružných háčků.	73
Obrázek 62. Detailní pohled fixační žebra krycího rámečku B – konstrukční řešení 1.	74
Obrázek 63. Detailní pohled fixační žebra krycího rámečku B – konstrukční řešení 2.	75
Obrázek 64. Detailní pohled pružného háčku s dělicími rovinami –.....	76
Obrázek 65. Detailní pohled skupinky rámečků s aplikovanými rádiusy	77
Obrázek 66. Finální verze návrhu krycího rámečku s pružnými háčky ($a_1 = 14,8$ mm, $a_2 = 9,3$ mm, $b_1 = 1,6$ mm, $b_2 = 1,3$ mm, $y = 1,2$ mm, $L = 8,3$ mm).....	78
Obrázek 67. Umístění vtakového žebra na krycím rámečku A – konečné úpravy konstrukčního řešení.	79
Obrázek 68. Výsledek analýzy plnění formy krycího rámečku A –.....	80
Obrázek 69. Krycí rámeček B zbavený nepotřebných fixačních geometrií.	81
Obrázek 70. Rozložený stav skupinky krycích rámečků – finální verifikace.	82
Obrázek 71. Složený stav skupinky krycích rámečků – finální verifikace.....	82
Obrázek 72. Skupinka krycích rámečků spojená nestandardními pružnými spoji.	84

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Sumarizace parametrů pružných háčků s výslednými hodnotami krátkodobé poměrné deformace – konstrukčních řešení 1.	74
Tabulka 2. Sumarizace parametrů pružných háčků s výslednými hodnotami krátkodobé poměrné deformace – konstrukčních řešení 2.	74