

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera

**Technologie spojování plastových dílů s důrazem na  
ultrazvukové svařování**

Bc. Michal Třešňák

Diplomová práce

2015

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Michal Třešňák  
Osobní číslo: D13648  
Studijní program: N3708 Dopravní inženýrství a spoje  
Studijní obor: Dopravní prostředky: Silniční vozidla  
Název tématu: Technologie spojování plastových dílů s důrazem na ultrazvukové sváření  
Zadávací katedra: Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

- 1) Teorie spojování
- 2) Porovnání technologií spojování z ekonomického hlediska
- 3) Ultrazvukové svařování (US)
- 4) Volba materiálů, návrh optimálního designu, realizace návrhu a analýza spojení

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího práce  
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran textu a přílohy  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná  
Seznam odborné literatury:

**Firemní materiály firmy Kiekert**

ASM International Handbook Committee. (1993). ASM Handbook, Volume 06 - Welding, Brazing, and Soldering. ASM International. Online version available at:

<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpASMHVWB1/asm-handbook-volume-06/asm-handbook-volume-06>

Troughton, Michael J.. (2008). Handbook of Plastics Joining - A Practical Guide (2nd Edition). William Andrew Publishing. Online version available at:

<http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHPJAPGE2/handbook-plastics-joining-2/handbook-plastics-joining-2>

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Pavel Švanda, Ph.D.  
Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů

Datum zadání diplomové práce: 25. února 2015  
Termín odevzdání diplomové práce: 22. května 2015



doc. Ing. Ivo Drahošský, Ph.D.  
děkan

L.S.



doc. Ing. Michael Lata, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 25. února 2015

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č.121/200 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Teplicích dne 18. 5. 2015

Bc. Michal Třešňák

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat firmě Kiekert CS s.r.o., která mi umožnila tuto práci napsat a poskytla mi skvělé zázemí. Dále bych rád poděkoval pánům Ing. Janu Faitlovi a Ing. Bohumilu Lapkovi za cenné odborné rady a připomínky k mé práci a za jejich ochotu a pomoc při zařizování všeho potřebného pro tuto práci. V neposlední řadě bych rád poděkoval panu Pavlovi Křínkovi a panu Aleši Poskočilovi, kteří mi ochotně pomohli s výrobou prototypů a s měřením ve velice krátkém čase. Chtěl bych také poděkovat vedoucímu práce panu doc. Ing. Pavlovi Švandovi, Ph.D. za odborné vedení této diplomové práce. Na závěr bych rád poděkoval rodině, jenž mi byla při psaní oporou.

## **ANOTACE**

V první části této práce jsou srovnávány jednotlivé technologie spojování plastů. Mezi které patří: spojování klipy, spojování tepelným tvarováním (heat staking), šroubové spojení, svařování laserové, sváření / nýtování ultrazvukové a lepení.

Ve druhé části práce se zabývá analýzou návratnosti investice jednotlivých technologií a jejich vzájemným srovnáním.

Třetí část práce se věnuje popisu ultrazvukového svařování / nýtování. Uvádí popis ultrazvukové svářečky a jejích komponentů. Jsou zde uvedeny i důležité parametry pro svařování.

Poslední část práce se zaměřuje na určení materiálů pro prototypy a návrhem jejich designu. Dále se práce soustředí na zkoušení pevnosti svařených prototypů z různých kombinací materiálů a jejich vyhodnocením vhodnosti pro sériovou výrobu.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Technologie spojování, Ultrazvuk, Návratnost investice, Zkoušky pevnosti, Sonotroda, Optimální design

## **TITLE**

Technology of plastic parts joining focused on the ultrasonic welding.

## **ANNOTATION**

The first part of this thesis is focused on technology of the plastic parts joining comparison. Which are: snap-fits, heat staking, screws, laser welding, ultrasound welding / riveting, and adhesive bonding.

The second part of this document concerns analysis of „Return of investment“ of plastic parts joining methods and their mutual comparison.

Next part is a closer view to ultrasonic fastening (welding and riveting). There is description of ultrasonic welding machine and of their components. There are mentioned an important parameters for the welding process too.

At the last part of this thesis are mentioned proposals for pin and hole optimal designs, that could be used in prototypes and there are designed materials for these prototypes too. Then it focuses on joint strength testing for different combinations of materials and pin & hole designs. Then the testing results are evaluated regarding to the requests of mass production.

## **KEYWORDS**

Technology of joining, Ultrasound, Return of investment, Strength tests, Optimal design

# OBSAH

---

1 Úvod.....	7
2 Technologie spojování plastů.....	8
2.1 Spojování klipy .....	8
2.2 InfraStake®.....	10
2.3 Šroubové spojení.....	11
2.4 Svařování .....	14
2.5 Lepení .....	22
3 Porovnání technologií spojování z hlediska návratnosti investice.....	25
3.1 Popis metody.....	25
3.2 Grafické znázornění výsledků .....	27
3.3 Porovnání .....	28
3.4 Doprovodné tabulky .....	30
4 Ultrazvukové svařování / NÝTOVÁNÍ.....	31
4.1 Části ultrazvukové svářečky .....	32
4.2 Důležité parametry pro svařování ultrazvukem.....	34
5 Volba materiálů, návrh optimálního designu a realizace Spojení.....	35
5.1 Volba materiálu.....	35
5.2 Návrh optimálního designu.....	36
5.3 Realizace spojení .....	39
6 Zkoušení pevnosti spojů.....	41
6.1 Postup měření .....	41
6.2 Vyhodnocení měření.....	41
7 Závěr .....	51
8 Seznam Obrázků .....	53
9 Citovaná literatura.....	54
10 Přílohy.....	55



# 1 ÚVOD

---

Firma Kiekert se již od roku 1857 zabývá vývojem, výrobou a prodejem kompletních řešení šitým na míru zákazníkům v šesti vývojových, šesti výrobních a dvou prodejních místech po celém světě. Hlavními produkty firmy Kiekert jsou boční zámky automobilových dveří, zámkové moduly, zámky zavazadlových prostorů a kapot automobilů a výroba pohonů například pro elektrické zavírání a otevírání dveří, pohon posuvných dveří, pohon víček nádrží, pro otevírání kapot a také pro mnoho dalších oblastí. Ve firmě Kiekert vyvinuli například centrální zamykání a elektro-mechanické dovírání dveří. Firma Kiekert má hlavní sídlo v Heiligenhausu v Německu. Další pobočky firmy jsou v Přelouči v České Republice od roku 1993, ve Wixomu v USA od roku 1994, v Pueble v Mexiku od roku 1995, v roce 2008 vznikla pobočka v Changshu v Číně a v roce 2014 se otevřel závod v Naberezhnye Chelny v Rusku. Celkově firma zaměstnává více jak 5100 lidí a vlastní více jak 1200 patentů. Ve firmě Kiekert vždy hledí do budoucnosti a snaží se při vývoji i montáži svých produktů používat veškeré inovace a dostupné nejmodernější technologie na trhu. Proto jsem si vybral tuto práci jako jedno z témat, které mi firma Kiekert nabídla.

Cílem této práce bylo navrhnout prototypy pinů a podložek, které budou ultrazvukově snýtovány a poté podrobeny tahové zkoušce pro zjištění pevnosti spoje. Pro firmu Kiekert bylo důležité, aby byly otestovány prototypy v různých kombinacích materiálů. Dostal jsem zadané dva materiály: POM (PolyOxiMetylen) a PBT 30 GF (PolyButylenTereftalát s 30% skelných vláken). Ty byly vybrány, protože to jsou jimi nejběžněji používané plastické materiály při výrobě zámků.

V první části práce se zabývám porovnáním jednotlivých technologií spojování plastových dílů. Ty jsou poté vzájemně porovnány metodou návratnosti investice. V poslední části práce se zabývám vlastním návrhem prototypů, jejich svařením a vyhodnocením pevnosti s ohledem na požadavky, které jsou na zámkové systémy kladeny. V závěru po všech analýzách navrhu nejvhodnější design a materiály, které dle mých výsledků budou pro ultrazvukové spojování materiálů tou nejvhodnější volbou.

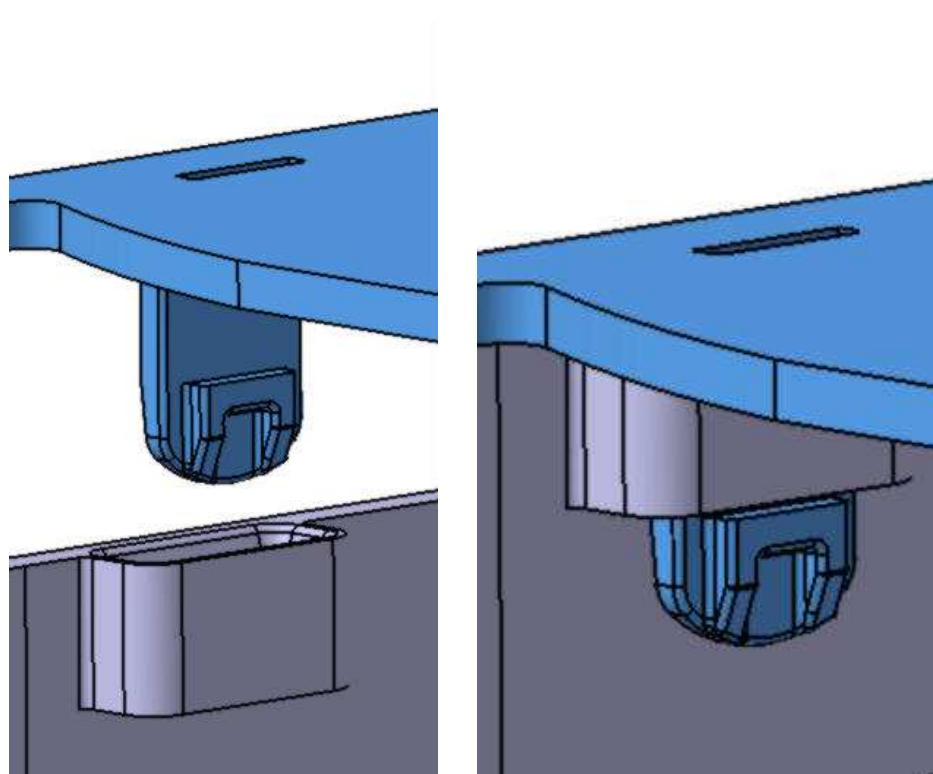
## 2 TECHNOLOGIE SPOJOVÁNÍ PLASTŮ

---

### 2.1 Spojování klipy

#### 2.1.1 Princip

Jedná se o jednoduchý rozebíratelný způsob spojení dvou součástí. Princip spočívá v západkovém systému, jenž je tvořen samotnými spojovanými díly. Výčnělek na jedné ze spojovaných součástí je při montáži na krátkou dobu vychýlen ze své přirozené polohy, aby se zachytil za výřez, hranu nebo prohlubeň ve druhém dílu. (Obrázek 1) Síla potřebná pro spojení závisí od designu klipu. Po krátkém působení napětí během procesu spojování je klip odolný proti vibracím a obvykle není zatížen napětím. Existuje mnoho variant klipů a jejich provedení.



Obrázek 1 - Princip klipového spojení

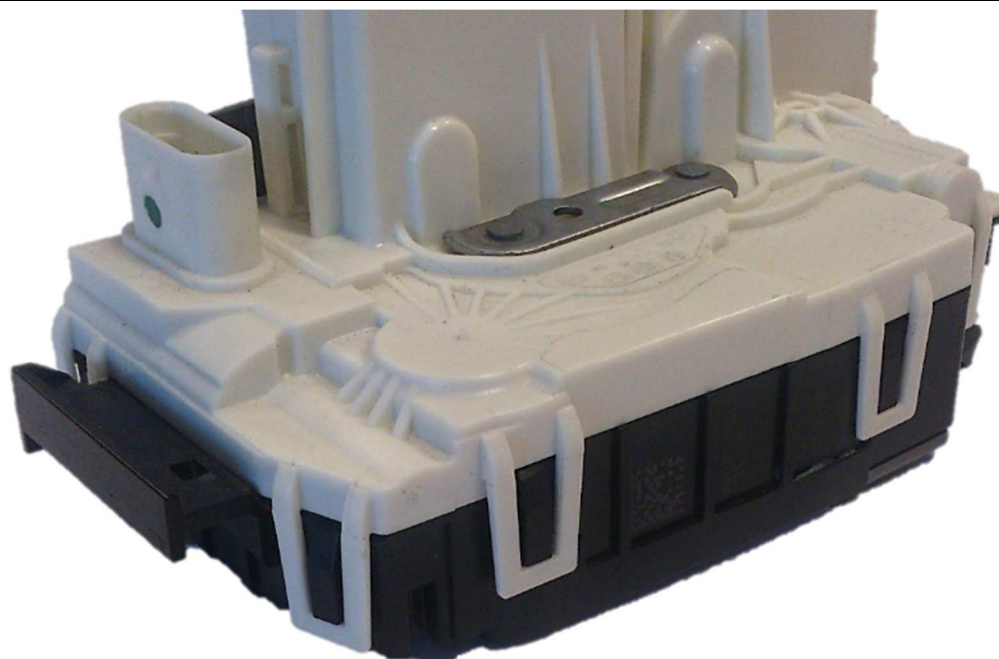
Klipy jsou jedním z neekonomičtějších, nejrychlejších a nejoblíbenějších způsobů spojování. Jejich použití při výrobě roste, díky trendu zjednodušovat výrobní proces a snižovat výrobní náklady, protože při použití klipů odpadá nutnost použití dalších výrobních nástrojů. Touto technologií se dají spojit stejné i různé plasty nebo se dají spojit plastové díly s kovovými. Spojení může být koncipováno jako trvalé nebo pro opakovatelné rozebírání.

U některých typů klipů lze dosáhnout hermetického nebo alespoň vlhku-odolného spojení. Klipová spojení jsou v porovnání s jinými mechanickými způsoby spojování náročnější na konstrukční návrh. Vlivem nevhodného designu může dojít k poruše ještě před montáží, během ní nebo při užívání. Pro některé návrhy jsou dostačující ruční výpočty, ale pro komplikovanější provedení je konečný návrh nutné podrobit softwarové kontrole. Příklad klipového spojení je zobrazen na obrázku (Obrázek 2).

## 2.1.2 Výhody a nevýhody spojování klipy

Tabulka 1 - Výhody a nevýhody klipových spojení (1)

Výhody	Nevýhody
<p>Jednoduchá montáž</p> <p>Není potřeba spotřební materiál navíc (šrouby, lepidlo, držák,...)</p> <p>Lze spojovat díly z různých materiálů (kov - plast, plast - sklo,...)</p> <p>Možnost vytvoření rozebíratelného i nerozebíratelného spoje</p> <p>Oproti ostatním technologiím nižší pořizovací náklady na montážní vybavení</p>	<p>Náchylnost k praskání klipů</p> <p>Vlivem prostředí se mohou začít povolovat</p> <p>Komplikovaněji se dosahuje vodotěsných spojů</p>

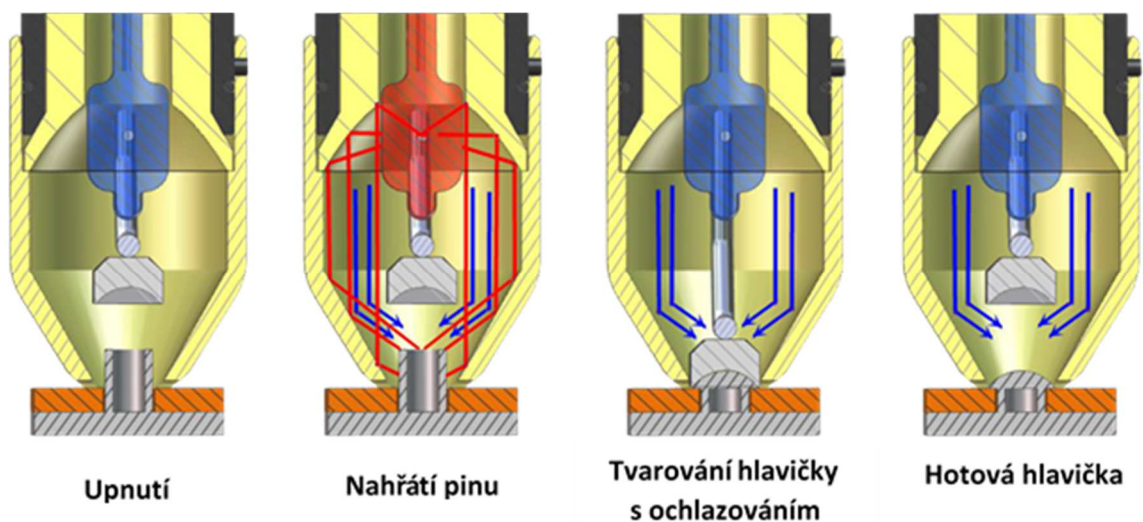


Obrázek 2 - Příklad klipového spoje (6)

## 2.2 InfraStake®

### 2.2.1 Princip

Tento proces je velmi vhodný pro spojování dílů vyrobených z různých materiálů, což může být například spojení kovu s plastem. Plastový díl má navrženy výstupky, které mají přesné rozměry, aby lícovaly do díry ve druhém díle. Výstupek je poté deformován buď za studena, nebo roztavením plastu do tvaru určeného spojovací hlavou. Tím dojde k mechanickému spojení dílů. Tepelné tvarování je rychlý a ekonomický proces, který nevyžaduje další spotřební materiál, jako jsou nýty nebo šrouby. Tohoto spojování lze použít výhradně pro spojování termoplastů. Princip je znázorněn na obrázku (Obrázek 3). Nejprve dojde k nahřátí pinu horkým vzduchem. Když má požadovanou teplotu, tak se pomocí zahřátého nástroje (formovací hlavy) zformuje na požadovaný tvar. Například dojde k vytvoření hlavičky, jak je vidět na obrázku.



Obrázek 3 - princip tepelného tvarování (7)

## 2.2.2 Výhody a nevýhody tepelného tvarování

Tabulka 2 - Výhody a nevýhody tepelného tvarování

Výhody	Nevýhody
Možnost spojení dvou různých materiálů - jedním z nich musí být termoplast	Spoj se může uvolnit vlivem rozdílné tepelné roztažnosti spojovaných materiálů
Poškozené, či vyřazené díly se dají snadno rozebrat a recyklovat	Pracoviště musí být dobře odvětráváno - dochází k uvolňování výparů při ohřívání pinu
Pořizovací náklady na vybavení bývají v porovnání s např. ultrazvukovým svařováním nižší	Spojení jsou nerozebíratelná
	Vytvarovaná hlavička nemusí být vždy vzhledově přijatelná
	Relativně dlouhé nahřívání pinu - pomalejší proces v porovnání s ultrazvukovým svařováním

## 2.3 Šroubové spojení

### 2.3.1 Šrouby, matice a podložky

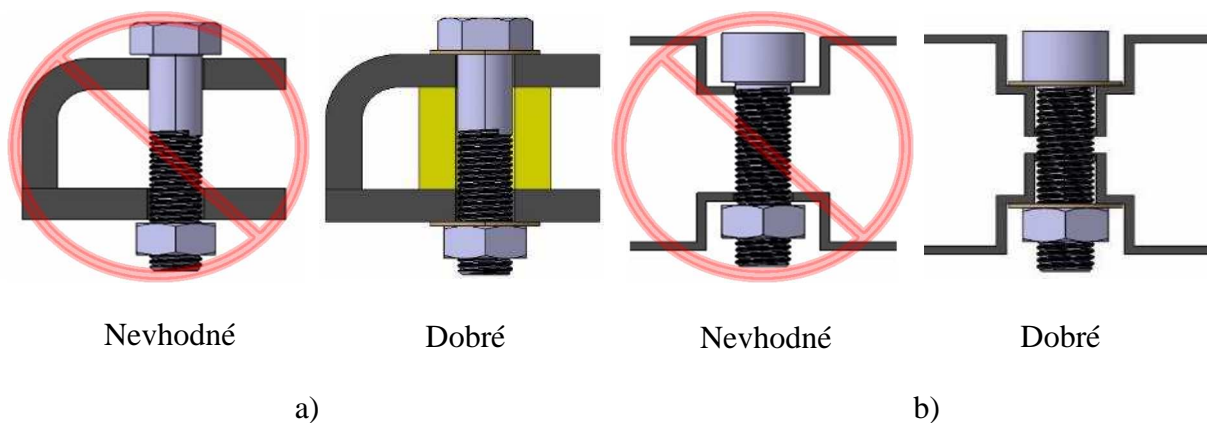
Jedná se o způsob nepermanentního spojení dílů, které mohou být spojovány a rozebírány až do doby, kdy dojde k selhání spojovaného materiálu. K poruše obvykle dochází díky tahovému napětí, které může vzniknout díky vysokému namáhání. Pro minimalizaci možného vzniku poruchy je pro šroubový spoj více žádoucí tlakové napětí, protože má nižší vliv na tvorbu prasklin v místě spoje.

Šrouby používané pro spojování plastových dílů by měly mít rovnou dosedací plochu. Ty s kuželovou dosedací plochou (šrouby se zápusťnou hlavou) mohou díky vklínění své hlavy do materiálu, vyvolávat potenciálně vysoké tahové napětí. Šrouby s rovnou dosedací plochou se nevklínují do spojovaného dílu a díky tomu vytvářejí tlakové napětí. Pro spojování plastových dílů je vhodné použít plochou podložku pod šroub, aby pomohla rozložit sílu, jenž vzniká dotahováním šroubu.

Aby ve spojovaném dílu, jenž je realizován průchozími šrouby či závitovými tyčemi s maticemi, docházelo ke vzniku tlakového napětí, musí být mezera mezi spojovanými díly eliminována například použitím distančních (vymezovacích) podložek (Obrázek 4 – a.). Některá provedení, například delší díry pro šrouby, by měly mít mezery mezi dosedacími plochami děr,

aby se předešlo vzniku vysokého ohybového napětí nebo zkroucení dílu při utahování spoje viz také (Obrázek 4 – b.).

Při použití vysokého utahovacího momentu mohou vznikat nadměrné tlakové síly v místě spoje. Pro snížení těchto sil ve spojovaných dílech se použije nižší utahovací moment, šroub s větší hlavou, nebo ploché podložky pod hlavu i pod matici. Při spojení plastového dílu s kovovým mohou snížit tlakové napětí lícované šrouby nebo vymezovací podložky. (1)



Obrázek 4- Návrh díry ke snížení ohybového napětí: a) použití vymezovacího kroužku, b) využití navržené mezery mezi otvory

### 2.3.2 Samořezné šrouby

Samořezné šrouby se montují do vyvrtaných nebo tvarovaných děr. Tyto šrouby se buď fyzicky prořežou skrze materiál, aby vytvořily závit, nebo tvoří lícující závit k závitů vytvořenému ve spojovaném materiálu. Montáž pomocí samořezných šroubů je rychlá a nevyžaduje matice k zajištění spoje. Jedná se o populární způsob spojování dílů, kterým je dosahováno i vysoké spojovací síly. Nesprávná montáž, například protočení šroubu, může mít za následek poškození závitu, který povede k znehodnocení spoje a mohlo by dojít až k rozpojení spojovaných dílů. Příklad šroubového spojení je na obrázku níže (Obrázek 5).

### 2.3.3 Výhody a nevýhody šroubových spojení

Tabulka 3 - Výhody a nevýhody šroubových spojení (1)

Výhody	Nevýhody
Malá náročnost na geometrickou přesnost spojovaných dílů	Nutnost použít díl navíc (šroub) - narůstající variabilní náklady
Rychlá montáž - malé časové nároky operace při výrobě	Vyšší nároky na logistiku - zásobování
Snadná výstupní kontrola	Pro dobře utěsněný spoj nutné použít těsnění
Vysoká stabilita procesu	Vlivem rozdílné tepelné roztažnosti materiálů může dojít k povolání spoje
Možnost rozebrání a znovusložení dílu	Omezený počet opakovatelného rozebírání
Možnost vytvořit dobře utěsněný spoj např. oproti klipům	



Obrázek 5 - Příklad šroubového spojení samořeznými šrouby (6)

## 2.4 Svařování

### 2.4.1 Ultrazvukové svařování/nýtování

#### *Popis procesu*

Ultrazvukové svařování je jednou z nejvíce používaných metod pro spojování termoplastů, která využívá ultrazvukovou energii o vysokých frekvencích, které jsou řádově 20 až 40 kHz, k vytvoření mechanických vibrací o nízké amplitudě. Ta se pohybuje přibližně v rozmezí 1  $\mu\text{m}$  až 25  $\mu\text{m}$ . Vibrace, které se přenášejí na spojovaný materiál pomocí tzv. „Sonotrod“ (ultrazvukových hlavic), generují teplo na styčných plochách spojovaných dílů, což vede k roztavení materiálu a následnému vytvoření svaru po jeho vychladnutí. Sonotrody jsou nezbytné pro ultrazvukové svařování/nýtování, přičemž jejich hlavice mohou mít různé tvary. Příklad tvaru hlavice se středícím kolíkem pro lepší navedení hrotu do pinu je na obrázku (Obrázek 6). Ultrazvukové svařování je nejrychlejší svařovací technologie, při které svařování trvá obvykle v jednotkách sekund. Oproti tepelnému tvarování je až dvakrát rychlejší.



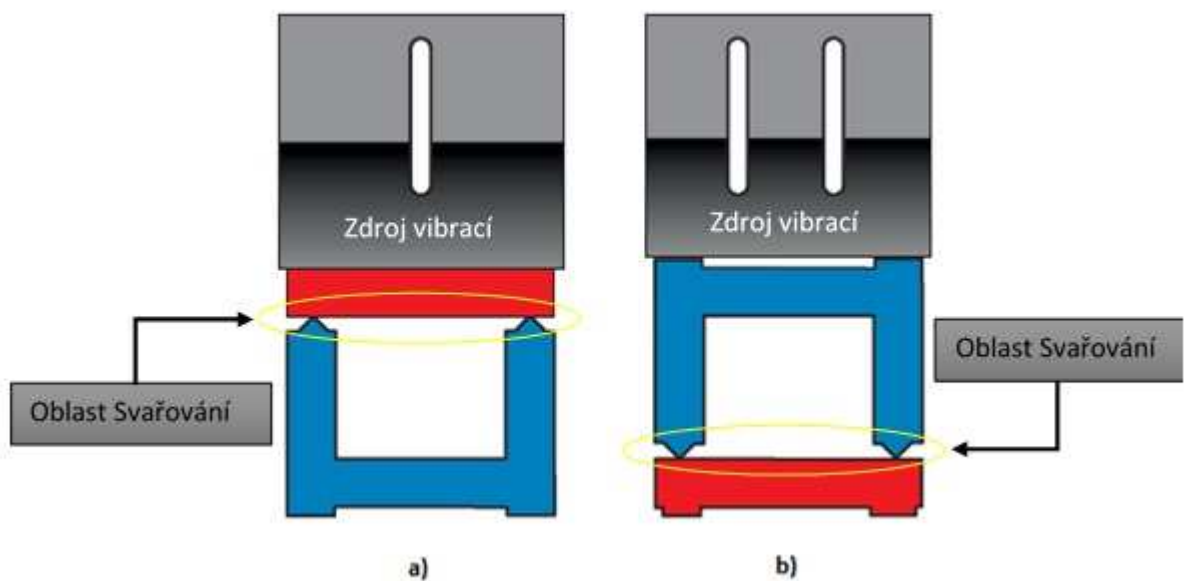
Obrázek 6 - Sonotroda pro ultrazvukové svařování (11)

Kromě svařování je ultrazvuková energie používána i pro jiné procesy, například pro vkládání kovových částí do plastových nebo pro tvarové spojení komponentů z odlišných materiálů přetvářením termoplastů (např. nýtování).

Pokud je termoplastický materiál vystaven ultrazvukovým vibracím, tak se v materiálu generují stacionární sinusové vlny. Část z této energie je přeměněna na mezimolekulární tření, jehož důsledkem je generování tepla v přetvářeném materiálu. Část tohoto tepla je přenesena na spojovanou plochu, kde tření způsobí lokální ohřev materiálu. Optimální přenos ultrazvukové energie v dotykové ploše a následující chování materiálu při tavení, je závislé jak na tvaru součásti, sonotrody, tak na schopnosti materiálu absorbovat ultrazvukovou energii.



Čím blíže je zdroj vibrací od místa svaru, tím méně energie se zmaří absorpční schopností materiálu pohlcovat ultrazvukovou energii. Pokud je zdroj od místa sváření vzdálen do 6,4 mm, jedná se o takzvané svařování v blízkém poli (Obrázek 7 – a.). To se používá pro krystalinické materiály a materiály s nízkou tuhostí. Pokud je zdroj vibrací od místa sváření vzdálen více, pak se jedná o svařování ve vzdáleném poli (Obrázek 7 – b.). Tato metoda se používá pro amorfnní materiály a pro materiály s vysokou pevností, které mají nízkou schopnost absorbovat ultrazvukovou energii.



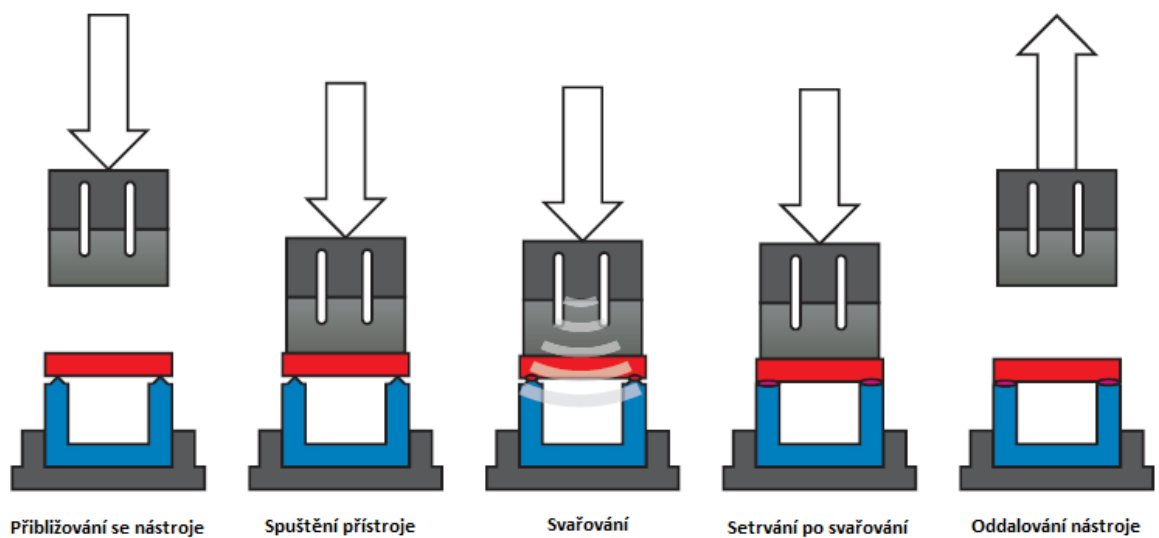
Obrázek 7 - a) svařování v blízkém poli, b) svařování ve vzdáleném poli (4)

Generované teplo je nejvyšší na styčném povrchu v důsledku jeho nerovností. Ten je vystaven vyššímu napětí a třecí síle, než zbývající část dílu.

Pro mnoho užití ultrazvukového svařování je v horním dílu (toho, který je ve styku se sonotrodou) vymodelován trojúhelníkový hrot, označovaný jako směrovač energie. Ten je použit pro zaměření ultrazvukové energie na svařovaný povrch.

Během svařování jsou vibrace kolmé na spojovaný povrch a špička směrovače energie je přitlačována do kontaktu s jednou ze svařovaných částí. V tomto místě se vytváří nejvíce tepla, tím dochází k tavení a proměně směrovače energie do svaru během první fáze svařovacího procesu. Ze začátku je rychlost tavení vysoká a pak se zpomalí, tím jak dochází k natavování většího objemu materiálu. Ve druhé fázi se oba povrchy dostanou do plného kontaktu a rychlost tavení opět narůstá. Ve třetí fázi nastává ustálený stav. Kde je tavenina rovnoměrně rozprostřena po povrchu, má stejně vysokou teplotu v celém svém objemu a tvoří tloušťku svaru. Po

uplynutí určitého času, či po dosažení určitého výkonového stupně nebo vzdálenosti dojde k odpojení napájení a ultrazvukové vibrace ustanou. To je začátek čtvrté fáze, při které je udržován konstantní přídržný tlak na spojované díly, aby došlo k rovnoměrnému rozprostření taveniny ve svarovém rozhraní. Tím dojde k promísení spojovaných materiálů na molekulární úrovni a svar poté chladne. Po vychladnutí dojde k odlehčení přtlaku od sonotrody a ta se vrátí do výchozí pozice. Princip ultrazvukového svařování je zjednodušeně znázorněn na obrázku (Obrázek 8).



Obrázek 8 - Princip ultrazvukového svařování (4)

### 2.4.1.1 Výhody a nevýhody ultrazvukového svařování

Tabulka 4 - Výhody a nevýhody ultrazvukového svařování (1)

Výhody	Nevýhody
Vysoká efektivita výroby	Velké plochy (větší než 250x300 mm) musí být svařovány ve více operacích
Snadná automatizace výroby	Vibrace mohou poškodit elektro komponenty v blízkosti svaru
Vytváří vysokopevné kompaktní spoje	Hodně složité součástky mohou vyžadovat drahé upínací přípravky
Nejrychlejší ze všech metod spojování po klipovém spojení	Mohou vznikat otřepy a prachové částice okolo svaru
Pracoviště nemusí být speciálně odvětráváno - oproti tepelnému tvarování	Než dojde k natavení materiálu, může být proces hlučný
Vysoká flexibilita - lze jednoduše měnit sonotrody, pro různé výrobky	Mohou vznikat praskliny mimo svařovanou oblast v důsledku přenosu vibrací
Vysoká čistota svaru bez degradace materiálu - použití ve zdravotnickém a potravinovém průmyslu	

### 2.4.2 Laserové svařování

#### Princip

Laserové svařování pro termoplasty bylo poprvé představeno v sedmdesátých letech a koncem devadesátých let začalo být používáno pro sériovou výrobu. Tato technologie je vhodná pro spojování jak fólií, lisovaných termoplastů, plechů, tak i textilií. Pro roztavení materiálu ve společné oblasti (v místě svaru), se využívá laserového paprsku. Lasery vynikají precizností směřování požadovaného množství energie na navrženou pozici, přičemž se tento paprsek dá snadno ovládat a regulovat. Velikost (šíře) laserového paprsku se může pohybovat v rozmezí 10  $\mu\text{m}$  až 100 mm.

#### Interakce laserového paprsku (světla) s polymery

Jakmile záření zasáhne povrch materiálu, část z jeho energie se odrazí, část se absorbuje a zbytek se vyzáří do okolí. Pro laserové spojování materiálu musí být energie absorbována efektivně ve správném místě.

Druh vzájemného působení paprsku s povrchem bude závislý na následujících faktorech:

- na typu materiálu a jeho přísadách
- na typu povrchové úpravy dílu
- na vlnové délce laseru
- na intenzitě laseru (výkon, kvalita paprsku, šíře či průměr paprsku)
- na rychlosti pohybu paprsku po povrchu

Když dojde k absorpci laserového záření povrchem polymeru, tak mohou nastat dvě situace, které jsou závislé na vlnové délce:

- záření o krátké vlnové délce (méně než 350 nm nebo délce odpovídající ultrafialovému záření (UV)) způsobí vznik fotolytické reakce, při které je fotonová energie dostatečně vysoká, aby dokázala přetrhat chemické vazby. Tento proces je někdy nazýván jako studené zpracování, které může být použito pro řezání, chemické vytvrzování nebo pro jiné chemické změny. Například: pro značkování dílů díky změně barvy po působení laseru.
- záření o dlouhé vlnové délce (delší než 350 nm zasahující až do infračerveného záření (IR)) způsobuje vznik pyrolytických procesů, které vyvolávají zahřívání. Tohoto procesu se využívá pro tavení, což je principem pro svařování. Použitím vyšší intenzity paprsku se docílí odpařování (čištění) či tepelné degradaci (laserové řezání).

Polymery dovedou laserový paprsek nejen absorbovat, ale také rozptylovat. Tento jev je obzvláště důležitý pro semikrystalické polymery, kde je jejich vnitřní struktura často vhodná pro rozptylování UV, viditelného nebo IR záření. Těchto polymerů se využívá jako filtrů proti těmto typům záření (například sluneční brýle s UV ochranou).

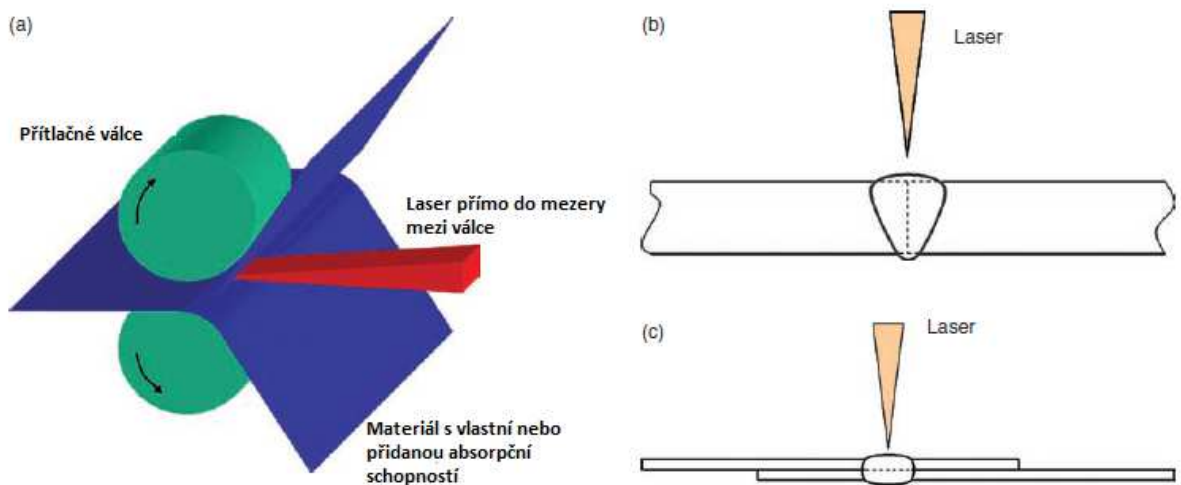
Existují dvě metody laserového svařování: metoda „Přímého laserového svařování“ a metoda „Propustného laserového svařování“.

### 2.4.2.1 Přímé laserové svařování

Při přímém laserovém svařování (Obrázek 9) jsou materiály zahřívány z vnějšího povrchu přibližně do hloubky několika milimetrů. Na obrázku jsou vidět tři příklady přímého laserového svařování:

- a) kontinuální svařování mezi válci
- b) přímé svařování – tupý svar
- b) svařování fólií

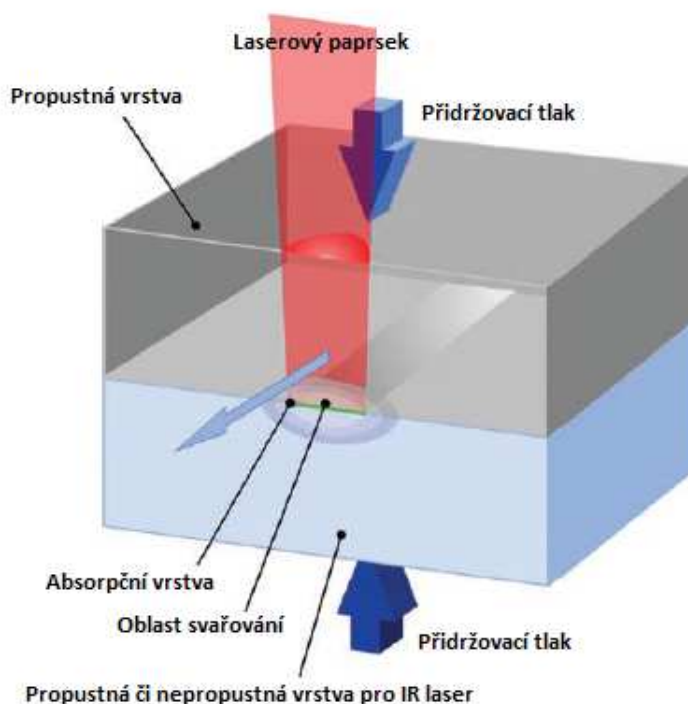
Obvykle se do plastu nepřidávají žádné pohlcovače záření. Běžně se používají zdroje o vlnové délce 2 až 10,6  $\mu\text{m}$ . Při vlnové délce 10,6  $\mu\text{m}$  je záření silně pohlcováno povrchy plastů, což dovoluje vytvořit svary vysokou rychlostí v tenkých vrstvách. Vylepšené spoje mohou být vytvořeny s použitím propustného krycího plátu jako objímky a chladiče pro vytvoření tenčích svarů bez ztráty materiálu na povrchu. Při vlnové délce 2  $\mu\text{m}$ , kdy je síla absorpce nižší, může být použitý pevnolátkový laser (YAG - Yttrium Aluminium Granátový – laser) k vytvoření několika milimetrové tenké vrstvy svaru. (1)



Obrázek 9 - Princip přímého laserového svařování (1)

### 2.4.2.2 Propustné laserové svařování

Propustné laserové svařování je v dnešní době hojně využíváno pro spojování plastů v průmyslové výrobě. Zde se využívají lasery o vlnových délkách 0,8 až 1,1  $\mu\text{m}$ . Mezi ně patří lasery diodové, YAG a vláknové lasery. Záření o těchto vlnových délkách je hůře vstřebáváno přírodními plasty (bio plasty). Proto se do spodního dílu přidávají laser pohlcující aditiva, nebo se tato aditiva nanáší v tenké vrstvě na styčnou plochu. Spojované díly se před svařováním přesně umístí na pozici, poté laserový paprsek



Obrázek 10 - Propustné laserové svařování (1)

projde vrchním dílem a zahřeje povrch s aditivu na spodním dílu (viz Obrázek 10). Absorpční vrstva uvnitř nebo na povrchu spodního plastu, je převážně tvořena uhlíkem nebo průsvitnou



Obrázek 11 - Příklad propustného laserového svařování (7)

látkou schopnou pohltit IR záření. Tato vrstva umožňuje použití ke svařování širokou škálu dílů o různých barvách a vzhledech. Tento způsob je vhodný pro spojování tenkých dílů, než u přímého svařování. Tepelně ovlivněná oblast je omezená pouze na styčnou plochu, a proto se na povrchu nevyskytují žádné známky svařování. Maximální tloušťka vrchního dílu je dána propustností materiálu. Proto je použití tohoto laserového svařování možné pouze za předpokladu, že více

jak 10 % energie je propuštěno do svarového rozhraní. Tato metoda může být také použita pro svařování fólií a plechů. Laserový paprsek prochází přes obě součásti pouze v případě přidržování materiálu válci. Příklad spoje realizovaného metodou propustného laserového svařování je uveden na obrázku - (Obrázek 11).

### 2.4.2.3 Výhody a nevýhody laserového svařování

Výhody a nevýhody jsou popsány v tabulce níže:

**Tabulka 5 - Výhody a nevýhody Laserového svařování (1)**

Výhody	Nevýhody
<p>Automatizovaný proces</p> <p>Snadné sledování a kontrola kvality procesu</p> <p>Dá se docílit hermetického uzavření</p> <p>Velice rychlé svařování (&lt; 1 s) závisující na velikosti dílu (délece svaru)</p> <p>Žádný kontakt se zahřátým nářadím</p> <p>Bez vibrací</p> <p>Bez tvorby odletujících částic</p> <p>Přesné polohování svarů (50 μm či méně)</p> <p>Bez poškození povrchu</p> <p>Malé zbytkové napětí ve svaru</p> <p>Možnost svařovat složité tvary</p> <p>Pouze lokální ohřev - žádné tepelné poškození poblíž svaru</p> <p>Možnost současného svařování více vrstev</p> <p>Mohou být svařovány tenké, ohebné materiály nebo elastomery</p> <p>Vhodné pro polymery s vysokým bodem tavení a zároveň nízkou viskozitou taveniny, jako jsou např. polyamidy</p> <p>Dají se spojit rozdílné materiály díky použití IR-absorpční mezivrstvy</p> <p>Minimální nebo žádná emise světla</p>	<p>Vrchní díl musí propustit laserové záření</p> <p>Absorpční vrstva musí být součástí jednoho dílu, nebo jako mezivrstva ve spoji</p> <p>Vybavení může být cenově náročné</p> <p>Spojované povrchy musí mít vysokou jakost povrchu a být rozměrově přesné</p> <p>Přidržování dílů musí být správně navrženo, aby zajistilo kontakt při svařování</p> <p>V závislosti na použitém laseru musí být zajištěna bezpečnost a ochrana zdraví</p> <p>Některé materiály mají omezení tloušťky</p> <p>Nerozebíratelné spojení</p> <p>Svařované plochy mohou být pouze rovina x rovina</p>

## 2.5 Lepení

Lepení je jednou z nejuniverzálnějších metod spojování, které může být používáno pro fixování plastových dílů k sobě, nebo k jiným materiálům (kovům, keramikám, nebo ke dřevu). Je dostupná široká škála pevností spojů od nízko-pevných tmelů a těsnících hmot, které se používají k vyplňování spár a otvorů, až po vysoko-pevná konstrukční lepidla používaná v automobilovém a leteckém průmyslu.

V jednoduchosti se dá říci, že lepidlo je aplikováno na podkladní nebo přilnavé povrchy. K vlastnímu spojení součástí dochází přidržením lepených dílů k sobě na dobu nezbytně nutnou k vytvrzení.

### 2.5.1 Podstata lepení

Při tomto procesu dojde k vytvoření přilnavé síly mezi pojivem a přilnavým povrchem. Typ přitažlivé síly závisí na typu pojiva a spojovaného povrchu, která je obvykle kombinací některých nebo všech následujících sil:

- **Přitažlivé síly:** Vycházejí z vnitřní interakce mezi částicemi a spojovaným povrchem. V závislosti od typu částice (atomy nebo molekuly) se může jednat o slabou, dipolární, nebo chemickou reakci.
- **Elektrostatické síly:** Tyto síly se vyskytují díky iontovým vazbám mezi opačně nabitými částicemi nebo molekulami.
- **Difuzní síly:** Ty vyplývají ze vzájemného působení mezi přilnavým povrchem a lepidlem, jak difundují napříč spojem.

Sílu vnitřní vazby lze dodatečně posílit díky efektu makro a mikro vlivu povrchu (přes leptání, zdrsnění, broušení, ...), jenž má vliv na mechanické zabezpečení a třecí síly.

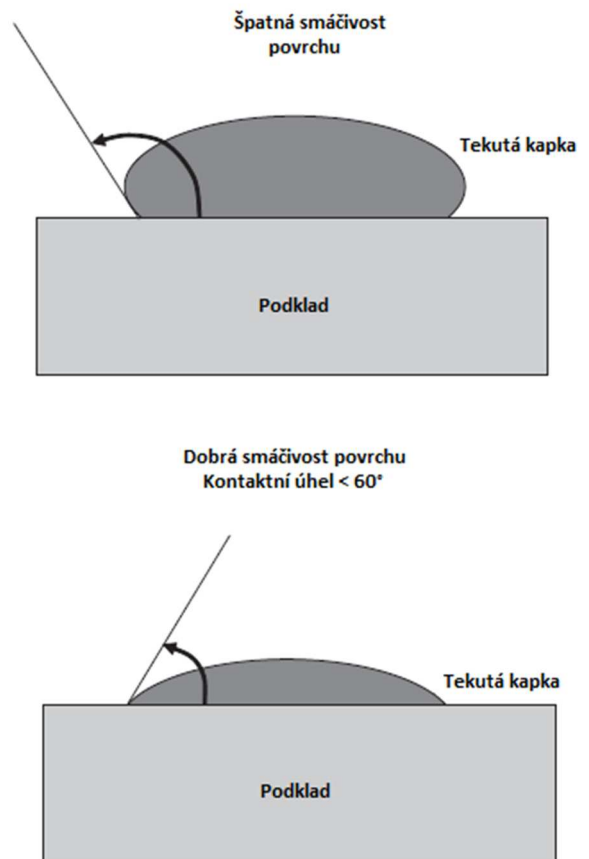
### 2.5.2 Vnitřní procesy a vliv přípravy povrchu na spojení

Pro přilnutí součástí k sobě je nezbytná dobrá smáčivost mezi lepidlem a lepeným povrchem. Dobré smáčivosti, jež je definovaná jako rozlití se kapaliny po pevném povrchu, se dosáhne tehdy, když je povrchové napětí tekutého lepidla nižší, než povrchové napětí lepené plochy. Díky vnitřním, nebo kohezním silám (přitažlivé síly mezi molekulami materiálu) mají kapaliny sklon přejít do tvaru, který minimalizuje jejich povrch. Jakmile kapička kapaliny s vysokým povrchovým napětím přijde do kontaktu s nižším, tak se bude snažit vytvořit co nejvíce kulový povrch. Pokud přijde kapička s nižším povrchovým napětím do kontaktu s plochou o



vyšším, tak bude mít tendenci se rozprostřít do co největší plochy. Organická rozpouštědla mají nízké povrchové napětí a tím pádem smáčejí povrchy mnohem snadněji, než voda - má vyšší povrchové napětí. Pokud bude povrchové napětí lepidla příliš vysoké, tak na přilnavém povrchu vytvoří kulovou kapku podobnou kapce, kterou vytvoří voda na navoskovaném autě, místo toho aby se rozprostřela po povrchu, jak je znázorněno na obrázku (Obrázek 12). Příklady hodnot pro různá lepidla a povrchy a kapaliny jsou vyobrazeny v následující tabulce (Příloha 1). Dobré smáčivosti se dosáhne, pokud kapička lepidla s povrchem (kontaktní plochou) svírá úhel nižší jak  $60^\circ$ . Špatná smáčivost povrchu je dána úhlem vyšším jak  $90^\circ$ . Zatímco povrchová energie každého ze spojovaných dílů je vázána na materiálové popřípadě chemické složení, špatná smáčivost povrchu se dá vykompenzovat použitím správné předúpravy povrchu.

Ačkoliv je lepení hlavně chemickým procesem, který nastává na povrchu spojovaných dílů, tak úspěšnost fixace je primárně závislá na přípravě povrchu a technikách manipulace a nanášení lepidla. Vhodná příprava spojovaných součástí je nezbytná pro pevné spojení. Lepené povrchy mohou vyžadovat zdrsňení pro zvýšení plochy povrchu a také zabezpečení proti vzájemnému pohybu. Měly by být čisté - bez nečistot, které by mohly ovlivnit pevnost spojení. (1)



Obrázek 12 - Princip dobré a špatné smáčivosti povrchu (1)

### 2.5.3 Výhody a nevýhody lepených spojů

Tabulka 6 - Výhody a nevýhody lepených spojů

Výhody	Nevýhody
<p>Vysoké efektivita oproti tepelnému tvarování</p> <p>Možnost spojit různé materiály mezi sebou: - fólie, plechy, tkaniny, speciální díly (sendvičové nebo plástvové materiály, brusné kotouče, ...)</p> <p>Lepením lze spojit hůře smontovatelné materiály - fólie, tkaniny s pevnými materiály</p> <p>Vznik trvalého nepropustného rovnoměrného spojení</p> <p>Některá lepidla pomáhají udržovat spojované díly na svém místě během vytvrzování</p> <p>Lepené spoje jsou vysoce odolné únavové degradaci</p> <p>Oproti mechanickému (šroubovému) spojení jsou spoje lehčí</p> <p>Proces se dá plně automatizovat</p>	<p>Limitovaná životnost některých lepidel</p> <p>Potřeba precizní povrchové úpravy - dražší díl, dodatečné technologie, ...</p> <p>Dlouhé doby vytvrzování některých lepidel</p> <p>Výpary z lepidel mohou být toxické a hořlavé - nutné odvětrání pracoviště</p> <p>Větší lepené plochy se obtížně kontrolují na homogenitu spojení</p> <p>Lepidla mají limitovanou tepelnou oblast použití</p> <p>Lepicí stroje mohou být drahé a náročné na servis</p> <p>Nutnost speciálního zacházení a skladování</p> <p>Některá lepidla jsou neekologická a drahá</p> <p>Stoupající variabilní náklady</p>

# 3 POROVNÁNÍ TECHNOLOGIÍ SPOJOVÁNÍ Z HLEDISKA NÁVRATNOSTI INVESTICE

---

## 3.1 Popis metody

Jedná se o metodu ROI (return of investment). Ta slouží pro zhodnocení výhodnosti různých projektů. Pro účely této práce bylo zvoleno srovnání výše uvedených metod spojování. Samotné spojované díly budou vyráběny metodou vstřikování plastů do formy. Pro možnost srovnání byly zvoleny následující jednotné výchozí parametry:

- délka výroby (plánovaná doba montáže dílu v letech)
- počet pracovních směn
- délka pracovní doby v hodinách
- plánovaný počet vyráběných kusů ročně (vážený průměr za celé období)
- takt linky v sekundách (čas potřebný na výrobu jednoho kusu)
- počet spojovacích míst na jeden produkt
- náklad na pracovníka (hodinový náklad na člověka v Eurech)
- počet pracovních dnů v roce

Některé z parametrů se zadávají přímo a další se z nich dopočítají. Mezi přímo zadávané patří: délka výroby, počet pracovních směn, délka jedné směny, plánovaný počet vyráběných kusů ročně, počet spojovacích míst na jeden produkt, náklad na pracovníka a počet pracovních dnů v roce. Takt linky se dopočítá dle vzorce:

$$\text{Takt linky [s]} = \left( \frac{\text{počet pracovních směn} \times \text{délka směny} \times \text{počet pracovních dnů}}{\text{plánovaný počet vyráběných kusů za rok}} \right) \times 3600$$

Všechny výše uvedené hodnoty jsou zobrazeny v tabulce (Tabulka 7). Pro výpočet celkových nákladů na jednotlivé technologie spojování je třeba znát:

- ME variabilní náklady
- ME fixní náklady
- PD + MM investice
- ME mzdový náklad a náklady na pracovníka
- Náklady na spotřební materiál

kde: ME            manufacturing engineering (výrobní inženýrství)  
PD            product development (vývoj produktu)  
MM            material management (oddělení nákupu)

Do variabilních nákladů ME se započítávají náklady na servis a opravy výrobních strojů. K fixním nákladům patří pořizovací náklady na výrobní stroje. PD náklady jsou náklady na vývoj produktu a do MM nákladů patří náklady na formy pro výrobu spojovaných dílů. Náklady na pracovníka se rovnají nejen časovému podílu potřeby pracovníka na pozicování dílů pro konkrétní způsob spojení, ale patří sem také vlastní montážní čas stroje. Oba tyto parametry spolu tvoří tzv. čas na montáž. Náklady na pracovníka se vypočítají dle vzorce:

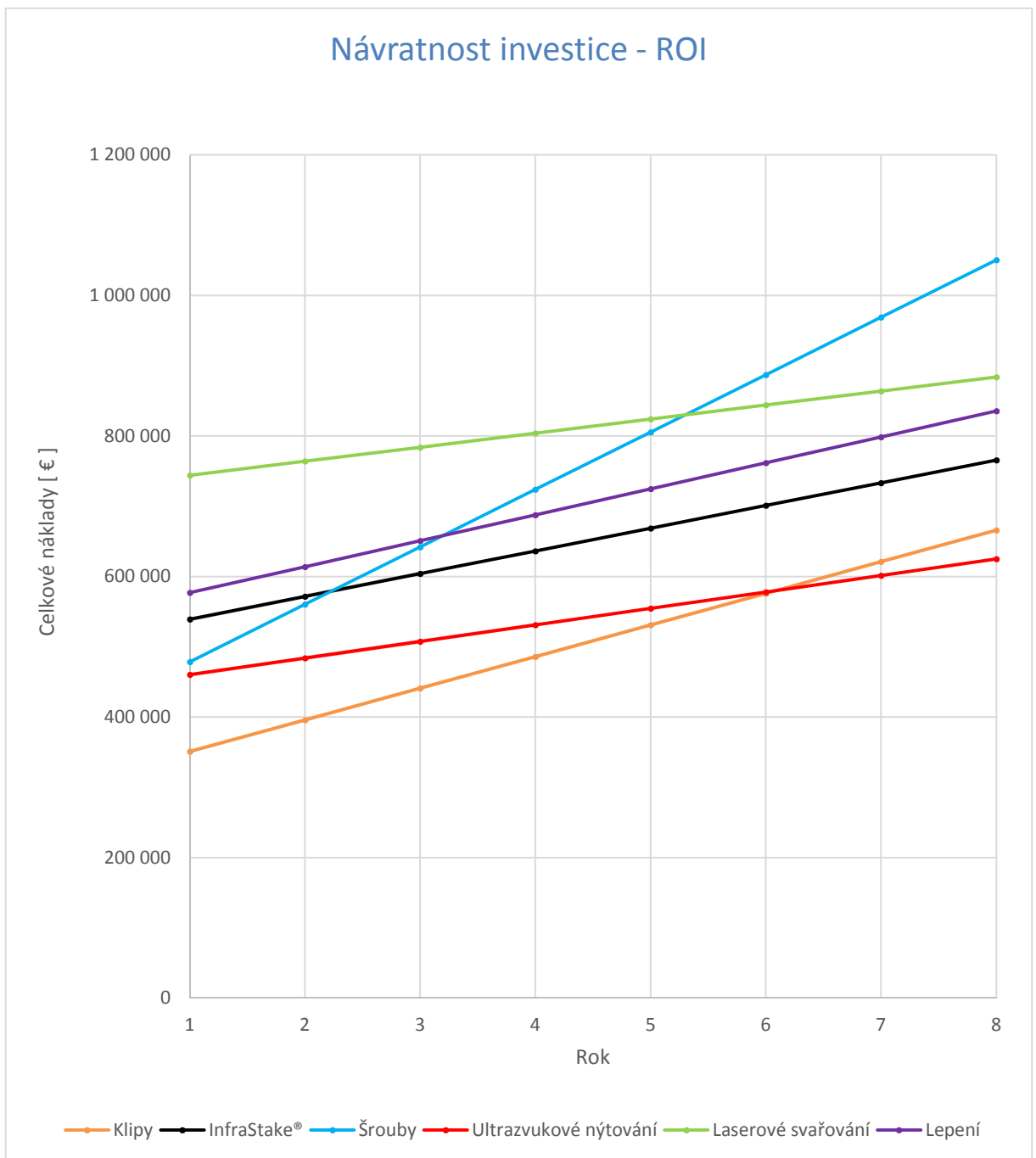
$$\text{Náklady na pracovníka [€ / ks]} = \left( \frac{\text{čas na montáž} \times \text{hodinový náklad na pracovníka}}{3600} \right)$$

Všechny vzorové hodnoty jsou uvedeny v tabulce „Náklady a investice“ (viz Tabulka 8). Celkové náklady se poté určí jako součet variabilních a fixních nákladů. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce „Celkové náklady“ (viz Tabulka 9).

Cílem metody ROI bylo porovnání technologií spojování plastových dílů, které jsou používány firmou Kiekert. Pro názorné porovnání jednotlivých způsobů byl vytvořen graf „Návratnost investice“ (Obrázek 13).

Do tohoto porovnání nevstupovaly náklady na finální odladění technologie a spuštění sériové výroby a některé další velmi detailní investice a náklady. Všechny parametry jsou zadávány na základě zkušeností firmy Kiekert s.r.o. a je uvažováno použití tzv. single montážního pracoviště.

### 3.2 Grafické znázornění výsledků



Obrázek 13 - Graf návratnosti investice

### 3.3 Porovnání

Účelem této metody bylo porovnání jednotlivých technologií spojování z hlediska návratu investic. Metoda ROI poskytla přehled o fixních i variabilních nákladech jednotlivých technologií, o vývoji růstu nákladů a informaci o rychlosti návratu investice.

Jak vyplývá z grafu (Obrázek 13), tak zpočátku nejlevnější metodou pro sériovou výrobu je klipové spojení. Kdy odhadované náklady v prvním roce výroby jsou nejnižší ze všech porovnávaných metod – konkrétně se jedná o 351 000 €, protože mají nejnižší přířizovací náklady na montážní technologii. Druhé nejnižší náklady v prvním roce výroby má ultrazvukové svařování / nýtování a to ve výši 460 500 €. Na konci předpokládané doby výroby – tj. po osmi letech, jsou celkové náklady na výrobu u těchto technologií následující:

- ultrazvukové spojování – 625 000 €
- klipové spojení – 666 000 €.

Proto je nejlevnější technologií pro sériovou výrobu ultrazvukové svařování. Nejpoužívanější technologií firmou Kiekert jsou v současné době klipová spojení. Oproti nim je ultrazvuk v prvním roce o 109 500 € dražší, ale již po sedmiletých se technologie ultrazvukového nýtování začne vyplácet (úspora 19 500 €) a po osmi letech dojde k celkové úspoře ve výši 41 000 €.

Současný trend firmy Kiekert je ultrazvukovou technologii spojování více rozšířit a implementovat jí ve větší míře do sériové výroby.

Třetí nejlevnější technologií v prvním roce výroby jsou šroubová spojení. Celkové náklady jsou v prvním roce 478 684 €. Avšak již mezi druhým a třetím rokem náklady této metody převyšují náklady na technologii InfraStake®, mezi třetím a čtvrtým rokem překonají také náklady lepení a mezi pátým a šestým rokem dojde k protnutí křivky laserového svařování. Po osmi letech plánované výroby se celkové náklady vyšplhají na 1 050 474 €. Tento strmý růst je způsoben především neustálým narůstáním variabilních nákladů na nákup šroubů.

V případě metody InfraStake® jsou náklady za první rok výroby 539 330 €. Za osm let se odhadovaná částka za výrobu vyšplhá k 765 640 €. To z této technologie činí třetí nejméně nákladnou metodu z porovnávaných. Už po druhém roce výroby se stává levnější oproti šroubovým spojům. První rok výroby jsou náklady o 78 800 € vyšší oproti ultrazvukovému svařování a o 188 330 € oproti nejpoužívanější technologii. Po osmi letech rozdíl vzroste na 140 640 €, resp. 99 640 € oproti klipům.

Další metodou v pořadí je lepení. To vykazuje předpokládané náklady za první rok výroby 576 938 €. Po osmi letech to je 835 504 €. Proto je tato metoda čtvrtou nejlevnější (třetí nejdražší). Již po třetím roce výroby se stává výhodnější metodou oproti šroubovému spojení (ve čtvrtém roce činí úspora 35 985 €). Po osmi letech dosáhne rozdíl těchto dvou metod částky 214 970 €.

Poslední z porovnávaných metod je laserové svařování. To je v prvních letech výroby nejdražší díky vysokým fixním nákladům, kam patří zejména náklady na pořízení stroje pro samotné svařování a nutnost pořídit stroj pro předúpravu povrchu. Konkrétně jsou náklady za první rok 744 000 €. Avšak již po 5 letech se laserové svařování stává levnějším oproti šroubování. Celkové náklady za osm let výroby činí 884 000 €.

Na základě výsledků metody ROI bych doporučoval pro velkosériovou výrobu použít ultrazvukovou technologii i přes počáteční vysoké náklady na pořízení strojů, protože pro celé časové období výroby je tato technologie nejlevnější.

Ukazuje se, že se firma Kiekert vydala správnou cestou a zvolila pro svou budoucnost takovou technologii, která jí přinese co největší úspory a zvýší její efektivitu výroby.

### 3.4 Doprovodné tabulky

Tabulka 7 - Vstupní parametry

Vstupní parametry		
Počet kusů za rok:	2 000 000	Vážený průměr za celé období
Délka výroby [roky]:	8	Plánovaná doba výroby
Počet prac. Směn:	3	
Délka směny [hod.]:	7,5	
Takt linky [s]:	9,1	Čas potřebný na výrobu jednoho kusu = mzdový náklad
Počet spojovacích míst:	6	Na jednom dílu
Hod. náklad na pracovníka:	9	Hodinový náklad na pracovníka v Eurech
Pracovních dnů v roce:	225	

Tabulka 8 - Dílčí náklady a investice

Náklady a investice						
Typ spoje	ME variabilní ná- klady [ € / rok ]	PD náklady + MM investice [ € ]	ME fixní ná- klady [ € ]	Čas na montáž [s]	Náklady na pracovníka [€ / ks]	Náklady na materiál [€ / ks]
Klipy	15000	260 000	46 000	6	0,01500	0
InfraStake®	5000	257 000	250 000	9,1	0,01367	0
Šrouby	335	247 000	150 000	3,5	0,00525	0,03542
Ultrazvukové nýtování	10000	257 000	180 000	4,5	0,00675	0
Laserové svařování	5000	274 000	450 000	5	0,00750	0
Lepení	5000	265 000	275 000	9,1	0,01367	0,00230

Tabulka 9 - Celkové náklady

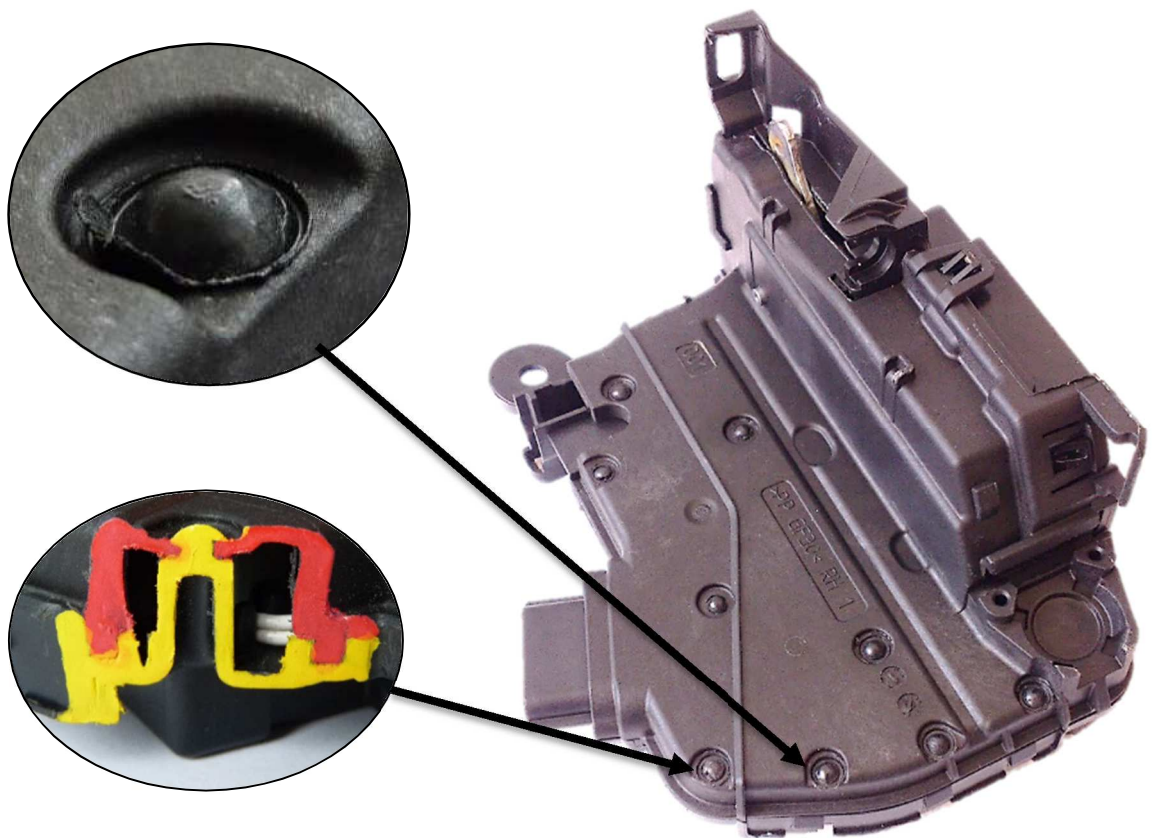
Celkové náklady [ € ]								
Technologie	Rok							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Klipy	351 000	396 000	441 000	486 000	531 000	576 000	621 000	666 000
InfraStake®	539 330	571 660	603 990	636 320	668 650	700 980	733 310	765 640
Šrouby	478 684	560 368	642 052	723 737	805 421	887 105	968 790	1 050 474
Ultrazvukové nýtování	460 500	484 000	507 500	531 000	554 500	578 000	601 500	625 000
Laserové svařování	744 000	764 000	784 000	804 000	824 000	844 000	864 000	884 000
Lepení	576 938	613 876	650 814	687 752	724 690	761 628	798 566	835 504



## 4 ULTRAZVUKOVÉ SVAŘOVÁNÍ / NÝTOVÁNÍ

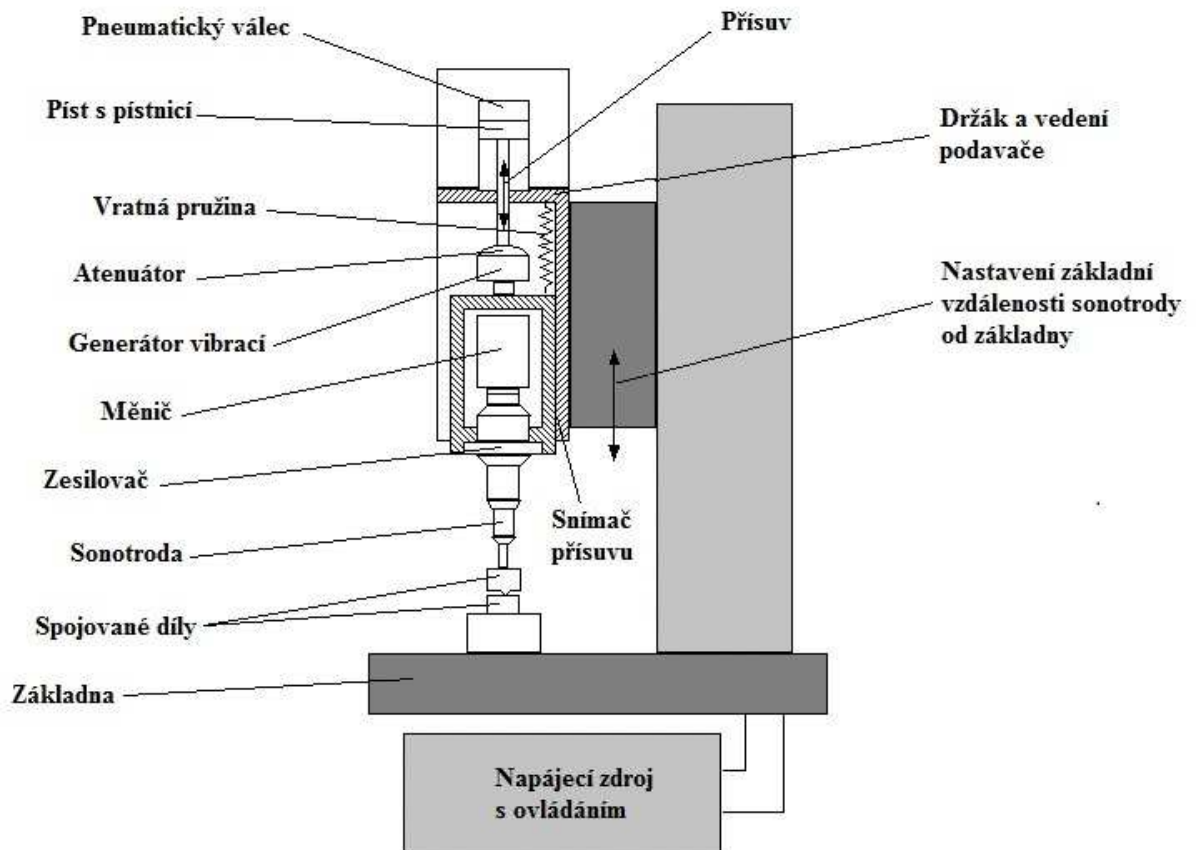
---

Jedná se o jednu z nejvíce používaných metod pro spojování termoplastů. Princip spočívá ve využití ultrazvukové energie o vysokých frekvencích. Ty se pohybují v rozmezí od 20 kHz až do 40 kHz a slouží ke generaci mechanických vibrací o nízké amplitudě. Ta se pohybuje v rozmezí 1  $\mu\text{m}$  až 25  $\mu\text{m}$ . Vibrace se ze zdroje přenášejí na spojovaný materiál pomocí tzv. „Sonotrod“ (ultrazvukových hlavic) a to vyvolá mechanické tření ve styčných plochách spojovaných dílů. U ultrazvukového nýtování vibrace způsobí vznik mechanického tření mezi hlavou sonotrody a pinem. Tím vznikne mezi součástmi natolik vysoké teplo, že způsobí natavení materiálu. Natavený materiál se nechá buď vychladnout – za stálého přitlačování dílů k sobě nebo se vytvaruje pomocí tvaru hlavy sonotrody – vytvoří hlavičku (Obrázek 14). Metoda ultrazvukového svařování / nýtování je nejrychlejší svařovací metoda – proces trvá obvykle v řádech sekund. Oproti tepelnému tvarování je až dvakrát rychlejší.



Obrázek 14 - Příklad svařování ultrazvukem (6)

## 4.1 Části ultrazvukové svářečky



Obrázek 15 - Schéma ultrazvukové svářečky (11)

### 4.1.1 Napájecí zdroj s ovládáním

Slouží k převedení frekvence vstupní elektrické energie (50 až 60 Hz) na ultrazvuk, kterému odpovídají frekvence 20 000 Hz a vyšší. Hlavní požadavky na zdroje používané pro ultrazvukové svařování jsou:

- Stabilní frekvence výstupu
- Řízený výstup signálu
- Kompaktnost, spolehlivost, jednoduchost ovládání

#### 4.1.2 Pneumatický válec s pístem a pístní tyčí

Tlakový vzduch působí na válec a ten posouvá celou ultrazvukovou jednotku k dílu. Zároveň vyvíjí sílu, která přitlačuje sonotrodu ke svařované součásti.

#### 4.1.3 Generátor vibrací

Jedná se o nejdůležitější část ultrazvukové svářečky. Převádí elektrickou energii o vysoké frekvenci ze zdroje na mechanickou energii – vibrace. Pro ultrazvukové svařování jsou zpravidla používány tři typy generátorů – piezoelektrický krystal, piezoelektrická keramika a magnetostrikční měniče. (2)

#### 4.1.4 Zesilovač

Slouží ke zvýšení nebo snížení amplitudy vibrací. Amplituda je maximální hodnota výchylky zesilovače, nebo pracovní plochy sonotrody za působení vibrací. Velikost amplitudy závisí na materiálu, který chceme svařovat a na druhu použití ultrazvukové energie (řezání, svařování,...). Pro některé speciální aplikace je potřeba změnit velikost amplitudy vibrací vstupujících do sonotrody. Změna amplitudy je ovlivňována zesilovačem. Velikost snížení nebo zvýšení určuje parametr uváděný jako „zisk“. Ten je definován jako poměr výstupní amplitudy zesilovače nebo sonotrody vůči vstupní. (2)

#### 4.1.5 Sonotroda

Sonotrody jsou základním nástrojem ultrazvukového svařování. Jejich pomocí je ultrazvuková energie směřována ke spojovaným dílům. Jejich úlohou je i překlenutí mezery mezi měničem a pracovním místem a také pro přenos vibrací ke spojovaným dílům. K širšímu dílu sonotrody je připojen generátor vibrací, k tomu druhému konci je připevněn (je na něm vytvořen) samotný nástroj. To je založeno na tom, že rychlost šíření zvukových vln je přímo úměrná zmenšení plochy příčného průřezu. Proto k zesílení zvukových vln je vstupní plocha větší než výstupní.



Obrázek 16 - Sonotrody při montáži dílů

Pro design změny průřezu se používají nejčastěji tyto tvary:

- stupňovitě válcovité
- kuželové
- exponenciální
- hyperbolické

Ty se volí díky jednoduchosti výroby. Jiné tvary průřezu bývají kombinací čtyř uvedených tvarů. (2) Elektrody jsou nejčastěji vyráběny z hliníku, titanu nebo oceli a jsou osově symetrické.

Tvar sonotrody je důležitý pro úspěšné využití energie. Jsou navrženy tak, aby rezonovaly na frekvenci ultrazvukového systému. Když vibrují, tak se ve své délce o malý kus natahují, nebo smršťují. Tento pohyb se nazývá amplituda sonotrody. Amplituda se měří jako vzdálenost mezi krajními polohami pohybu hlavy sonotrody. Zvýšením vstupního napětí do generátoru vibrací nebo výměnou zesilovače či změnou geometrie sonotrody, může být měněna velikost amplitudy.

## **4.2 Důležité parametry pro svařování ultrazvukem**

- Délka trvání procesu (svařovací čas) bývá v rozmezí od 10 ms až do několika sekund
- Velikost přidržovacího tlaku v oblasti svaru

Tento tlak odpovídá přibližně 0,1 až 0,3 násobku tvrdosti spojovaných materiálů dle Vickers. Hodnoty požadovaných svařovacích parametrů (vibrace, amplituda, svařovací čas, tlak) závisí na:

- Druhu (vlastnostech) spojovaných materiálů
- Tloušťce spojovaného materiálu
- Rozměrech (designu) pinů a podložek

## 5 VOLBA MATERIÁLŮ, NÁVRH OPTIMÁLNÍHO DESIGNU A REALIZACE SPOJENÍ

---

Tato část práce se věnuje návrhu optimálního designu pro jednotlivé piny a k nim příslušným protikusům. Také se zabývá vhodným výběrem materiálů pro realizaci spojení pomocí ultrazvuku. Vyrobené prototypy se odzkouší na zkušební stroji, aby mohla být ověřena a porovnána pevnost výsledného spoje. Pro každou kombinaci bude odzkoušeno 5 prototypů, ze kterých budou data vyhodnocována. Hodnotit se nebude jen pevnost spoje, ale i doba svařovacího procesu a náročnost výroby jednotlivých designů. Z těchto hledisek bude nakonec vybrána neoptimálnější kombinace designu pinu a podložky, sonotrody a materiálů, která bude doporučena pro sériovou výrobu.

### 5.1 Volba materiálu

Pro potřeby firmy Kiekert byly vybrány dva materiály, ze kterých budou jednotlivé díly nakombinovány pro vlastní experiment. Jedná se o materiály patřící do skupiny tzv. konstrukčních plastů. Konkrétně se spoje budou kombinovat z materiálu POM (PolyOxyMetylen) a PBT 30 GF (PolyButylenTereftalát s 30% skelných vláken). Všechny kombinace, které se budou vyhodnocovat, jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 10). Materiály byly dodány jako polotovary ve formě tyčí, ze kterých se vyrobily prototypy odpovídající výkresové dokumentaci. Mechanické vlastnosti vybraných materiálů jsou uvedeny v příloze (Příloha 2).

Tabulka 10 - Kombinace použitých materiálů

Materiál pinu	Materiál díry
POM	POM
POM	PBT 30 GF
PBT 30 GF	POM
PBT 30 GF	PBT 30 GF

## 5.2 Návrh optimálního designu

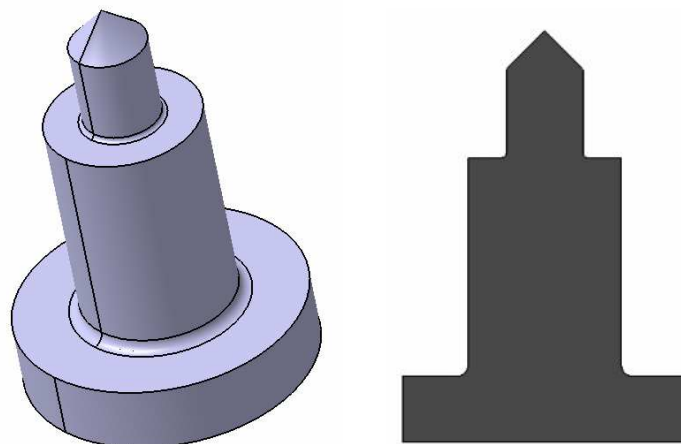
Návrh pinů a jim příslušejícím protikusům (podložkám) si vyžádal spoustu času. Musel jsem nastudovat veliké množství podkladů a odborné literatury. Konzultoval jsem s odborníky nejen z firmy Kiekert ale i okolí. Design byl pečlivě vypracován s ohledem na požadavky firmy Kiekert pro velkosériovou výrobu. Při návrhu bylo uvažováno:

- s výrobním taktem linky
- dostupnou technologií – se sonotrodami, které jsou k dispozici
- s maximální tloušťkou materiálu pro kryt, na kterém by mělo být spojení realizováno v sériové výrobě.

Všechny návrhy byly vymodelovány ve 3D pomocí softwaru CATIA V5 a ke všem byla vytvořena výkresová dokumentace.

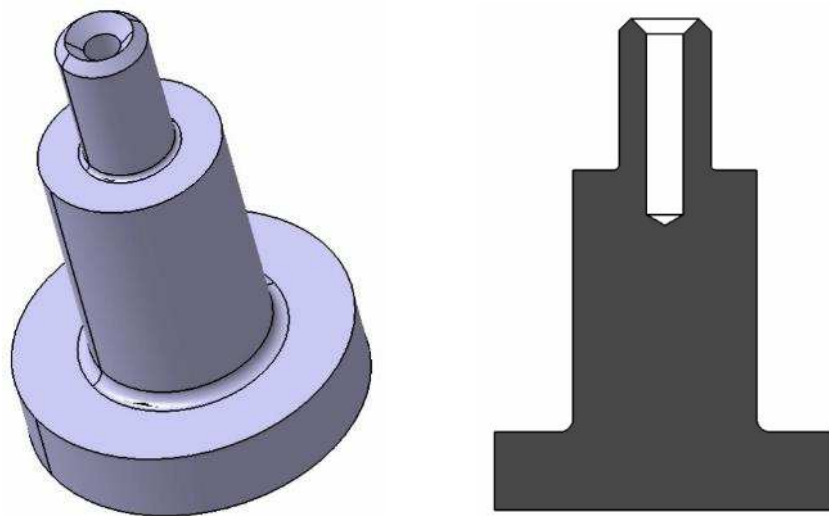
### 5.2.1 Návrh pinů

Pro vlastní experiment byly k dispozici dvě sonotrody. Pro ně jsem navrhl dva designy pinů – ty reprezentují nosný díl zámku tzv. „Schlossgehäuse“. Jednou z dostupných sonotrod je sonotroda s čočkovitou hlavou (Příloha 5). Pro tu jsem navrhl plný pin o průměru 3,5 mm a výšce 5,8 mm se zkosením hrotu pinu. Vycházel jsem z doporučení výrobce sonotrody a know-how společnosti Kiekert. Výsledek návrhu – vymodelovaný pin je zobrazen na obrázku níže (Obrázek 17). Výkres pinu s kompletními rozměry se nachází v příloze (Příloha 6). Zkosení na hrotu pinu je navrženo pro zrychlení tavení hrotu a tím pádem k urychlení procesu svařování (nýtování) ultrazvukem. Rádus u paty pinu slouží ke snížení napětí při svařování, aby nedošlo ke vzniku prasklin, či k odlomení celého pinu.



Obrázek 17 - Plný pin pro sonotrodu s čočkovitou hlavou

Druhou dostupnou sonotrodou je speciální tvarová sonotroda pro duté piny (Obrázek 6). K této sonotrodě jsem na základě poskytnutých dat od firmy Kiekert navrhl dutý pin o průměru 3,5 mm a o výšce 5,8 mm. Tento návrh jsem vypracoval na žádost firmy Kiekert, abych porovnal jejich design s mým. Výsledný návrh – vymodelovaný dutý pin je zobrazen na obrázku níže (Obrázek 18). Výkres dutého pinu s kompletními rozměry je uveden v příloze (Příloha 7). Stejně jako v případě plného pinu, tak i zde je u paty pinu použit rádius ke zmenšení napětí a ke snížení možnosti vzniku defektu vlivem působení vibrací při ultrazvukovém nýtování. Zkosení na hlavě dutého pinu je realizováno jednak z důvodu potřeby navedení hrotu sonotrody do pinu a také pro urychlení procesu spojování.

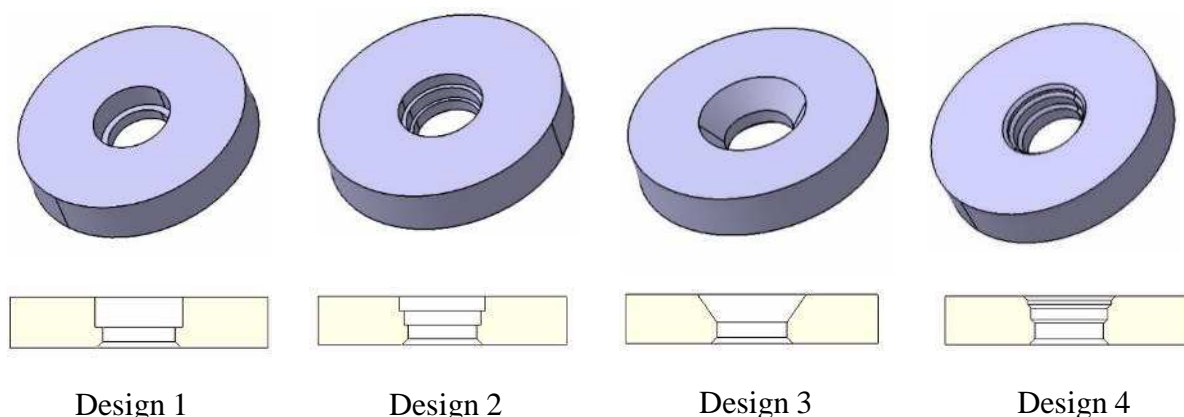


Obrázek 18 - Dutý pin pro speciální sonotrodu

### 5.2.2 Návrh podložek

Podložky neboli protikusy k pinům, jenž reprezentují kryt zámku tzv. „Schlossdeckel“ jsou stejné jak pro plný pin, tak pro pin dutý. Jsou navrženy ve čtyřech různých tvarech. Pro navržení designu jsem uvažoval jak s doporučením firmy zabývající se ultrazvukovými technologiemi, tak jsem do návrhu zohlednil know-how firmy Kiekert. Všechny podložky mají průměr 13 mm a jsou 2,5 mm široké.

Návrhy všech čtyř pinů jsou vyobrazeny na obrázku níže (Obrázek 19).



Obrázek 19 – 3D modely podložek s řezy

Design první podložky zahrnuje jednoduché odstupňování, které by mělo vytvořit spolu s vrchní plochou dvě nosné plochy a tím zvětšit kontaktní plochu, čímž se zvýší únosnost spoje. Výkres se nachází v příloze (Příloha 8).

Tvar druhé podložky obsahuje dvojitě odstupňování. To vytváří tři nosné plochy tím je očekávána větší únosnost než u prvního designu. Výkres podložky je přiložen v příloze (Příloha 9).

Návrh třetí podložky se odlišuje od dvou předchozích. Nemá navržené odstupňování, ale má sražení  $1 \times 55^\circ$ . Jeho cílem je zvýšení kontaktní plochy roztaveného pinu pro větší únosnost spoje. Výkres tohoto designu je uveden v příloze (Příloha 10).

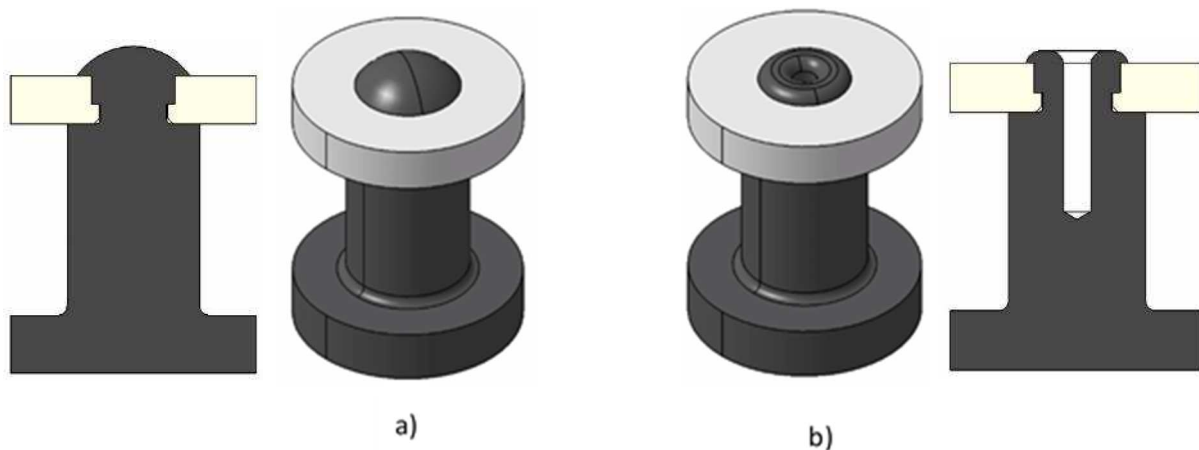
Čtvrtý návrh je nejsložitější ze všech uvedených. Nejvíce se podobá na design číslo 2. Oproti designu číslo 2 má každou z odsazených hran sraženou o hodnotu  $0,2 \times 45^\circ$ . To spolu s větším přesahem hlavičky nýtu přispívá ke zvětšení celkové kontaktní plochy o  $10,19 \text{ mm}^2$ . Tento návrh je také nejvíce náročný na výrobu. Jeho výkres se nachází v příloze (Příloha 11).

Všechny podložky mají na spodní straně navržené stejné sražení ve velikosti  $0,3 \times 45^\circ$  kvůli rádiusu u paty pinu, který by jinak bránil v dosednutí podložky na své místo, a pro snadnější montáž – nasazení podložky na pin. Vymodelované spoje jsou vyobrazeny na obrázku níže (Obrázek 20). Kontaktní plochy jednotlivých designů jsem pro větší přehlednost zanesl do tabulky (Tabulka 11).

Tabulka 11 - Kontaktní plocha podložek

Kontaktní plocha [ $\text{mm}^2$ ]		
Design	Plný pin	Dutý pin
1	18,10	13,58
2	10,19	7,11
3	28,84	25,20
4	21,38	16,86





Obrázek 20 - Vymodelovaný spoj: a) pro plný pin; b) pro dutý pin

### 5.3 Realizace spojení

Vlastní spojení prototypových dílů proběhlo na ruční ultrazvukové svářečce Telsonic Ultrasonics Handy Star VKK4-0387-101 (Příloha 4). Navrhnuté piny a podložky byly svařovány v následujících kombinacích (Tabulka 12).

Tabulka 12 - Kombinace podložek a pinů pro spojování

Design 1 + Plný pin		Design 4 + Plný pin		Design 3 + Dutý pin	
Podložka	Pin	Podložka	Pin	Podložka	Pin
POM	POM	POM	POM	POM	POM
POM	PBT 30GF	POM	PBT 30GF	POM	PBT 30GF
PBT 30GF	POM	PBT 30GF	POM	PBT 30GF	POM
PBT 30GF	PBT 30GF	PBT 30GF	PBT 30GF	PBT 30GF	PBT 30GF
Design 2 + Plný pin		Design 1 + Dutý pin		Design 4 + Dutý pin	
Podložka	Pin	Podložka	Pin	Podložka	Pin
POM	POM	POM	POM	POM	POM
POM	PBT 30GF	POM	PBT 30GF	POM	PBT 30GF
PBT 30GF	POM	PBT 30GF	POM	PBT 30GF	POM
PBT 30GF	PBT 30GF	PBT 30GF	PBT 30GF	PBT 30GF	PBT 30GF
Design 3 + Plný pin		Design 2 + Dutý pin			
Podložka	Pin	Podložka	Pin		
POM	POM	POM	POM		
POM	PBT 30GF	POM	PBT 30GF		
PBT 30GF	POM	PBT 30GF	POM		
PBT 30GF	PBT 30GF	PBT 30GF	PBT 30GF		

U vyhotovených svarů byl subjektivně hodnocen vzhled spoje, který je důležitý pro celkový dojem z produktu, který je dodáván zákazníkovi. Dále byl hodnocen vznik otřepů při svařování různých kombinací designů a materiálů. Svařovací časy vyhodnocovány nebyly, protože svařování probíhalo na ruční svářečce a každý kus byl svařován jinak dlouho. Časy svařování by se daly sledovat v případě svařování na automatizovaném zařízení. Příklad spojených prototypů je zobrazen níže (Obrázek 21).



**Obrázek 21 - Příklad svařených prototypů**

## 6 ZKOUŠENÍ PEVNOSTI SPOJŮ

---

Spojené prototypy byly přetrženy na zkušebním zařízení pro otestování pevnosti jednotlivých kombinací designů a materiálů. Ty byly vytvořeny na základě tabulky (Tabulka 12), přičemž pro každou z kombinací bylo přetrženo pět vzorků. Měření proběhlo na zařízení Zwick/Roell 5kN Allround table top Z005 THW. Měřicí zařízení je zobrazeno na obrázku níže (Obrázek 22). Základní technické parametry měřicí stolice jsou:

- Maximální zatížení (tah x tlak): 5 000 N
- Výška 1878 až 2518 mm
- Šířka 1244 mm
- Tloušťka 690 mm
- Váha zařízení: 230 kg
- Rychlost posuvu 0,0005 až 3000 mm/min
- Vzorkovací frekvence: 500 Hz



Obrázek 22 - zkušební zařízení (11)

### 6.1 Postup měření


- nasazení přípravku pro měření do zkušebního stroje
- vizuální kontrola vzorků
- upnutí vzorků do přístroje
- vlastní měření
- uložení záznamu měření do počítače
- vyhodnocení výsledků

Obrázek prototypu upnutého ve zkušebním stroji viz příloha (Příloha 12).

### 6.2 Vyhodnocení měření

K vyhodnocení pevnosti spojení byly použity záznamy z měření na zkušebním zařízení. Pro každých pět vzorků jsem hodnoty pevnosti z tahové zkoušky zpracoval v programu MS Word. Výsledky pro každý design a kombinaci materiálu jsou uvedeny níže. Příklad záznamů z jednotlivých měření (protokoly ze zkušebního zařízení Zwick/Roell) jsou přiloženy v příloze (Příloha 13). Všechny naměřené záznamy ze zkušebního zařízení jsou přiloženy na CD.

Tabulka 13 - Vyhodnocení tahové zkoušky - Design 1 - Plný pin

Pin	Podložka	Kombinace materiálu	Pevnost [N]			Obrázek
		Podložka - Pin	Min.	Max.	Průměr	
 Plný pin	 Design 1	POM - POM	426,69	940,89	593,5	
		POM - PBT 30 GF	139,09	328,19	232,06	
		PBT 30 GF - POM	338,23	485,44	404,48	
		PBT 30 GF - PBT 30 GF	76,65	275,87	166,33	

První byl proveden test prototypů s plným pinem a podložkou s designem 1. Výsledky tahové zkoušky jsou uvedeny v tabulce výše (Tabulka 13). Nejvyšší pevnosti bylo naměřeno prototypům, které byly vyrobeny z materiálu POM. Jejich průměrná pevnost činí 593,5 N. Druhá nejvyšší hodnota pevnosti byla naměřena prototypům, které měly podložky z materiálu PBT 30 GF a piny z POM. Ty mají průměrnou pevnost 404,48 N. Naopak nejnižší hodnoty pevnosti bylo naměřeno prototypům, které byly vyrobeny z PBT 30 GF. Konkrétně 166,33 N.

Tabulka 14 - Vyhodnocení tahové zkoušky - Design 1 - Dutý pin

Pin	Podložka	Kombinace materiálu	Pevnost [N]			Obrázek
			Min.	Max.	Průměr	
 Dutý pin	 Design 1	POM - POM	209,31	453,22	326,35	
		POM - PBT 30 GF	96,13	280,15	148,36	
		PBT 30 GF - POM	205,9	350,02	267,75	
		PBT 30 GF - PBT 30 GF	97,96	193,5	137,78	

Jako druhý byl proveden test prototypů s dutým pinem a podložkou s designem 1. Výsledky tahové zkoušky jsou uvedeny v tabulce výše (Tabulka 14). Nejvyšší pevnosti bylo naměřeno prototypům, které byly vyrobeny z materiálu POM, kdy jejich průměrná pevnost byla 326,35 N. Druhá nejvyšší hodnota pevnosti byla naměřena prototypům, které měly podložky z materiálu PBT 30 GF a piny z POM, ty měly průměrnou pevnost 267,75 N. Naopak nejnižší hodnoty pevnosti bylo naměřeno prototypům, které byly vyrobeny z PBT 30 GF, konkrétně 137,78 N.

Tabulka 15 - Vyhodnocení tahové zkoušky - Design 2 - Plný pin

Pin	Podložka	Kombinace materiálu	Pevnost [N]			Obrázek
			Min.	Max.	Průměr	
Plný pin 	Design 2 	POM - POM	285,23	441,66	371,17	
		POM - PBT 30 GF	112,81	286,35	175,71	
		PBT 30 GF - POM	298,19	482,32	413,89	
		PBT 30 GF - PBT 30 GF	235,69	286,11	266,69	

Další zkouška byla provedena u prototypů s plným pinem a podložkou s designem 2. Výsledky tahové zkoušky jsou uvedeny v tabulce výše (Tabulka 15). Nejvyšší pevnosti bylo naměřeno prototypům s podložkami z PBT 30 GF a piny z POM, kdy jejich průměrná pevnost byla 413,89 N. Druhá nejvyšší hodnota pevnosti byla naměřena prototypům, které byly vyrobeny z POM, ty měly průměrnou pevnost 371,17 N. Naopak nejnižší pevnosti bylo naměřeno prototypům POM – PBT 30 GF, konkrétně 175,71 N.

Tabulka 16 - Vyhodnocení tahové zkoušky - Design 2 - Dutý pin

Pin	Podložka	Kombinace materiálu	Pevnost [N]			Obrázek
			Min.	Max.	Průměr	
 Dutý pin	 Design 2	POM - POM	174,57	397,76	302,43	
		POM - PBT 30 GF	98,8	247,64	171,66	
		PBT 30 GF - POM	282,79	394,96	343,36	
		PBT 30 GF - PBT 30 GF	167,83	215,96	197,55	

Čtvrtá série tahových zkoušek byla provedena s dutým pinem a podložkou s designem 2. Výsledky tahové zkoušky jsou uvedeny v tabulce výše (Tabulka 16). Nejvyšší pevnosti bylo naměřeno prototypům s podložkami z PBT 30 GF a piny z POM, kdy jejich průměrná pevnost byla 343,36 N. Druhá nejvyšší hodnota pevnosti byla naměřena prototypům, které byly vyrobeny z POM, ty měly průměrnou pevnost 302,43 N. Nejnižší pevnosti bylo naměřeno prototypům POM – PBT 30 GF, konkrétně 171,66 N.



Tabulka 17 - Vyhodnocení tahové zkoušky - Design 3 - Plný pin

Pin	Podložka	Kombinace materiálu	Pevnost [N]			Obrázek
			Min.	Max.	Průměr	
Plný pin 	Design 3 	POM - POM	259,37	561,87	422,57	
		POM - PBT 30 GF	82,38	151,66	126,82	
		PBT 30 GF - POM	355,43	549,41	474,81	
		PBT 30 GF - PBT 30 GF	117,02	269,64	185,4	

Dále byl proveden test prototypů s plným pinem a podložkou s designem 3. Výsledky tahové zkoušky jsou uvedeny v tabulce výše (Tabulka 17). Nejvyšší hodnota pevnosti byla naměřena prototypům z kombinace materiálu PBT 30 GF - POM. Jejich naměřená průměrná pevnost činí 474,81 N. Druhá nejvyšší hodnota pevnosti byla naměřena prototypům, které byly vyhotoveny z materiálu POM. Ty mají průměrnou pevnost 422,57 N. Naopak nejnižší hodnoty pevnosti bylo naměřeno prototypům o kombinaci materiálů POM - PBT 30 GF. Konkrétně 126,82 N.



Tabulka 18 - Vyhodnocení tahové zkoušky - Design 3 - Dutý pin

Pin	Podložka	Kombinace materiálu	Pevnost [N]			Obrázek
			Min.	Max.	Průměr	
 Dutý pin	 Design 3	POM - POM	227,59	371,12	291,44	
		POM - PBT 30 GF	198,57	279,47	224,64	
		PBT 30 GF - POM	304,85	374,87	353,33	
		PBT 30 GF - PBT 30 GF	153,97	201,83	180,87	

Šestý test na zkušebním stroji byl proveden s prototypy s dutými piny a podložkami s designem 3. Výsledky tahové zkoušky jsou uvedeny v tabulce výše (Tabulka 18). Při testech nejvíce vydržely prototypy z PBT 30 GF – POM a to konkrétně 353,33 N. Druhého nejlepšího výsledku dosáhly díly z POM – 291,44 N. Nejnižší pevnost 180,87 N byla naměřena prototypům z PBT 30 GF.

Tabulka 19 - Vyhodnocení tahové zkoušky - Design 4 - Plný pin

Pin	Podložka	Kombinace materiálu	Pevnost [N]			Obrázek
			Min.	Max.	Průměr	
Plný pin 	Design 4 	POM - POM	332,01	554,37	483,35	
		POM - PBT 30 GF	193,63	266,27	225,32	
		PBT 30 GF - POM	340,84	460,9	402,09	
		PBT 30 GF - PBT 30 GF	117,63	207,62	162,94	

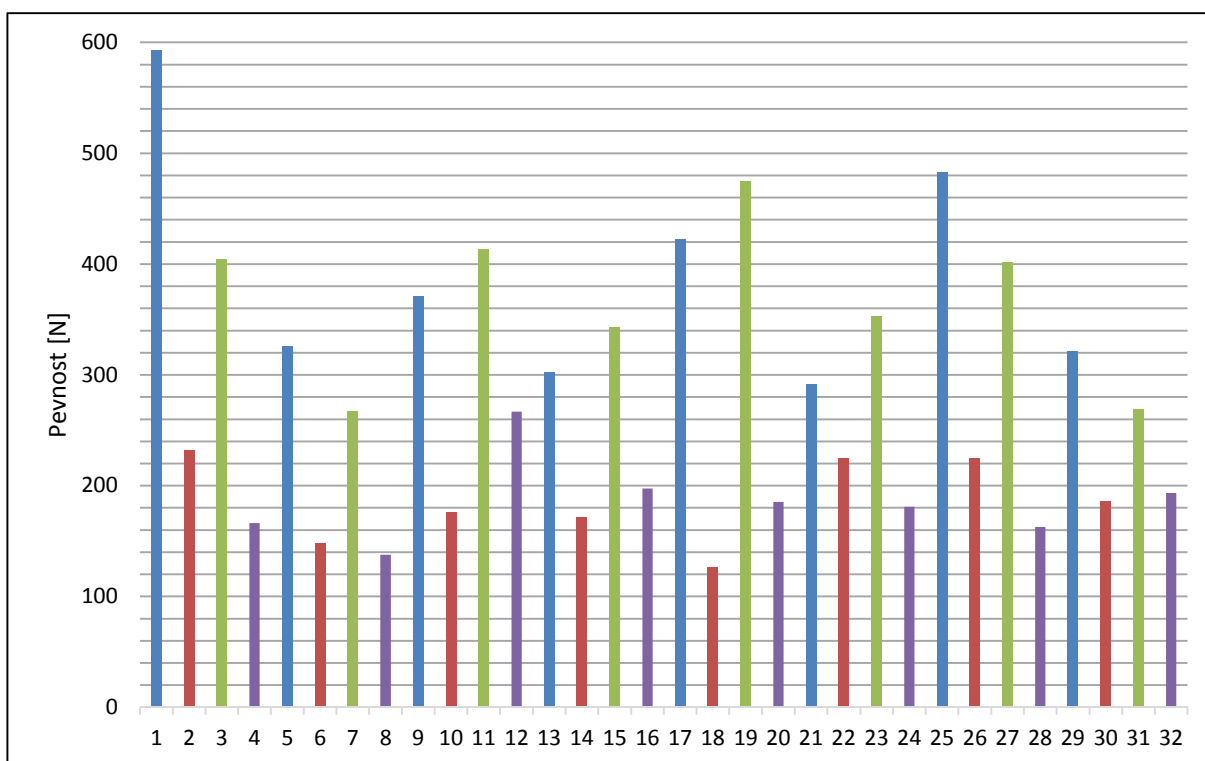
Předposlední série tahových zkoušek byla provedena u prototypů s plným pinem a podložkou s designem 4. Výsledky tahové zkoušky jsou uvedeny v tabulce výše (Tabulka 19). Nejvyšší pevnosti bylo naměřeno prototypům z materiálu POM, kdy jejich průměrná pevnost byla 483,35 N. Druhá nejvyšší hodnota pevnosti byla naměřena prototypům, které byly vyrobeny z PBT 30 GF - POM, ty měly průměrnou pevnost 402,09 N. Nejnižší pevnost byla naměřena prototypům z PBT 30 GF, konkrétně 162,94 N.

Tabulka 20 - Vyhodnocení tahové zkoušky - Design 4 - Dutý pin

Pin	Podložka	Kombinace materiálu	Pevnost [N]			Obrázek
			Min.	Max.	Průměr	
 Dutý pin	 Design 4	POM - POM	226,33	386,81	321,17	
		POM - PBT 30 GF	161,41	212,54	185,85	
		PBT 30 GF - POM	129,34	353,52	268,98	
		PBT 30 GF - PBT 30 GF	175,92	201,15	193,3	

Jako poslední byl proveden test prototypů s dutým pinem a podložkou s designem 4. Výsledky tahové zkoušky jsou uvedeny v tabulce výše (Tabulka 20). Nejvyšší pevnosti bylo naměřeno prototypům, které byly vyrobeny z materiálu POM. Jejich průměrná pevnost činí 321,17 N. Druhá nejvyšší hodnota pevnosti byla naměřena prototypům, které měly podložky z materiálu PBT 30 GF a piny z POM. Ty mají průměrnou pevnost 268,98 N. Naopak nejnižší hodnoty pevnosti bylo naměřeno prototypům, které byly vyrobeny z kombinace POM - PBT 30 GF. Konkrétně 185,85 N.

Obrázek 23 – Graf průměrných hodnot pevnosti



Obrázek 24 - Legenda ke grafu

Design 1 + Plný pin		číslo	Design 2 + Dutý pin		číslo	Design 4 + Plný pin		číslo
Podložka	Pin		Podložka	Pin		Podložka	Pin	
POM	POM	1	POM	POM	13	POM	POM	25
POM	PBT 30GF	2	POM	PBT 30GF	14	POM	PBT 30GF	26
PBT 30GF	POM	3	PBT 30GF	POM	15	PBT 30GF	POM	27
PBT 30GF	PBT 30GF	4	PBT 30GF	PBT 30GF	16	PBT 30GF	PBT 30GF	28
Design 1 + Dutý pin		číslo	Design 3 + Plný pin		číslo	Design 4 + Dutý pin		číslo
Podložka	Pin		Podložka	Pin		Podložka	Pin	
POM	POM	5	POM	POM	17	POM	POM	29
POM	PBT 30GF	6	POM	PBT 30GF	18	POM	PBT 30GF	30
PBT 30GF	POM	7	PBT 30GF	POM	19	PBT 30GF	POM	31
PBT 30GF	PBT 30GF	8	PBT 30GF	PBT 30GF	20	PBT 30GF	PBT 30GF	32
Design 2 + Plný pin		číslo	Design 3 + Dutý pin		číslo			
Podložka	Pin		Podložka	Pin		Podložka	Pin	
POM	POM	9	POM	POM	21			
POM	PBT 30GF	10	POM	PBT 30GF	22			
PBT 30GF	POM	11	PBT 30GF	POM	23			
PBT 30GF	PBT 30GF	12	PBT 30GF	PBT 30GF	24			

## 7 ZÁVĚR

---

Cílem této práce bylo navrhnout vhodnou kombinaci materiálu a designu pro podložku a pin, které byly spojeny pomocí ultrazvukového nýtování. Navrhl jsem plný pin (Obrázek 17) a čtyři podložky (Obrázek 19). Využil jsem zkušeností firmy Kiekert z předchozího testování a po dohodě s nimi jsem v práci otestoval také jejich návrh dutého pinu (Obrázek 18). Oba piny byly postupně odzkoušeny se všemi podložkami ve všech kombinacích materiálů. Přehled testovaných kombinací materiálů a designů je uveden v tabulce: „Tabulka 12 - Kombinace podložek a pinů pro spojování“ na straně 39.

Nejvyšší průměrné pevnosti 593,5 N dosáhly prototypy s plným pinem a podložkou designu 1 v kombinaci materiálů POM – POM (podložka – pin). Nejnižší pevnost těchto prototypů byla 426,69 N. Jejich nejvyšší pevnost dosáhla hodnoty 940,89 N, což byla vůbec nejvyšší hodnota ze všech provedených testů. Druhé nejvyšší pevnosti 483,35 N dosáhly prototypy s plným pinem a podložkou designu 4 také v kombinaci materiálů POM – POM. Podobné pevnosti 474,81 N bylo dosaženo u dílů s plným pinem a podložkou v designu 3 o kombinaci materiálů PBT 30 GF – POM.

Nejnižší pevnosti ze všech měření bylo dosaženo u dutého pinu s podložkou designu 1 v kombinaci materiálů PBT 30 GF – PBT 30 GF. Průměrná pevnost těchto prototypů dosahovala hodnoty pouhých 137,78 N.

Moje doporučení pro použití ultrazvukového nýtování v sériové výrobě tedy je: použití plných pinů s protikusy, které by měly otvor ve stejném tvaru jako podložky s designem 1, v kombinaci materiálů POM – POM. Usuzuji tak na základě toho, že se materiály dobře spojily a roztavený pin dokonale vyplnil dutinu v podložce, čímž se kontaktní plocha zvětšila na maximální hodnotu a tím umožnila přenést největší zatížení. Obrázek doporučovaného pinu je zobrazen níže (Obrázek 25).

Dutý pin, který byl testován na základě domluvy s firmou Kiekert bych pro ultrazvukové nýtování nedoporučil, protože nedosahuje takové pevnosti jako pin plný a nehledě na to, že je náročnější na výrobu a při nýtování musí být speciální sonotroda přesně navedena do otvoru uvnitř pinu, což klade velké nároky na přesnou technologii pro pozicování dílu při montáži. Z výsledků mé práce také vyplývá, že kombinace materiálů PBT 30 GF & PBT 30 GF dosahuje nejmenší pevnosti, protože vlákna svařovaného materiálu se nespojí úplně, hůře se taví a vyplňuje dutiny v podložce.

Na základě provedených experimentů lze do budoucna přijmout závěr, že nejvhodnější uspořádání pro spojování dílů ultrazvukem je používání pinů z materiálu POM – viz. modré a zelené sloupce v obrázku výše (Obrázek 23). Spoje realizované s pinem z materiálu PBT plněného skelnými vlákny vykazovaly podstatně menší pevnost. Pokud by do budoucna bylo nutné využívat na piny materiál PBT 30 GF, tak bude nutné přehodnotit a upravit postupy v technologii ultrazvukového svařování těchto dílů pro dosažení maximální pevnosti.



Obrázek 25 - Doporučený pin

## 8 SEZNAM OBRÁZKŮ

---

Obrázek 1 - Princip klipového spojení.....	8
Obrázek 2 - Příklad klipového spoje (6) .....	9
Obrázek 3 - princip tepelného tvarování (7) .....	10
Obrázek 4- Návrh díry ke snížení ohybového napětí: a) použití vymežovacího kroužku, b) využití navržené mezery mezi otvory .....	12
Obrázek 5 - Příklad šroubového spojení samořeznými šrouby (6) .....	13
Obrázek 6 - Sonotroda pro ultrazvukové svařování (11) .....	14
Obrázek 7 - a) svařování v blízkém poli, b) svařování ve vzdáleném poli (4) .....	15
Obrázek 8 - Princip ultrazvukového svařování (4) .....	16
Obrázek 9 - Princip přímého laserového svařování (1).....	19
Obrázek 10 - Propustné laserové svařování (1) .....	20
Obrázek 11 - Příklad propustného laserového svařování (7) .....	20
Obrázek 12 - Princip dobré a špatné smáčivosti povrchu (1) .....	23
Obrázek 13 - Graf návratnosti investice.....	27
Obrázek 14 - Příklad svařování ultrazvukem (6) .....	31
Obrázek 15 - Schéma ultrazvukové svářečky (11).....	32
Obrázek 16 - Sonotrody při montáži dílů.....	33
Obrázek 17 - Plný pin pro sonotrodu s čočkovitou hlavou .....	36
Obrázek 18 - Dutý pin pro speciální sonotrodu .....	37
Obrázek 19 – 3D modely podložek s řezy .....	38
Obrázek 20 - Vymodelovaný spoj: a) pro plný pin; b) pro dutý pin.....	39
Obrázek 21 - Příklad svařených prototypů.....	40
Obrázek 22 - zkušební zařízení (11) .....	41
Obrázek 23 – Graf průměrných hodnot pevnosti .....	50
Obrázek 24 - Legenda ke grafu .....	50
Obrázek 25 - Doporučený pin .....	52

## 9 CITOVANÁ LITERATURA

---

1. **TROUGHTON, Michael John.** *Handbook of plastics joining: a practical guide. 2nd ed.* Cambridge, UK : TWI/The Welding institute, 2008. ISBN 978-081-5515-814.
2. **Patel, Ravi K.** *Efect of horn (sonotrode) profile on weld strength of HDPE plastic weld by using ultrasinic welding.* [PDF] Kherva, Mesana, Gujarat, India : Department of Mechanical Engineering, U. V. Patel College of Engineering, 2014. Enrollment No: 12014051012.
3. **Solutins, Dukane Intelligent Assembly.** *Guide to Ultrasonic Plastics Assembly.* 2900 Dukane Drive, St. Charles, Illinois 60174 USA : Dukane. 403-536-02.
4. **Ultraschall, Herrmann.** *Ultrasonic welding technology: Basics Plastics.* [PDF] 2014.
5. **Kiekert.** Interní materiál.
6. **Inc., Extol.** InfraStake. [Online] 2010. <http://www.extolinc.com/infrastake>.
7. **Zwick/Roell.** Zwick/Roell - Products. *Zwick/Roell.* [Online] [Citace: 13. Květen 2015.] <http://www.zwick.com/en/products/static-materials-testing-machines/testing-machines-from-5-kn-to-250-kn/allround-line-materials-testing-machines.html>.
8. **Lanxess.** Schema of ultrasonic welding machine. [Online] [https://techcenter.lanxess.com/\\_cms\\_live/media/medias/0000/00/01/35/79226.gif](https://techcenter.lanxess.com/_cms_live/media/medias/0000/00/01/35/79226.gif).
9. **Sonotronic.** Technologies - Ultrasonic Riveting - Sonotrode for round riveting. *WEB SONOTRONIC - Ultrasonics Technology.* [Online] [Citace: 4. Duben 2015.] [http://www.sonotronic.de/technologies/ultrasonic/ultrasonic-riveting/Sonotrode-Nietsonotrode-gallery.jpg/image\\_preview](http://www.sonotronic.de/technologies/ultrasonic/ultrasonic-riveting/Sonotrode-Nietsonotrode-gallery.jpg/image_preview).
10. **LPM s.r.o.** Polybutylentereftalát s 30 % skleněných vláken (PBT GF30). [Online] LPM s.r.o., Technické díly z plastů, 2008. [Citace: 20. Květen 2015.] <http://www.lpm.cz/cgi-bin/riweta.cgi?nr=1323&lng=1>.
11. —. Polyoxymethylen copolymer (POM-C). [Online] LPM s.r.o., Technické díly z plastů, 2008. [Citace: 20. Květen 2015.] <http://www.lpm.cz/cgi-bin/riweta.cgi?nr=1202&lng=1>.



## 10 PŘÍLOHY

---

### Seznam příloh:

Příloha 1 - Hodnoty smáčivostí povrchu pro vybrané materiály .....	56
Příloha 2 - Mechanické vlastnosti vybraných materiálů (10) (11).....	57
Příloha 3 – Přípravek pro měření pevnosti.....	58
Příloha 4 - Ruční ultrazvuková svářečka.....	59
Příloha 5 - Sonotroda s čočkovitou hlavou .....	60
Příloha 6 - Výkres plného pinu .....	61
Příloha 7 - Výkres dutého pinu .....	62
Příloha 8 - Výkres podložky 1.....	63
Příloha 9 - Výkres podložky 2.....	64
Příloha 10 - Výkres podložky 3.....	65
Příloha 11 - Výkres podložky 4.....	66
Příloha 12 - Upnutí prototypu ve zkušební stroji.....	67
Příloha 13 – Příklad - Záznamy z měření – Design 1 – Plný pin.....	68
Příloha 14 – Příklad - Záznamy z měření – Design 4 – Plný pin.....	70

## Příloha 1 - Hodnoty smáčivostí povrchu pro vybrané materiály

Materiál	Povrchové napětí
	[mJ/m <sup>2</sup> ]
Fluoroethylene propylene	0,016
Polytetrafluorethylen	0,018
Silikon	0,024
Ethylen-propylenová guma	0,028
Polyetylen	0,031
Polystyren	0,033
Styren-butadienová guma	0,033
Acrylonitrile butadiene styrene	0,035
Acrylonitrile-butadiene guma	0,037
Polypropylen sulfid	0,038
Polymethylmetakrylát	0,039
PVC	0,039
Polyamid	0,040
Polysulfone	0,041
PET	0,043
Cellulose	0,045
Polyamid	0,046
Polycarbonát	0,046
Acetal	0,047
Epoxy	0,047
Voda	0,073
Hliník	-0,500
Měď	-1,000

## Příloha 2 - Mechanické vlastnosti vybraných materiálů

(10) (11)

<b>Mechanické vlastnosti - POM</b>			
Číslo materiálu		1202	
Hustota	ISO 1183	1,39	g/cm <sup>3</sup>
Napětí na mezi kluzu	ISO 527	65	MPa
Tažnost	ISO 527	27	%
E-Modul pružnosti v tahu	ISO 527	2700	MPa
Tvrdost podle Brinella	ISO 2039-1	145	MPa
Norma pro Tvrdost podle Brinella		H358/30	
Tvrdost Shore (A/D) nebo Rockwell (R/L/M)	ISO 868, ISO 2039-2	D81	-
Izod-vrubová houževnatost při 23 °C	ISO 180/1A	5,5	KJ/m <sup>2</sup>
Charpy-vrubová houževnatost při 23 °C	ISO 179/1eA	6	KJ/m <sup>2</sup>

<b>Mechanické vlastnosti - PBT 30 GF</b>			
Číslo materiálu		1323	
Hustota	ISO 1183	1,53	g/cm <sup>3</sup>
Pevnost v tahu	ISO 527	135	MPa
Tažnost	ISO 527	2,5	%
E-Modul pružnosti v tahu	ISO 527	10000	MPa
Tvrdost podle Brinella	ISO 2039-1	190	MPa
Norma pro Tvrdost podle Brinella		H961/30	
Izod-vrubová houževnatost při 23 °C	ISO 180/1A	10,8	KJ/m <sup>2</sup>
Charpy-vrubová houževnatost při 23 °C	ISO 179/1eA	11	KJ/m <sup>2</sup>

### **Příloha 3 – Přípravek pro měření pevnosti**



## Příloha 4 - Ruční ultrazvuková svářečka



## Příloha 5 - Sonotroda s čočkovitou hlavou



# Příloha 6 - Výkres plného pinu

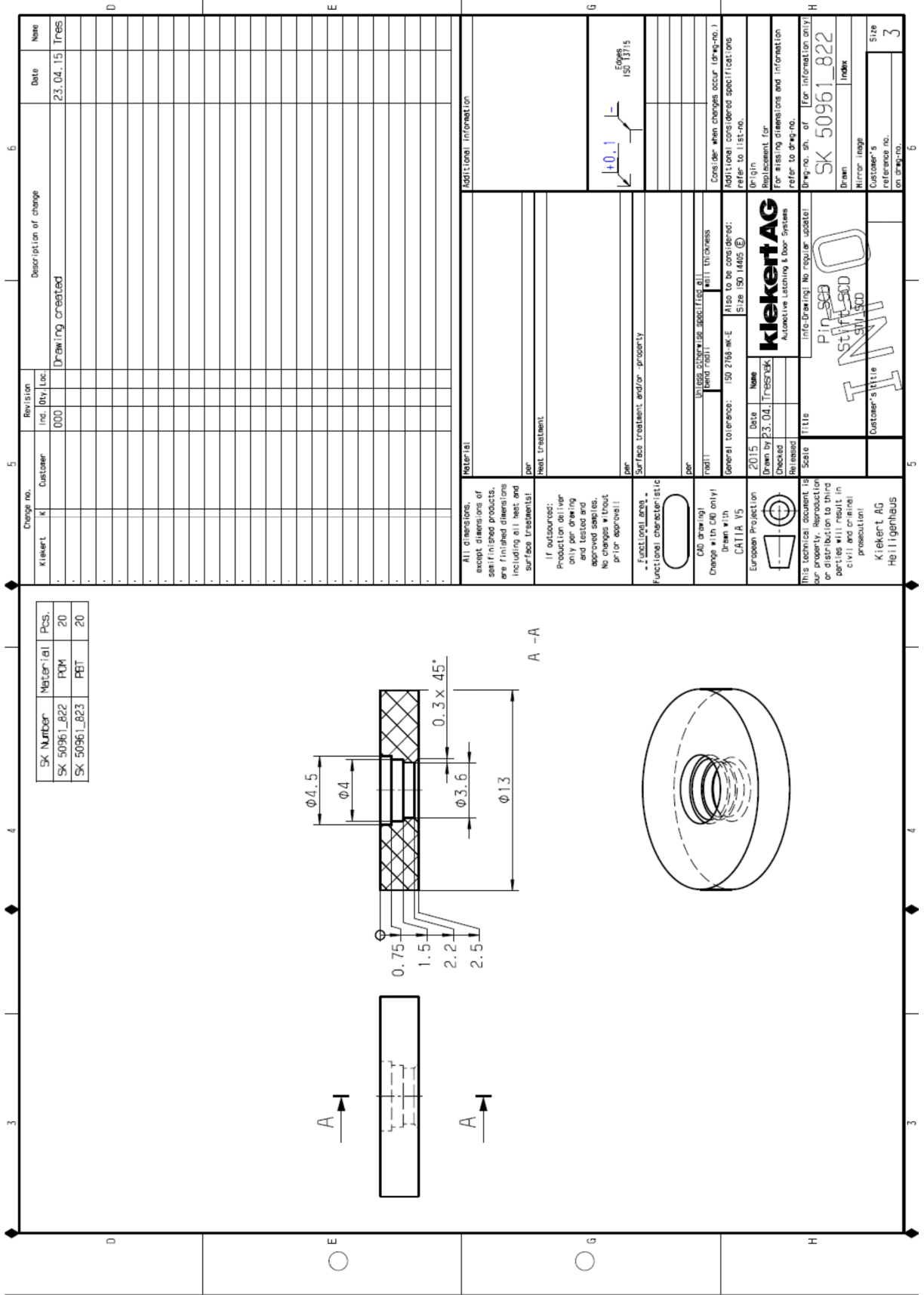
				<table border="1"> <tr> <td>SK Number</td> <td>Material</td> <td>Pos.</td> </tr> <tr> <td>SK 50961_830</td> <td>PMW</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>SK 50961_831</td> <td>PET</td> <td>40</td> </tr> </table>		SK Number	Material	Pos.	SK 50961_830	PMW	40	SK 50961_831	PET	40																																																																																																										
SK Number	Material	Pos.																																																																																																																						
SK 50961_830	PMW	40																																																																																																																						
SK 50961_831	PET	40																																																																																																																						
			<table border="1"> <tr> <td>SK Number</td> <td>Material</td> <td>Pos.</td> </tr> <tr> <td>SK 50961_830</td> <td>PMW</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>SK 50961_831</td> <td>PET</td> <td>40</td> </tr> </table>			SK Number	Material	Pos.	SK 50961_830	PMW	40	SK 50961_831	PET	40																																																																																																										
SK Number	Material	Pos.																																																																																																																						
SK 50961_830	PMW	40																																																																																																																						
SK 50961_831	PET	40																																																																																																																						
			<table border="1"> <tr> <td>Change no.</td> <td>Kiekkert</td> <td>Customer</td> <td>Revision</td> <td>Description of change</td> <td>Date</td> <td>Name</td> </tr> <tr> <td></td> <td>k</td> <td></td> <td>000</td> <td>Drawing created</td> <td>23.04.15</td> <td>Trbs</td> </tr> </table>						Change no.	Kiekkert	Customer	Revision	Description of change	Date	Name		k		000	Drawing created	23.04.15	Trbs																																																																																																		
Change no.	Kiekkert	Customer	Revision	Description of change	Date	Name																																																																																																																		
	k		000	Drawing created	23.04.15	Trbs																																																																																																																		
			<table border="1"> <tr> <td colspan="4">                 All dimensions, except diameters of semi-finished products, are finished dimensions including all heat and surface treatments!             </td> <td colspan="2">                 Material             </td> <td colspan="2">                 Additional information             </td> </tr> <tr> <td colspan="4">                 If outsourced: Production deliver only on company approved samples. No changes without prior approval!             </td> <td colspan="2">                 per Heat treatment             </td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="4">                 Functional areas             </td> <td colspan="2">                 per Surface treatment and/or -property             </td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="4">                 Functional characteristic             </td> <td colspan="2">                 per             </td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="4">                 CAD drawing             </td> <td colspan="2">                 UNLESS SPECIFIED, ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS             </td> <td colspan="2">                 Consider when changes occur (draw-no.)             </td> </tr> <tr> <td colspan="4">                 Change with CAD only!             </td> <td colspan="2">                 General tolerance: 130 2/100-013 E             </td> <td colspan="2">                 Additional considered specifications refer to drawing no.             </td> </tr> <tr> <td colspan="4">                 Draw with CATIA V5             </td> <td colspan="2">                 Also to be considered: Size ISO 1468             </td> <td colspan="2">                 Additional considered specifications refer to drawing no.             </td> </tr> <tr> <td colspan="4">                 European Projection             </td> <td colspan="2">                 2015             </td> <td colspan="2">                 Drawn by 23.04.15 Trbs             </td> </tr> <tr> <td colspan="4">                 This technical document is our property. Reproduction or distribution to third parties will result in civil and criminal prosecution!             </td> <td colspan="2">                 Checked Released             </td> <td colspan="2">                 Kiekkert AG             </td> </tr> <tr> <td colspan="4">                 Scale             </td> <td colspan="2">                 Title             </td> <td colspan="2">                 Info-drawing. No regular updates!             </td> </tr> <tr> <td colspan="4">                 Kiekkert AG Heiligenhaus             </td> <td colspan="2">                 Info-drawing. No regular updates!             </td> <td colspan="2">                 Drawn by 23.04.15 Trbs             </td> </tr> <tr> <td colspan="4">                 Customer's title             </td> <td colspan="2">                 Customer's title             </td> <td colspan="2">                 Reference no. on drawing no.             </td> </tr> <tr> <td colspan="4">                 Index             </td> <td colspan="2">                 Index             </td> <td colspan="2">                 Size             </td> </tr> <tr> <td colspan="4">                 SK 50961_830             </td> <td colspan="2">                 SK 50961_830             </td> <td colspan="2">                 3             </td> </tr> </table>						All dimensions, except diameters of semi-finished products, are finished dimensions including all heat and surface treatments!				Material		Additional information		If outsourced: Production deliver only on company approved samples. No changes without prior approval!				per Heat treatment				Functional areas				per Surface treatment and/or -property				Functional characteristic				per				CAD drawing				UNLESS SPECIFIED, ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		Consider when changes occur (draw-no.)		Change with CAD only!				General tolerance: 130 2/100-013 E		Additional considered specifications refer to drawing no.		Draw with CATIA V5				Also to be considered: Size ISO 1468		Additional considered specifications refer to drawing no.		European Projection				2015		Drawn by 23.04.15 Trbs		This technical document is our property. Reproduction or distribution to third parties will result in civil and criminal prosecution!				Checked Released		Kiekkert AG		Scale				Title		Info-drawing. No regular updates!		Kiekkert AG Heiligenhaus				Info-drawing. No regular updates!		Drawn by 23.04.15 Trbs		Customer's title				Customer's title		Reference no. on drawing no.		Index				Index		Size		SK 50961_830				SK 50961_830		3	
All dimensions, except diameters of semi-finished products, are finished dimensions including all heat and surface treatments!				Material		Additional information																																																																																																																		
If outsourced: Production deliver only on company approved samples. No changes without prior approval!				per Heat treatment																																																																																																																				
Functional areas				per Surface treatment and/or -property																																																																																																																				
Functional characteristic				per																																																																																																																				
CAD drawing				UNLESS SPECIFIED, ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		Consider when changes occur (draw-no.)																																																																																																																		
Change with CAD only!				General tolerance: 130 2/100-013 E		Additional considered specifications refer to drawing no.																																																																																																																		
Draw with CATIA V5				Also to be considered: Size ISO 1468		Additional considered specifications refer to drawing no.																																																																																																																		
European Projection				2015		Drawn by 23.04.15 Trbs																																																																																																																		
This technical document is our property. Reproduction or distribution to third parties will result in civil and criminal prosecution!				Checked Released		Kiekkert AG																																																																																																																		
Scale				Title		Info-drawing. No regular updates!																																																																																																																		
Kiekkert AG Heiligenhaus				Info-drawing. No regular updates!		Drawn by 23.04.15 Trbs																																																																																																																		
Customer's title				Customer's title		Reference no. on drawing no.																																																																																																																		
Index				Index		Size																																																																																																																		
SK 50961_830				SK 50961_830		3																																																																																																																		





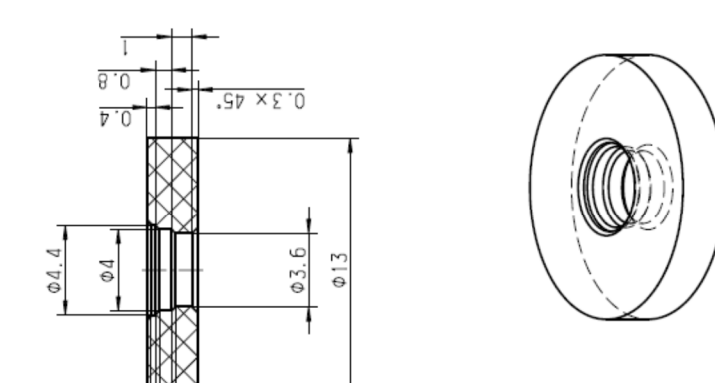


# Příloha 9 - Výkres podložky 2

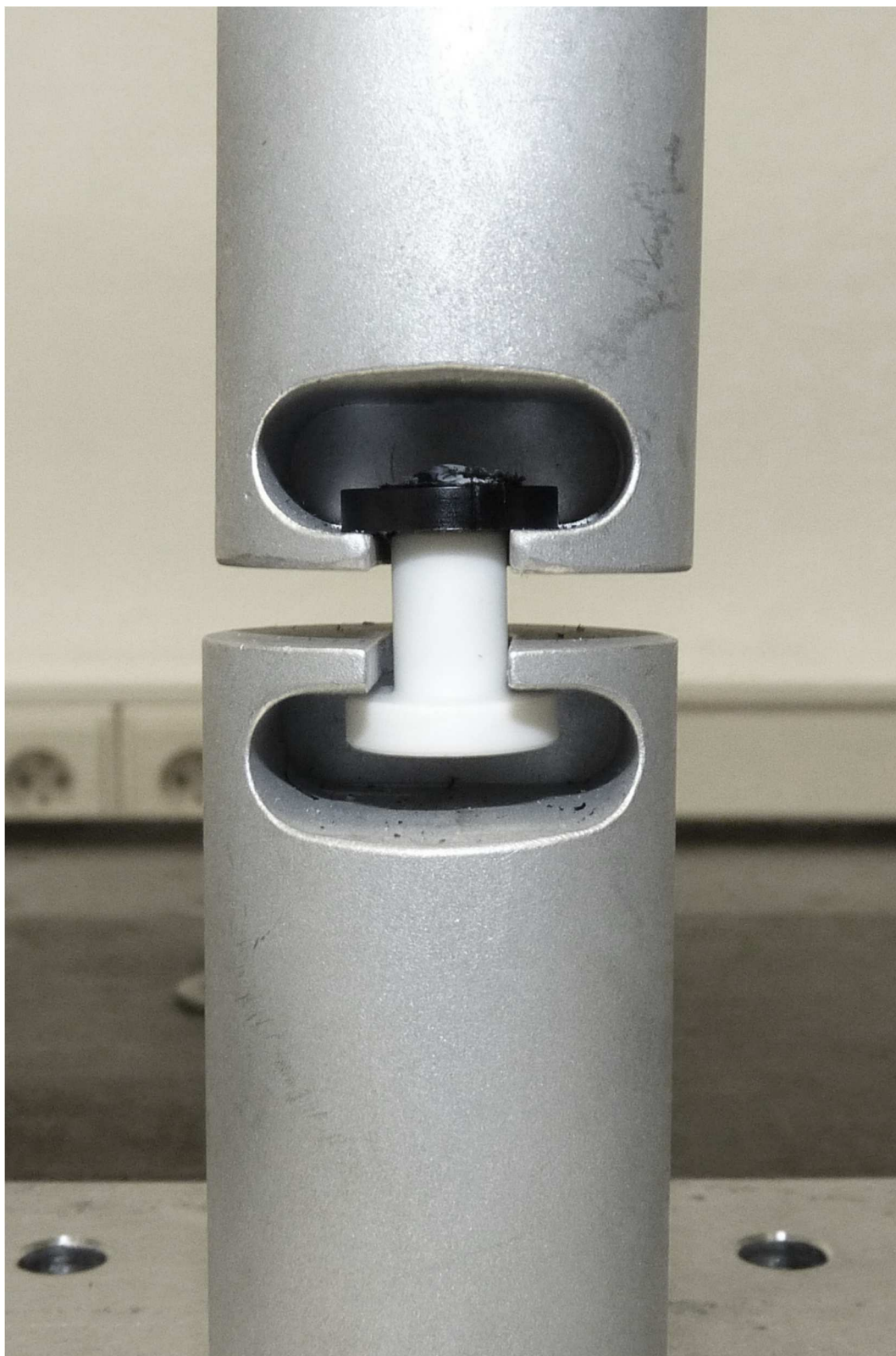




## Příloha 11 - Výkres podložky 4

	4	5	6	Name																																																																																																									
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: flex-end;"> <table border="1" style="font-size: 8px; margin-bottom: 5px;"> <tr> <th>SK Number</th> <th>Material</th> <th>Pos.</th> </tr> <tr> <td>SK 50961_826</td> <td>PDM</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>SK 50961_827</td> <td>PBT</td> <td>20</td> </tr> </table>  </div>	SK Number	Material	Pos.	SK 50961_826	PDM	20	SK 50961_827	PBT	20	D																																																																																																			
	SK Number	Material	Pos.																																																																																																										
	SK 50961_826	PDM	20																																																																																																										
SK 50961_827	PBT	20																																																																																																											
E																																																																																																													
G																																																																																																													
H																																																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 10px;"> <tr> <th style="width: 15%;">Change no.</th> <th style="width: 15%;">Revision</th> <th style="width: 40%;">Description of change</th> <th style="width: 15%;">Date</th> <th style="width: 15%;">Name</th> </tr> <tr> <td>000</td> <td></td> <td>Drawing created</td> <td>23.04.15</td> <td>Tros</td> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>					Change no.	Revision	Description of change	Date	Name	000		Drawing created	23.04.15	Tros																																																																																															
Change no.	Revision	Description of change	Date	Name																																																																																																									
000		Drawing created	23.04.15	Tros																																																																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 10px;"> <tr> <th style="width: 40%;">Material</th> <th style="width: 60%;">Additional information</th> </tr> <tr> <td>per Heat treatment</td> <td rowspan="2"></td> </tr> <tr> <td>per Surface treatment and/or property</td> </tr> <tr> <td>per General tolerances: 150 2708 sk-E Also to be considered: Size 150 1405 ©</td> <td></td> </tr> <tr> <td>per General tolerances: 150 2708 sk-E Also to be considered: Size 150 1405 ©</td> <td></td> </tr> <tr> <td>per General tolerances: 150 2708 sk-E Also to be considered: Size 150 1405 ©</td> <td></td> </tr> <tr> <td>per General tolerances: 150 2708 sk-E Also to be considered: Size 150 1405 ©</td> <td></td> </tr> <tr> <td>per General tolerances: 150 2708 sk-E Also to be considered: Size 150 1405 ©</td> <td></td> </tr> <tr> <td>per General tolerances: 150 2708 sk-E Also to be considered: Size 150 1405 ©</td> <td></td> </tr> </table>					Material	Additional information	per Heat treatment		per Surface treatment and/or property	per General tolerances: 150 2708 sk-E Also to be considered: Size 150 1405 ©		per General tolerances: 150 2708 sk-E Also to be considered: Size 150 1405 ©		per General tolerances: 150 2708 sk-E Also to be considered: Size 150 1405 ©		per General tolerances: 150 2708 sk-E Also to be considered: Size 150 1405 ©		per General tolerances: 150 2708 sk-E Also to be considered: Size 150 1405 ©		per General tolerances: 150 2708 sk-E Also to be considered: Size 150 1405 ©																																																																																									
Material	Additional information																																																																																																												
per Heat treatment																																																																																																													
per Surface treatment and/or property																																																																																																													
per General tolerances: 150 2708 sk-E Also to be considered: Size 150 1405 ©																																																																																																													
per General tolerances: 150 2708 sk-E Also to be considered: Size 150 1405 ©																																																																																																													
per General tolerances: 150 2708 sk-E Also to be considered: Size 150 1405 ©																																																																																																													
per General tolerances: 150 2708 sk-E Also to be considered: Size 150 1405 ©																																																																																																													
per General tolerances: 150 2708 sk-E Also to be considered: Size 150 1405 ©																																																																																																													
per General tolerances: 150 2708 sk-E Also to be considered: Size 150 1405 ©																																																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 10px;"> <tr> <th style="width: 30%;">Date</th> <th style="width: 30%;">Name</th> <th style="width: 30%;">Title</th> <th style="width: 10%;">Index</th> </tr> <tr> <td>2015</td> <td>Tros</td> <td>Info-Drawng. No regular update!</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2015</td> <td>Tros</td> <td>Info-Drawng. No regular update!</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2015</td> <td>Tros</td> <td>Info-Drawng. No regular update!</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2015</td> <td>Tros</td> <td>Info-Drawng. No regular update!</td> <td></td> </tr> </table>					Date	Name	Title	Index	2015	Tros	Info-Drawng. No regular update!		2015	Tros	Info-Drawng. No regular update!		2015	Tros	Info-Drawng. No regular update!		2015	Tros	Info-Drawng. No regular update!																																																																																						
Date	Name	Title	Index																																																																																																										
2015	Tros	Info-Drawng. No regular update!																																																																																																											
2015	Tros	Info-Drawng. No regular update!																																																																																																											
2015	Tros	Info-Drawng. No regular update!																																																																																																											
2015	Tros	Info-Drawng. No regular update!																																																																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: 10px;"> <tr> <th style="width: 50%;">Customer's</th> <th style="width: 50%;">Size</th> </tr> <tr> <td>SK 50961_826</td> <td>3</td> </tr> </table>					Customer's	Size	SK 50961_826	3																																																																																																					
Customer's	Size																																																																																																												
SK 50961_826	3																																																																																																												

## Příloha 12 - Upnutí prototypu ve zkušební stroji



# Příloha 13 – Příklad - Záznamy z měření – Design 1 – Plný pin

Kiekert - CS

15.05.2015

## Charakteristika:

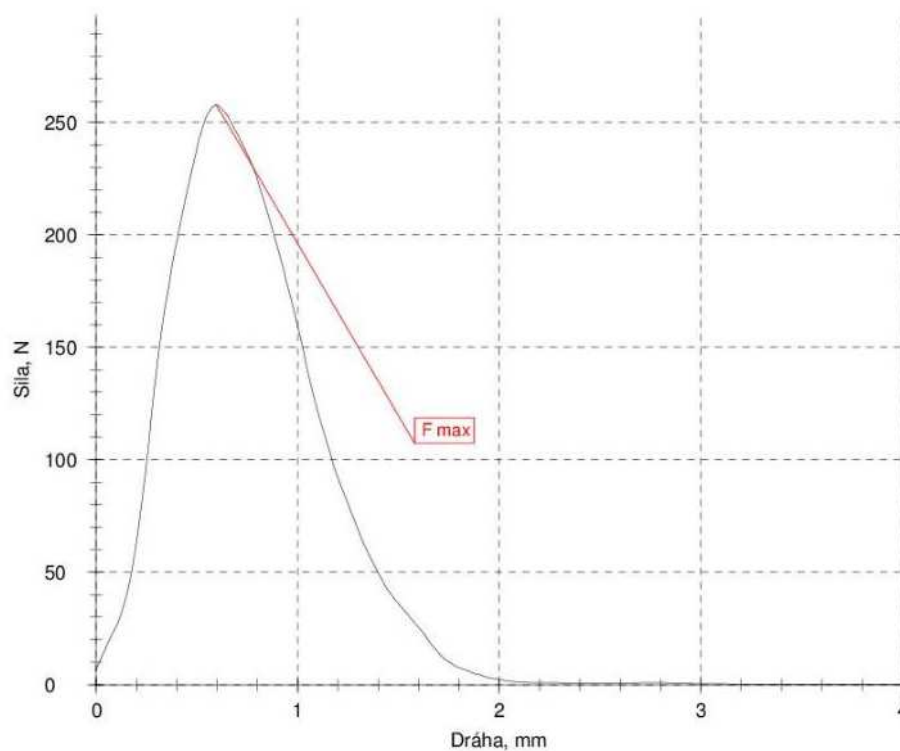
Zákazník : Diplomka  
Zkousel : PD - Tresnak

Material : Plný pin - D1  
C. vzorku : PBT - PBT

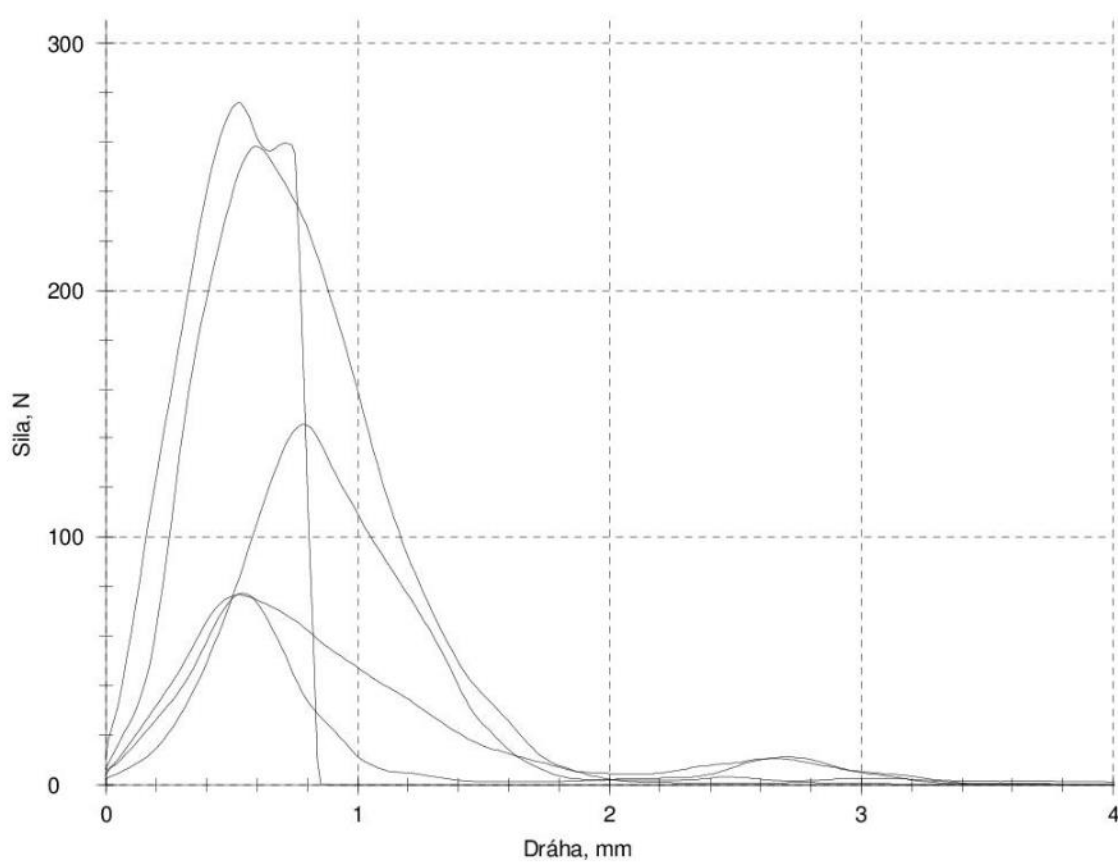
## Výsledky:

Nr	C. vzorku	Fmax. N	Série	Fmax. N
1	PBT - PBT	258,45	n = 5	N
2	PBT - PBT	76,65	x	166,73
3	PBT - PBT	77,27	min.	76,65
4	PBT - PBT	275,87	max.	275,87
5	PBT - PBT	145,41		

## Graf zkoušky:



## Série:



# Příloha 14 – Příklad - Záznamy z měření – Design 4 – Plný pin

Kiekert - CS

15.05.2015

## Charakteristika:

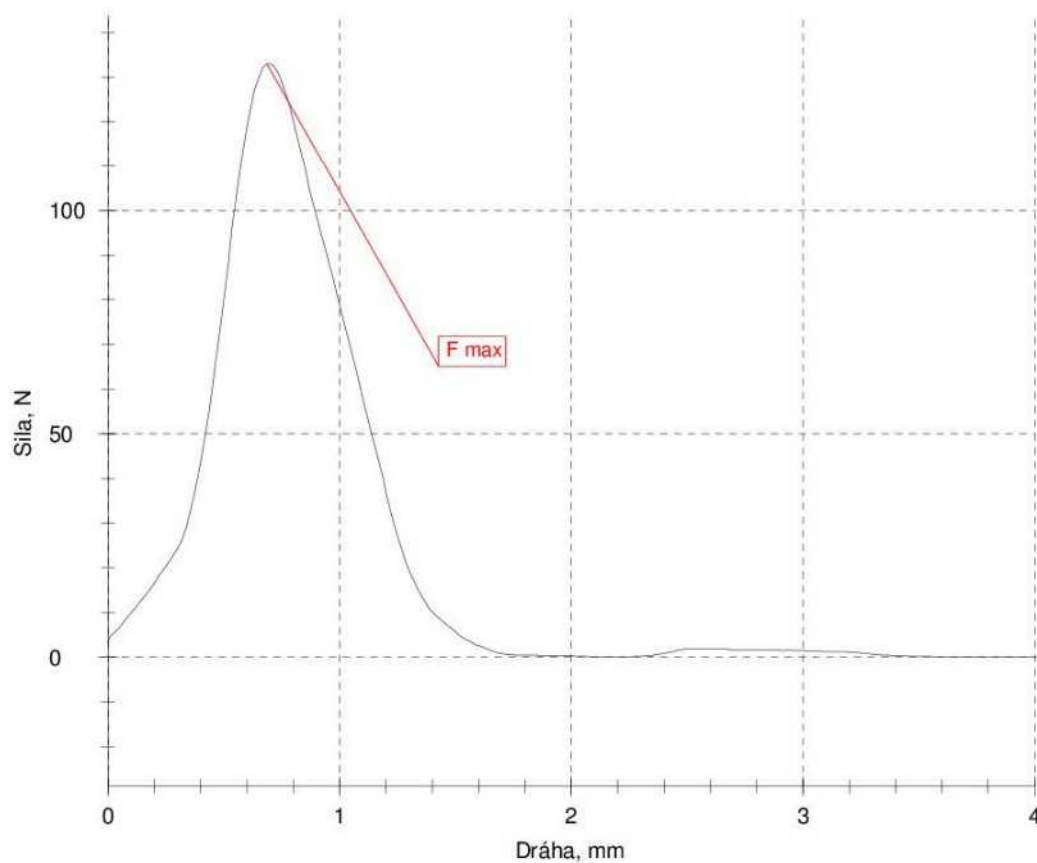
Zákazník : Diplomka  
Zkousel : PD - Tresnak

Material : D4 - plný pin  
C. vzorku : PBT - PBT

## Výsledky:

Nr	C. vzorku	Fmax. N	Série	Fmax. N
1	PBT - PBT	133,11	n = 5	N
2	PBT - PBT	117,63	x	162,94
3	PBT - PBT	160,89	min.	117,63
4	PBT - PBT	195,46	max.	207,62
5	PBT - PBT	207,62		

## Graf zkousky:





**Série:**