



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# POROVNÁNÍ SPOJŮ POUŽÍVANÝCH PRO PLASTOVÉ DÍLY

COMPARISON OF JOINTS FOR PLASTIC PARTS

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Patrik Matzke**

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**Ing. Martin**

**Harant**

**BRNO 2023**

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Patrik Matzke**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Martin Harant**  
Akademický rok: 2022/23

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

## Porovnání spojů používaných pro plastové díly

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se zabývá způsoby spojování plastových dílců pro automobilový průmysl s důrazem na spojení pomocí šroubů a tavných pinů. Obsahem bude literární rešerše zaměřená na zmíněnou problematiku a příklad aplikace.

### Cíle bakalářské práce:

- provést průzkum v oblasti spojování plastových dílců,
- popsat principy metod,
- zhodnotit využitelnost a problémy,
- posouzení pevnosti spojů,
- ekonomické zhodnocení.

### Seznam doporučené literatury:

BHARGAVA, Vikram. Robust Plastic Product Design: A Holistic Approach [online]. Munich: Hanser Publishers, 2018 [cit. 2022-10-20]. ISBN 978-1-56990-580-7. Dostupné z: DOI:10.3139/9781569905814.

TRES, Paul A. Designing Plastic Parts for Assembly [online]. 9th ed. Munich: Hanser Publishers, 2021 [cit. 2022-10-20]. ISBN 978-1-56990-820-4. Dostupné z: DOI: 10.1016/C2020-0-01640-3.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE, Richard G. BUDYNAS, Martin HARTL a Miloš VLK. Konstruování strojních součástí. V Brně: VUTIUM, 2010, xxv, 1159 s. : il. ; 26 cm. ISBN 978-80-214-2629-0.

TROUGHTON, Michael J. Handbook of Plastics Joining: A Practical Guide [online]. 2nd ed. Norwich (New York): William Andrew Publishing, 2008 [cit. 2022-10-20]. ISBN 978-0-8155-1581-4.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

---

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá technologiemi pro spojování plastových dílů v oblasti konstrukce světlometů. Cílem je se zaměřit a porovnat technologie tavných pinů a samořezných šroubů pro aplikaci spojování optických dílů vyrobených z plastu s deskami plošných spojů obsahující LED. Dále přinést ucelený přehled těchto technologií a provést srovnání z technického a ekonomického hlediska. V praktické části je provedeno srovnání uvedených technologií z pevnostní stránky, k čemuž byla využita tahová zkouška. Z pohledu hospodárnosti je požadavkem navrhnout předběžný ekonomický propočet, sloužící pro konstrukční návrhy v závislosti na počtu vyráběných kusů, který je aplikován na konkrétní příklad.

### **Klíčová slova**

plast, světlomet, montážní technologie, tavný pin, samořezný šroub

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis deals with technologies for joining plastic parts in the field of headlight construction. The aim is to focus on and compare staking and self-tapping screw technologies for the application of joining optical parts made of plastic with printed circuit boards containing LEDs. In addition, to provide a comprehensive overview of these technologies and to make a comparison from a technical and economic point of view. In the practical part, a comparison of these technologies in terms of strength is made, for which a tensile test was used. From an economic point of view, the requirement is to propose a preliminary economic calculation, used for design proposals depending on the number of pieces produced, which is applied to a specific example.

### **Keywords**

plastic, headlamp, assembly technologies, staking, self-tapping screw

---

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

MATZKE, Patrik. *Porovnání spojů používaných pro plastové díly* [online]. Brno, 2023. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/149422>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Martin Harant.

---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Porovnání spojů používaných pro plastové díly vypracoval(a) samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

---

místo, datum

---

Patrik Matzke

---

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto svému vedoucímu Ing. Martinu Harantovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Také bych dále rád poděkoval svému nadřízenému Ondřeji Davidovi, DiS. a všem svým kolegům ze společnosti PO Lighting Czech s.r.o. za možnost spolupráce a zprostředkování důležitých informací. V neposlední řadě musím poděkovat mé rodině a nejbližším za podporu během studia.

---

---

## OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD .....	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Možnosti spojování plastových komponent .....	11
2 TECHNOLOGIE SPOJOVÁNÍ PLASTOVÝCH DÍLŮ .....	13
2.1 Tavné piny .....	13
2.1.1 Tvarování pinu za přítomnosti tepla .....	13
2.1.2 Ultrazvukové tvarování pinu .....	14
2.1.3 Nahřívání pinu infračerveným světlem – InfraStake®.....	15
2.1.4 Provedení razníku a návrh pinu .....	15
2.1.5 Defekty tavných pinů.....	17
2.2 Samořezné šrouby .....	18
2.2.1 Závitotvorné šrouby.....	18
2.2.2 Závitořezné šrouby .....	20
2.2.3 Geometrie nálitku a rozměry ovlivňující pevnost spoje.....	21
2.2.4 Defekty spojů samořeznými šrouby .....	21
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	23
3.1 Tahová zkouška .....	25
4 EKONIMOCKÉ ZHODNOCENÍ .....	30
ZÁVĚR.....	34

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

---

## ÚVOD

Světlomety jsou nedílnou součástí automobilového průmyslu. Jejich konstrukce prošla dlouhým vývojem od svíček a parabolického reflektoru přes halogenové a xenonové žárovky až po současný trend LED a vývoj laserových osvětlovacích systémů. Plastové materiály a nové technologie umožňují výraznou změnu designu a dotvářet tak charakteristický rys vozidla. Zároveň musí být zajištěna spolehlivá funkce, protože světla spadají mezi prvky ovlivňující bezpečnost silničního provozu. S tímto vším dostáváme sestavu komponentů, u kterých se vyskytují konstrukční a technologické otázky, kde musí konstruktér najít co nejefektivnější způsob řešení. Jedním z hlavních úkolů je zaručit dostačující fixaci jednotlivých komponentů uvnitř světlometu případně svítidel. Možnosti využívané při montáži součástí zahrnují technologie jako lepení, svařování, tavné piny, nebo mechanické prvky jako jsou šrouby a klipy. Vzhledem k produkci statisíců až miliónů kusů světlometů ročně, má každý krok při výrobě a montáži významný vliv i na ekonomickou stránku. Výběr nejvhodnějších technologií proto musí být důkladný.

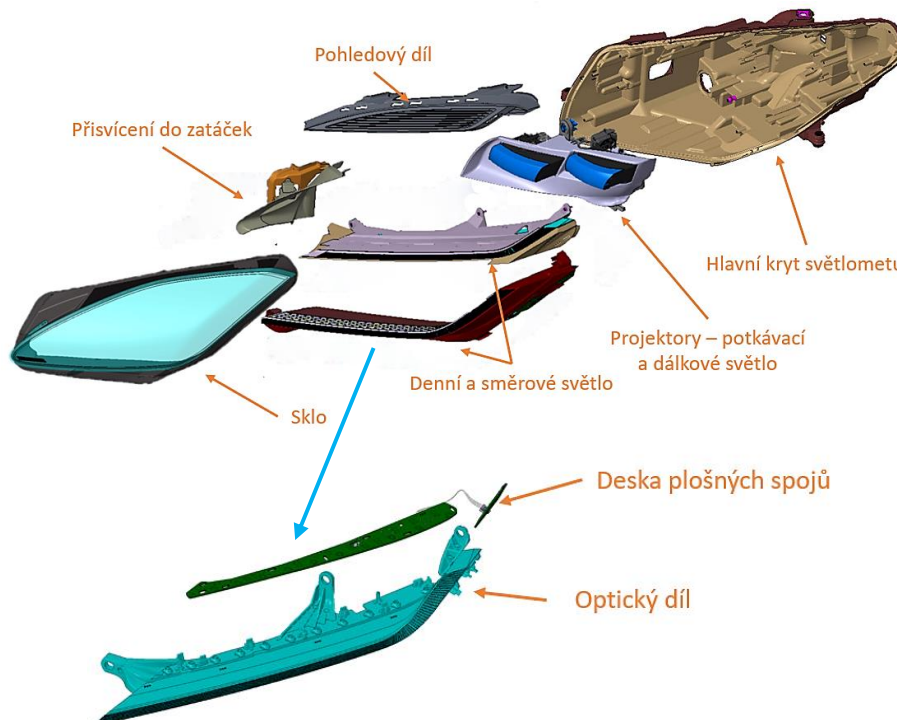


Obr. 1 Přední světlomety a zadní svítidla [1].

## 1 ROZBOR ZADÁNÍ

Řešenou problematikou je posouzení využití montážních technologií pro konstrukci předních světlometů a zadních svítidel automobilů, s ohledem na pevnostní a ekonomickou stránku. Téma vzniklo ve spolupráci s PO Lighting Czech s.r.o, která se specializuje v odvětví automobilového průmyslu. Společnost byla založena v roce 1946 ve Francii a od té doby expandovala do 28 zemí, včetně České republiky. Jejím zaměřením je výroba a vývoj palivových nádrží, chytrých nárazníků v podobě front-end modulů, hybridních pohonů a předních a zadních světlometů. Právě poslední položkou se zabývá závod v Šenově u Nového Jičína, který je dodavatelem světlometů pro koncerny Jaguar Land Rover, Volkswagen, Ford Motor Company nebo Stellantis a další. [2]

Přední světlometry jsou z pohledu struktury vnitřních dílů složitější, jelikož vykonávají vícero funkcí oproti zadním svítidlům. Ovšem montážní technologie vnitřních komponentů jsou stejné. Požadavky na kvalitu osvětlovacího systému automobilu stále rostou, a způsob montáže je jedním z aspektů, kterým lze toto kritérium ovlivnit. Práce se bude zabývat oblastí spojování optického dílu vyrobeného z plastového materiálu s deskou plošných spojů obsahující LED, které jsou obsaženy jak v předních, tak i v zadních světlech, jak je znázorněno na obr. 2.



Obr. 2 Rozpad předního světlometu a řešená problematika uchycení desek plošných spojů s optickým dílem z plastu [1].

Pokud opomeneme elektronické a chladicí komponenty jsou díly světlometů vyráběny z plastových materiálů. Svými mechanickými vlastnostmi poskytují designovou flexibilitu a levnější výrobu. Navíc jsou plastové materiály lehčí, čímž lze cílit na snížení hmotnosti. Zkoumána problematika se bude týkat konkrétního plastového materiálu – polykarbonátu (PC). Ten je ze skupiny termoplastický polymerů. Vyznačuje se mimořádnou číroostí a propustností světla a je tedy ideálním pro výrobu optických dílů světlometů. Má výborné mechanické vlastnosti, zejména houževnatost, která je nejvyšší ze všech plastů, pevnost, tuhost i tvrdost. Uvedené mechanické vlastnosti se příliš nemění v rozmezí teplot -150 do 135°C. [3]

## 1.1 Možnosti spojování plastových komponent

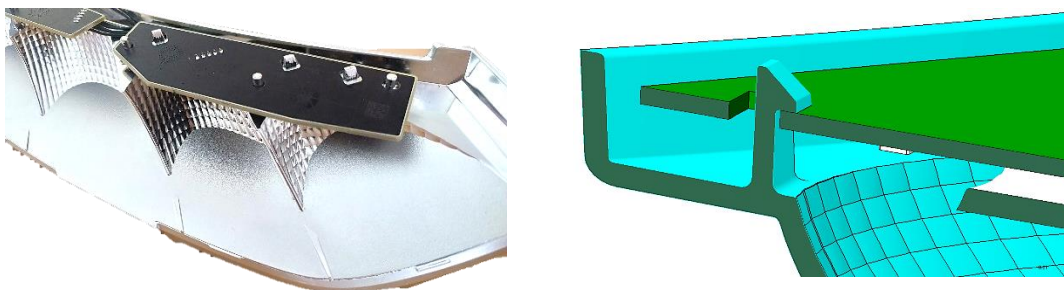
Spojení desek plošných spojů s plastovými díly lze zhotovit několika různými technologiemi. Volbou správné montážní metody je možné docílit snížení nákladů na výrobu a urychlení montážního cyklu. Komponenty jsou navzájem spojovány následujícími technologiemi:

- Lepení – je univerzální proces, který spočívá v přilnavosti (adhezi) a vnitřní pevnosti (kohezi) pojiva. Podle těchto dvou vlastností se odvíjí kvalita spoje. Při lepení není potřeba dalších spojovacích prvků, což vede k úspoře a snížení hmotnosti výrobku. Celý proces je možné automatizovat. V případě spojení desek plošných spojů s dílem vzniká problém přesného vycentrování a zdržení procesu v důsledku vytvrzení lepidla. Využitelnost lepeného spoje se uplatní při spojování desek plošných spojů u projektorů nebo v případě spojení krycího skla k hlavnímu krytu světlometu (obr. 3). [1; 4; 5]



Obr. 3 Spojení předního skla s krytem světlometu [6].

- Klipový spoj – je často využívaným spojovacím prvkem pro montáž vnitřních dílů světlometů například pohledových a nosných dílů, včetně optických komponent. Montáž spočívá v západkovém systému, kde klip, který je přímo integrován v plastovém dílu, je zasunut do navrženého protikusu na druhém dílu (obr. 4). Ve spojovaném dílu je klip zaháknutý v drážce, hraně nebo výřezu. Princip spočívá v krátkodobé elastické deformaci, kdy je klip vychýlen z původní polohy až do zapadnutí ve spojované součásti. Tam se dostává zpět do původní polohy. Výhodou je jednoduchá a rychlá montáž, možnost vytvoření rozebíratelného spoje a snížení nákladů, jelikož není zapotřebí žádného speciálního zařízení. Naopak nevýhodou je náchylnost na praskání a plastickou deformaci. Pokud k tomu dojde je znehodnocený celý díl. Následně je nezbytné za vysoké náklady upravovat klipový spoj pro docílení vyhovující pevnosti. [1; 4]



Obr. 4 Uchycení desek plošných spojů k reflektrom pomocí klipů (vlevo) a detailní pohled v modelu (vpravo) [1].

- Tavné piny – jsou spolehlivou metodou pro spojování plastových dílů světlometů. Plastový díl je opatřen výstupky neboli piny, které prochází otvorem na spojovaném

dílu. Ty jsou působením razníku (nástroje) deformovány za působení tlaku, příp. tlaku a tepla, čímž vzniká spoj mezi jednotlivými komponenty. Jedná se o rychlou spojovací technologii, která nevyžaduje další spojovací materiál, ale je zapotřebí speciálního zařízení, s nímž jsou spjaty vyšší pořizovací náklady. Používají se převážně ve vnitřních podsestavách světel např.: upevnění pohledových a optických dílů, nebo elektroniky v podobě desek plošných spojů, viz obr. 5. [4; 7]



Obr. 5 Aplikace tavných pinů na uchycení desek plošných spojů tavnými piny [8].

- Samořezné šrouby – jsou do plastových dílců instalovány do předlisovaných otvorů v nálitcích. Při montáži ve spojovaném dílu buď vyřezou, nebo vytlačení materiálu vytvoří paralelní líčující závit k profilu závitu šroubu. Nespornou výhodou samořezných šroubů je pevnost vytvořeného spoje s možností opakované montáže a demontáže. V oblasti světlometů, kde se používají jak uvnitř (ve vnitřních sestavách a uchycení k hlavnímu krytu) tak i zvenčí (upevnění chladičů nebo řídicích jednotek), viz obr. 6. Nevýhody tohoto typu jsou vnesení velkých napětí do spoje, což musí být zohledněno při návrhu dílce a cena za jednotlivý kus šroubu. [1; 4]



Obr. 6 Uchycení desek plošných spojů samořeznými šrouby k reflektoru [1].

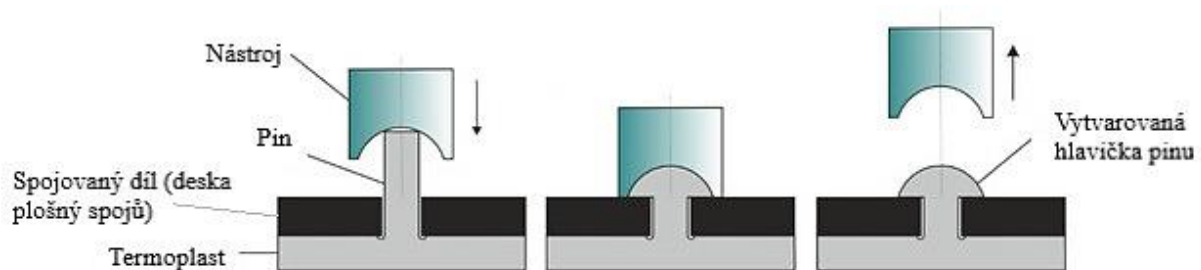
Pro srovnávání možných montážních způsobů plastových dílů s deskami plošných spojů využívaných při výrobě světlometů automobilů byly vybrány technologie tavných pinů a mechanické spojení pomocí samořezných šroubů. Důvodem je jejich vzájemná zaměnitelnost v případě řešené aplikace. Na rozdíl od klipového spoje, jimiž lze docílit pevného spojení. Ten je vyžadován v případě spojení optického dílu s deskou plošných spojů, aby byl přenos světelného toku co nejkvalitnější a nedocházelo ke kmitání. V případě lepení vzniká dlouhá prodleva z důvodu vytvrzení, které by zpomalovalo výrobu, a ne vždy tuto metodu lze použít. Práce se dále zaměří na zvolené montážní technologie, které budou popsány v teoretické části, srovnání pevnosti obou spojů pomocí tahové zkoušky a jejich zhodnocení z pohledu hospodárnosti.

## 2 TECHNOLOGIE SPOJOVÁNÍ PLASTOVÝCH DÍLŮ

Kapitola se zaměřuje na spojování plastových dílů pomocí tavných pinů a samořezných šroubů využívaných při konstrukci světlometů. U jednotlivých metod jsou kromě popisu základních principů zahrnuty modifikace, včetně výhod a nevýhod a možných defektů. Zároveň jsou sepsány doporučené rozměry a geometrie pro jednotlivé typy spojů.

### 2.1 Tavné piny

Tavné piny jsou inovativní spojovací technologií plastových dílů, pomocí které lze optimalizovat výrobu. Podstatou tavných pinů je deformace výstupků, které jsou součástí plastového dílu. Při kompletaci sestavy prochází pin průchozím otvorem na spojovaném dílu. Následně použitím speciálního nástroje – razníku, je působením tlaku přetvořena část objemu vyčnívající nad spojovaným dílem, která vytvoří permanentní spoj, jak je znázorněno na obr. 7. Výslednou podobu vytvarované hlavičky určuje profil razníku. Přednosti a nevýhody technologie tavných pinů jsou uvedeny v tab. 1. [4; 9]



Obr. 7 Základní princip formování tavných pinů [9].

Tab. 1 Výhody a nevýhody tavných pinů [1; 4].

Výhody	Nevýhody
Široká variabilita technologií	Náklady na zařízení
Montáž ve více rovinách najednou	Nerozebíratelný spoj
Zrychlení montáže	Náročnější na seřízení
Snížení nákladů při vyšších sériích (vyloučení přidaných spojovacích prvků)	Nižší pevnost spoje

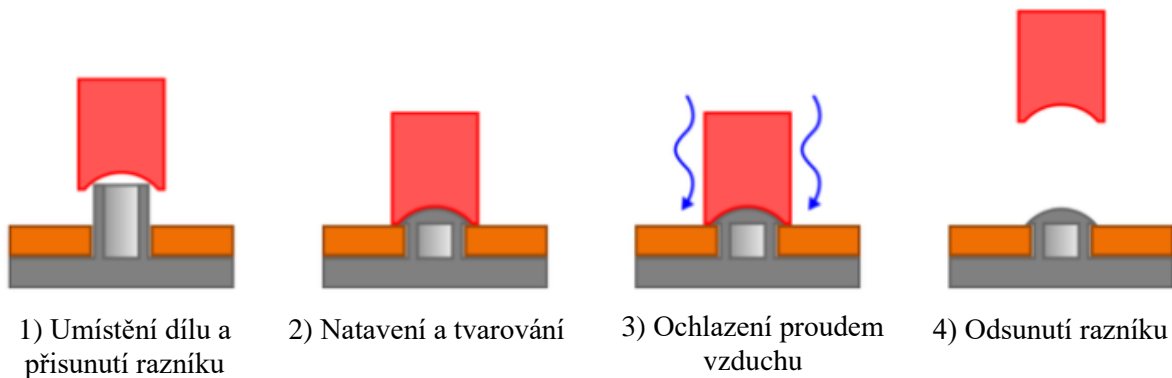
Od základní varianty, při které je spoj vytvořen za studena, se vytvořily i další využívající různé mechanismy přenosu tepla v procesu tvarování. Podle toho lze rozlišovat přenos tepla vedením (horkým razníkem), konvekcí (horký vzduch), zářením (infračervené záření) nebo využitím vibrací v mezimolekulárním prostředí (ultrazvuk). Tímto lze docílit snížení tvářecích sil, zajištění pevnějších sestav a urychlení celého procesu, aniž by docházelo k trhlinám materiálu nebo odpružení hlavičky jako u tvarování pinu za studena. [1; 9]

#### 2.1.1 Tvarování pinu za přítomnosti tepla

Vlivem tepla je objem pinu postupně natavován a není potřeba použití vysokého tlaku. Správným nahřátím a zchlazením na doporučenou teplotu materiálu se zamezí degradaci materiálu. K natavení pinu může docházet buď topným tělesem nebo horkým vzduchem přiváděným na pin. [4; 7]

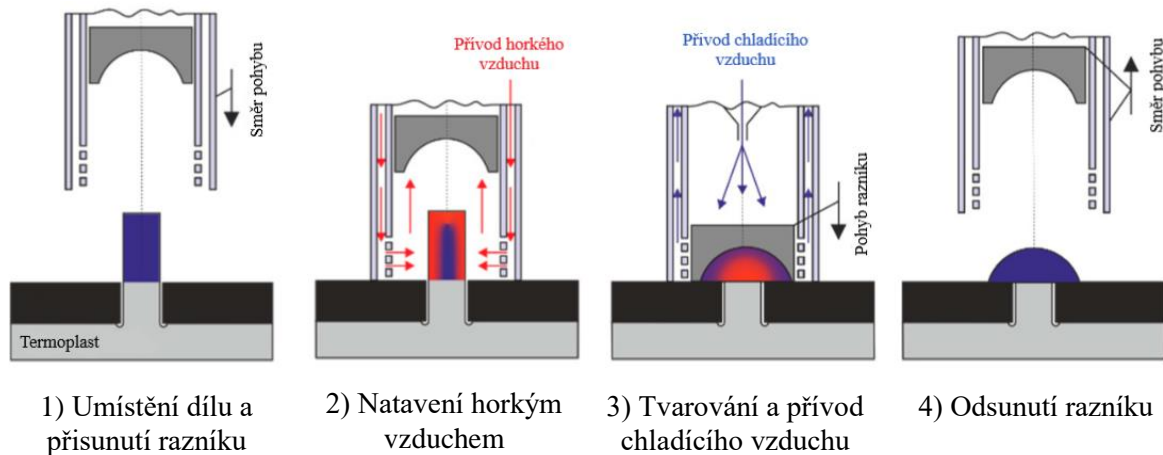
- Natavení topným tělesem – v tomto případě vyhřátý razník (vyhřátém na teplotu 210 až 230 °C v závislosti na materiálu) dosedá na pin a předá mu teplo. Zároveň je stlačován razníkem a tvarován do profilu nástroje, viz obr. 8. Důležitým parametrem je rychlost pohybu nástroje. Ta by neměla přesáhnout rychlost tavení materiálu, protože

by jinak mohlo dojít k praskání plastu. Na závěr je nástroj a materiál zchlazen proudem studeného vzduchu a razník se vrací do původní polohy. [1; 4; 7]



Obr. 8 Fáze formování topným tělesem [10].

- Natavení horkým vzduchem – k ohřevu dochází prostřednictvím proudu vzduchu na pin. Tryska s horkým vzduchem je uložena paralelně na posuvné jednotce razníku pro každý pin odděleně. Jakmile dojde k natavení celého objemu pinu je studeným razníkem stlačen. Po dostatečném ochlazení a ztuhnutí materiálu je razník odsunut, viz obr. 9. [4; 7]

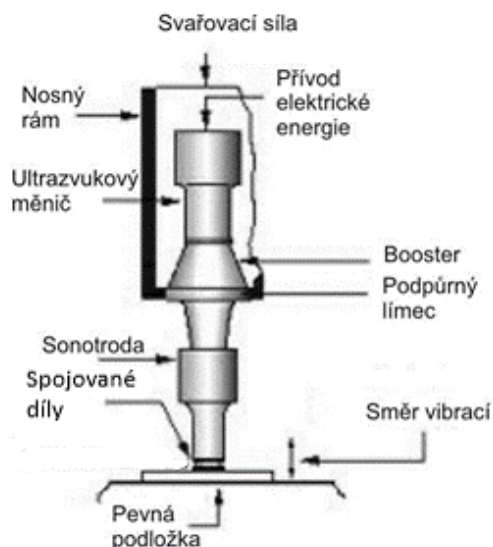


Obr. 9 Fáze procesu pinu za použití horkého vzduchu [9].

### 2.1.2 Ultrazvukové tvarování pinu

Ultrazvukové zařízení využívá energii o vysokých frekvencích k vytvoření mechanických vibrací. Ty jsou převáděny na pin a vzniklým třením na rozhraní mezimolekulárního prostředí je nataven. Zařízení určené k ultrazvukovému tvarování pinů se skládá ze stejných částí, jako zařízení určené k ultrazvukovému svařování. Zařízení se skládá z generátoru, ultrazvukového měniče, zesilovače a nástroje určeného k přenesení vibrací do místa spoje zvaným sonotroda, viz obr. 10. [11]

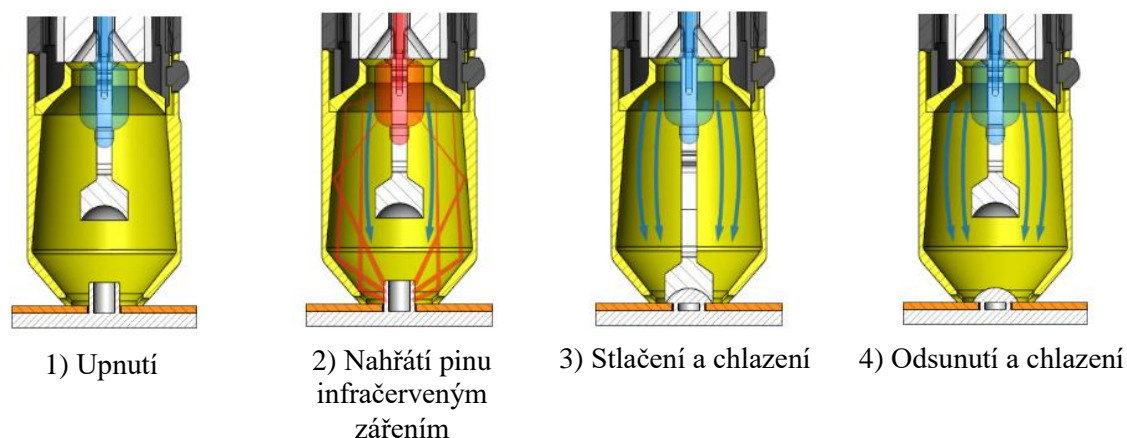
Generátor mění standardní elektrický příkon ze sítě (120–240 V, 50/60 Hz) na elektrickou energii o pracovní frekvenci. Nejběžnější pracovní frekvence používané ve výrobě jsou v rozmezí 15–40 kHz. Produkovaná vysokofrekvenční elektrická energie se přenáší do ultrazvukového měniče, kde je měněna na mechanický pohyb s nízkou amplitudou. Zvýšení nebo snížení amplitudy je korigováno zesilovačem a její velikost závisí na typu materiálu. V poslední řadě jsou mechanické vibrace přeneseny sonotrodou na pin, kde působením síly a třecího tepla způsobí jeho roztavení a přetvoření do tvaru nástroje v místě spoje. [11]



Obr. 10 Zařízení pro ultrazvukové svařování a tavné piny [12].

### 2.1.3 Nahřívání pinu infračerveným světlem – InfraStake®

Jak je z názvu patrné tento způsob nahřívání využívá pro přenos tepla záření o vlnové délce infračerveného spektra. Vyzařované světlo ze zdroje je za pomoci reflexní geometrie uvnitř modulu odráženo a soustředěno na pin. To má za následek absorpci infračerveného světla materiálem pinu a rovnoměrné natavení celého jeho objemu. Proces je rozdělen do čtyř kroků (obr. 11). Nejprve jsou spojované díly přitisknuty nástrojem pevně k sobě. Následně dochází k přenosu infračervené energie na pin prostřednictvím záření a jeho ohřátí. V předposledním kroku je pin stlačen a formován s přívodem chladicího vzduchu. Finální fázi je odsunutí razníku doprovázené chlazením. [13; 14]



Obr. 11 Jednotlivé fáze procesu InfraStake® [14].

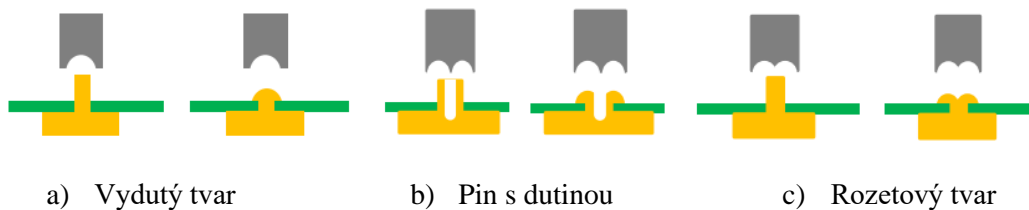
### 2.1.4 Provedení razníku a návrh pinu

Vhodná geometrie razníku a pinu má zásadní vliv na pevnost celé sestavy a odvíjí se od požadavků aplikace. Návrh je v zásadě omezen pevnostními požadavky a úrovní zatížení podle, které se určuje počet pinů a jejich rozměr. Profil razníku určuje výslednou geometrii hlavičky pinu. Vybrané příklady tvarů razníků jsou vyobrazeny na obr. 12 a popsány níže [4; 15]:

- Vydutý – je nejběžněji používaným profilem. Pin je tvarován do tvaru kulového vrchlíku v dutině razníku (obr. 12a). Výsledkem je designový vzhled hlavičky. Nejsou

vyžadovány natolik přesné tolerance jako u rozetového typu a nástroj je méně opotřebován.

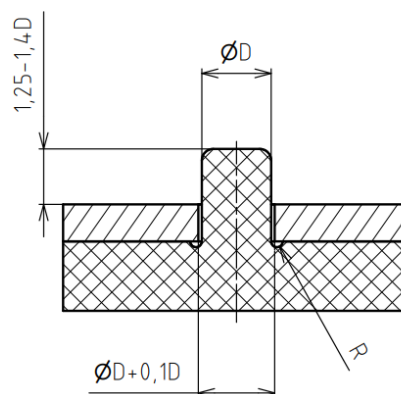
- Pin s dutinou – je používán v případech, kdy je zapotřebí většího průřezu. Pro větší průměr by bylo zapotřebí větší množství materiálu, které by vedlo k delší montážním časům. Pin s otvorem má tvar dutého válce, pro který je uzpůsobený nástroj se zaváděcím kolíkem (obr. 12b). Aplikace ale vyžaduje velice přesné seřízení nástroje.
- Rozetový – je opět aplikován v případě většího průřezu pinu. Nástroj je navržen s dvěma symetrickými dutinami, které umožňují lepší rozmístění materiálu (obr. 12c). Je zapotřebí přesného seřízení, aby se střed hrotu dotýkal středu pinu. V tomto případě je vysoká náchylnost opotřebování nástroje.



Obr. 12 Provedení razníků [16].

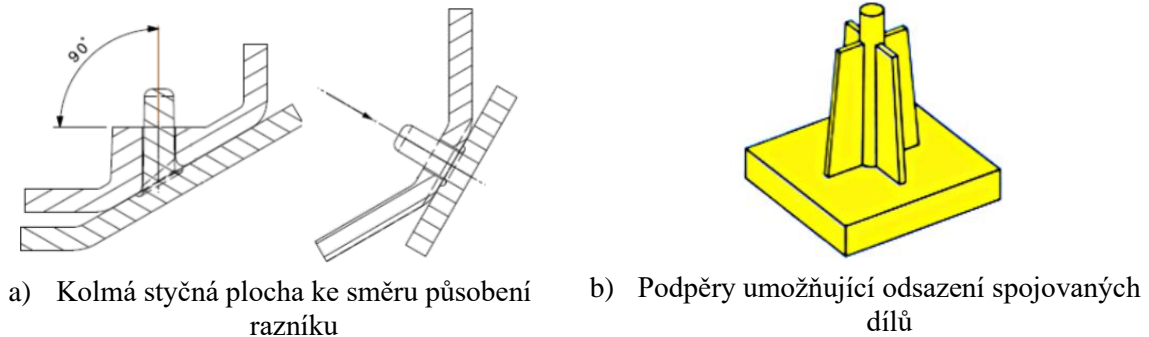
Pro jednotlivé tvary nástroje jsou doporučeny rozměry pinu výrobcem. Nejdůležitějšími parametry jsou výška a průměr pinu, které mají vliv na výslednou tvorbu hlavičky a celkový spoj. Doporučené rozměry pinu pro vydutý tvar nástroje jsou popsány níže a vyobrazeny na obr. 13 [1; 17]:

- Velký význam na pevnost spoje má velikost průřezu pinu. Obecně platí, že pin s větším průměrem dosahuje vyšší pevnosti, jelikož je k dispozici větší plocha, která přenáší zatížení. V přechodu dílu na pin je žádoucí navrhovat zápch k správnému dosednutí spojovaného dílu.
- Výška je úměrná průměru pinu. Nepřiměřeně vysoký pin by mohl způsobit problémy zvýšením montážních časů a špatným tvarováním hlavičky. V opačném případě by nebyl dostatek materiálu k vytvoření spoje. Pravidlem je, že výška, která je měřena od spojované součásti po vrchol, by se měla rovnat 1,25-1,4násobku průměru pinu.
- Posledním ovlivňujícím parametrem výsledné kvality spoje je rozměr otvoru spojované součásti. Platí, že menší průchozí otvor zajistí kvalitnější spoj. Větší průchozí otvor spojovaného dílu by vytvářel větší momentové rameno, které tlačí na okraj hlavičky pinu. Navíc tloušťka hlavičky není konstantní a se zvětšujícím se průměrem se ztenčuje a v případě velkého otvoru by byl spoj slabší a náchylnější na poruchu. Je doporučeno, aby se na protikuse navrhovala o 10 % větší, než je průměr pinu.



Obr. 13 Doporučené rozměry tavného pinu. [1]

Dále je zapotřebí dbát na umístění pinu na díle, aby došlo k efektivnímu vytvoření spoje. Pin by měl mít zásadně kolmou styčnou plochu ke směru působení razníku, viz obr. 14a. Dalším aspektem je navrhovat piny vždy v jedné rovině, aby se nekomplikovala montáž. Za účelem podepření sestavy nebo vytvoření odsazení a zachycení reakčních sil se doporučuje přidat podpěry (obr. 14b). [1; 18]



Obr. 14 Konstrukce a umístění pinu na plastovém díle [1; 18].

### 2.1.5 Defekty tavných pinů

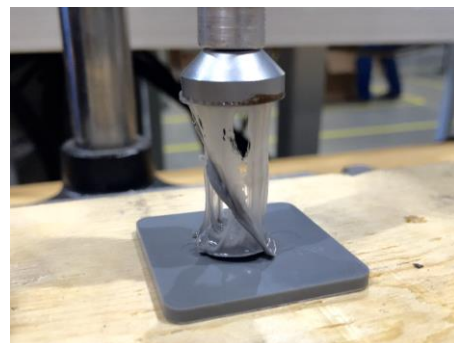
Nejčastější příčinou defektů tavných pinů při spojování dílů je špatné odladění nebo nastavení výrobní stanice a přípravku. V důsledku toho pro všechny zmíněné modifikace této montážní technologie je primární vadou špatně vytvarována výsledná hlavička pinu už ve výrobě. To může být způsobeno volitelnými parametry jako, jsou nevhodně zvolená výška posuvu razníku nebo špatně nastavena teplota tavení. Vlivem toho je zamezeno vzniku pevného spoje.

Výšku posuvu nastavuje seřizovač, aby došlo k co nejlépe vytvořenému spoji. Na stroji u jednotlivých razníků má možnost nastavit vlastní posuv. Defekt se projeví nedotvarovanou hlavičkou, čímž je zamezen vznik spoje mezi komponentami, viz obr. 15a. Vyvarování se tomuto problému, lze taky správným návrhem rovinnosti a umístění spojovaného dílu (lze zajistit pomocí podpěr). [1]

Dalším z možných defektů je přichycení materiálu k razníku v průběhu procesu spojování. Je doprovázený lepením plastu a tvorbou tzv. nití, jak je znázorněno na obr. 15b. K tomuto problému přispívá mnoho faktorů, jako jsou ořepy nebo poškozený povrch tvářecího nástroje. V případě špatného povrchu razníku je možné použít nepřilnavých povlaků. Hlavní příčinou tohoto druhu poruchy je příliš vysoká teplota razníků, kterou lze vyřešit jejím snížením, případně zvýšením průtoku chladicího vzduchu. [1; 19]



a) Špatné nastavení posuvu razníku



b) Lepení materiálu k razníku

Obr. 15 Defekty pinů [1; 19].

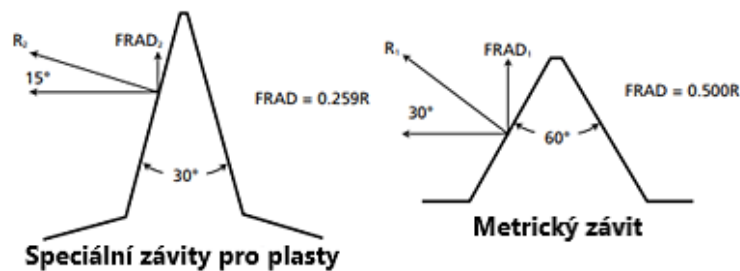
## 2.2 Samořezné šrouby

Samořezné šrouby, jakožto spojovací materiál, jsou důležitou a nezbytnou součástí automobilového průmyslu. V konstrukci světel je tento způsob montáže nahrazován nákladově výhodnějšími metodami, ale v některých případech je jejich použití nezbytně nutné. Svou oblíbenost si získaly díky vynikající přídržné síle a možnosti opětovné demontáže, viz výhody a nevýhody zmíněné v tab. 2. Do plastových dílů se instalují do předpřipravených náliček a pilotních otvorů. Samořezné šrouby lze rozdělit do dvou skupin podle tvorby závitu v materiálu na závitotvorné a závitořezné šrouby. [1; 4]

Tab. 2 Výhody a nevýhody samořezných šroubů [1; 4].

Výhody	Nevýhody
Vysoká pevnost spoje	Přidaný prvek v sestavě – narůstající náklady
Opětovná montáž	Náchylnost na korozi (podle oblasti použití)
Možnost vytvořit utěsněný spoj	Rozdílná tepelná roztažnost – povolení spoje
Nižší náklady na zařízení	Zvýšení radiálního napětí v místě aplikace

Jak závitořezné, tak i závitotvorné šrouby pro plastové materiály se vyznačují speciálními profily závitu, odlišným průřezem dřívku a větší výškou závitu od běžných standardních šroubů. Souhrnně jsou úhly závitu ostřejší pohybující se v rozsahu od 30° do 45°. Velikost úhlu optimalizuje rozložení silového namáhání v materiálu (obr. 16) a snižuje radiální sílu, která vytváří nežádoucí napětí a poškozuje náliček. [20]



Obr. 16 Vektorové složky silového namáhání profilu závitu samořezného a metrického závitu [20].

### 2.2.1 Závitotvorné šrouby

Fungují na principu deformování termoplastu. Při zašroubování do náličky se závit šroubu vytlačuje do materiálu a vytváří se materiálový tok, který obklopuje plochu závitu a dřívku šroubu, jak je znázorněno na obr. 17. Deformací vzniká vysoké vnitřní napětí, které podporuje zvýšení odporu proti uvolnění. Typy závitů šroubů jsou vyráběny v několika provedeních, která se odlišují převážně v profilu závitu a tvaru dřívku. Speciální geometrie napomáhá k zvýšení únosnosti spoje, potřebné síly k vytržení šroubu a snížení montážního momentu. [4; 20; 21]



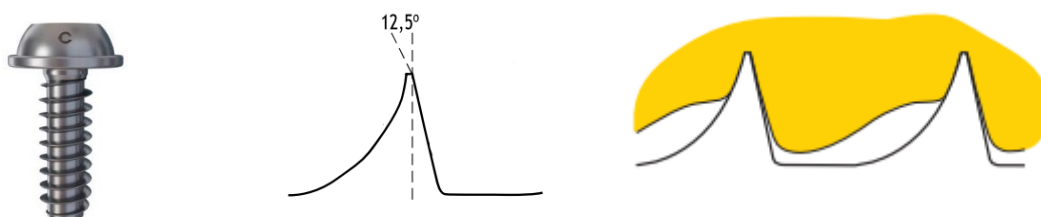
Obr. 17 Tok materiálu závitotvornými šrouby [20; 23].

- Delta PT – je nejběžněji používaným typem závitu mezi závitotvornými šrouby pro všechny druhy termoplastů. Vylepšená geometrie profilu závitu se vyznačuje kombinací úhlů (obr. 18). Díky přechodovému úhlu mezi závitem a průměrem dříku ( $140^\circ$ ) je dosaženo vysoké ohybové tuhosti závitu. Montáž tímto typem závitu je zajištěna bezpečnost vysokou pevností v tahu, krutu a proti vibracím. [22]



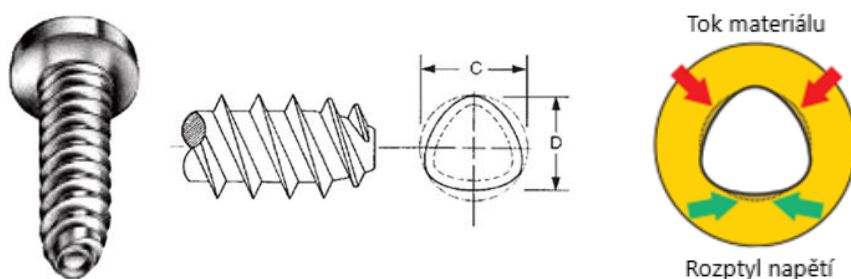
Obr. 18 Šroub a profil závitu Delta PT [22; 24].

- Remform – je navržený s asymetrickým závitem se strmým přitlačným bokem závitu obsahující úhel  $12,5^\circ$  (obr. 19). Poskytuje větší kontaktní plochu mezi závitem a materiálem (dobrá odolnost proti vytržení a vibracím). Zároveň snižuje hodnoty montážního momentu a radiálního napětí. Šroub je navržený s větším průřezem dříku, což vede k vyšší odolnosti vůči krouticímu momentu. [23; 25]



Obr. 19 Šroub a profil závitu Remform [23; 26].

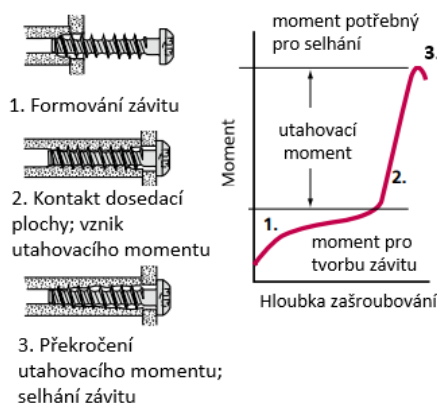
- Plastite – se odlišují neobvyklým dříkem šroubu trilobulárního tvaru (zaoblený trojúhelník), viz obr. 20. Tvar dříku umožňuje proudění plastového materiálu v prostoru mezi vrcholy. Na rozdíl od šroubů s kruhovým průřezem je napětí vznikající v plastovém materiálu během závitování soustředěno do tří bodů, čímž se snižuje radiální napětí a tření při montáži. Úhel sklonu závitu se vyrábí ve třech provedeních  $60^\circ$ ,  $48^\circ$  a  $45^\circ$ . [23]



Obr. 20 Šroub Plastite a rozložení napětí a materiálu při montáži [23; 27].

V závislosti na hloubce zašroubování roste velikost vyvinutého krouticího momentu z důvodu odporu vytvořeného materiálem na šroub, viz obr. 21. Průběh montážního procesu lze rozdělit do 3 fází. Nejprve ve fázi 1 dochází k tvorbě závitu a krouticí moment lehce narůstá s hloubkou vytvořeného závitu. Jakmile dojde ke kontaktu dosedací plochy šroubu a spojovaného dílu (fáze 2) narůstá moment v důsledku vzniku předepínací síly ve spoji. Vlivem předpětí se tvoří tlakové

zatížení závitů. Se zvětšujícím se momentem je dosaženo kritické velikosti momentu, kdy se napětí v plastovém materiálu přibližuje k mezi kluzu. V této (třetí) fázi dojde k selhání v podobě stržení závitů. [20; 21]



Obr. 21 Závislost montážního momentu na hloubce zašroubování [20].

### 2.2.2 Závitořezné šrouby

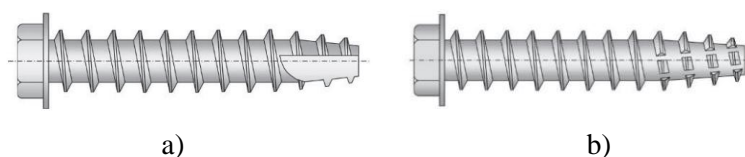
Závitořezné šrouby mají zkonstruován speciální řezný závit nebo podélné řezné drážky, které při montáži přímo odebírají plastový materiál ve formě třísek a vytváří tak závit do protikusu. Tento typ šroubu je vhodnější pro tužší plastové materiály s vyšším modulem pružnosti. Použitím závitořezných šroubů se snižuje montážní a utahovací moment pro zašroubování. Opětovná montáž a demontáž závitořezných šroubů je náchylná k poruchám, které se projeví stržením nebo vymletím závitu. [4; 28]

- IBI-ZAS – je kombinací závitořezného a závitotvorného šroubu. První tři zavádějící závity obsahují drážkování, které předřízne profil formujícímu závit, čímž snižují montážní moment a napětí v materiálu. Profil je navržený s asymetrickým závitem  $25^\circ$  (zavádějící úhel) a  $15^\circ$  (nosný úhel), viz obr. 22. [23]



Obr. 22 Šroub IBI-ZAS a profil závitu [29].

- Typ BT a BF – jsou charakteristické velkou roztečí a sklonem úhlem závitu  $60^\circ$ . Závitořezný šroub BT je specifický řeznou drážkou na hrotu (obr. 23a) a typ BF podélnými drážkami na prvních závitech šroubu stejně jako u šroubu IBI-ZAS (obr. 23b). [4]

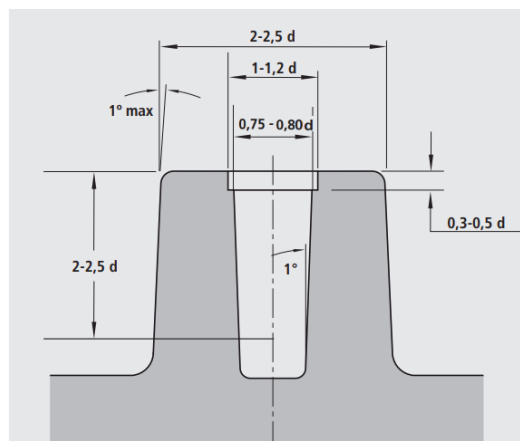


Obr. 23 Závitořezné šrouby typu BT a BF [28].

### 2.2.3 Geometrie nálitku a rozměry ovlivňující pevnost spoje

V plastovém dílu se pro samořezné šrouby navrhují speciální pilotní otvory a nálitky, do kterých jsou montovány. Pro zajištění správné funkce šroubu musí splňovat předepsané rozměry. Klíčovými faktory, které mohou ovlivnit funkčnost spoje jsou průměr pilotního otvoru nálitku, záběr závitu, délka záběru závitu v otvoru a vnější rozměr nálitku (viz obr. 24). Všechny parametry se ale mohou lišit podle jednotlivých výrobců šroubů. Doporučené rozměry jsou popsány níže [20; 21]:

- Průměr pilotního otvoru nálitku a záběr závitu – jsou navzájem propojené. Velikost záběru závitu zasahujícího do materiálu se určuje procentuálně. Zpravidla se používá 75-80% jmenovitého průměru šroubu pro návrh průměru pilotního otvoru. Celých 100% se nepoužívá, jelikož to nemá vliv na záběr závitu, pouze na zvýšení montážního momentu. Zároveň jsou otvory vstřikovaných dílu navrhovány s úkoso, aby bylo možné díly vyjmout z formy. Úkoso snižují záběr závitu v díře z důvodu změny průměru po délce otvoru.
- Délka záběru v nálitku – se udává, jako součinitel jmenovitého průměru šroubu pohybující se v rozmezí 2 až 2,5 násobku průměru šroubu. Nezapočítává se délka prvních závitů, které slouží k zavedení šroubů při montáži a nemají následně vliv na funkci šroubu.
- Vnější rozměr nálitku – se obvykle pohybuje mezi 2 a 2,5 násobkem průměru šroubu. Menší rozměr by mohl vést k selhání nálitku a jeho prasknutí při montáži. Zároveň i vnější průměr nálitku je navrhován s úkoso pro lepší vyjmutí z formy.



Obr. 24 Geometrie nálitku. [23].

### 2.2.4 Defekty spojů samořeznými šrouby

Montáž samořeznými šrouby přináší i určitá rizika a defekty. Za účelem zjištění, kdy a jak se projeví porucha šroubového spoje se provádí řada testů a zátěžových zkoušek, ještě před samotným uvedením světlometů do sériové výroby. Případný defekt by kromě znehodnocení dílu mohl ovlivnit světelné funkce. Závada šroubového spoje se nejčastěji projeví [30]:

- prasknutím nálitků (obr. 25a),
- stržením závitu ve spojovaném materiálu (obr. 25b),
- ztrátou předpětí,
- otlačení a vznik trhliny spojovaného dílu.



a) Prasknutí nálitku



b) Stržení závitu ve spojovaném materiálu

Obr. 25 Poruchy při použití samořezných šrouby [31].

Na vznik defektů šroubového spoje se může podílet několik faktorů, které lze rozdělit na [30]:

- Konstrukční – vychází ze špatného návrhu a nedodržení předepsaných norem a parametrů stanovených výrobcem šroubů. Spadá zde i nevhodně zvolený materiál, podle kterého se odvíjí rozměry nálitku. Následným projevem tohoto faktoru dochází k praskání materiálu nálitku při montáži šroubu.
- Výrobní – vznikají výrobními nepřesnostmi, jako jsou nesouosost děr spojovaných materiálů. V případě šroubu to jsou odchylky závitu a házení, které vedou ke špatné tvorbě závitu v plastovém materiálu vedoucí k ztrátě předpětí.
- Operační – jsou posledním ovlivňujícím faktorem, ve kterém mohou vznikat některé ze závad šroubového spoje. Patří sem nedodržení doporučené rychlosti utahování a nastaveného montážního momentu. Ty vedou k stržení závitu nebo otláčení, vznik trhliny ve spojovaném dílu a tepelného ovlivnění v místě tvořeného závitu (tavení materiálu), které má za následek pozdější ztrátu předpětí spoje.

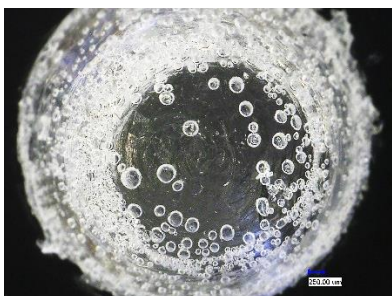


Tab. 3 Nastavení linky METESS.

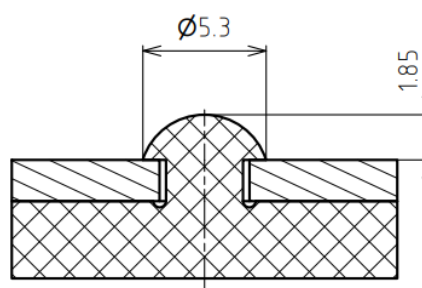
Teplota tavení [°C]	Teplota chlazení [°C]	Doba tavení [s]	Doba chlazení [s]
210-223	130	15-20	8-14

Na odřezaných vzorcích byly znát výrobní nepřesnosti. V celistvém stavu je deska pevně uchycena, ale po rozřezání některých zatavených pinů byla vůle mezi dosedacími žebry a plochou desky. To může být důsledkem formování více pinů najednou, že u některých je nastaven menší posuv razníku a nedojde k řádně vytvořenému spoji.

To vedlo k odebrání kusu bez zatavených pinů s elektronikou, aby z něj bylo možné odřezat vzorky a zatavit je s nařezanými částmi desek plošných spojů. Ke spojení byl použit ruční nástroj s topným tělesem opět od firmy METESS. Formování pinů bylo uzpůsobeno vyšší teplotě na úkor nižšího času tavení a nižší aplikované síly operátorem, viz tab. 4. Na vytvarované hlavičce byla vizuální degradace materiálu v místě kontaktu s razníkem ve formě vzduchových bublinek a dutin z důvodu vyšší teploty tavení (obr. 28). Rozměr vytvarované hlavičky pinu se u ručního nástroje lišil v průměru 0,5 mm a ve výšce o 0,1 mm, jak je znázorněno na obr. 29.



Obr. 28 Degradace materiálu na hlavičce pinu při pohledu shora.

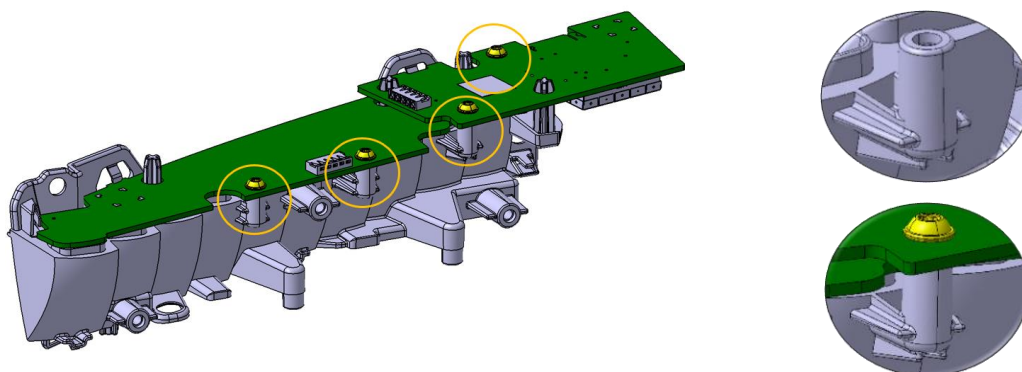


Obr. 29 Rozměry pinu vytvarovného ručním nástrojem.

Tab. 4 Nastavení nástroje METESS pro ruční tavení pinu.

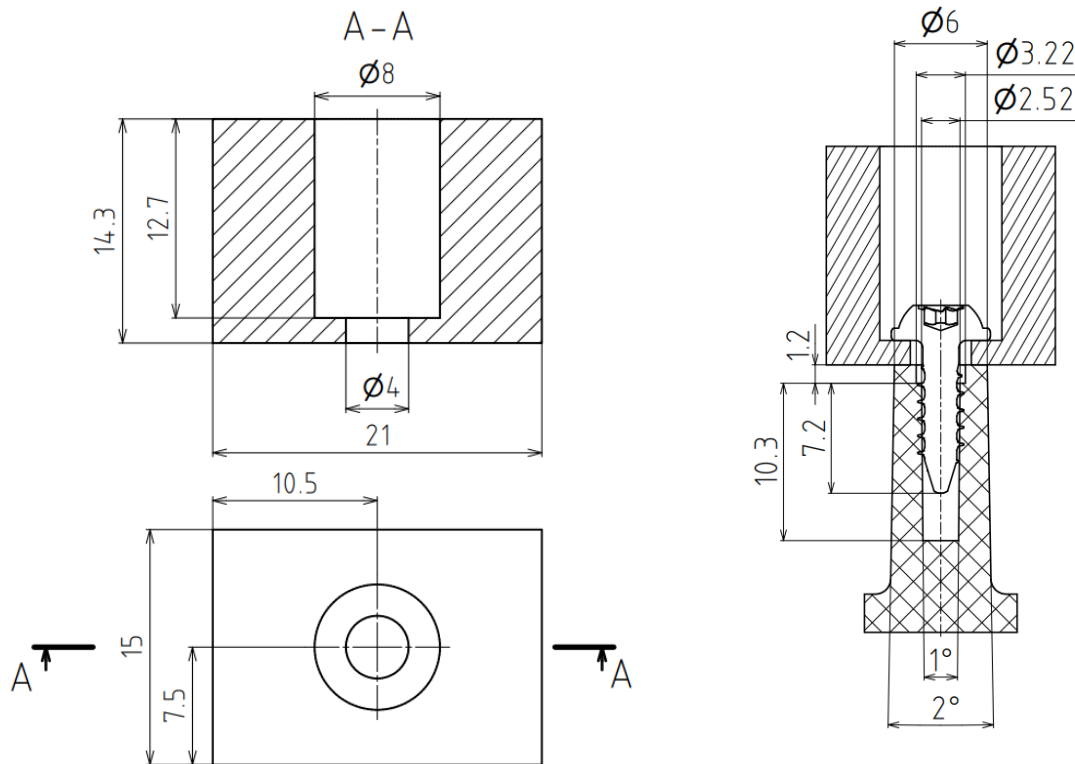
Teplota tavení [°C]	Teplota chlazení [°C]	Doba tavení [s]	Doba chlazení [s]
350	140	20	10

Pro testování šroubového spoje posloužil zadní reflektor automobilu Land Rover Range Rover Sport 2023, který plní funkci brzdových a obrysových světel. Na něm jsou uchyceny dvě desky plošných spojů s LED pomocí zavítotvorných šroubů. Ty jsou montovány do navržených náliček znázorněných na obr. 30. Při montáži jsou jednotlivé elektronické komponenty vycentrovány pomocí dvou lokačních prvků.



Obr. 30 Sestava zadního reflektoru Land Rover Range Rover Sport 2023 s deskou plošných spojů a detaily šroubového spoje [1].

Na tahovou zkoušku šroubového spoje byl odebrán reflektor v nesmontovaném stavu. Z něj byly odřezány jednotlivé nálitky pro šrouby. K montáži jsou použity šrouby 3 x 10 mm s typem závitu Delta PT, viz kapitola 2.2.1. Pro tahovou zkoušku byl na místo desek plošných spojů navržen přípravek, který má zajistit, aby došlo k porušení nálitku, a ne spojované desky plošných spojů. Přípravek je vyroben z hliníku a tloušťka dna je navržena, aby se shodovala s tloušťkou upevněné desky (rozměr dna 1,6 mm), za účelem dosažení stejné hloubky zašroubování jako ve výrobě. Velikost utahovacího momentu při montáži obsluhou je stanovený na  $1 \pm 0,1 \text{ N}\cdot\text{m}$ . Rozměry přípravku a nálitku ve smontovaném stavu jsou znázorněny na obr. 31.



Obr. 31 Rozměry přípravku pro nahrazení desky plošných spojů (vlevo) a nálitku (vpravo).

### 3.1 Tahová zkouška

Připravené vzorky byly podrobeny tahové zkoušce, která proběhla na zkušebním zařízení Zwick/Roell Z005. Zařízení disponuje maximální silou v tahu 1 kN s nastavenými parametry rychlosti posuvu  $20 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$  a vzdálenost čelistí 100 mm. Vzorky byly uchyceny v upínacích čelistech se svěrákovým mechanismem a vroubkovými vložkami proti zamezení prokluzu, jak je znázorněno na obr. 32.

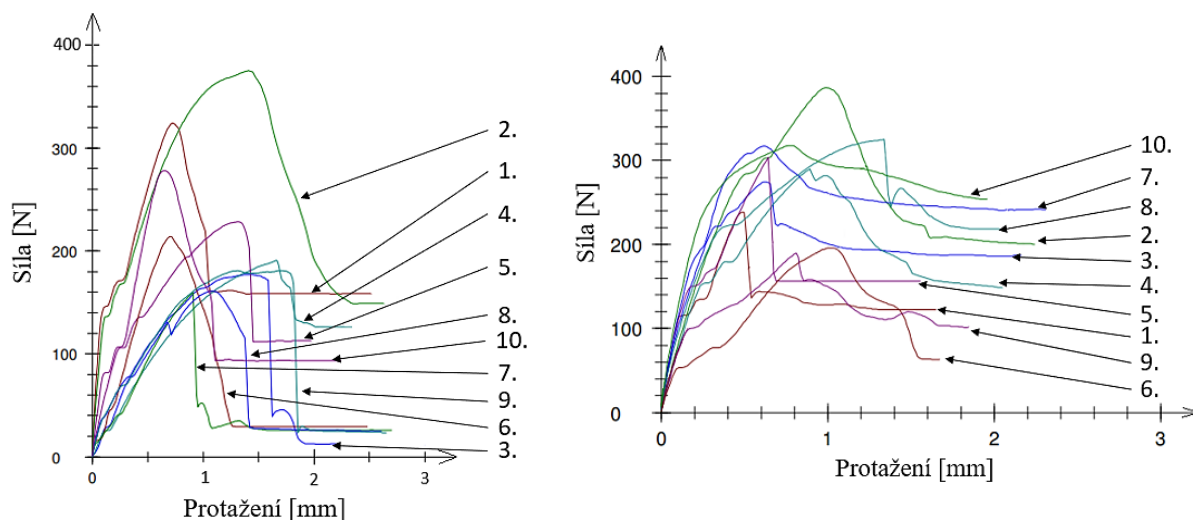


Obr. 32 Uchycení vzorků šroubů a tavných pinů ve zkušebním zařízení (vlevo šroubový spoj, vpravo tavný pin).

Vzorky tavných pinů byly podrobeny třem měřením. Všechny měření jsou s maximálními silami rozděleny do vlastních grafů. Dvěma měření podstoupily vzorky získané z výroby. Důvodem byla zmíněná rozdílná těsnost spojů po rozřezání desky plošných spojů, u které se očekávalo, že bude ovlivňovat velikost protažení pinu. Výsledky měření maximálních hodnot sil jsou zapsány do tab. 5 a jejich průběhy jsou znázorněny na obr. 33. Porucha spoje jak strojově zatavených pinu, tak i ručním nástrojem byla vždy v místě přechodu pinu na vytvarovanou hlavičku (obr. 34). Důvodem je vrubová citlivost a koncentrace napětí způsobená přechodem průměrů pinu.

Tab. 5 Výsledky 1. a 2. měření tavných pinů z výroby.

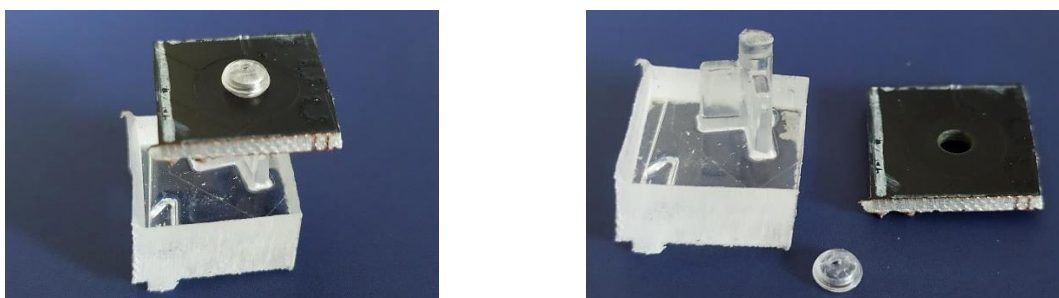
Číslo měření	1. měření	2. měření
	$F_{max}$ [N]	
1.	324,11	238,7
2.	375,06	386,63
3.	176,90	274,65
4.	190,77	289,81
5.	228,16	304,3
6.	214,03	196,08
7.	159,57	316,92
8.	161,16	324,98
9.	180,78	190,34
10.	277,78	318,04



1. měření

2. měření

Obr. 33 Průběh závilosti síly na protažení tavných pinů z výroby.

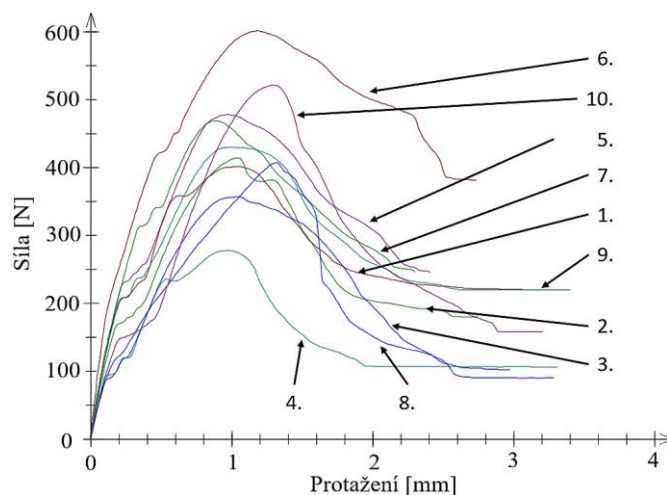


Obr. 34 Tavný pin před a po zkoušce.

Třetímu měření byly podrobeny vzorky tavných pinů zatavené ručním nástrojem. Velikosti maximálních sil, které spoj byl schopen přenést se pohybovaly v rozmezí od 277,79–601,2 N, viz tab. 6. V porovnání se spoji vytvořenými strojově, vykazují ručně zatavené piny vyšší pevnost a průběh zkoušky má ustálenější chování, jak je znázorněno na obr. 35, ačkoli se zde vyskytují tři extrémy u 4., 6. a 10. měřeno vzorku.

Tab. 6 Výsledky naměřených sil zatavených pinů ručním nástrojem.

Číslo měření	$F_{max}$ [N]
1.	401,47
2.	413,97
3.	356,62
4.	277,79
5.	477,91
6.	601,2
7.	469,09
8.	407,06
9.	429,84
10.	521,45

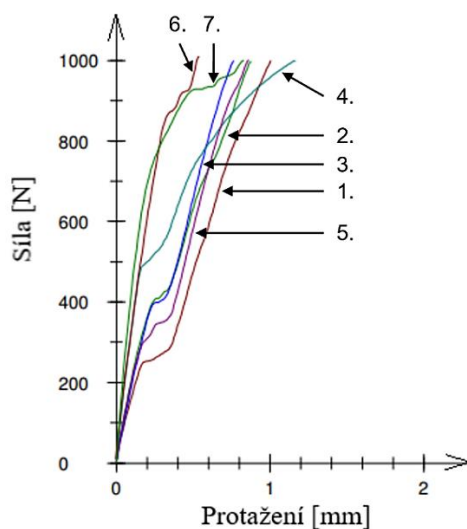


Obr. 35 Průběh závilosti síly na protažení tavných pinů zatavených ručním nástrojem.

Při tahové zkoušce šroubového spoje bylo dosaženo limitu maximálního zatížení zkušebního zařízení 1 000 N, čímž nebylo možné docílit dostatečného zatížení, kterým by došlo k porušení. Z celkového počtu osmi kusů vzorků, které byly použity ke zkoušce, bylo úspěšně změřeno sedm a u jednoho vzorku bylo měření zmařeno, a tudíž byl výsledek nepoužitelný pro vyhodnocení. Ke zmaření došlo z důvodu špatného upevnění mezi čelistmi testovacího zařízení a následným vzájemným prokluzem vzorku s čelistmi. Výsledky a průběh tahové zkoušky šroubového spoje jsou znázorněny v tab. 7 a na obr. 36.

Tab. 7 Výsledky měření šroubového spoje.

Číslo měření	$F_{max}$ [N]
1.	998,01
2.	997,64
3.	998,15
4.	998,29
5.	1001,88
6.	1010,60
7.	1000,31



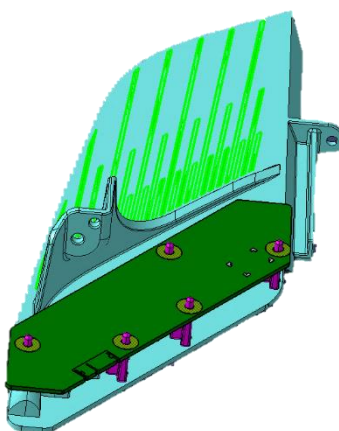
Obr. 36 Průběh závilosti síly na protažení šroubového spoje.

Tahovou zkouškou měly být zjištěny mezní hodnoty zatížení, které je schopen přenášet spoj vybraných montážních způsobů. U obou případů tavných pinů tohoto bylo docíleno za vzniku poruchy v místě přechodu pinu na vytvarovanou hlavičku. Piny zatavené ručním nástrojem projevily větší únosnost a jejich průběhů bylo dosaženo ustálenějšího chování na rozdíl od vzorků z výroby, kde docházelo k velkému rozptylu hodnot. Co se týče šroubového spoje, jeho měření mělo především informativní charakter, jelikož pro danou aplikaci je značně naddimenzován. To umožňuje v případě montáže těchto dvou komponent snížení počtu spojů. Proto je vhodné obě montážní technologie zhodnotit i z ekonomické stránky.

## 4 EKONIMOCKÉ ZHODNOCENÍ

Snížení ceny produktů je možné ovlivnit také použitou technologií spojování. Kalkulace nákladů je navržena v závislosti na počtu vyrobených kusů, protože právě tak je možné z ekonomického hlediska posoudit obě technologie a dojít k závěru, jaký typ technologie bude při konstrukci výhodnější. Jedná se o hrubý a předběžný výpočet nákladů, neboť cenová nabídka některých parametrů je chráněna obchodním tajemstvím a jejich hodnota je určena tak, aby se přibližovala reálnému stavu.

Pro účely vzorového výpočtu poslouží spojení optického dílu s deskou plošných spojů světlometu Fordu Fiesty ST 2022, viz obr. 37. Současný stav montáže je uchycení pomocí pěti tavných pinů. Navrhovanou změnou je uchycení pomocí tří samořezných šroubů. Pro nadcházející výpočet bude bráno v potaz, že délka montážního cyklu pro jednu sestavu je 1 min. K obsluze je zapotřebí stejného množství operátorů se stejnou hodinovou sazbou mzdy u obou technologií. Předpokladem výrobní série je 500 000 kusů.



Obr. 37 Vzorová sestava pro účely ekonomického zhodnocení [1].

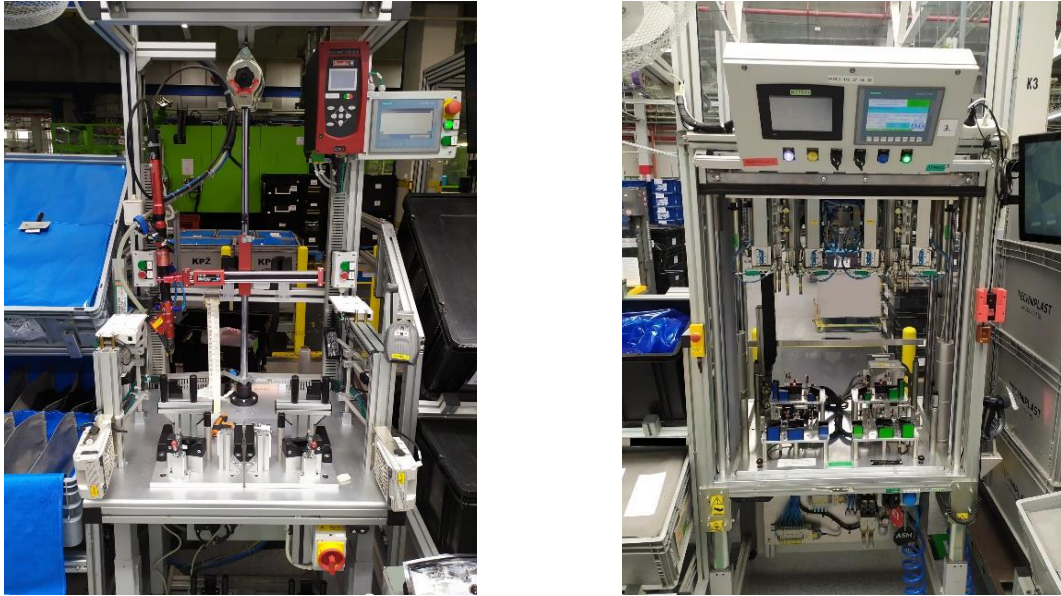
Montážní náklady jsou rozděleny na fixní náklady, kam spadají montážní stanice a přípravy a variabilní náklady, které se odvíjejí podle počtu smontovaných dílů. Průběh nákladu obou technologií v závislosti na počtu vyrobených kusů je pak znázorněn v grafu (obr. 39).

### Vstupní parametry

Výrobní série	$Q = 500\,000$ ks
Náklady na operátora výrobní linky	$m_{mzda/h} = 300$ Kč · h <sup>-1</sup>
Počet spojených sestav za hodinu	$n_{sestav/h} = 60$ h <sup>-1</sup>
Počet tavných pinů	$n_{TP} = 5$ ks
Počet samořezných šroubů	$n_{\xi} = 3$ ks

### Fixní náklady

- Náklady na montážní stanice (obr. 38):
  - Šroubovací stanice  $N_{\xi S} = 1\,200\,000$  Kč
  - Stanice na tavné piny  $N_{TPS} = 1\,500\,000$  Kč



Obr. 38 Montážní stanice (vlevo šroubovací, vpravo tavné piny). [1]

- Náklady na montážní přípravky na založení dílu:

Přípravek na montáž pomocí šroubů

$$N_{\text{šP}} = 400\,000 \text{ Kč}$$

Přípravek na montáž tavnými piny

$$N_{\text{TPP}} = 1\,300\,000 \text{ Kč}$$

#### Variabilní náklady

- Náklady na operátora za smontovanou sestavu:

$$M_j = \frac{m_{\text{mzda/h}}}{n_{\text{sestav/h}}} = \frac{300}{60} = 5 \text{ Kč}$$

4.1

kde:  $M_j$  – náklady na operátora za smontovanou sestavu [Kč]

Náklady na energie jednotlivých technologií:

- Náklady na energie na smontovanou sestavu šrouby. Energie na jeden použitý šroub jsou naceněny podle firemních podkladů  $0,0047 \text{ Kč} \cdot \text{ks}^{-1}$ .

$$N_{\text{Eš}} = n_{\text{š}} \cdot N_{\text{Ešj}} = 3 \cdot 0,0047 = 0,0141 \text{ Kč}$$

4.2

kde:  $N_{\text{Eš}}$  – náklady energie na spojení jedné sestavy [Kč]

$N_{\text{Ešj}}$  – cena energie na zašroubování jednoho šroubu [ $\text{Kč} \cdot \text{ks}^{-1}$ ]

- Náklady na energie na smontovanou sestavu tavnými piny. Energie na jeden použitý tavný pin jsou naceněny podle firemních podkladů na  $0,235 \text{ Kč} \cdot \text{ks}^{-1}$ .

$$N_{\text{ETP}} = n_{\text{TP}} \cdot N_{\text{ETPj}} = 5 \cdot 0,235 = 1,175 \text{ Kč}$$

4.3

kde:  $N_{\text{ETP}}$  – cena energie na spojení jedné sestavy [Kč]

$N_{\text{ETPj}}$  – cena energie na jeden kus tavného pinu [ $\text{Kč} \cdot \text{ks}^{-1}$ ]

Náklady za spojovací materiál na smontovanou jednotku:

- U samořezný šroubů je potřeba zohlednit cenu šroubu na smontované sestavě, která je stanovena na  $2,35 \text{ Kč} \cdot \text{kus}^{-1}$ . U tavných pinu odpadá přidaná cena spojovacího materiálu.

$$N_{\text{SM}} = n_{\text{š}} \cdot N_{\text{šj}} = 3 \cdot 2,35 = 7,05 \text{ Kč}$$

4.4

kde:  $N_{\text{SM}}$  – celková cena šroubů na smontovanou sestavu [Kč]

$N_{\check{s}j}$  – cena jednoho kusu šroubu [Kč · ks<sup>-1</sup>]

Výsledná cena aplikované technologie na celou výrobní sérii:

- Samořezné šrouby:

$$\begin{aligned} N_{\check{s}celkem} &= [(M_j + N_{E\check{s}} + N_{SM}) \cdot Q] + N_{\check{s}S} + N_{\check{s}P} \\ &= [(5 + 0,0141 + 7,05) \cdot 500\,000] + 1\,200\,000 \\ &\quad + 400\,000 = 7\,632\,050 \text{ Kč} \end{aligned} \quad 4.5$$

kde:  $N_{\check{s}celkem}$  – celkové náklady na montáž pomocí samořezných šroubů při výrobě 500 000 ks [Kč]

- Tavné piny:

$$\begin{aligned} N_{TPcelkem} &= [(M_j + N_{ETP}) \cdot Q] + N_{TPS} + N_{TPP} \\ &= [(5 + 1,175) \cdot 500\,000] + 1\,500\,000 + 1\,300\,000 \\ &= 5\,887\,500 \text{ Kč} \end{aligned} \quad 4.6$$

kde:  $N_{TPcelkem}$  – celkové náklady na montáž pomocí tavných pinů při výrobě 500 000 ks [Kč]

Rozdíl a procentuální úspora na konci výrobní série:

- Rozdíl nákladů technologií:

$$R = N_{\check{s}celkem} - N_{TPcelkem} = 7\,632\,050 - 5\,887\,500 = 1\,744\,550 \text{ Kč} \quad 4.7$$

kde:  $R$  – rozdíl nákladů technologií na konci výrobní série [Kč]

- Procentuální úspora použitím tavných pinů:

$$U_{\%} = \frac{100 \cdot R}{N_{\check{s}celkem}} = \frac{100 \cdot 1\,744\,550}{7\,632\,050} = 22,86 \% \quad 4.8$$

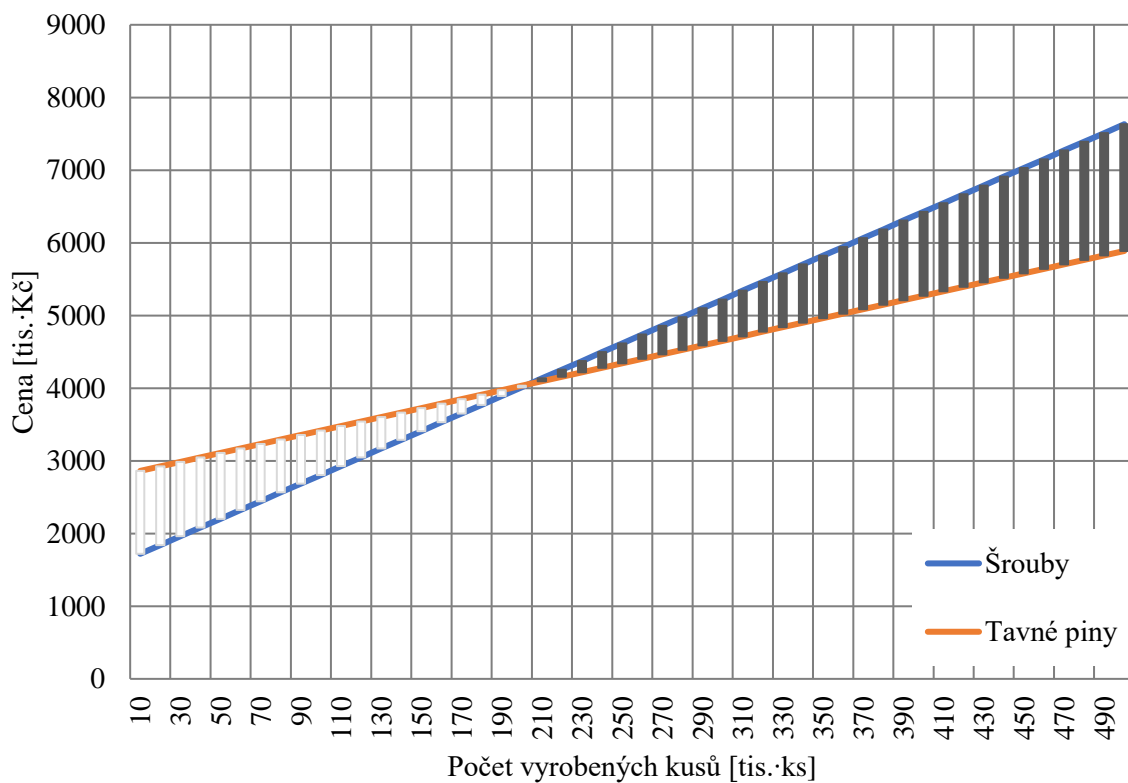
kde:  $U_{\%}$  – procentuální úspora nákladů na konci výrobní série [%]

Vyrovnání nákladů obou technologií:

- Počet spojených dílů, při kterých dojde k vyrovnání nákladu obou technologií:

$$\begin{aligned} Q_0 &= \frac{(N_{TPS} + N_{TPP}) - (N_{\check{s}S} + N_{\check{s}P})}{[(N_{SM} + N_{E\check{s}} + M_j) - (N_{ETP} + M_j)]} \\ &= \frac{(1\,500\,000 + 1\,300\,000) - (1\,200\,000 + 400\,000)}{(7,05 + 0,0141 + 5) - (1,175 + 5)} \\ &= 203\,766,28 \text{ ks} \doteq 203\,767 \text{ ks} \end{aligned} \quad 4.9$$

kde:  $Q_0$  – počet spojených kusů potřebný k vyrovnání nákladů obou technologií [Kč]



Obr. 39 Průběh nákladu obou technologií v závislosti na počtu vyrobených kusů.

---

## ZÁVĚR

Předmětem práce bylo se soustředit na metody spojování plastových dílů v oblasti konstrukce automobilových světel se zaměřením montáže optických dílů s deskami plošných spojů. Důraz byl kladen na technologii tavných pinů a mechanické spojení pomocí samořezných šroubů, pro které byla zpracována literární rešerše, porovnání z pevnostního hlediska a návrh ekonomické kalkulace obou způsobů montáže.

Vzorky byly podrobeny tahové zkoušce na zkušebním zařízení Zwick/Roell Z005. K odebrání zkušebních vzorků posloužily optické díly vyrobené z PC. Pro případ tavných pinů byly zkoumány dva druhy zatavených pinů – strojově a ručním nástrojem. První dvě měření vzorků pinů z výroby vykazovaly značný rozptyl zatížení v rozmezí 159 až 386 N a průběhů měření. Na rozdíl u zatavených pinů ručním nástrojem bylo dosaženo ustálenějších měřených hodnot a průběhů, ačkoli zde byly naměřené tři extrémy, které když se opomenou, se hodnoty sil pohybovaly v rozsahu 356-477 N. K poruše tavných pinů došlo ve všechny případech ve stejném místě, skokové změny průměru z původního pinu na vytvarovanou hlavičku, které je koncentrátorem napětí. Pro zkoušku šroubového spoje byly použité zavítotvorné šrouby se závitem typu Delta PT. Na místo upevnění desky plošných spojů k plastovému dílu byl použitý přípravek, jelikož by došlo k poruše desky, a ne v místě spoje, kterého byla snaha docílit. Z důvodu omezujících parametrů zkušebního zařízení nedošlo k selhání šroubového spoje. Pro danou aplikaci jsou všechny měřené výsledky akceptovatelné, jelikož spoj přenáší pouze zlomek tahového zatížení, kdy se jedná převážně o vlastní tíhu dílů. Použitím šroubového spoje lze cílit na snížení počtu spojovacích prvků.

Navržený srovnávací propočet ekonomické stránky vybraných montážních technologií byl aplikován na konkrétní příklad záměny tavných pinů za samořezné šrouby. Ačkoli jsou počáteční náklady na montáž šrouby 1,75násobně nižší a počet spojovacích prvků je menší, jejich použití z hlediska velkosériové výroby je nevýhodný z důvodu vyšších variabilních nákladů. V tomto případě dojde k vyrovnání nákladů obou montážních technologií při 203 767 kusech z celkového počtu 500 000. Na konci výrobní série by byla montáž samořeznými šrouby nákladnější o 22,8 %, což činí rozdíl 1 744 550 Kč u tohoto konkrétního příkladu. Aplikaci šroubů v této oblasti lze doporučit pro menší výrobní série. Při znalosti vstupních parametrů lze tento navržený propočet použít pro určení, jakou montážní technologii bude výhodnější použít.

Výsledky této práce budou představeny a dále konzultovány ve společnosti PO pro další zpracování ve firmní dokumentaci. Pevnostní zkouška bude sloužit pro informativní účely a pro případné podrobnější analýzy. Ekonomický propočet bude dále optimalizován pro přesnější předběžný návrh vhodného spojení.

---

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *Konstrukční návody, předpisy a projektová data*. PO LIGHTING, Česká republika, 2022.
  2. *Plastic Omnium* [online]. Francie: Plastic Omnium [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.plasticomnium.com/>
  3. SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi*. Praha: Dashöfer, 1999. ISBN 80-86229-15-7.
  4. TROUGHTON, Michael John. *Handbook of plastics joining: a practical guide*. 2nd ed. Cambridge, UK: TWI/The Welding Institute, c2008. ISBN 978-0-8155-1581-4.
  5. SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE, Richard G. BUDYNAS, Martin HARTL a Miloš VLK. *Konstruování strojních součástí*. V Brně: VUTIUM, 2010, xxv, 1159 s.: il.; 26 cm. ISBN 978-80-214-2629-0
  6. HEADLAMP BONDING. *Sika Automotive* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://automotive.sika.com/en/solution-products/exterior-adhesives/headlamp-bonding.html>
  7. Tepelné nýtování – Heat Staking. *METESS* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: [http://i0.cz/s/nosf/w1-EXz/378564/Prospekt\\_tepelne\\_nytovani\\_V4.pdf](http://i0.cz/s/nosf/w1-EXz/378564/Prospekt_tepelne_nytovani_V4.pdf)
  8. ‘Revolutionary’ Heat-Staking Process for Auto Interior Trim, Lighting Electronics, Medical Devices. *Plastic Technology* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.ptonline.com/products/revolutionary-heat-staking-process-for-auto-interior-trim-lighting-electronics-medical-devices>
  9. HÄRTEL, Sebastian, Eric BRUECKNER, Birgit AWISZUS a Michael GEHDE. *Development of a Numerical Model of the Hot Air Staking Process Based on Experimental Data* [online]. 2020 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: doi:10.3390
  10. RAMISETTY, Sai Bhaskar. *Week 9 - Project 1 - Door Applique Design with Engineering Features* [online]. In.: 27. červen 2021 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://skill-lync.com/student-projects/week-9-project-1-door-applique-design-with-engineering-features-125>
  11. Guide to Ultrasonic Plastics Assembly. *DUKANE* [online]. c1996-2011 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://documents.dukane.com/DesignGuides/Guide%20To%20US%20Plastic%20Assembly.pdf>
  12. Svařování ultrazvukem. *ODBOR TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ A POVRCHOVÝCH ÚPRAV* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: [https://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_svarovani\\_ultrazvukem\\_mrna.pdf](https://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_svarovani_ultrazvukem_mrna.pdf)
  13. *ANTEC 2009 Plastics: Annual Technical Conference Proceedings: INFRATAKE – STAKING AT THE SPEED OF LIGHT*. 2009. USA.
  14. InfraStake. *EXTOL* [online]. c2023 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.extolinc.com/technology/infrastake/>
  15. Heat Staking Design Guidelines. *PAS Plastic Assembly Systems* [online]. USA [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.heatstaking.com/heatstaking-design-guidelines/>
  16. HEAT STAKING FUNDAMENTALS. *AMADA* [online]. Germany: AMADA, c2015 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.amadaweldtech.eu/sites/default/files/documents/whitepapers/AMYE%20Heat%20Stake%20Technical%20document%2003-2016.pdf>
-

- 
17. How to determine the strength of a plastic staking joint. *Extol* [online]. USA: Extol, c2023 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://blog.extolinc.com/how-to-determine-the-strength-of-a-plastic-staking-joint>
  18. The basic principle of PHASA staking. *PHASA* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.agaria.se/wp-content/uploads/2014/09/PHASA-Stake-Design-Guide.pdf>
  19. Why is my plastic sticking during the staking process?. *EXTOL* [online]. USA: EXTOL, c2023 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://blog.extolinc.com/why-is-my-plastic-sticking-during-the-staking-process>
  20. Engineered Threaded Fasteners for Plastics. *STANLEY Engineered Fastening* [online]. Stanley Black & Decker, c2015 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: [https://www.stanleyengineeredfastening.com/-/media/web/sef/resources/docs/other/threaded\\_fasteners\\_for\\_plastics.ashx](https://www.stanleyengineeredfastening.com/-/media/web/sef/resources/docs/other/threaded_fasteners_for_plastics.ashx)
  21. Self-tapping screws for plastics. *Engineering Product Design* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/self-tapping-screws-for-plastics/>
  22. Self-Tapping Fasteners. *Böllhoff* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.boellhoff.com/gb-en/products/special-fasteners/ejot-evo-pt-self-tapping-screw-for-thermoplastics/#c173>
  23. CELO Screws Technology. *CELO* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: [https://www.celofixings.es/import/catalogue\\_celo\\_industry.pdf](https://www.celofixings.es/import/catalogue_celo_industry.pdf)
  24. DELTA PT®. *EJOT* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: [https://www.ejot.cz/Spojovac%C3%AD-technika/V%C3%BDrobky/DELTA-PT%C2%AE/p/VBT\\_DELTA\\_PT](https://www.ejot.cz/Spojovac%C3%AD-technika/V%C3%BDrobky/DELTA-PT%C2%AE/p/VBT_DELTA_PT)
  25. Rozebíratelné a nerozebíratelné spoje či obojí?. *SVĚT PLASTŮ* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: [http://svetplastu.eu/doc/SP\\_ZARI\\_2010\\_PART22.pdf](http://svetplastu.eu/doc/SP_ZARI_2010_PART22.pdf)
  26. REMFORM® II F™ screw. *CELO* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.celofasteners.com/en/1646-remform-ii-f-screw>
  27. Plastite® Fasteners. *WCL* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.wclco.com/threaded-fasteners/screws-for-plastics-and-other-low-density-materials/plastite-fasteners/>
  28. TRES, Paul A. *Designing plastic parts for assembly*. 8th edition updated. Munich: Hanser, [2017]. ISBN 978-1-56990-668-2.
  29. IBI-ZAS screws. *CELO* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.celofasteners.com/en/1652-ibi-zas-screws>
  30. STEHLÍK, Hynek. *Analýza samotvářecích šroubů v plastových spojích*. Praha, 2017. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Jan Kanaval Ph.D.
  31. Technical handbook - Screws for Plastics. *CELO* [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.celofasteners.cn/img/cms/Cat%C3%A1logos%20industria/Screws%20for%20plastic%20CELO.pdf>
-

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

## Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
$F_{\max}$	maximální síla	[N]
$m_{\text{mzda/h}}$	náklady na operátora výrobní linky	[Kč·hod <sup>-1</sup> ]
$M_j$	náklady na operátora za smontovanou sestavu	[Kč]
$N_{E\dot{s}}$	náklady na energie na smontovanou sestavu šrouby	[Kč]
$N_{E\dot{s}j}$	náklady na energie na zašroubování jednoho šroubu	[Kč·ks <sup>-1</sup> ]
$N_{ETP}$	náklady na energie na smontovanou sestavu tavnými piny	[Kč]
$N_{ETPj}$	náklady na energie na jeden tavný pin	[Kč·ks <sup>-1</sup> ]
$n_{\text{sestava/h}}$	počet spojených sestav za hodinu	[hod <sup>-1</sup> ]
$N_{SM}$	náklady na spojovací materiál na smontovanou sestavu	[Kč]
$n\dot{s}$	počet šroubů	[ks]
$N_{\dot{s}\text{celkem}}$	celkové náklady na montáž šrouby celé výrobní série	[Kč]
$N_{\dot{s}j}$	cena jednoho šroubu	[Kč·ks <sup>-1</sup> ]
$N_{\dot{s}P}$	cena základacího přípravku pro montáž šrouby	[Kč]
$N_{\dot{s}S}$	cena šroubovací stanice	[Kč]
$n_{TP}$	počet tavných pinů	[ks]
$N_{TP\text{celkem}}$	celkové náklady na montáž tavnými piny celé výrobní série	[Kč]
$N_{TPP}$	cena základacího přípravku pro montáž tavnými piny	[Kč]
$N_{TPS}$	cena stanice tavných pinů	[Kč]
$Q$	celková výrobní série	[ks]
$Q_0$	počet smontovaných jednotek k vyrovnání nákladů technologií	[ks]
$R$	rozdíl nákladů technologií na konci výrobní série	[Kč]
$U_{\%}$	procentuální úspora nákladů na konci výrobní série	[%]

## Zkratky

Označení	Legenda
PO	Společnost Plastic Omnium
LED	Elektroluminiscenční dioda
PC	Polykarbonát