



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

MĚŘENÍ PEVNOSTI PÁJENÉHO SPOJE

SOLDER JOINT STRENGTH MEASURING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Aleš Konečný

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Starý, Ph.D.

BRNO 2018

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Mikroelektronika a technologie**
Ústav elektrotechnologie

Student: Aleš Konečný

ID: 177298

Ročník: 3

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Měření pevnosti pájeného spoje

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte problematiku měření pevnosti pájeného spoje povrchové i zástrčné montáže.

Zpracujte metodiku měření a návod na manuální ovládání zařízení Mark M5-100 a na vyhodnocování dosažených výsledků.

Zpracujte část laboratorní úlohy pro předmět BPSM se zjednodušeným postupem ovládání zařízení a zpracování výsledků.

Prakticky se soustředte na konstrukční zdokonalení zařízení - upevňování vzorků SMD i THT součástek, nastavení vzdálenosti a navrhnete metodu motorizovaného pojezdu v z-ové ose.

Prakticky odzkoušejte měření pevnosti pájených spojů čipových součástek velikosti 3,2 x 1,6 mm (1206) a 2,0 x 1,2 mm (0805) a diskutujte vybrané materiálové a procesní vlivy na dosažené výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 31.5.2018

Vedoucí práce: Ing. Jiří Starý, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda oborové rady

ABSTRAKT

Práce se zabývá problematikou pevnosti pájeného spoje a vybranými faktory, které ji ovlivňují. Dále se věnuje určení možností digitálního siloměru MARK10 M5-100 v kombinaci s programem MESURgauge při měření pevnosti pájeného spoje. Následně se věnuje praktickému měření pájených spojů, identifikuje problémy metody měření a realizuje její zlepšení. Zdokonalenou metodu měření popisuje pro použití v laboratorních měřeních. Také se věnuje porovnání pevnosti pájených spojů součástek velikosti 1206 a 0805 provedených pájecími pastami PbSn, SAC a BiSn a THT vývodů.

KLÍČOVÁ SLOVA

pájený spoj, pevnost, měření, SMD, THT

ABSTRACT

This thesis studies the problematics of solder joint strength definition and its contributing factors. It also evaluates the options provided by using a MARK10 M5-100 digital force gauge with MESURgauge software for measuring solder joint strength and practically tests solder joint strength measurement. Then it evaluates possible problems in the measurement method and performs improvements. Improved measuring method is described in detail for use in laboratory exercises. Thesis also compares solder joint strength of 1206 and 0805 sized components soldered with soldering pastes PbSn, SAC and BiSn and THT leads.

KEYWORDS

Solder joint, strength, measurement, SMD, THT

KONEČNÝ, A. Měření pevnosti pájeného spoje . Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 43 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Starý, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Měření pevnosti pájeného spoje jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Starému, Ph.D. za trpělivost, ochotu a cenné rady, které byly při zpracovávání této práce nedocenitelné.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	6
1 TEORIE PEVNOSTI PÁJENÉHO SPOJE	7
1.1 Definice pevnosti pájeného spoje	7
1.2 Metody měření pevnosti pájených spojů	8
1.3 Působící síla a deformace	9
1.4 Faktory ovlivňující pevnost pájeného spoje	11
1.4.1 Materiálové faktory	11
1.4.2 Procesní faktory	12
2 MĚŘÍCÍ PROSTŘEDKY.	13
2.1 Digitální siloměr MARK10 M5-100	13
2.1.1 Obecné vlastnosti siloměru	14
2.1.2 Režimy měření	15
2.2 Program MESURgauge	17
3 KONSTRUKČNÍ ZDOKONALENÍ METODY MĚŘENÍ	22
3.1 Řešení pro měření SMD spojů	22
3.1.1 Kolmost DPS	22
3.1.2 Zamezení prohnutí DPS při měření	24
3.1.3 Nastavení vzdálenosti nástavce od DPS	25
3.1.4 Dostatečná tuhost měřicího zařízení	26
3.1.5 Jednoduchost obsluhy pro opakovaná měření	26
3.2 Řešení pro měření THT spojů	27
3.2.1 Upevnění DPS dostatečně pevně k podložce	27
3.3 Další zdokonalení	28
4 MĚŘENÍ PEVNOSTI PÁJENÝCH SPOJŮ	29
4.1 Plán praktického měření	29
4.2 Měření pevnosti pájených spojů SMD součástek 0805	30
4.3 Měření pevnosti pájených spojů SMD součástek 1206	33
4.4 Měření pevnosti THT spojů	36
5 ZÁVĚR	39

Seznam symbolů, veličin a zkratk	41
Seznam obrázků	42
Seznam tabulek	44
Seznam příloh	45

ÚVOD

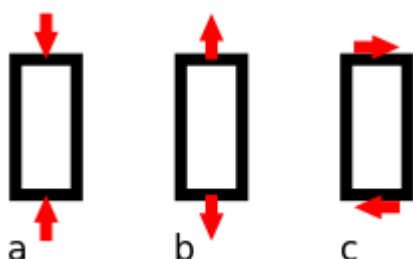
Tato práce se zabývá teorií pevnosti pájeného spoje, jejím měřením a realizací tohoto měření. Dělí se na 4 části. V první části se věnuje teorii pevnosti pájeného spoje. V druhé popisuje možnosti, které skýtá digitální siloměr MARK10 M5-100 a program MESURgauge. V části třetí popisuje provedené zdokonalení metody měření, navržených na základě semestrálního projektu, na který tato práce navazuje. Část čtvrtá popisuje a vyhodnocuje provedená měření. Pátá část je shrnutím výsledků celé práce.

1 TEORIE PEVNOSTI PÁJENÉHO SPOJE

Tato kapitola se zabývá definicí pevnosti pájeného spoje, metodami pro její měření a faktory, které ji ovlivňují.

1.1 Definice pevnosti pájeného spoje

Pevnost je definována jako fyzikální vlastnost pevných látek vyjadřující odolnost vůči působení vnějších sil a její jednotka je Pascal (Pa). Rozlišují se tři druhy pevnosti a to pevnost v tlaku, pevnost v tahu a pevnost ve střihu (viz Obr. 1.1).



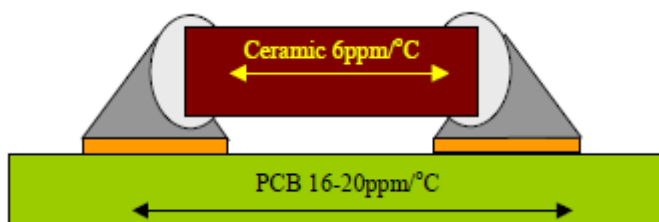
Obr. 1.1: Znázornění druhů pevnosti a) pevnost v tlaku, b) pevnost v tahu c) pevnost ve střihu (převzato z [1]).

Pevnost v tlaku udává velikost tlaku působícího na vzorek, při kterém dojde k přechodu z pružné na plastickou deformaci. Při jejím překročení se tedy vzorek nevrátí do původních rozměrů, ale bude deformován.

Pevnost v tahu je pevnosti v tlaku podobná, jen směr síly je opačný. Pevnost v tahu tedy udává hodnotu napětí, při kterém dojde k plastické deformaci vzorku.

Pevnost ve střihu udává hodnotu tlaku, při kterém dojde ve vzorku k deformaci smykem ve směru rovnoběžném ke směru působení síly.

Při měření pevnosti pájeného spoje hraje největší roli pevnost ve střihu. Součástky osazené na DPS při provozu procházejí teplotními cykly a díky různým teplotním součinitelům roztažnosti součástek a DPS vznikají v pájeném spoji síly působící ve střihu (viz Obr. 1.2). Tyto síly také mohou vzniknout mechanickým ohýbáním desky, nebo upuštěním osazené DPS na zem.

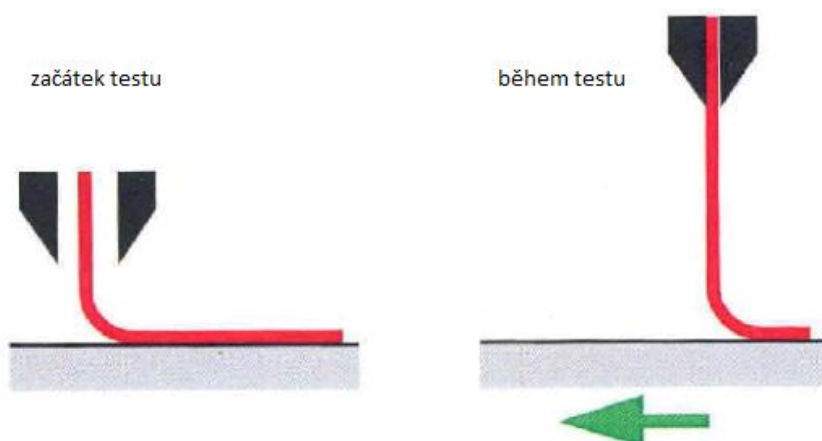


Obr. 1.2: Různé teplotní součinitele součástky a DPS (převzato z [2])

1.2 Metody měření pevnosti pájených spojů

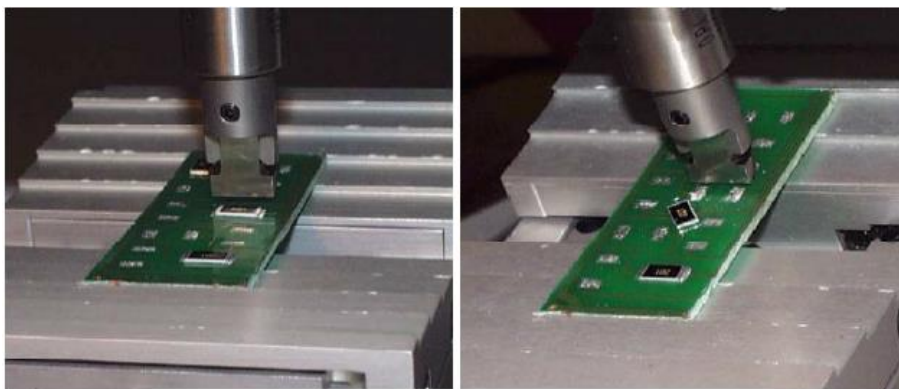
Měření pevnosti pájených spojů lze provádět dvěma metodami a to metodou tahem a metodou stříhem.

Při metodě stříhem se část zapájené součástky ohne směrem nahoru od desky a působí se na ni tahem, dokud nedojde k jejímu utržení (viz Obr 1.3). Tato metoda je vhodná pro porovnávání různých typů spojů. Například různých slitin pájek. Hlavním problémem této metody je zabezpečení dostatečně pevného uchycení součástky a DPS do měřicího zařízení.



Obr. 1.3: Metoda měření pevnosti pájeného spoje tahem (převzato z [2]).

Metoda stříhem spočívá v působení silou na zapájenou součástku ze strany, dokud se součástka neutrhne z DPS (viz Obr. 1.4). Tato metoda je vhodná pro porovnávání různých typů pájených spojů a je prakticky dobře použitelná pro běžné SMD součástky, jako jsou rezistory a kondenzátory.



Obr. 1.4: Metoda měření pevnosti pájených spojů stříhem (převzato z [2]).

U obou těchto metod jsou důležitými faktory úhel, pod kterým síla na součástku působí a průběh působící síly. Změna této síly by měla být pozvolná a plynulá. Tak lze dosáhnout nejpřesnějších výsledků.

1.3 Působící síla a deformace

Při testech pevnosti jakéhokoliv materiálu není důležitá jen maximální hodnota, při které dochází k utržení, ale i průběh celého měření. Na základě průběhu působící síly a deformace lze určit následující meze materiálu či spoje.

Mez Linearity (σ_u)

Deformace je zde lineárně závislá na působící síle a je vratná. Přestane-li síla působit, Vzorek se vrátí do původní velikosti. Pod touto mezí Platí Hookův zákon. (Rovnice 1.1 a návazné rovnice 1.2 a 1.3)

$$\delta = \varepsilon \cdot E \quad \text{Hookův zákon} \quad (1.1)$$

δ – Mechanické napětí v tahu [N/m^2]

ε – Relativní prodloužení [-]

E – Modul pružnosti v tahu [N/m^2]

$$\delta = \frac{F}{S} \quad \text{Mechanické napětí v tahu} \quad (1.2)$$

F – Působící síla [N]

S – Průřez spoje [m^2]

$$\varepsilon = \frac{\Delta_l}{l_0} \quad \text{Relativní prodloužení} \quad (1.3)$$

Δ_l – Délková změna [m]

l_0 – Počáteční délka [m]

Mez pružnosti (σ_e)

Vzorek deformovaný pod tuto mez se vrátí do původní velikosti, přestane-li síla působit. Neplatí zde však Hookův zákon. Deformace tedy již není lineárně závislá na působící síle. Je-li tato mez překročena, dochází k nenávratné deformaci.

Mez kluzu (σ_{kt})

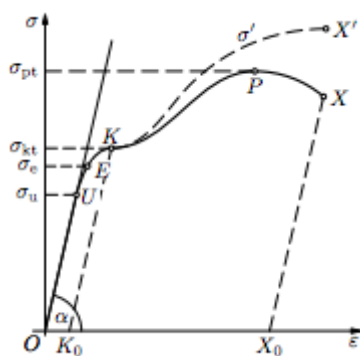
V tomto bodě materiál začíná jakoby téci a neklade síle velký odpor. Nad touto mezí tedy dochází k veliké deformaci při relativně malém zvětšení síly.

Mez pevnosti (σ_{pt})

Udává maximální napětí, které materiál dokáže snést. Nedojde zde však nutně k přetržení.

Bod přetržení (X)

Zde dochází k definitivnímu přetržení.



Obr. 1.5: Průběh deformace v závislosti na působící síle (převzato z [7])

1.4 Faktory ovlivňující pevnost pájeného spoje

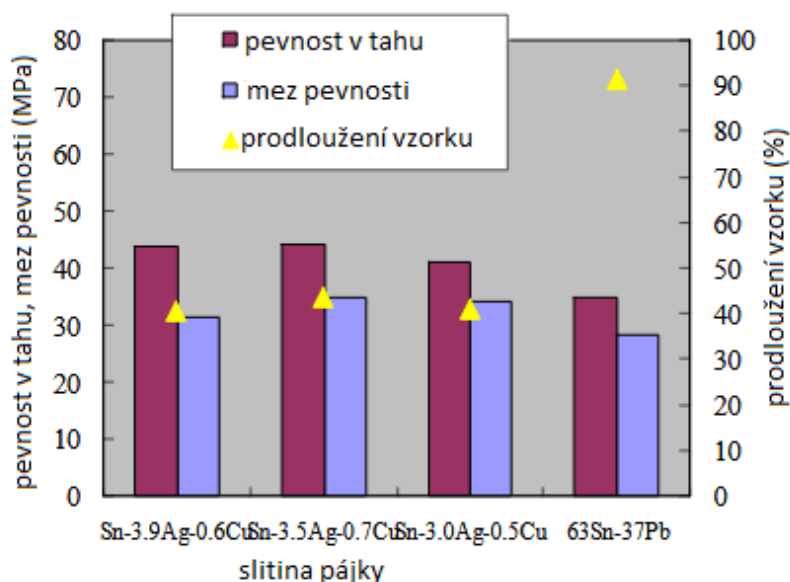
Faktory, které mají vliv na pevnost pájeného spoje je možno rozdělit na dvě skupiny. Na faktory materiálové, které jsou určeny fyzikálními vlastnostmi použitých materiálů a na faktory procesní, které jsou určeny procesem výroby pájeného spoje.

1.4.1 Materiálové faktory

Hlavním materiálovým faktorem je slitina pájky, která byla pro vytvoření pájeného spoje použita. Každá slitina má jiné mechanické vlastnosti a jinou pevnost (viz Obr. 1.5). Různé slitiny se také liší v teplotě pájení, podle které je potřeba nastavit proces výroby.

teplota okolí : 25 °C

rychlost tahu : 10mm/min



Obr. 1.6: Pevnost pájecích slitin v tahu (převzato z [3]).

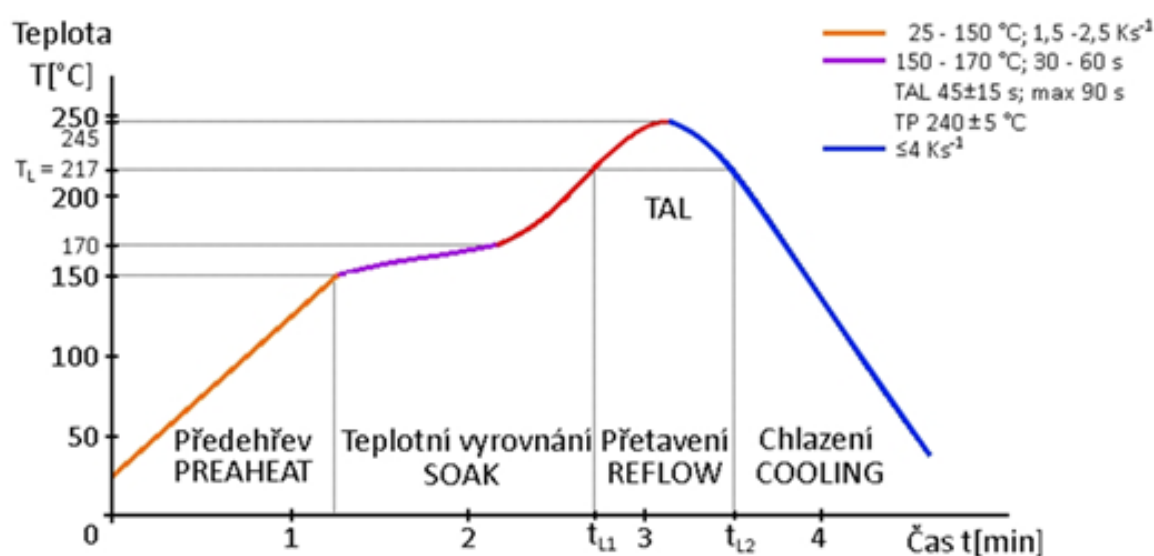
Velmi důležitou vlastností při vytváření pájeného spoje je smáčivost pájky. Tuto vlastnost lze modifikovat použitím tavidla. Tímto lze ovlivnit výslednou geometrii pájeného spoje a tím jeho pevnost. Tavidla však mohou mít na pájený spoj korozivní účinky a negativně ovlivnit jeho dlouhodobou spolehlivost a pevnost. Smáčivost lze také zlepšit povrchovou úpravou pájecích plošek součástky a DPS, která navíc chrání před oxidací.

Při pájení SMD vlnou se před pájením součástky na desku lepí lepidlem. Toto lepidlo na desce po zapájení zůstává a nadále drží součástku přilepenou. Tím neovlivňuje přímo pevnost pájeného spoje, nicméně pro odtržení součástky z DPS bude potřeba vyvinout větší sílu.

1.4.2 Procesní faktory

Způsobů, jak vytvořit pájený spoj existuje mnoho. Například pájení vlnou, pájení přetavením horkým vzduchem, ruční pájení. Každá z těchto metod má své výhody a nevýhody. Obecně jsou však z hlediska pevnosti pájeného spoje vzniklého přetavením podstatné následující faktory.

Teplotní profil pájení. Každá pájecí pasta a pevná pájka má svůj ideální teplotní profil zadáný výrobcem (viz Obr. 1.7). Tento profil lze dobře nastavit použitím pájení přetavením v reflow peci. Profil se dělí na předehřev, teplotní vyrovnání, reflow a chlazení. Rychlost předehřevu se doporučuje na 0,5 – 1 K/s. Je-li předehřev příliš pomalý, dochází k nadměrné oxidaci pájky. Je-li naopak příliš rychlý, může dojít ke vzniku zkratů. Doba teplotního vyrovnání se doporučuje na minimálně 30 s. Je-li doba kratší, může dojít k vytváření studených spojů. Ve fázi reflow by mělo dojít k přetavení pájky. Teplota by měla být 15 – 40 K nad teplotou tavení pájky. Pájka by měla být v roztaveném stavu asi 30 – 90 s. Je-li tato doba delší, dochází k vytváření větších intermetalických sloučenin na pájecích ploškách, které jsou křehké a negativně ovlivní výslednou pevnost spoje. Rychlost chlazení se doporučuje okolo 4 K/s. [4]



Obr. 1.7: Teplotní profil typu RSS určený k přetavení pájecí pasty se slitinou SAC (převzato z [4])

Množství pájky ve spoji společně se smáčivostí určuje výslednou geometrii pájeného spoje. Je-li použita pájecí pasta, její množství určuje použité síťotiskové síto, nebo šablona a jejich motiv, nebo nastavení dávkovače. Při pájení vlnou určuje toto množství návrh DPS a její nepájivé masky.

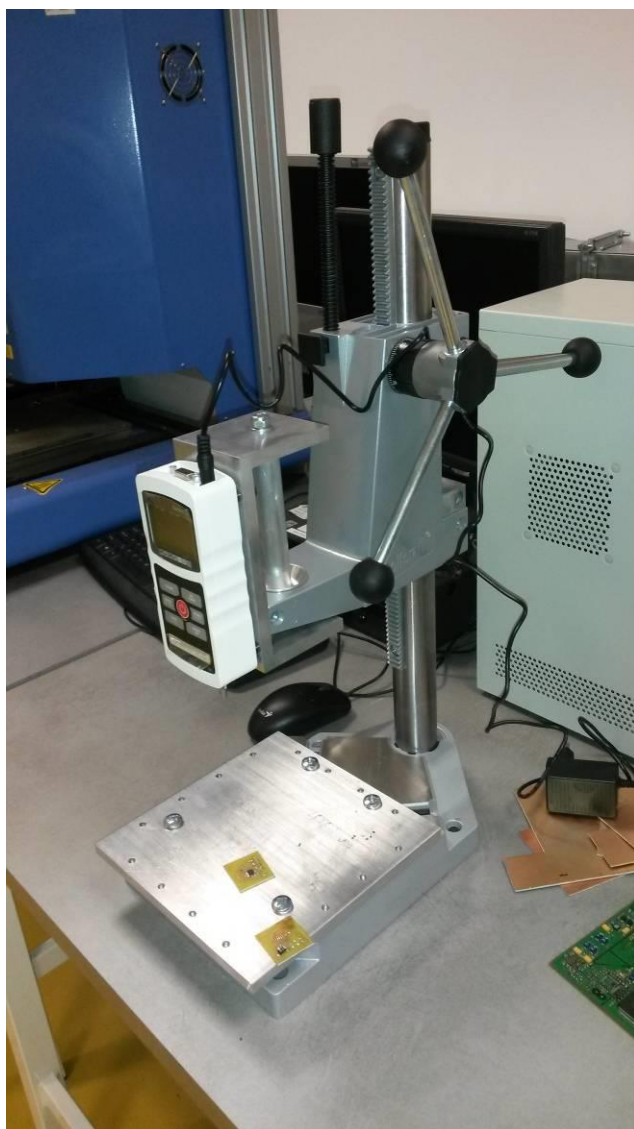
Je-li potřeba osazenou DPS opravovat a pájený spoj znovu roztavit, dochází ke zvětšení křehkých intermetalických vrstev, které negativně ovlivní pevnost spoje.

2 MĚŘÍCÍ PROSTŘEDKY.

Tato kapitola se věnuje možnostem, které poskytuje digitální siloměr MARK10 M5-100 a program MESURgauge.

2.1 Digitální siloměr MARK10 M5-100

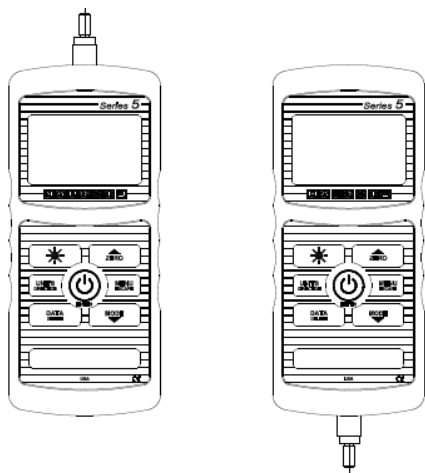
Tento siloměr umožňuje měřit sílu působící jak v tlaku, tak v tahu v rozmezí od 0,5 N do 500 N s přesností 0,1 % celého rozsahu. Je možné jej propojit s počítačem pomocí USB kabelu a data dále zpracovávat, nebo je zpracovat přímo v siloměru. Používaný siloměr již byl přimontován ke stojanu na vrtačku, který umožňuje vertikální pohyb kolmo k podložce pomocí rukou ovládané páky.



Obr. 2.1: Siloměr přimontovaný na stojan

2.1.1 Obecné vlastnosti siloměru

Měřicí hřídel siloměru lze jednoduchou montáží otočit a měřit jak shora, tak i zespoda siloměru (viz Obr. 2.2).



Obr. 2.2: MARK 10 M5-100 možné orientace měřicí hřídele (převzato z [5])

Siloměr lze používat ručně, nebo jej přimontovat na fixturu pomocí čtyř šroubů a ocelového kolíku zapadajícího do fixtury. Nikdy však nesmí být přimontován pouze pomocí šroubů. Síla působící na měřič musí procházet kolíkem a ne šrouby.

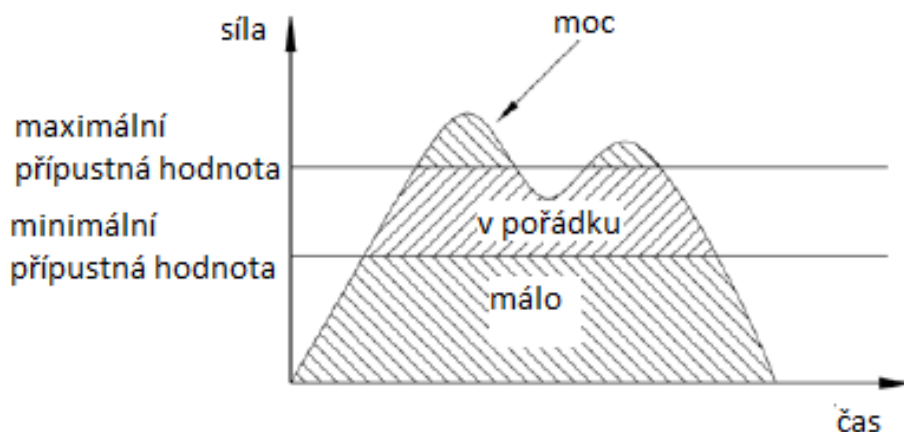
Na siloměr je možno připevnit různé typy nástavců (viz Obr. 2.3). Ty drží na místě pomocí závitu v měřicí hřídeli. Při výměně nástavce je nutné jej volně zašroubovat rukou a nepoužívat pro dotahování nářadí.



Obr. 2.3: Nástavce na siloměr

Na siloměr nesmí působit síla větší, než 150 % maximálního rozsahu, tedy 750 N, jinak hrozí poškození. Je-li během měření překročena hodnota maximálního zatížení na 110 %, na obrazovce se zobrazí „OVER“ a zazní varovný signál, dokud není zmáčknuto tlačítko „MENU“, nebo dokud zatížení neklesne pod hodnotu 110 %.

Siloměr umožňuje nastavení maximální a minimální přípustné hodnoty výsledku měření. Toto umožňuje rychlé vyhodnocení měření, u kterého například očekáváme jistou hodnotu plus minus deset procent. Je možno použít obě, jen jednu, nebo žádnou přípustnou hodnotu (viz Obr 2.4).



Obr. 2.4: Znáznornění přípustných mezí měření (převzato z [5])

2.1.2 Režimy měření

Siloměr má pět režimů, které je možno přepínat pomocí tlačítka „MODE“.

- Real time (RT)
- Peak Compression (PC)
- Peak Tension / Static Coefficient of Friction (PT)
- Average Mode / Kinetic Coefficient of Friction (AVG)
- External Trigger (ET)

Režim Real time (RT)

V tomto režimu siloměr zobrazuje aktuální velikost měřené síly.

Režim Peak Compression (PC)

Siloměr zobrazí maximální naměřenou hodnotu v tlaku. Zobrazenou hodnotu lze vynulovat tlačítkem „ZERO“

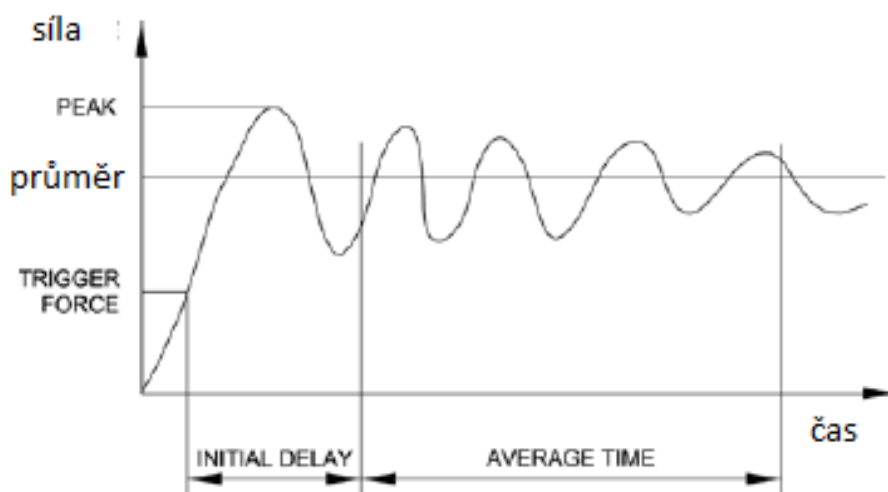
Režim Peak Tension / Static Coefficient of Friction (PT)

Siloměr zobrazí maximální naměřenou hodnotu v tahu. Zobrazenou hodnotu lze vynulovat tlačítkem „ZERO“

Režim Average Mode / Kinetic Coefficient of Friction (AVG)

Siloměr zobrazí průměrnou sílu působící za čas. Pro tento režim je potřeba před měřením nastavit následující parametry (viz Obr. 2.5).

- Initial delay, který určuje zpoždění, než měřič začne průměrovat.
- Averaging Time, který určuje, jak dlouho bude měřič průměrovat.
- Trigger Force, který určuje minimální působící sílu potřebnou k zahájení průměrování.



Obr. 2.5: Parametry režimu Average Mode (převzato z [5])

Režim External Trigger (ET)

Umožňuje připojení externí spouště. Tento režim má čtyři možné nastavení.

- Momentary Hi->Lo – Zobrazí hodnotu při přechodu signálu spouště z high na low
- Momentary Lo->Hi - Zobrazí hodnotu při přechodu signálu spouště z low na high
- Maintained High – Bude zobrazovat aktuální hodnotu síly, dokud je signál ze spouště v úrovni high
- Maintained Low - Bude zobrazovat aktuální hodnotu síly, dokud je signál ze spouště v úrovni low [5]

2.2 Program MESURgauge

MESURgauge je počítačový program navržený pro měření, grafické zpracování, analýzu a uchovávání naměřených dat. Umožňuje tedy provádět měření rychleji, automaticky výsledky zapsat do počítače a dále je zpracovávat.

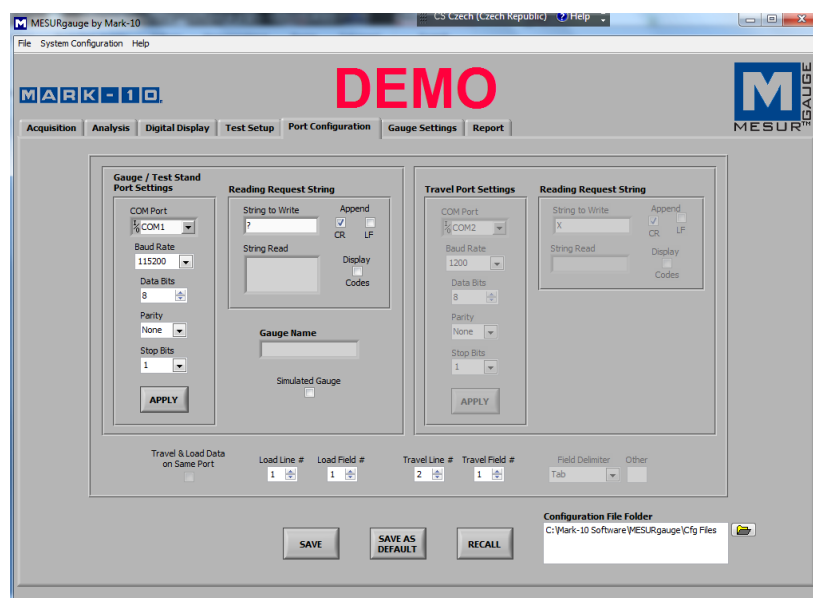
Program je možno nastavit pro pět různých konfigurací měřicího pracoviště.

- Pouze měřidlo
- Měřidlo a externí display
- Měřidlo a stojan s automatickým posuvem s integrovaným enkodérem
- Měřidlo a stojan s automatickým posuvem bez integrovaného enkodéru
- Simulované měřidlo (pro ověření funkčnosti programu bez připojeného měřidla)

Vlastní program se dělí do následujících sedmi oken.

Konfigurace portu

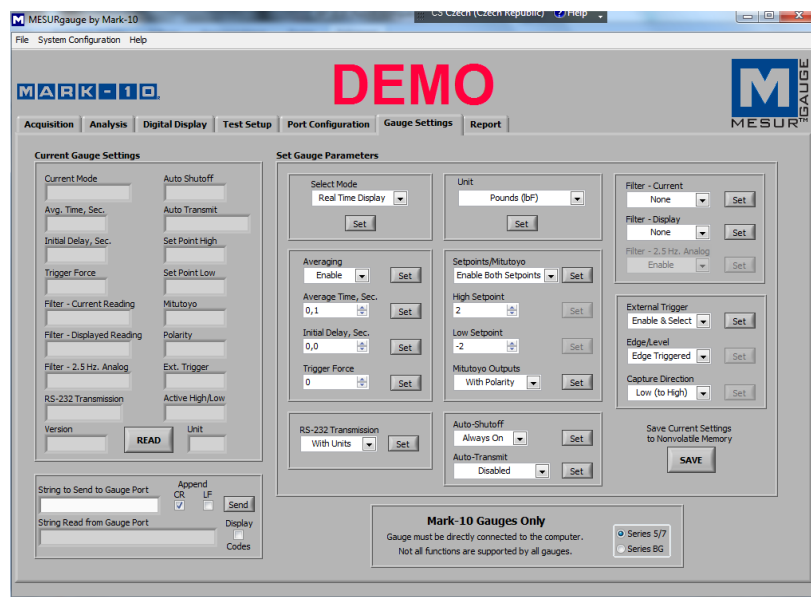
V tomto okně lze nastavit program pro připojení měřidel s různými komunikačními protokoly a toto nastavení uložit či nahrávat. V programu je předvolené nastavení pro protokol měřidel MARK-10 (viz Obr. 2.6).



Obr. 2.6: Konfigurace portu

Nastavení měřidla

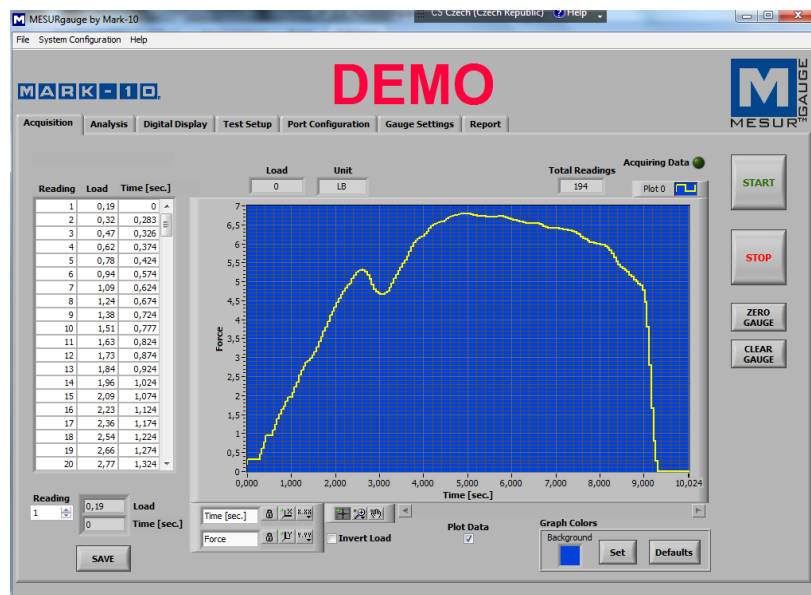
Zde lze nastavovat samotné měřidlo pomocí počítače. Například měřené jednotky, průměrování a podobně (viz Obr. 2.7). Nastavení lze ukládat a nahrávat.



Obr. 2.7: Nastavení měřidla

Příjem dat

Zde se zapisují výsledky měření a vykresluje se graf výsledků (viz Obr. 2.8). Dále je možné zde upravovat vzhled grafu.



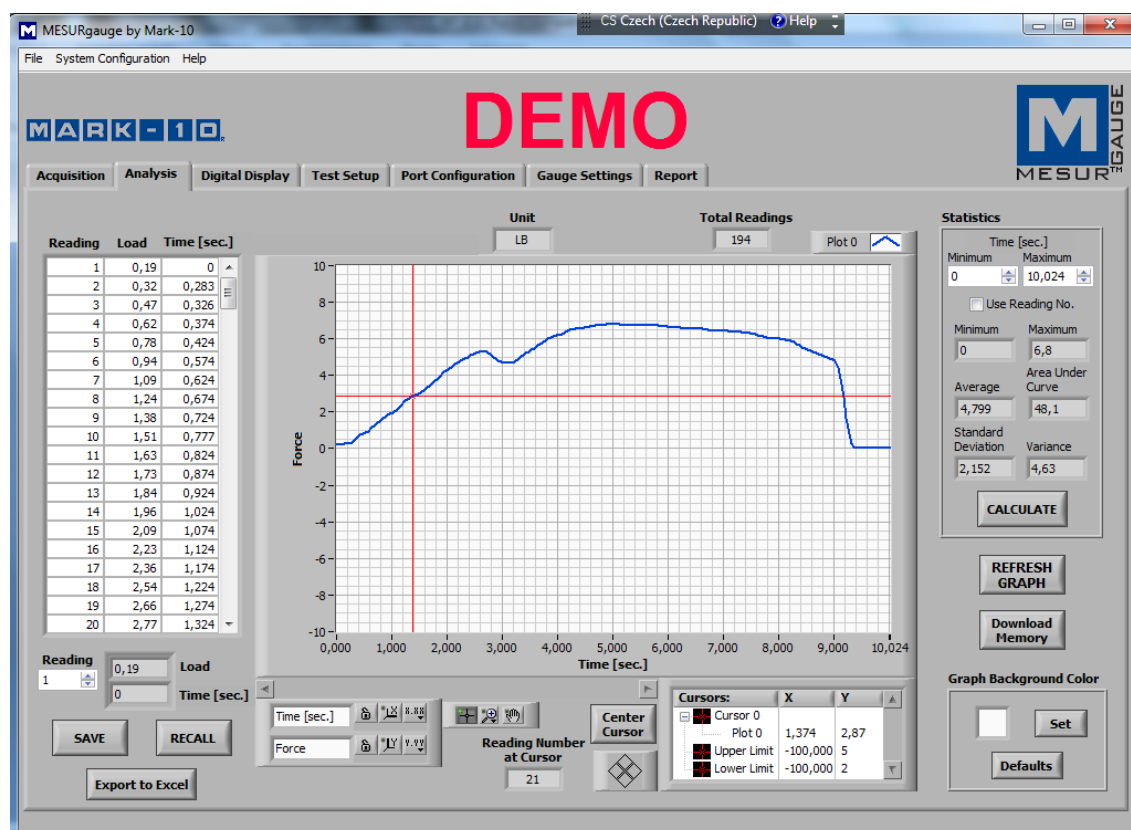
Obr. 2.8: Příjem dat

Analýza

Toto okno, jak už název napovídá, slouží k analýze dat naměřených, nebo stáhnutých z paměti měřidla. Pomocí kurzoru je možno odečítat data z grafu. Rovněž jsou zde k dispozici následující statistické funkce. (viz Obr. 2.9)

- Time / Travel / Reading Number Range - zobrazí data ze zadaného rozmezí času / pozice stojanu / naměřených dat
- Minimum (data range) – najde minimum v zadaném rozmezí/intervalu
- Maximum (data range) – najde maximum v zadaném intervalu
- Minimum (statistic) – najde minimum ze všech hodnot.
- Maximum (statistic) – najde maximum ze všech hodnot
- Průměr – vypočítá aritmetický průměr ze všech hodnot
- Oblast pod křivkou – integrál hodnot v daném intervalu
- Směrodatná odchylka – vypočítá směrodatnou odchylku měření

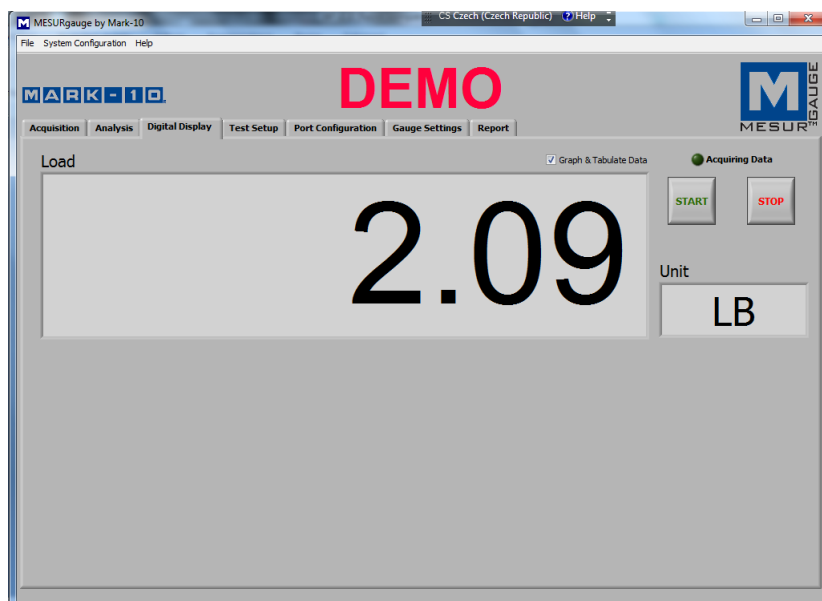
Naměřená data a graf je zde možno uložit a načíst, nebo exportovat do excelu.



Obr. 2.9: Analýza

Digitální zobrazení

Zde je zobrazena aktuální měřená hodnota. Je zde možno zahájit a ukončit měření (viz Obr. 2.10).

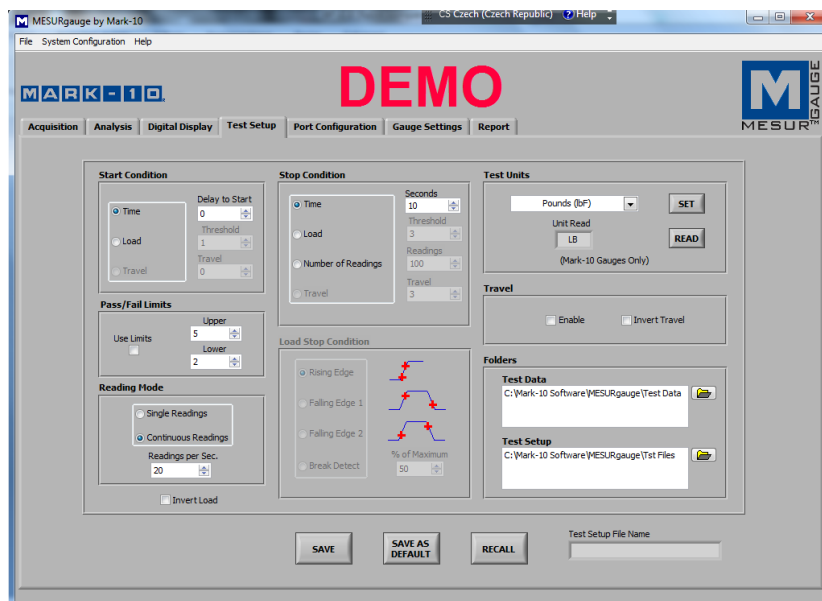


Obr. 2.10: Digitální zobrazení

Nastavení měření

Zde je možno nastavit následující parametry (viz Obr. 2.11).

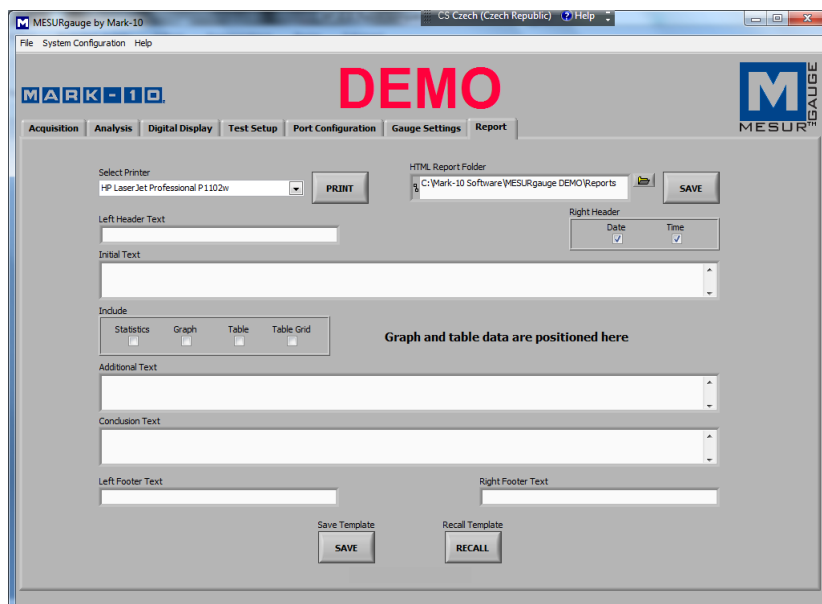
- Podmínky začátku měření – podle časového zpoždění, nebo zátěže působící na měřidlo, nebo pozice stojanu
- Podmínky ukončení měření – podle časového zpoždění, zátěže, nebo pozice stojanu.
- Jednotky, ve kterých je měření prováděno
- Inverze měření – prepóluje výsledky. Například hodnoty měřené v tahu tak budou kladné
- Kontinuita měření – jednotlivé/průběžné měření. Lze nastavit kolik hodnot se naměří za sekundu
- Minimální/maximální přípustné hodnoty
- Nastavení měření je možné uložit a posléze opět načíst.



Obr. 2.11: Nastavení měření

Datový výstup měření

Zde je možno vytvořit podobu výsledné zprávy o měření a uložit ji, nebo ji vytisknout (viz Obr. 2.12). [6]



Obr. 2.12: Datový výstup z měření

3 KONSTRUKČNÍ ZDOKONALENÍ METODY MĚŘENÍ

Ze semestrálního projektu, na který tato práce navazuje je patrné, že je potřeba zrealizovat mechanické zlepšení měření. Konkrétně uchycení měřené DPS k podložce. Tato zlepšení by měla řešit následující body.

Pro měření SMD spojů

- Kolmost DPS k podložce
- Zamezení ohybu DPS při měření
- Nastavení vzdálenosti nástavce od DPS
- Dostatečná tuhost měřicího zařízení
- Jednoduchost obsluhy pro opakovaná měření

Pro měření THT spojů

- Upevnění DPS dostatečně pevně k podložce

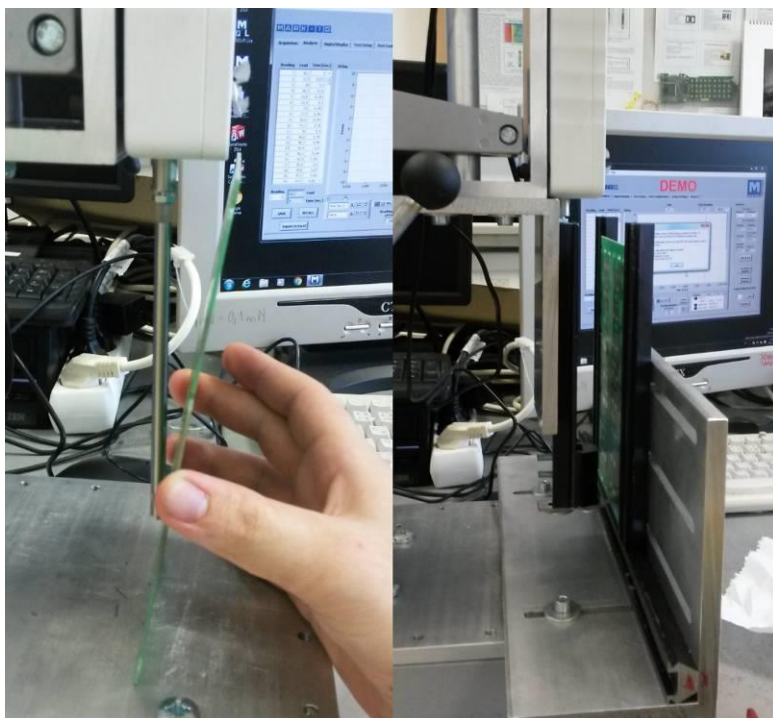
3.1 Řešení pro měření SMD spojů

3.1.1 Kolmost DPS

Jako první byl vyřešen problém s velkými DPS, na kterých nebylo možno provádět měření, aniž by byla umístěna nakřivo, kvůli umístění měřicího nástavce přímo pod siloměrem (viz Obr. 3.1) Toto bylo vyřešeno novým nástavcem, který místo dotyku s měřenou součástkou posunul mimo tělo siloměru. Nyní je tedy možno i velké DPS umístit kolmo k podložce. Nový nástavec byl vyroben dlouhý, aby došlo k minimalizaci úhlu výsledné působící síly k ose, ve které siloměr měří. Pro nový nástavec byly také zhotoveny vyměnitelné hroty pro součástky velikosti 0805, 1206 a velký rovný hrot. (viz Obr. 3.2) Tyto hroty byly vyrobeny z nerezové oceli. Původní prototyp byl zhotoven z hliníku, ale po několika měřeních se z něj strhla hrana a nebyl nadále pro měření použitelný. Nerezové hroty po více než stovce měření stále zůstávají ostré.

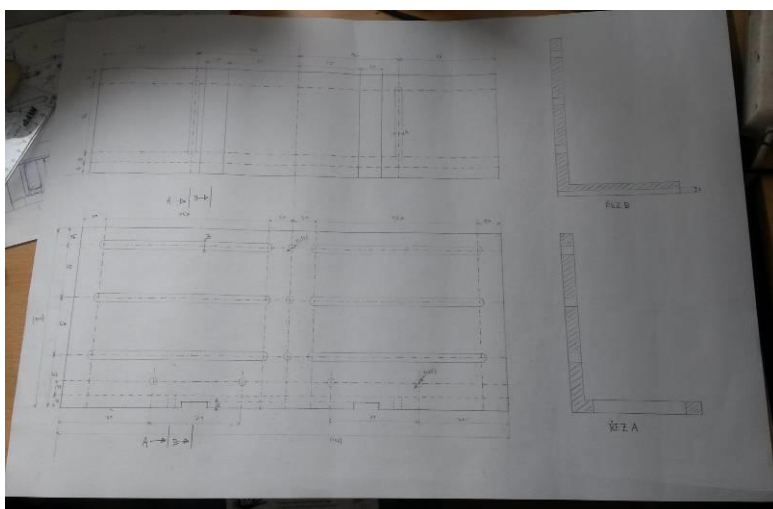


Obr. 3.1: Vyměnitelné hroty na nástavec siloměru



Obr. 3.2: Kolmost DPS k siloměru bez nového nástavce a s novým nástavcem

K zajištění vlastní kolmosti DPS k podložce byl zvolen hliníkový profil tvaru L o rozměrech 100 x 150 x 10 mm. Délka profilu byla zvolena tak, aby bylo možno upevnit DPS o šířce až 30 cm. Pro obrábění tohoto profilu byl nakreslen výkres (viz Obr. 3.2) Tento profil je posuvný v horizontální rovině blíže a dál od měřicího nástavce. Upevnění DPS k tomuto profilu je řešeno pomocí duralových profilů s drážkami, do kterých strany DPS přesně zapadají. (viz Obr. 3.4) Tyto profily je možno posunovat a upevnit pomocí nich DPS šířky od 3 cm do 30 cm a výšky maximálně 30 cm. (viz. Obr. 3.3) Posun DPS v horizontální rovině doleva a doprava vůči měřicímu nástavci je řešen posouváním těchto profilů.



Obr. 3.3: Výkres pro zpracování profilu L



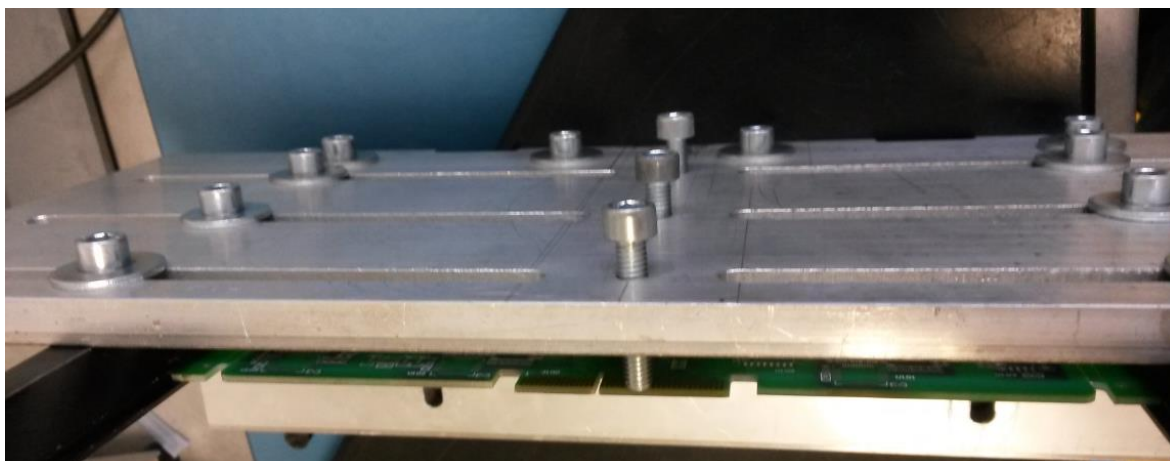
Obr. 3.4: Upevnění DPS k profilu L



Obr. 3.5: Profil pro upevnění DPS

3.1.2 Zamezení prohnutí DPS při měření

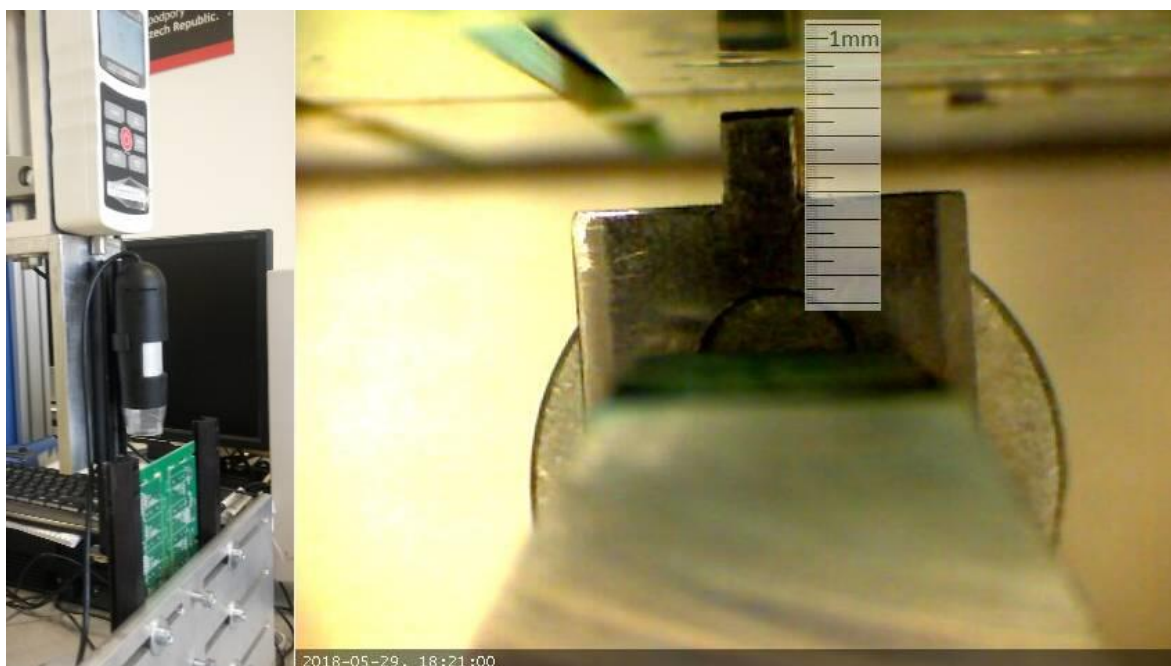
Během měření v semestrálním projektu bylo patrné, že velikost průhybu DPS při měření není zanedbatelná a znemožňovala přesné nastavení vzdálenosti měřicího nástavce od DPS. Aby nedocházelo při měření k průhybu desky, do profilu L byly přidány šrouby, kterými je možno DPS ze zadní strany zajistit. (viz Obr. 3.6) DPS se o ně tedy opře a nedochází k průhybu.



Obr. 3.6: Opěrné šrouby pro DPS

3.1.3 Nastavení vzdálenosti nástavce od DPS

Nastavení vzdálenosti je možno udělat posunem celého L profilu. Pro měření vzdálenosti je na nástavec siloměru namontován USB mikroskop. (viz Obr. 3.7) Do obrazu promítaného na obrazovku je vloženo měřítko, podle kterého lze vzdálenost nástavce od desky určit.



Obr. 3.7: Upevnění USB mikroskopu, záběr z mikroskopu

3.1.4 Dostatečná tuhost měřicího zařízení

Při testování výše zmíněných zlepšení se ukázalo, že L profil a upevnění DPS mají tuhost dostatečnou a během měření zde nedochází k průhybu. Nový nástavec však měl tendenci se vyhybat směrem od měřeného spoje. Tento nástavec je přímo přimontován na měřicí osu siloměru a musí tedy mít jistý stupeň volnosti. Jako řešení tedy bylo zvoleno vytvoření posuvné opěrné plochy pro nástavec, která mu nedovolí se vyhnout a bude možné s ní uhnout pro případnou výměnu nástavce. (viz Obr. 3.8)



Obr. 3.8: Opěrná plocha měřicího nástavce

3.1.5 Jednoduchost obsluhy pro opakovaná měření

Při zkušebních měřeních se ukázalo, že největší problém je přesně umístit DPS do požadované vzdálenosti a pozice nad testovanou součástí. Pro zjednodušení tedy byly na podložku přidány nastavitelné zářezky, pomocí nichž se při prvním měření nastaví vzdálenost a kolmost k měřicímu nástavci. (viz Obr. 3.9) Při opakovaném měření tedy stačí popojet siloměrem pro posun nahoru a dolů, nebo deskou na L profilu pro pohyb doleva a doprava.



Obr. 3.9: Zarážky pro nastavení vzdálenosti měřícího nástavce od DPS

Nyní jsou všechny součásti k podložce a k sobě navzájem upevněny pomocí imbusových šroubů velikosti 5 a pro jejich posun je tedy potřeba použít klíč. Do budoucna by bylo možné použít palcové šrouby v místech, která nejsou namáhána velkou silou a ponechat šrouby na klíč v místech namáhaných, kde je potřeba, aby byly pořádně utaženy.

3.2 Řešení pro měření THT spojů

3.2.1 Upevnění DPS dostatečně pevně k podložce

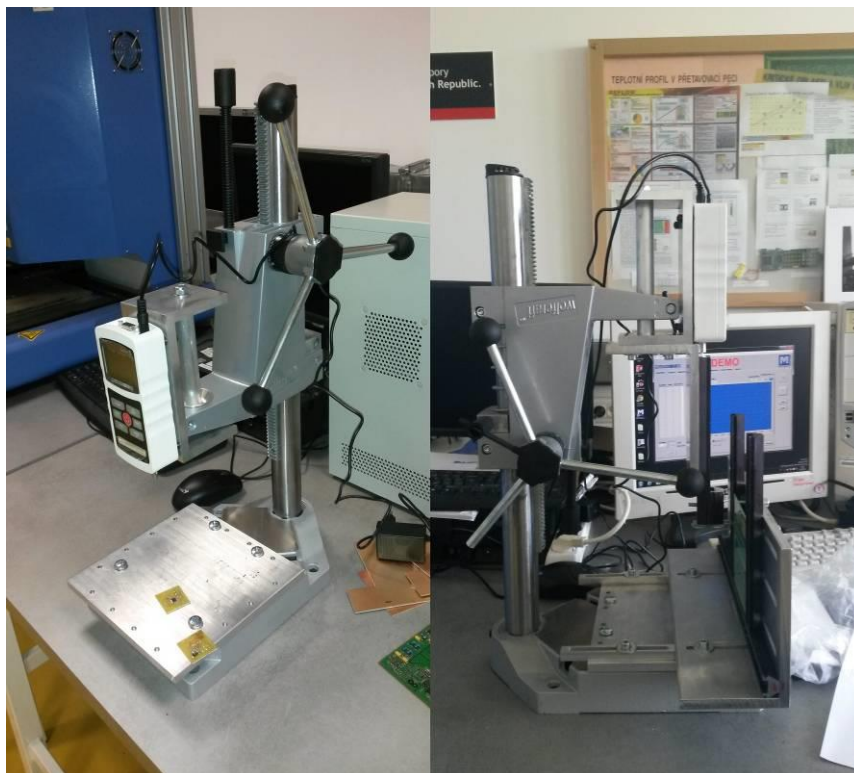
Pro upevnění DPS k podložce byly použity dva ocelové profily tvaru L a výše zmíněné dorážky použity jako podložky. (viz Obr. 3.10)



Obr. 3.10: Konfigurace pracoviště pro měření THT vývodů

3.3 Další zdokonalení

Pro zvětšení vertikálního rozsahu měření byla posuvná část stojanu namontována naopak. (viz Obr. 3.11) Tímto se zvětšil rozsah zhruba o 15 cm.



Obr. 3.11: Měřicí zařízení před a po realizaci vylepšení

Dále byl vypracován návod v programu PowerPoint pro jednoduché nastavení a použití měřicího zařízení pro laboratorní cvičení studentů VUT. (viz Příloha D)

4 MĚŘENÍ PEVNOSTI PÁJENÝCH SPOJŮ

Hlavním cílem měření je prověřit funkčnost měřicího pracoviště s vylepšeními popsanými v předchozí kapitole. Dalším cílem je porovnat pevnost pájených spojů slitin pájek SAC, BiSn a PbSn na součástkách o velikostech 0805, 1206, provést měření pevnosti THT spoje a diskutovat naměřené výsledky.

4.1 Plán praktického měření

Měření pevnosti pájených spojů SMD součástek 0805

V této části bude provedeno měření součástek o velikosti 0805 zapájených přetavením v průchozí peci za použití pájecích past SAC, SnPb a BiSn. Slitiny SAC a BiSn budou natištěny pomocí šablony. Slitina PbSn bude nanесena na desku poloautomatickým dávkovačem. Pro každou slitinu bude provedeno 20 měření a výsledky porovnány.

Měření pevnosti pájených spojů SMD součástek 1206

V této části bude provedeno měření na spojích součástek velikosti 1206 zapájených přetavením v průchozí peci za použití pájecích past SAC, PbSn a BiSn. Všechny pasty byly nanесeny poloautomatickým dávkovačem. Pro každou slitinu bude provedeno 20 měření a výsledky budou porovnány.

Měření pevnosti THT spojů

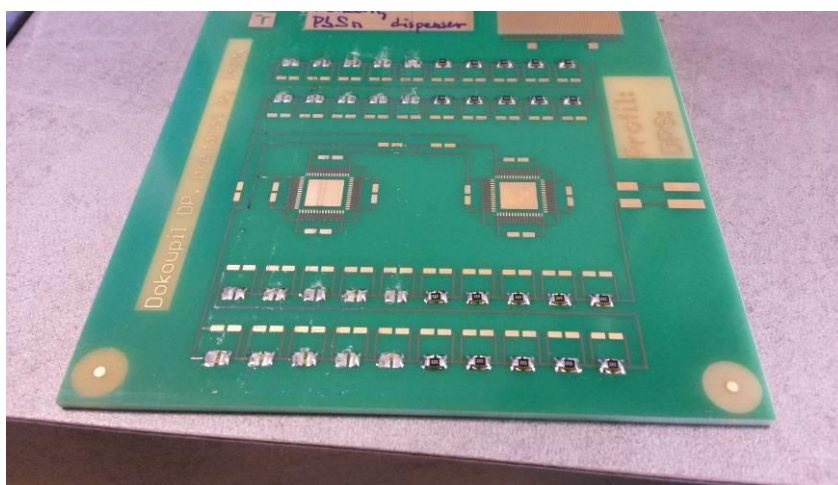
V této části bude provedeno měření pájených spojů THT vývodů v oboustranné DPS s prokovenými průchody. Bude provedeno celkem 10 měření a výsledky vyhodnoceny. Jde zde hlavně o otestování mechanického řešení pro měření pájených spojů THT.

4.2 Měření pevnosti pájených spojů SMD součástek 0805

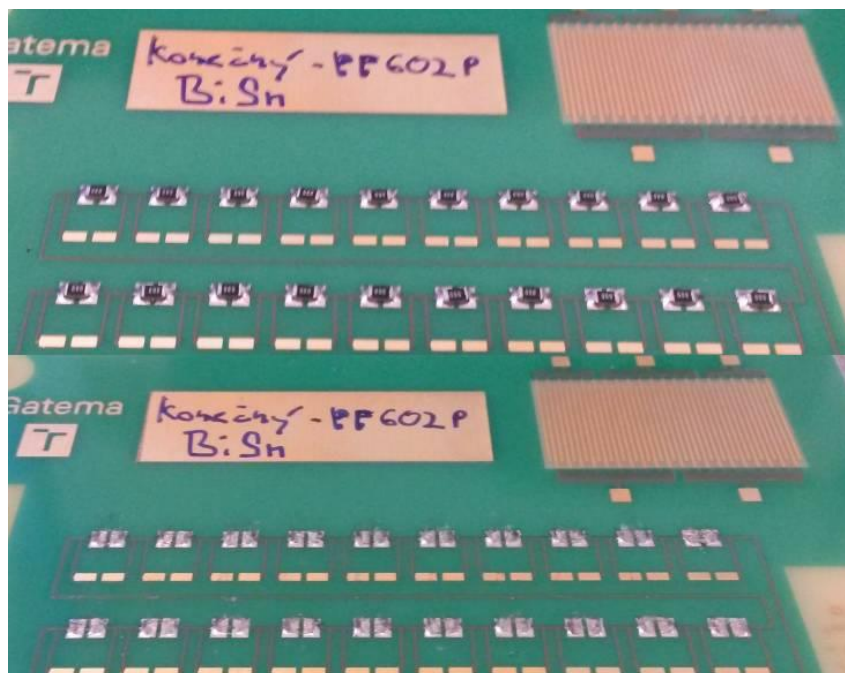
Pájecí pasty SAC a BiSn byly na DPS natištěny pomocí šablony. Slitina PbSn byla na DPS nanесena pomocí poloautomatického dávkovače. Tyto DPS byly poté ručně osazeny SMD rezistory o velikosti 0805 a zapájeny v průchozí pájecí peci odpovídajícími teplotními profily.

DPS byly při měření umístěny do nového stojanu, upevněny ze stran a podepřeny šrouby zezadu, aby nedocházelo k prohýbání během měření.

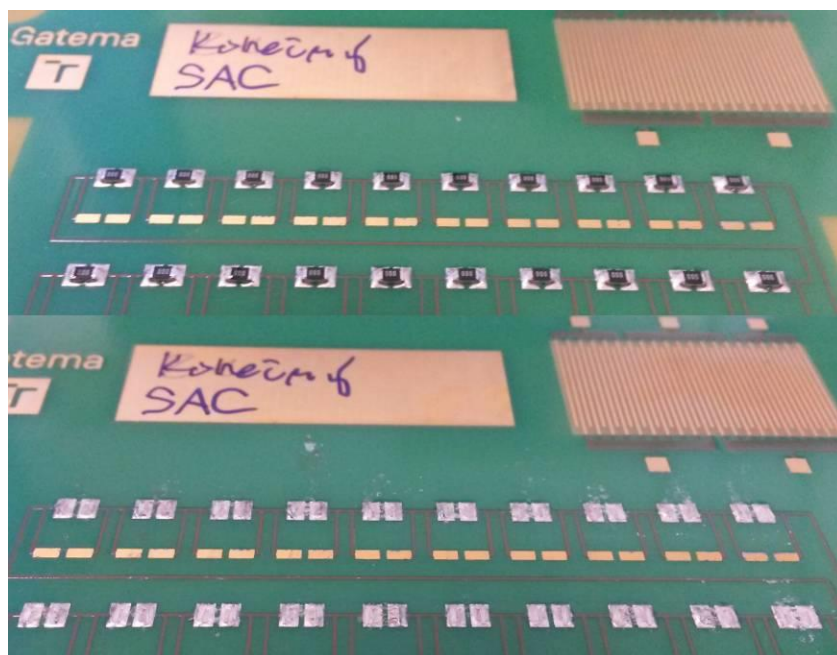
Měření proběhlo bez problému.



Obr. 4.1: DPS pájená pastou PbSn po měření (0805)



Obr. 4.2: DPS pájená pastou BiSn před a po měření (0805)



Obr. 4.3: DPS pájená pastou SAC před a po měření (0805)

Tab. 4.1: Naměřené hodnoty spojů součástek 0805

	SAC	PbSn	BiSn
n	F_{MAX} [N]	F_{MAX} [N]	F_{MAX} [N]
1	99,7	86,2	113,0
2	105,8	112,3	101,9
3	99,3	103,1	91,7
4	104,4	96,1	90,8
5	103,0	94,9	81,5
6	112,5	99,2	96,9
7	99,3	102,1	84,7
8	112,7	104,6	73,0
9	104,1	114,1	79,9
10	122,8	100,4	75,5
11	115,4	99,8	110,9
12	103,2	110,3	78,6
13	97,1	114,1	103,0
14	118,7	88,4	88,8
15	110,7	96,2	89,9
16	102,7	109,8	114,8
17	104,1	92,9	98,4
18	99,2	86,0	87,2
19	111,2	105,3	73,9
20	95,2	99,4	90,2

$$\overline{F_{MAX}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_{MAXn} = \frac{1}{20} \cdot 2121,1 = 106,06 \text{ N} \quad (4.1)$$

$$u_a = k_s \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (F_{MAXn} - \overline{F_{MAX}})^2} = 1 \cdot \sqrt{\frac{1}{20 \cdot 19} \cdot 1077,21} = 1,684 \text{ N} \quad (4.2)$$

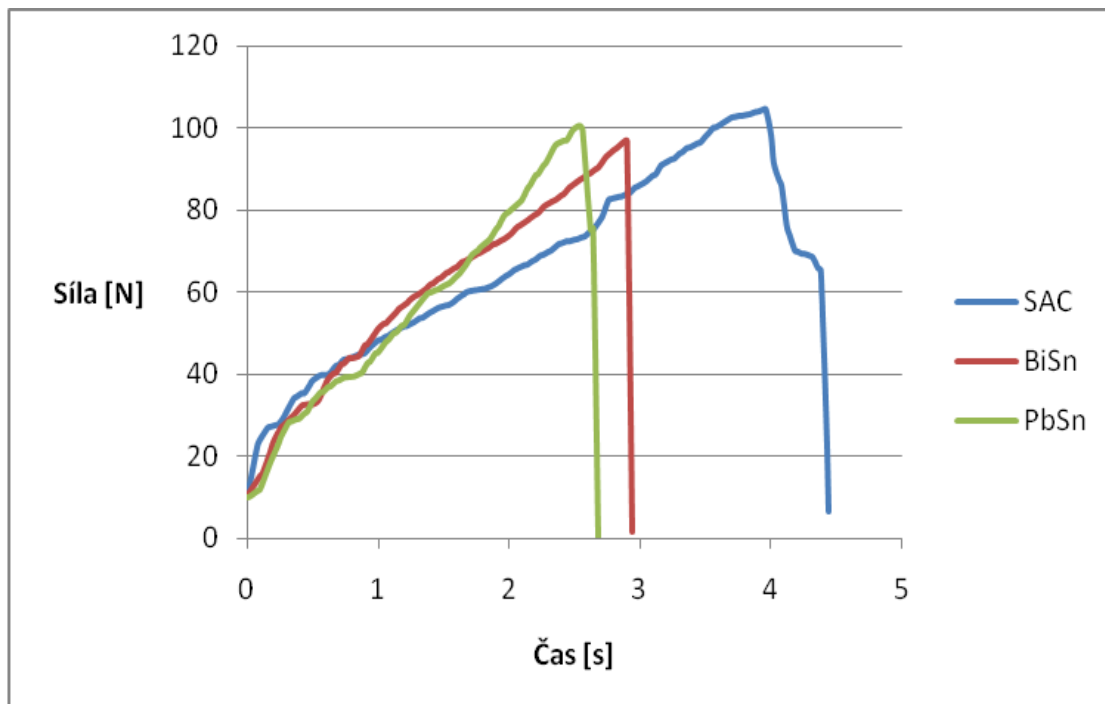
$$u_b = \frac{\Delta_{max}}{\sqrt{3}} = \frac{500 \cdot 0,001}{\sqrt{3}} = 0,289 \text{ N} \quad (4.3)$$

$$U_{95\%} = 2 \cdot \sqrt{u_a^2 + u_b^2} = 2 \cdot \sqrt{1,684^2 + 0,289^2} = 3,416 \text{ N} \quad (4.4)$$

Tab. 4.2: Výsledky měření spojů součástek 0805

Slitina pájky	SAC	PbSn	BiSn
F_{MAX} [N]	$106,66 \pm 3,42$	$100,76 \pm 3,93$	$92,23 \pm 5,73$

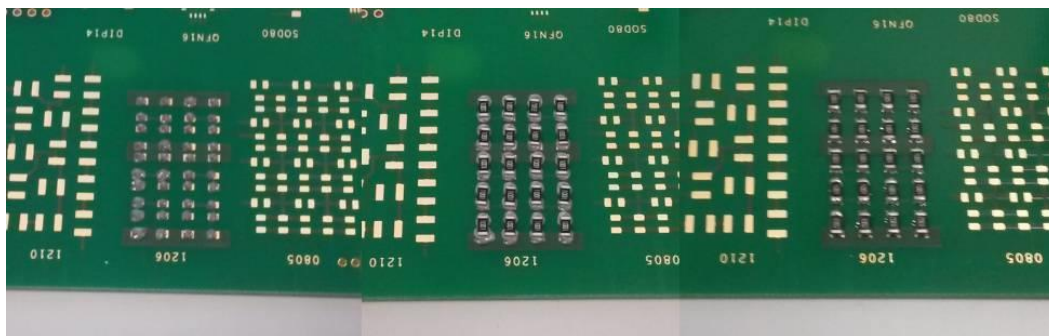
Naměřená pevnost spojů pro pájecí pastu SAC je $(106,66 \pm 3,42)$ N, pro PbSn $(100,76 \pm 3,93)$ N a pro BiSn $(92,23 \pm 5,73)$ N s pravděpodobností 95 %. Nejpevnější spoje na součástkách 0805 tedy vytváří pájecí pasta SAC a nejméně pevné pasta BiSn. Spoje pájené za použití pasty BiSn se při měření zdály být křehčí, než u ostatních past. Součástky držely na místě, dokud nebyla překročena mez pevnosti a součástky doslova odlétávaly od DPS. U pasty PbSn k tomuto jevu nedocházelo. U pasty SAC bylo utržení naopak velmi plynulé a na výsledných grafech lze vidět, kdy je dosažena mez kluzu před úplným utržením. (viz Obr. 4.4)



Obr. 4.4: Typický průběh měření spojů součástek 0805

4.3 Měření pevnosti pájených spojů SMD součástek 1206

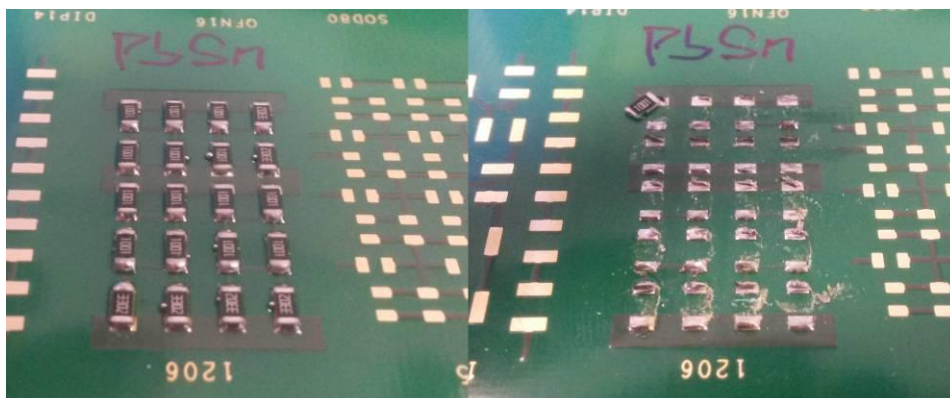
Pájecí pasty SAC, BiSn a PbSn byly na DPS nanесeny pomocí poloautomatického dávkovače. Tyto DPS byly poté ručně osazeny SMD rezistory o velikosti 1206. Poté byla DPS zapájena v průchozí pájecí peci. (viz Obr. 4.5)



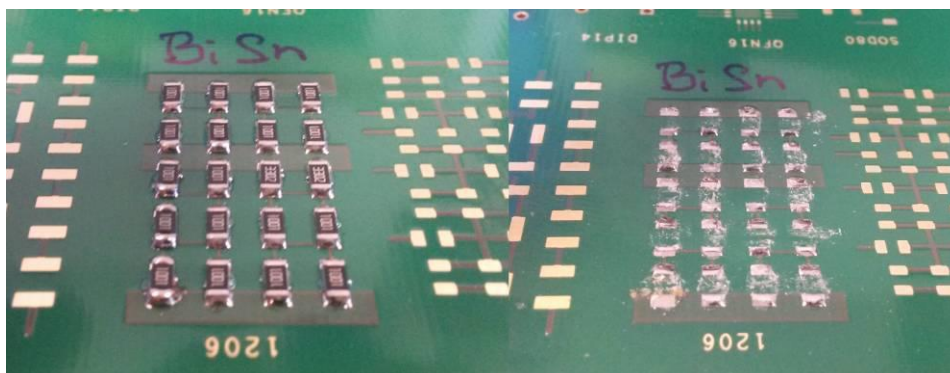
Obr. 4.5: Nanesení pájecí pasty, osazení a pájení DPS (1206)

DPS byly při měření umístěny do nového stojanu, upevněny ze stran a podepřeny šrouby zezadu, aby nedocházelo k prohýbání během měření.

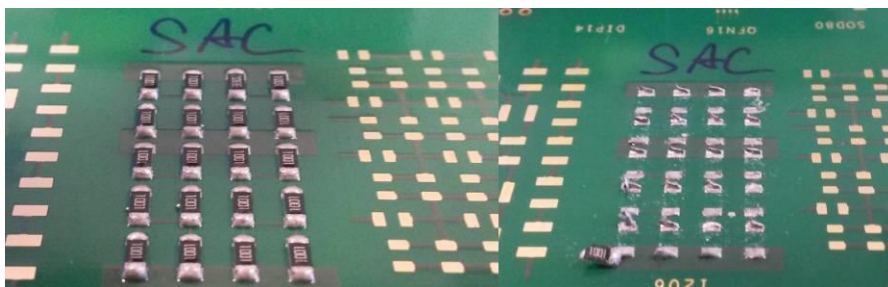
Během měření sedmé součástky pájecí pasty SAC došlo omylem i k odtržení i součástky osmé. Pro pájecí pastu SAC je tedy naměřených pouze 19 hodnot. Krom této nehody proběhlo měření úspěšně a bez problému.



Obr. 4.6: DPS pájená pastou PbSn před a po měření (1206)



Obr. 4.7: DPS pájená pastou BiSn před a po měření (1206)



Obr. 4.8: DPS pájená pastou SAC před a po měření (1206)

Tab. 4.3: Naměřené hodnoty součástek 1206

	SAC	PbSn	BiSn
n	F_{MAX} [N]	F_{MAX} [N]	F_{MAX} [N]
1	91,7	129,2	115,5
2	130,7	79,0	128,4
3	108,4	108,4	156,3
4	89,7	89,6	113,7
5	93,3	121,1	108,2
6	92,9	62,2	110,4
7	109,0	102,4	114,9
8	X	114,9	123,3
9	84,7	96,9	131,6
10	91,3	77,6	132,8
11	102,3	87,8	119,6
12	90,1	96,7	140,6
13	132,4	122,2	62,8
14	123,4	100,8	43,5
15	76,2	141,9	40,7
16	88,6	117,8	80,5
17	118,5	142,6	48,4
18	100,6	148,0	78,0
19	121,8	140,3	74,1
20	131,1	107,9	51,8

$$\overline{F_{MAX}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_{MAXn} = \frac{1}{20} \cdot 1976,7 = 104,04 \text{ N} \quad (4.5)$$

$$u_a = k_s \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (F_{MAXn} - \overline{F_{MAX}})^2} = 1 \cdot \sqrt{\frac{1}{20 \cdot 19} \cdot 1077,21} = 4,027 \text{ N} \quad (4.6)$$

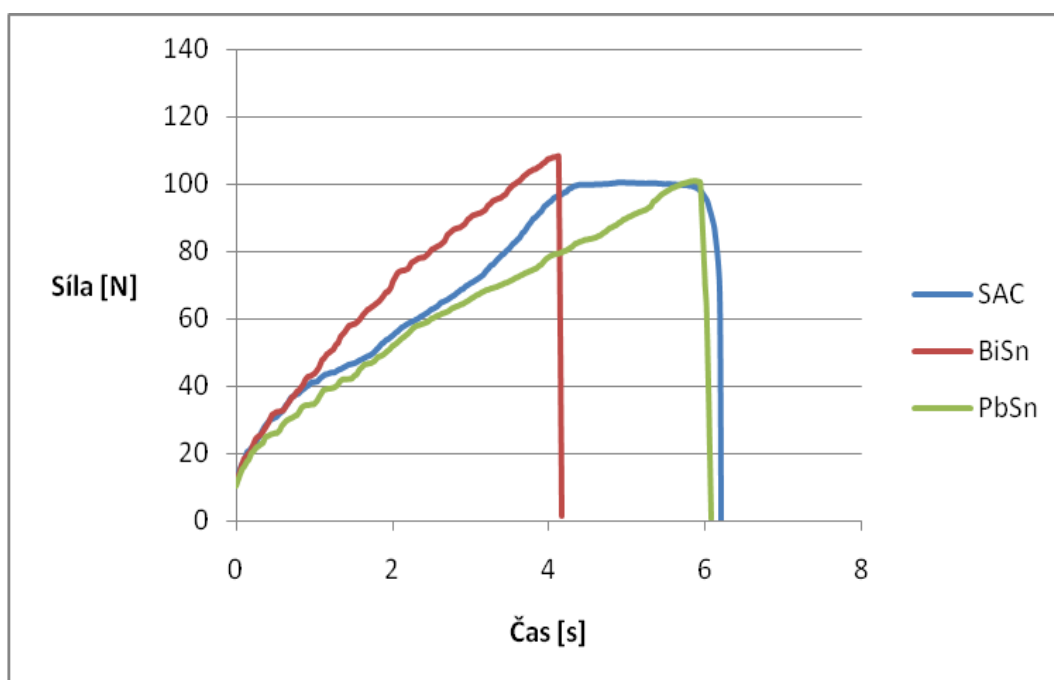
$$u_b = \frac{\Delta_{max}}{\sqrt{3}} = \frac{500 \cdot 0,001}{\sqrt{3}} = 0,289 \text{ N} \quad (4.7)$$

$$U_{95\%} = 2 \cdot \sqrt{u_a^2 + u_b^2} = 2 \cdot \sqrt{4,027^2 + 0,289^2} = 8,075 \text{ N} \quad (4.8)$$

Tab. 4.4: Výsledky měření spojů součástek 1206

Slitina pájky	SAC	PbSn	BiSn
F_{MAX} [N]	$104,04 \pm 8,08$	$109,37 \pm 10,71$	$98,76 \pm 15,92$

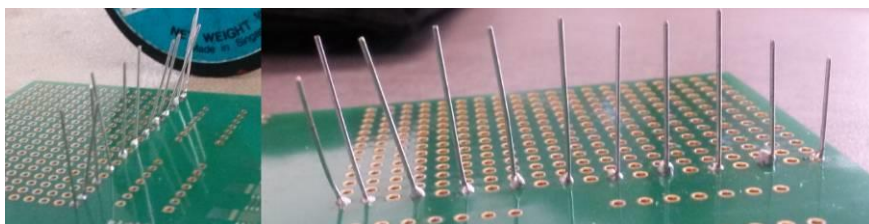
Naměřená pevnost spojů pro pájecí pastu SAC je $(104,04 \pm 8,08)$ N, pro PbSn $(109,37 \pm 10,71)$ N a pro BiSn $(98,76 \pm 15,92)$ N s pravděpodobností 95 %. Nejpevnější spoje na součástkách 1206 tedy vytvořila pájecí pasta PbSn a nejméně pevné pasta BiSn, avšak při tomto měření jsou rozdíly v rámci nejistoty. Spoje pájené za použití pasty BiSn se opět zdály být křehkými a opět docházelo k „odlétávání“ součástek od DPS. U pasty PbSn k tomuto jevu nedocházelo. U pasty SAC opět utržení velmi plynulé a na výsledných grafech lze vidět, kdy je dosažena mez kluzu. (viz Obr. 4.9)



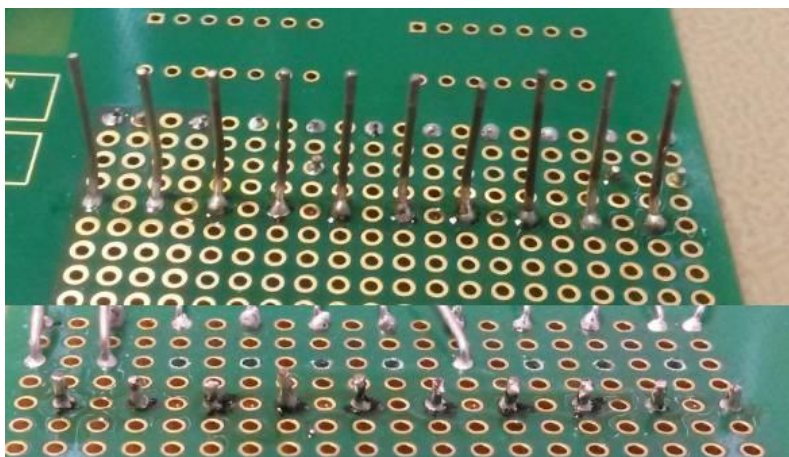
Obr. 4.9: Typický průběh měření spojů součástek 1206

4.4 Měření pevnosti THT spojů

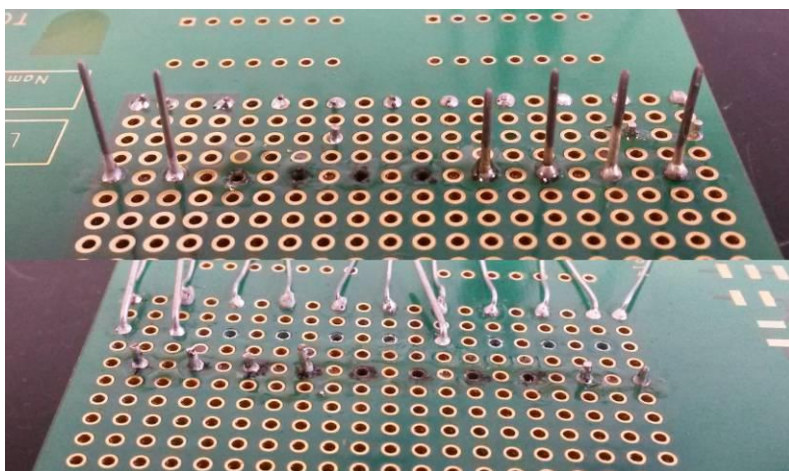
Nejprve bylo provedeno měření na pěti THT vývodech tloušťky 0,4 mm ručně zapájených do oboustranné DPS s prokovenými otvory trubičkovou pájkou slitiny SAC. Po pěti měřeních, kdy vždy došlo k přetržení vývodu, bylo zřejmé, že pevnost těchto vývodů je daleko menší, než pevnost pájeného spoje. (viz Obr. 4.10) Bylo tedy stejným způsobem do stejné DPS zapájeno dalších deset vývodů tloušťky 0,7 mm a na nich provedeno dalších deset měření. (viz. Obr. 4.11) Větší vývody nebylo možno použít, protože se do děr pro THT montáž nevlezly.



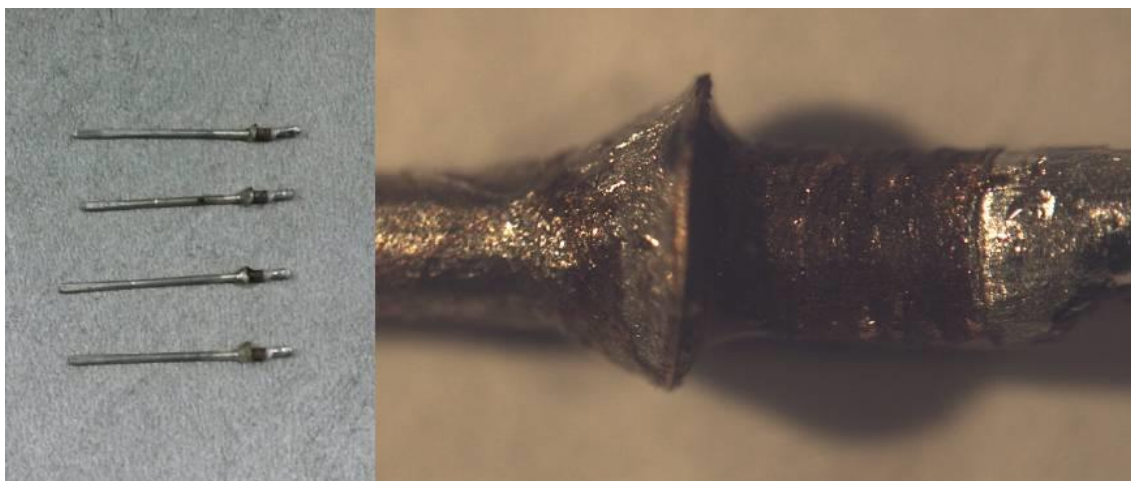
Obr. 4.10: THT vývody tloušťky 0,4 mm před a po měření



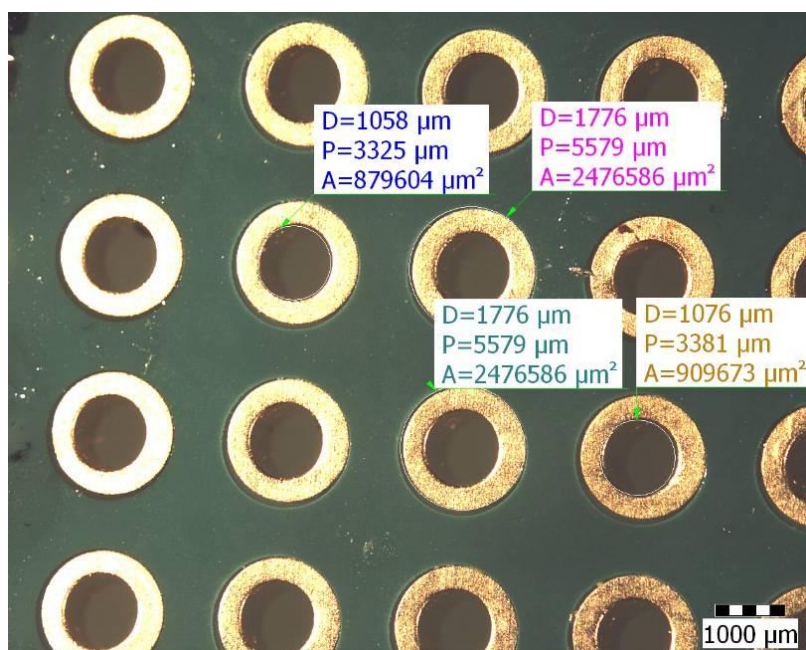
Obr. 4.11: THT vývody tloušťky 0,7 mm před měřením



Obr. 4.12: THT vývody tloušťky 0,7 mm po měření



Obr. 4.13: Vytržené THT vývody tloušťky 0,7 mm



Obr. 4.14: Rozměry pájecích plošek pro THT na DPS

Tab. 4.5: Naměřené hodnoty THT vývodů tloušťky 0,4 mm

n	F _{MAX} [N]
1	49,0
2	48,0
3	51,3
4	51,0
5	48,6

Tab. 4.6: Naměřené hodnoty THT vývodů tloušťky 0,7 mm

n	F _{MAX} [N]
1	128,9
2	128,0
3	126,0
4	126,8
5	124,4
6	111,2
7	125,5
8	114,8
9	126,8
10	126,4

$$\overline{F_{MAX}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_{MAXn} = \frac{1}{5} \cdot 247,9 = 49,58 \text{ N} \quad (4.9)$$

$$u_a = k_s \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (F_{MAXn} - \overline{F_{MAX}})^2} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{1}{5 \cdot 4} \cdot 8,77} = 0,77 \text{ N} \quad (4.10)$$

$$u_b = \frac{\Delta_{\max}}{\sqrt{3}} = \frac{500 \cdot 0,001}{\sqrt{3}} = 0,289 \text{ N} \quad (4.11)$$

$$U_{95\%} = 2 \cdot \sqrt{u_a^2 + u_b^2} = 2 \cdot \sqrt{0,77^2 + 0,289^2} = 1,629 \text{ N} \quad (4.12)$$

Během měření na THT vývodech tloušťky 0,4 mm nebyla naměřena pevnost pájeného spoje, ale z měření lze určit, že pevnost těchto vývodů v tahu je $(49,58 \pm 1,63) \text{ N}$. Při měření THT vývodů tloušťky 0,7 mm došlo při pátém, šestém, sedmém a osmém měření k vytržení celé pájecí plošky včetně prokoveného otvoru z DPS. Při ostatních měřeních došlo k přetržení vývodu. Pevnost pájeného spoje je tedy větší, než pevnost pokovení DPS a větší, než pevnost vývodu. Síla potřebná k vytržení, nebo roztržení vývodu byla $(123,87 \pm 3,80) \text{ N}$ s pravděpodobností 95 %. Příčinu vytržení vývodu s prokoveným otvorem lze spatřovat v nevhodném návrhu DPS, konkrétně v malé velikosti mezikruží.

5 ZÁVĚR

Tato práce zpracovala teorii pevnosti pájeného spoje a faktorů, které ji ovlivňují. Dále zpracovala možnosti, které nabízí digitální siloměr MARK10 M5-100 spolu s programem MESURgauge. Siloměr společně s programem byly vyzkoušeny v praxi v rámci semestrálního projektu, na který tato práce navazuje. Na základě měření provedených v semestrálním projektu byly navrženy a zrealizovány zlepšení metody měření. Tyto vylepšení poté byly vyzkoušeny při měření pájených spojů součástek velikosti 1206 a 0805 zapájených přetavením pájecích past SAC, PbSn a BiSn a vývodů THT součástek.

Při měření součástek 0805 vyšel jako nejpevnější spoj pasty SAC a nejslabší spoj BiSn. Při měření součástek 1206 vyšel jako nejpevnější spoj pasty PbSn a nejslabší spoj pasty BiSn, avšak výsledné hodnoty pro měření součástek 1206 leží v rámci svých vzájemných nejistot. Z průběhu měření vyplývá, že spoje vytvořené pastou BiSn jsou ve srovnání s ostatními pastami křehké a spoje vytvořené pastou SAC jsou naopak nejméně křehké. Při měření THT vývodů bylo zjištěno, že pevnost THT vývodů o tloušťce 0,4 mm a 0,7 mm je v porovnání s pevností jejich pájených spojů relativně malá. Síla potřebná k přetržení THT vývodu o tloušťce 0,7 mm je přibližně stejná, jako síla potřebná k vytržení celého pájeného spoje i s pájecím mezikružím včetně prokoveného otvoru z DPS.

V rámci práce byl vypracován návod pro nastavení a použití měřicího zařízení pro laboratorní cvičení studentů VUT.

Limitujícím prvkem tohoto pracoviště je manuální posuv v z-ové ose a tedy nekonstantní rychlost posuvu a z toho plynoucí rozdílné podmínky měření. Dalším námětem na vylepšení pracoviště by mohla být realizace programovatelného motorizovaného posuvu v z-ové ose.

Literatura

- [1] Strength of materials - Wikipedia [online]. Poslední změna [4. Listopadu 2017]. [cit. 9. prosince 2010]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Strength_of_materials>.
- [2] WICKHAM, M., NOTTAY, J., HUNT, C., A Review of Mechanical Test Method Standards for Lead-Free Solders. National Physical Laboratory Teddington, Middlesex, UK, TW11 0LW, 2001.
- [3] SAWAMURA, T., IGARASHI, T., Difference between Various Sn/Ag/Cu Solder Compositions [online]. Almit Ltd.2005 [cit. 10. Prosince 2017], Dostupné na [www.:](http://www.almit.com/dloads/Agents/SAC%20Alloy%20Comparison.pdf) <<http://www.almit.com/dloads/Agents/SAC%20Alloy%20Comparison.pdf>>
- [4] STARÝ J., ZATLOUKAL M.: Montážní a propojovací technologie, FEKT VUT Brno 2014
- [5] Series 5 Digital Force Gauges User's Guide. Mark 10 Corporation, Rev 14 1114
- [6] MESURgauge Software User's Guide. Mark 10 Corporation, Rev 0315
- [7] Hookův zákon – Wikiskripta [online]. Poslední změna [15. Dubna 2018]. [cit. 22. Května 2018]. Dostupné z: <https://www.wikiskripta.eu/w/Hook%C5%AFv_z%C3%A1kon>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

<i>DPS</i>	<i>Deska plošných spojů</i>
<i>PCB</i>	<i>Deska plošných spojů (Printed Circuit Board)</i>
<i>ppm</i>	<i>miliontina celku (parts per million)</i>
<i>SMD</i>	<i>povrchová montáž (Surface Mount Device)</i>
<i>THT</i>	<i>vývodová montáž (Through Hole Technology)</i>
F_{MAX}	<i>Maximální naměřená síla</i>
n	<i>číslo měření</i>
u_a	<i>nejistota typu A</i>
u_b	<i>nejistota typu B</i>
$U_{95\%}$	<i>rozšířená nejistota pro pravděpodobnost 95%</i>
Δ_{max}	<i>maximální odchylka měřicího přístroje</i>
δ	<i>Mechanické napětí v tahu</i>
ε	<i>Relativní prodloužení</i>
E	<i>Modul pružnosti v tahu</i>
F	<i>Působící síla</i>
S	<i>Průřez spoje</i>
Δ_l	<i>Délková změna</i>
l_0	<i>Počáteční délka</i>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1:	Znázornění druhů pevnosti a) pevnost v tlaku, b) pevnost v tahu c) pevnost ve střihu (převzato z [1]).	7
Obr. 1.2:	Různé teplotní součinitele součástky a DPS (převzato z [2]).	7
Obr. 1.3:	Metoda měření pevnosti pájeného spoje tahem (převzato z [2]).	8
Obr. 1.4:	Metoda měření pevnosti pájených spojů střihem (převzato z [2]).	8
Obr. 1.5:	Průběh deformace v závislosti na působící síle (převzato z [7]).	10
Obr. 1.6:	Pevnost pájecích slitin v tahu (převzato z [3]).	11
Obr. 1.7:	Teplotní profil typu RSS určený k přetavení pájecí pasty se slitinou SAC (převzato z [4]).	12
Obr. 2.1:	Siloměr přimontovaný na stojan	13
Obr. 2.2:	MARK 10 M5-100 možné orientace měřící hřídele (převzato z [5]).	14
Obr. 2.3:	Nástavce na siloměr	14
Obr. 2.4:	Znázornění přípustných mezí měření (převzato z [5]).	15
Obr. 2.5:	Parametry režimu Average Mode (převzato z [5]).	16
Obr. 2.6:	Konfigurace portu	17
Obr. 2.7:	Nastavení měřidla	18
Obr. 2.8:	Příjem dat	18
Obr. 2.9:	Analýza	19
Obr. 2.10:	Digitální zobrazení	20
Obr. 2.11:	Nastavení měření	21
Obr. 2.12:	Datový výstup z měření	21
Obr. 3.1:	Vyměnitelné hroty na nástavec siloměru	22
Obr. 3.2:	Kolmost DPS k siloměru bez nového nástavce a s novým nástavcem	23
Obr. 3.3:	Výkres pro zpracování profilu L	23
Obr. 3.4:	Upevnění DPS k profilu L	24
Obr. 3.5:	Profil pro upevnění DPS	24
Obr. 3.6:	Opěrné šrouby pro DPS	25
Obr. 3.7:	Upevnění USB mikroskopu, záběr z mikroskopu	25
Obr. 3.8:	Opěrná plocha měřícího nástavce	26
Obr. 3.9:	Zarážky pro nastavení vzdálenosti měřícího nástavce od DPS	27

Obr. 3.10: Konfigurace pracoviště pro měření THT vývodů	27
Obr. 3.11: Měřicí zařízení před a po realizaci vylepšení	28
Obr. 4.1: DPS pájená pastou PbSn po měření (0805)	30
Obr. 4.2: DPS pájená pastou BiSn před a po měření (0805).....	30
Obr. 4.3: DPS pájená pastou SAC před a po měření (0805)	31
Obr. 4.4: Typický průběh měření spojů součástek 0805	32
Obr. 4.5: Nanesení pájecí pasty, osazení a pájení DPS (1206)	33
Obr. 4.6: DPS pájená pastou PbSn před a po měření (1206)	33
Obr. 4.7: DPS pájená pastou BiSn před a po měření (1206).....	33
Obr. 4.8: DPS pájená pastou SAC před a po měření (1206).....	34
Obr. 4.9: Typický průběh měření spojů součástek 1206.....	35
Obr. 4.10: THT vývody tloušťky 0,4 mm před a po měření	36
Obr. 4.11: THT vývody tloušťky 0,7 mm před měřením.....	36
Obr. 4.12: THT vývody tloušťky 0,7 mm po měření	36
Obr. 4.13: Vytržené THT vývody tloušťky 0,7 mm	37
Obr. 4.14: Rozměry pájecích plošek pro THT na DPS	37

SEZNAM TABULEK

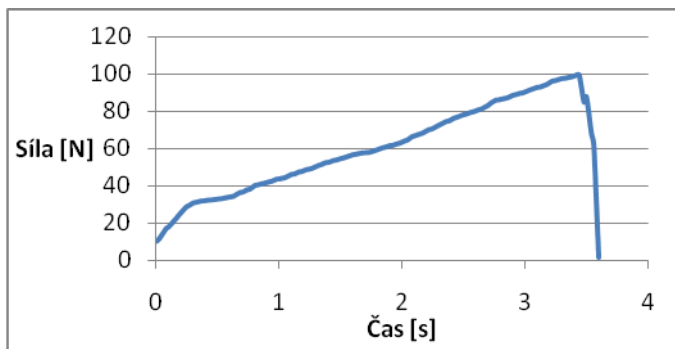
Tab. 4.1:	Naměřené hodnoty spojů součástek 0805	31
Tab. 4.2:	Výsledky měření spojů součástek 0805	32
Tab. 4.3:	Naměřené hodnoty součástek 1206	34
Tab. 4.4:	Výsledky měření spojů součástek 1206	35
Tab. 4.5:	Naměřené hodnoty THT vývodů tloušťky 0,4 mm.....	37
Tab. 4.6:	Naměřené hodnoty THT vývodů tloušťky 0,7 mm.....	38

SEZNAM PŘÍLOH

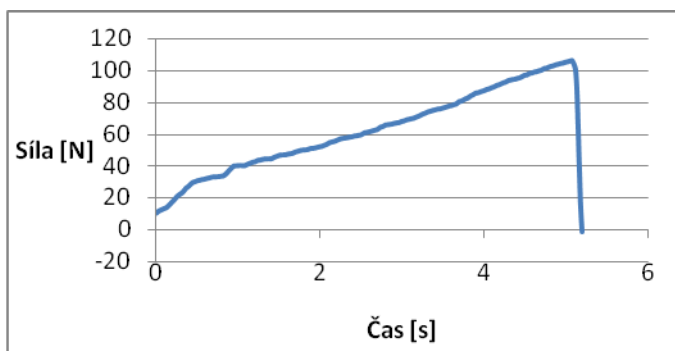
A. GRAFY Z MĚŘENÍ SMD 0805	46
A.1 pasta SAC	46
A.2 pasta PbSn.....	51
A.3 pasta BiSn	56
B. Grafy z měření SMD 1206	61
B.1 pasta SAC	61
B.2 pasta PbSn.....	66
B.3 pasta BiSn	71
C. Grafy z měření THT	76
C.1 Vývody tloušťky 0,4 mm.....	76
C.2 Vývody tloušťky 0,7 mm.....	77
D. Návod pro použití pracoviště	80

A. GRAFY Z MĚŘENÍ SMD 0805

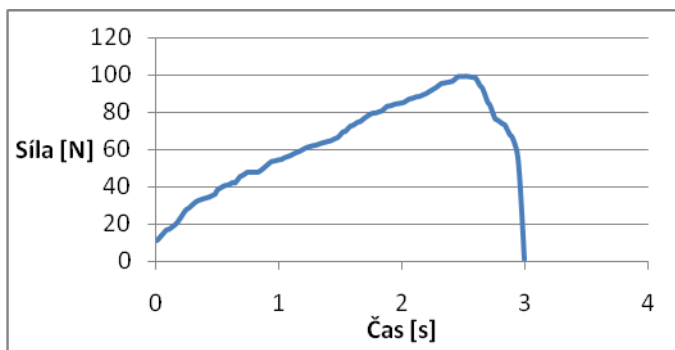
A.1 pasta SAC



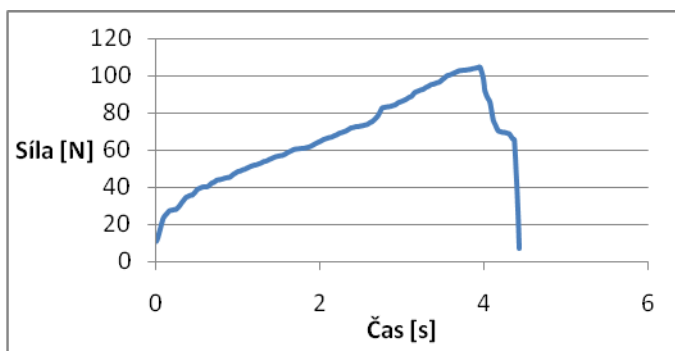
Součástka SMD 0805 SAC (1)



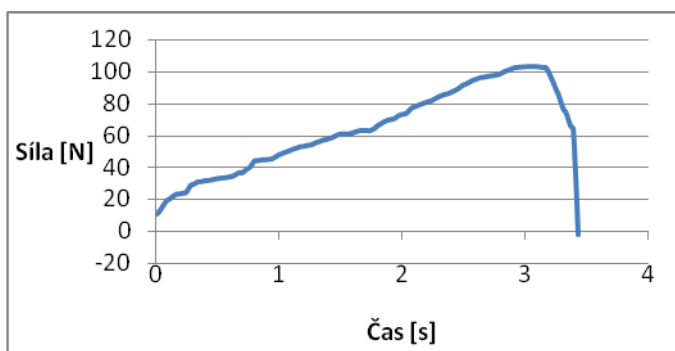
Součástka SMD 0805 SAC (2)



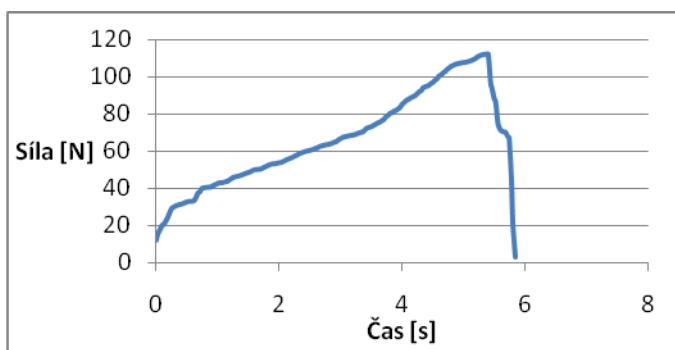
Součástka SMD 0805 SAC (3)



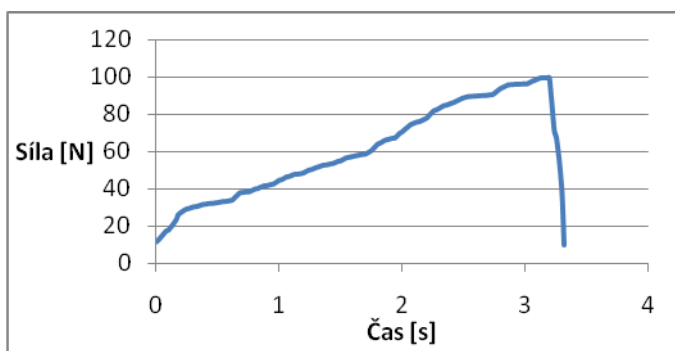
Součástka SMD 0805 SAC (4)



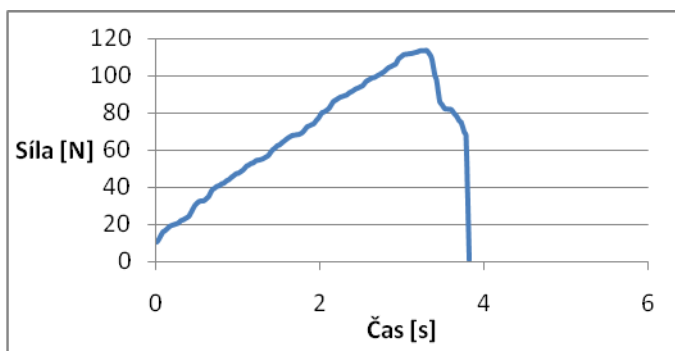
Součástka SMD 0805 SAC (5)



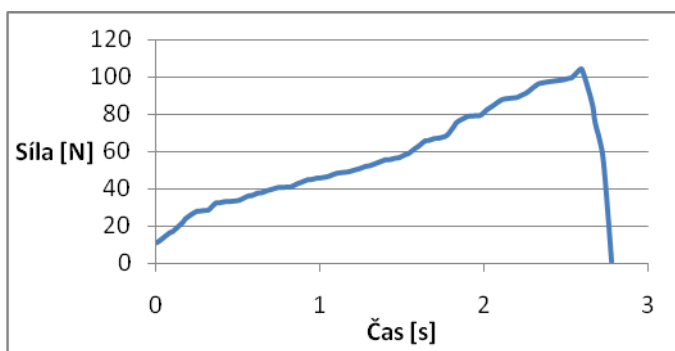
Součástka SMD 0805 SAC (6)



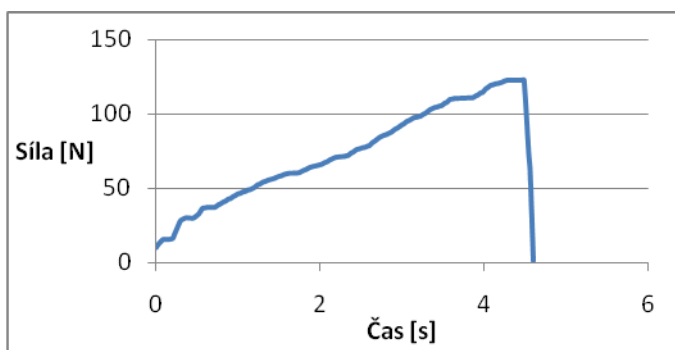
Součástka SMD 0805 SAC (7)



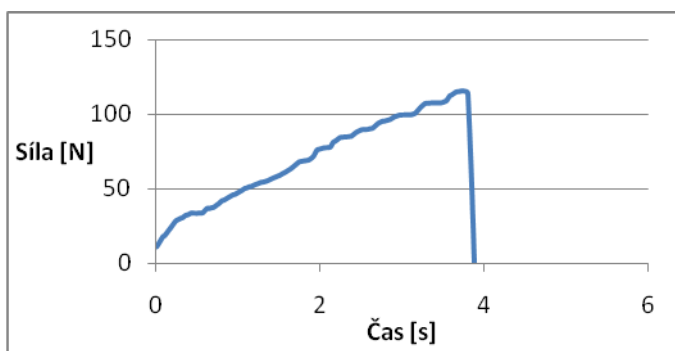
Součástka SMD 0805 SAC (8)



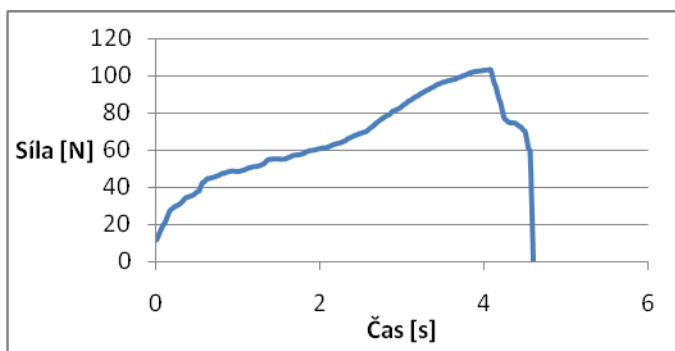
Součástka SMD 0805 SAC (9)



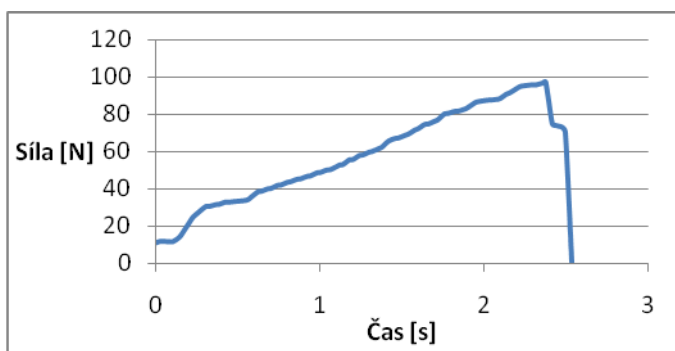
Součástka SMD 0805 SAC (10)



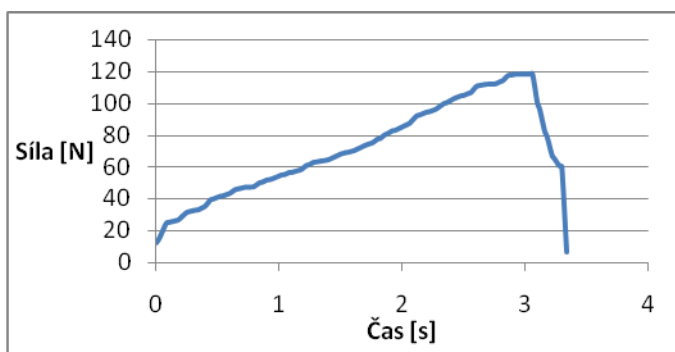
Součástka SMD 0805 SAC (11)



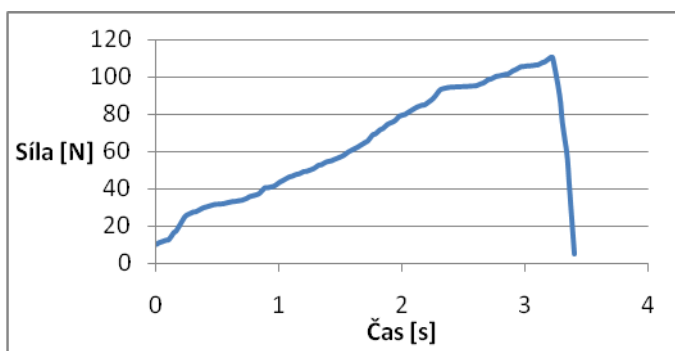
Součástka SMD 0805 SAC (12)



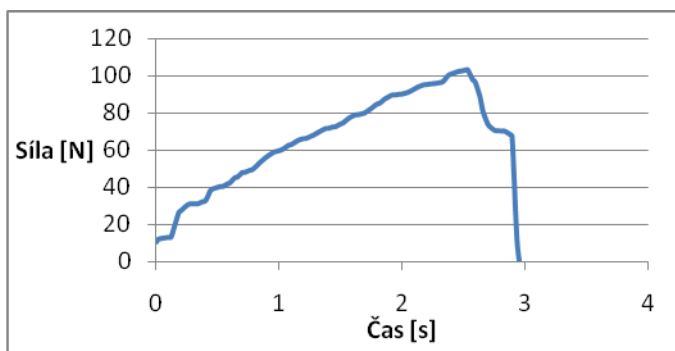
Součástka SMD 0805 SAC (13)



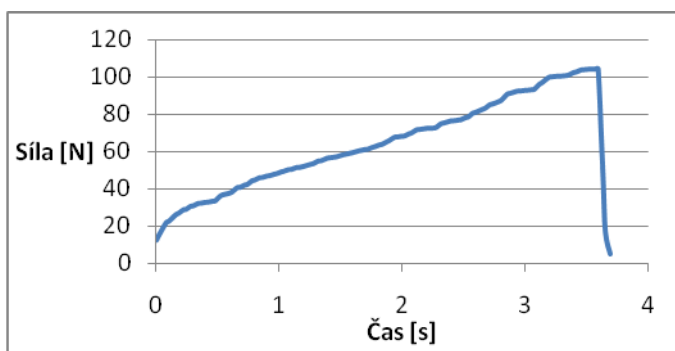
Součástka SMD 0805 SAC (14)



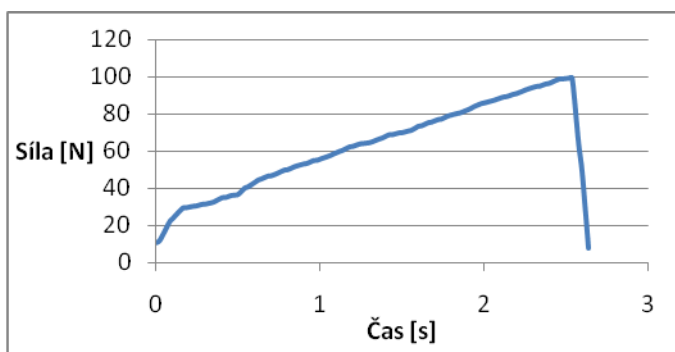
Součástka SMD 0805 SAC (15)



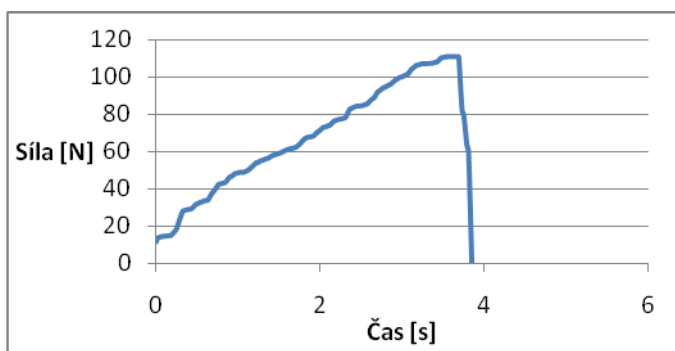
Součástka SMD 0805 SAC (16)



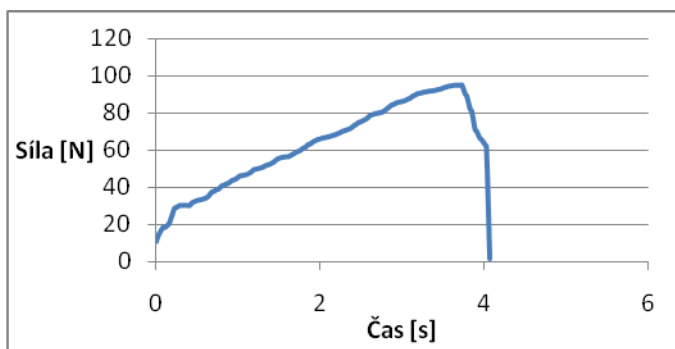
Součástka SMD 0805 SAC (17)



Součástka SMD 0805 SAC (18)

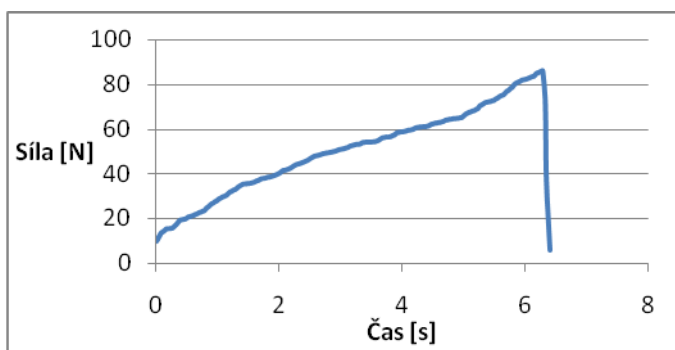


Součástka SMD 0805 SAC (19)

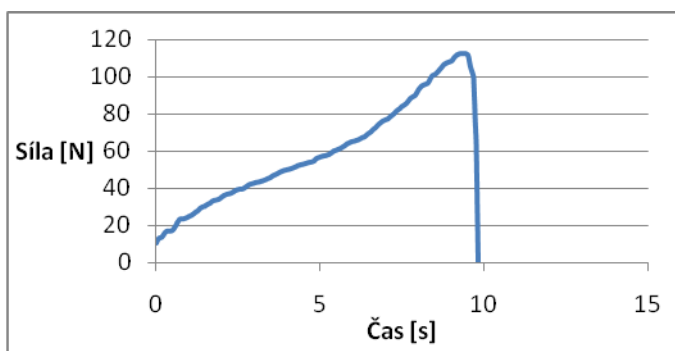


Součástka SMD 0805 SAC (20)

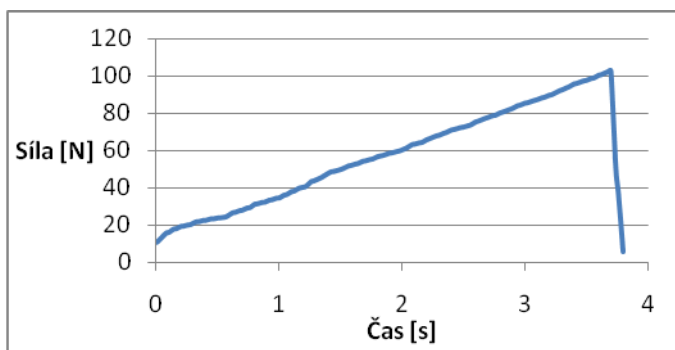
A.2 pasta PbSn



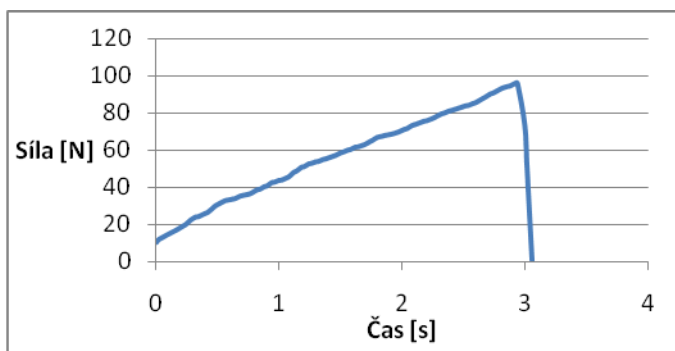
Součástka SMD 0805 PbSn (1)



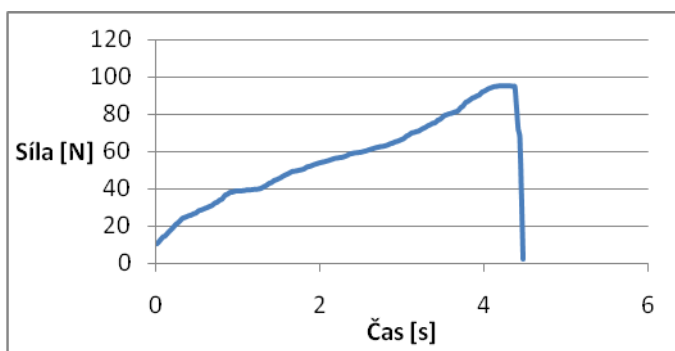
Součástka SMD 0805 PbSn (2)



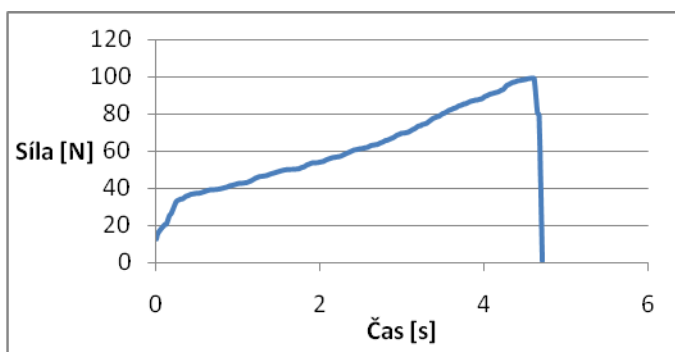
Součástka SMD 0805 PbSn (3)



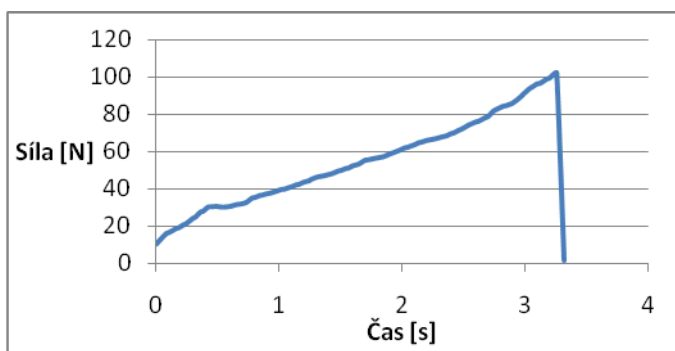
Součástka SMD 0805 PbSn (4)



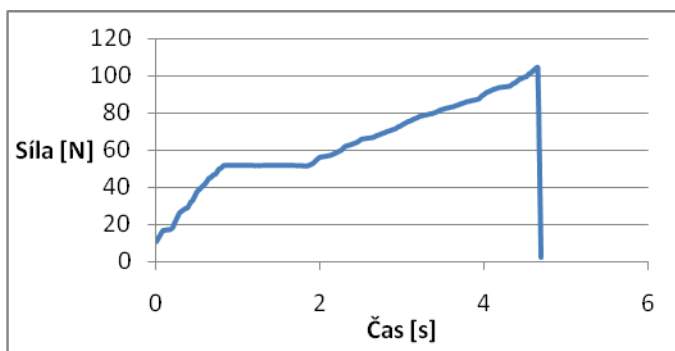
Součástka SMD 0805 PbSn (5)



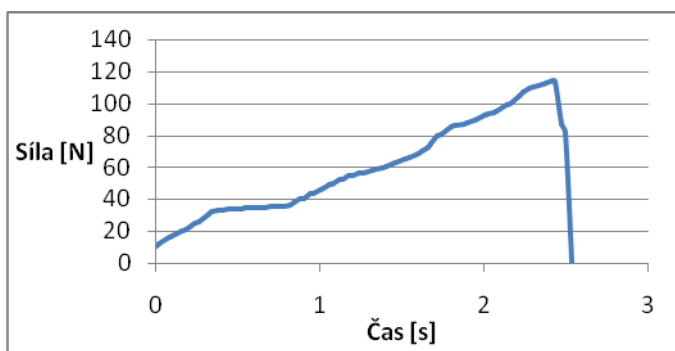
Součástka SMD 0805 PbSn (6)



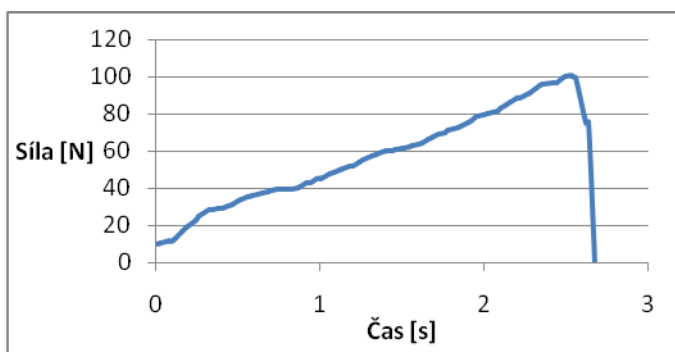
Součástka SMD 0805 PbSn (7)



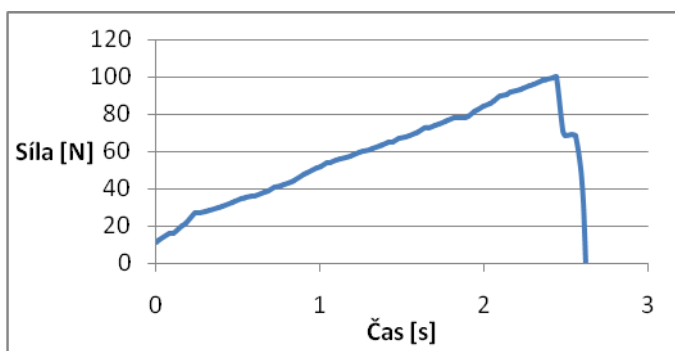
Součástka SMD 0805 PbSn (8)



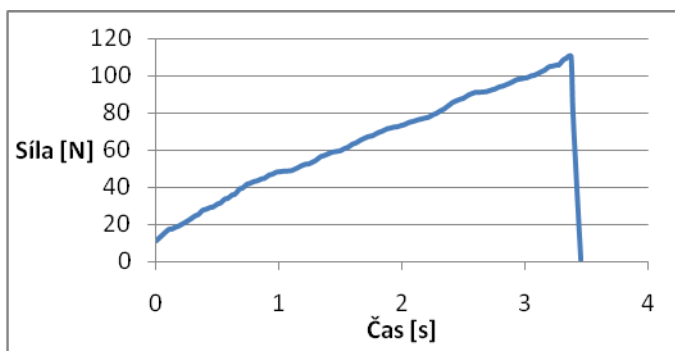
Součástka SMD 0805 PbSn (9)



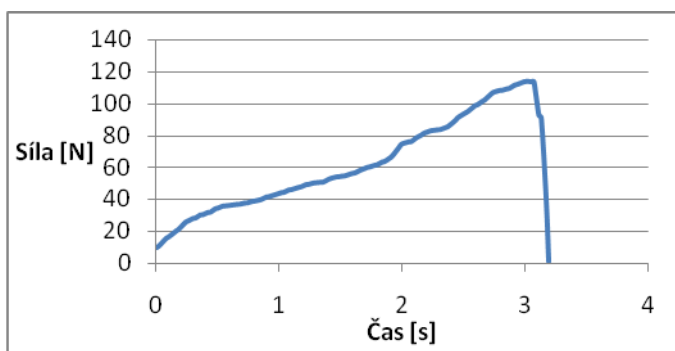
Součástka SMD 0805 PbSn (10)



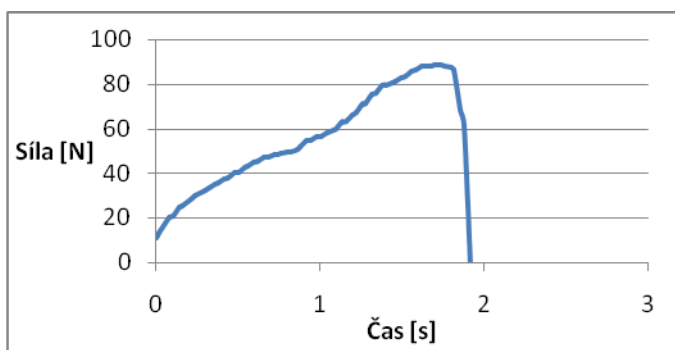
Součástka SMD 0805 PbSn (11)



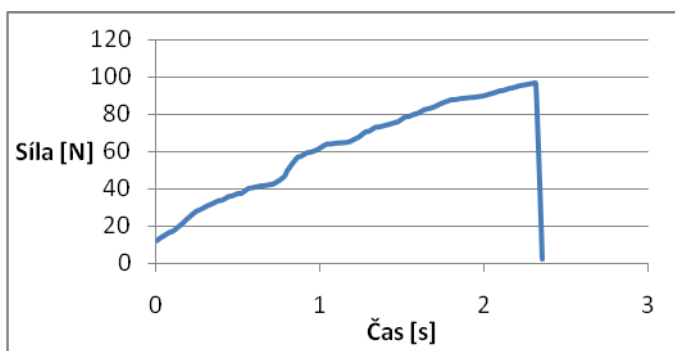
Součástka SMD 0805 PbSn (12)



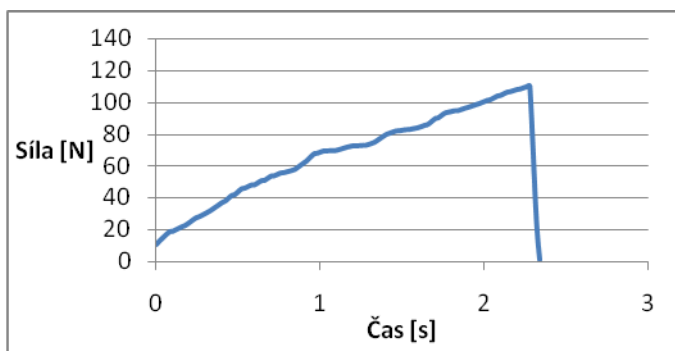
Součástka SMD 0805 PbSn (13)



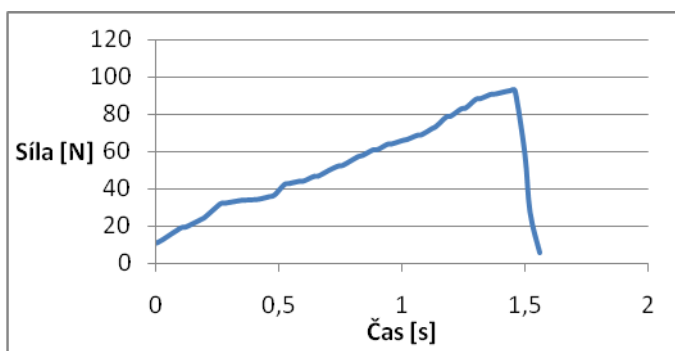
Součástka SMD 0805 PbSn (14)



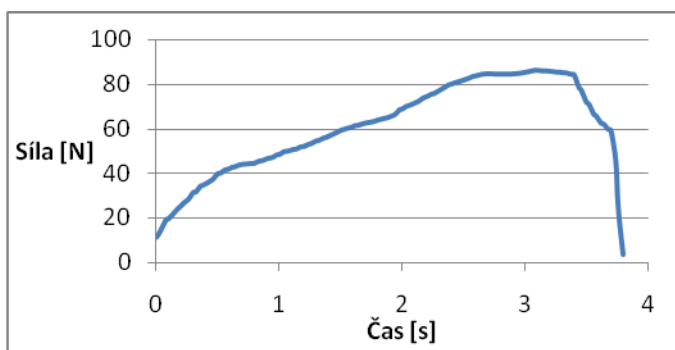
Součástka SMD 0805 PbSn (15)



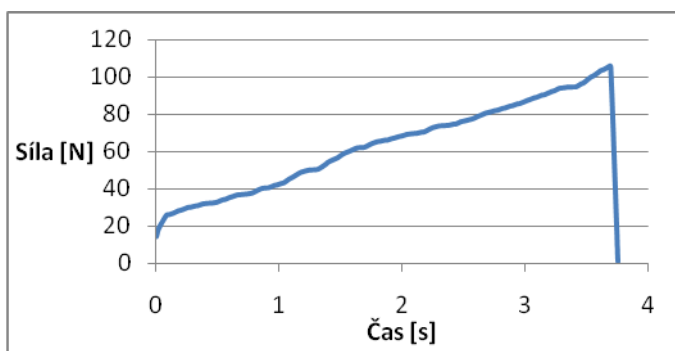
Součástka SMD 0805 PbSn (16)



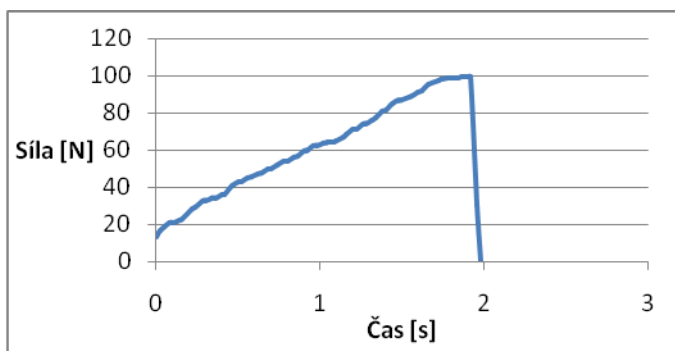
Součástka SMD 0805 PbSn (17)



Součástka SMD 0805 PbSn (18)

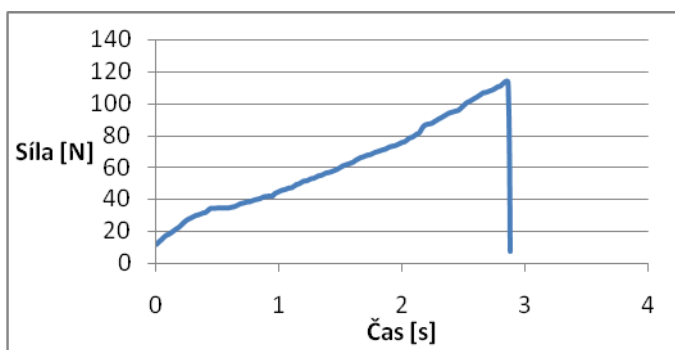


Součástka SMD 0805 PbSn (19)

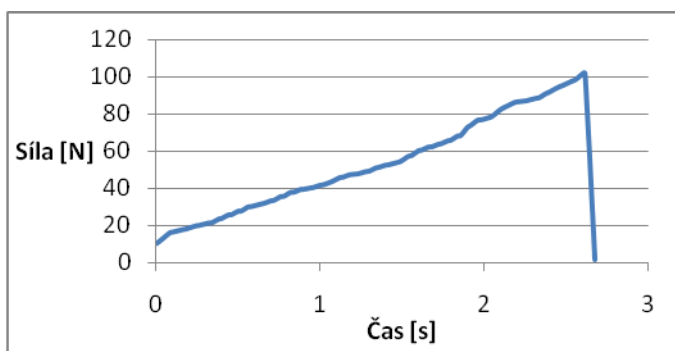


Součástka SMD 0805 PbSn (20)

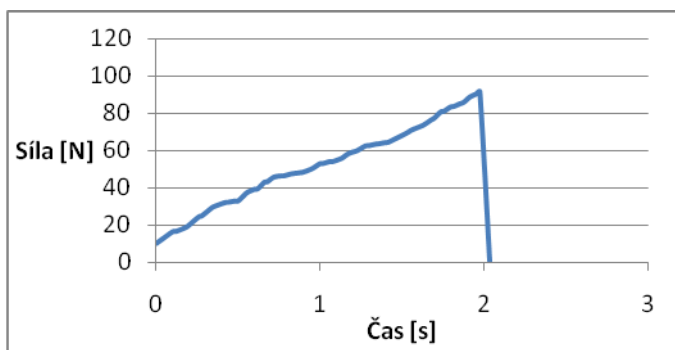
A.3 pasta BiSn



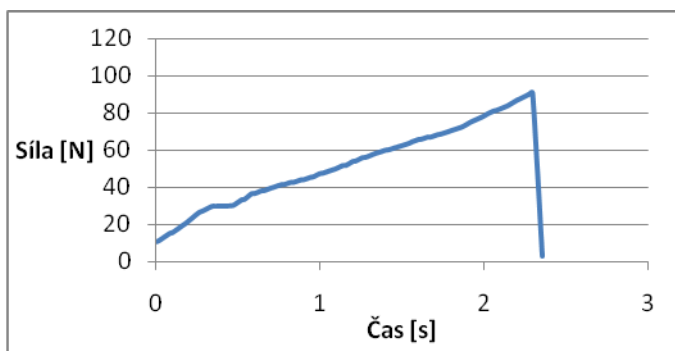
Součástka SMD 0805 BiSn (1)



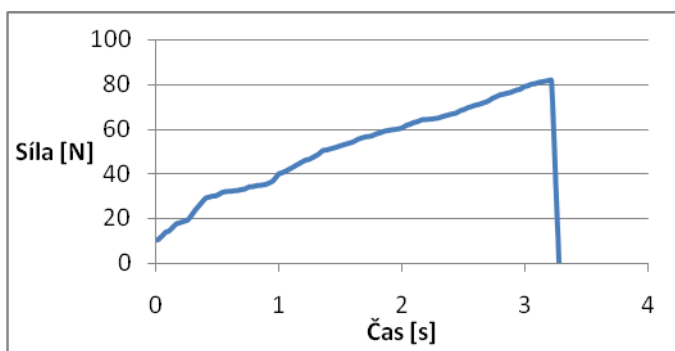
Součástka SMD 0805 BiSn (2)



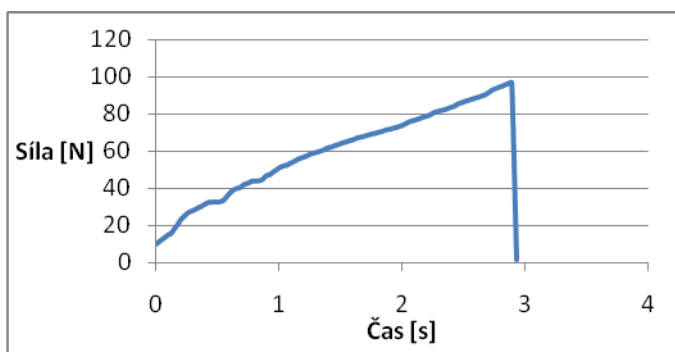
Součástka SMD 0805 BiSn (3)



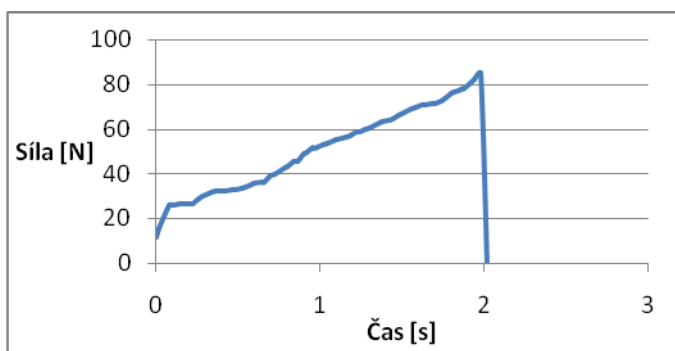
Součástka SMD 0805 BiSn (4)



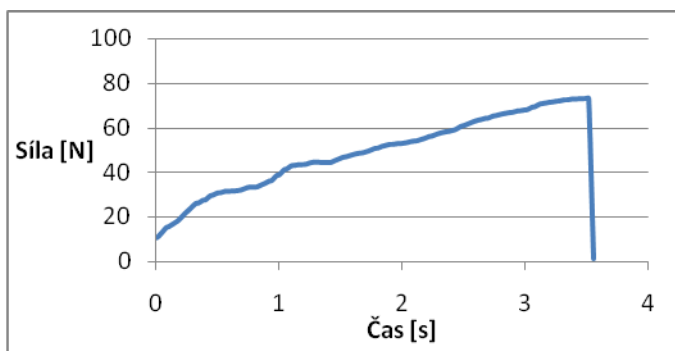
Součástka SMD 0805 BiSn (5)



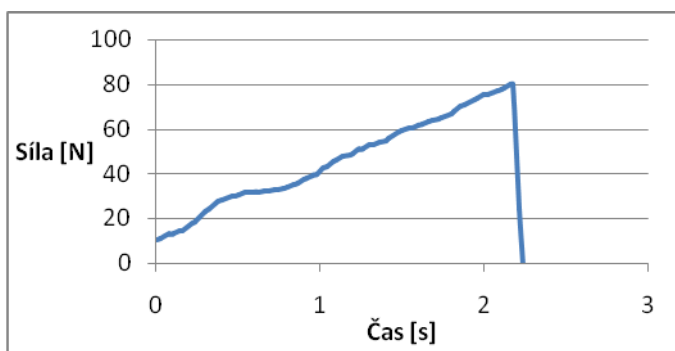
Součástka SMD 0805 BiSn (6)



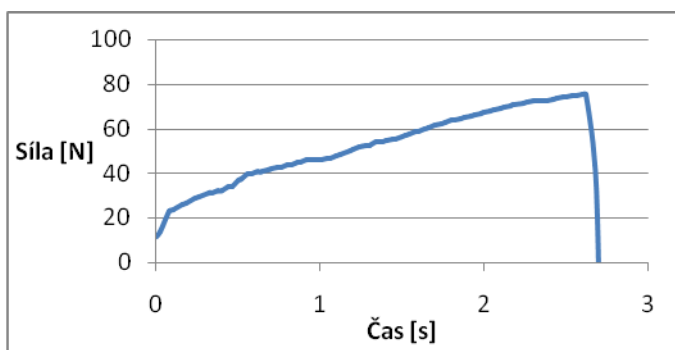
Součástka SMD 0805 BiSn (7)



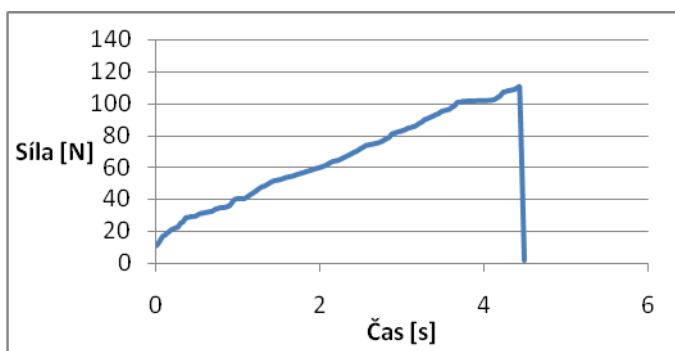
Součástka SMD 0805 BiSn (8)



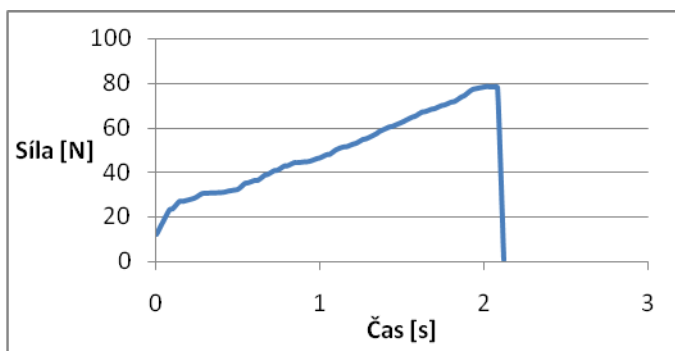
Součástka SMD 0805 BiSn (9)



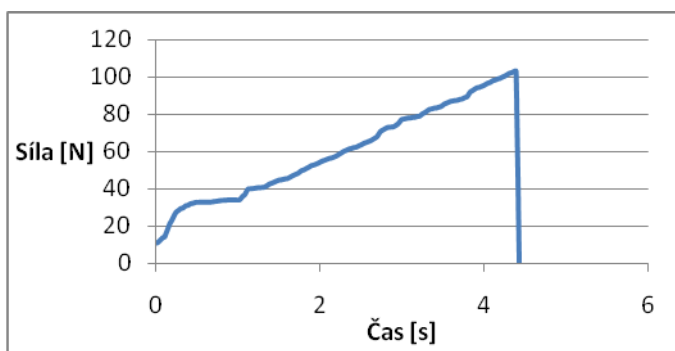
Součástka SMD 0805 BiSn (10)



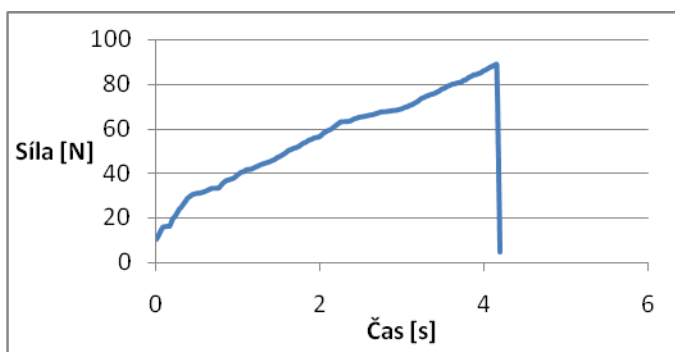
Součástka SMD 0805 BiSn (11)



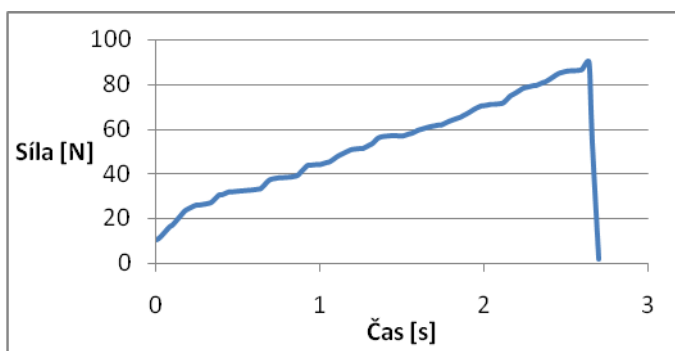
Součástka SMD 0805 BiSn (12)



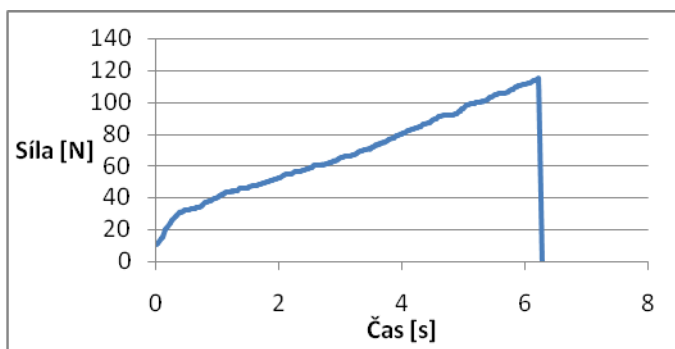
Součástka SMD 0805 BiSn (13)



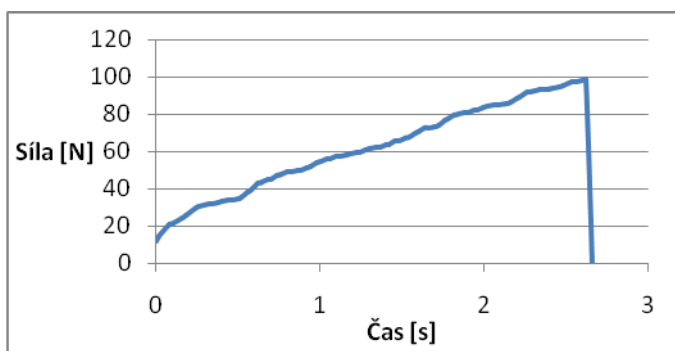
Součástka SMD 0805 BiSn (14)



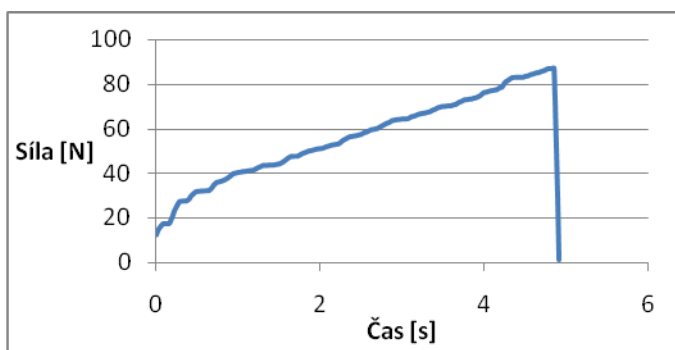
Součástka SMD 0805 BiSn (15)



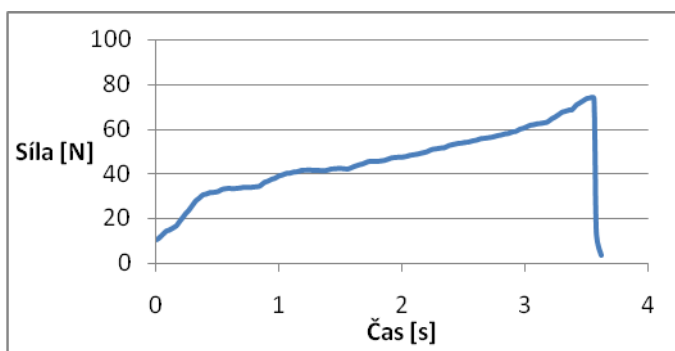
Součástka SMD 0805 BiSn (16)



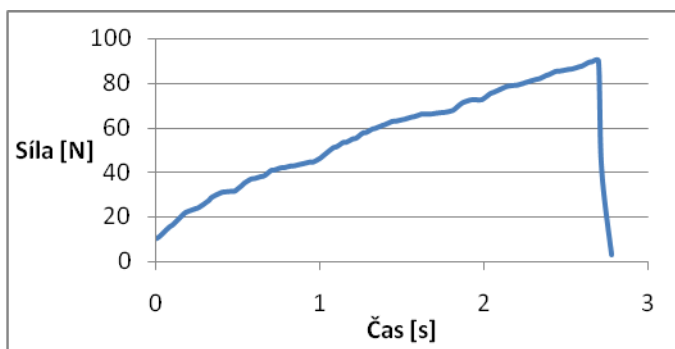
Součástka SMD 0805 BiSn (17)



Součástka SMD 0805 BiSn (18)



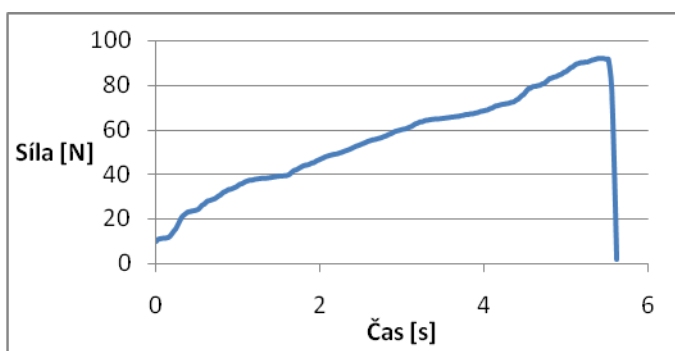
Součástka SMD 0805 BiSn (19)



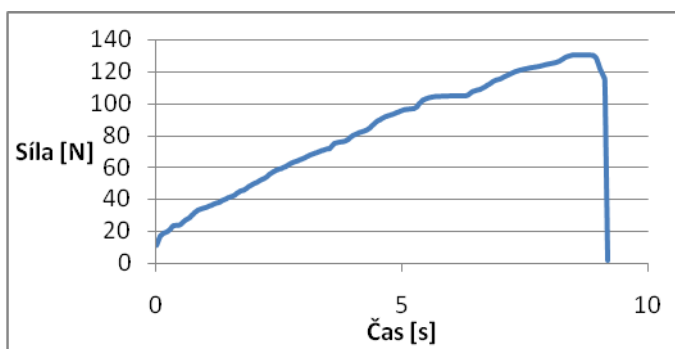
Součástka SMD 0805 BiSn (20)

B. GRAFY Z MĚŘENÍ SMD 1206

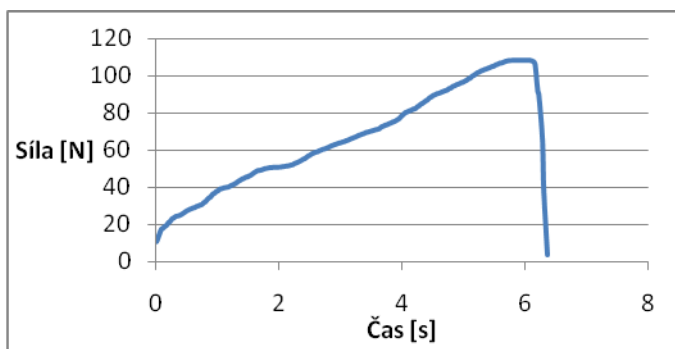
B.1 pasta SAC



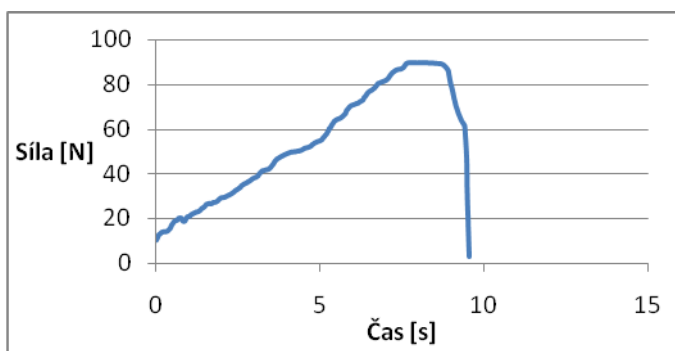
Součástka SMD 1206 SAC (1)



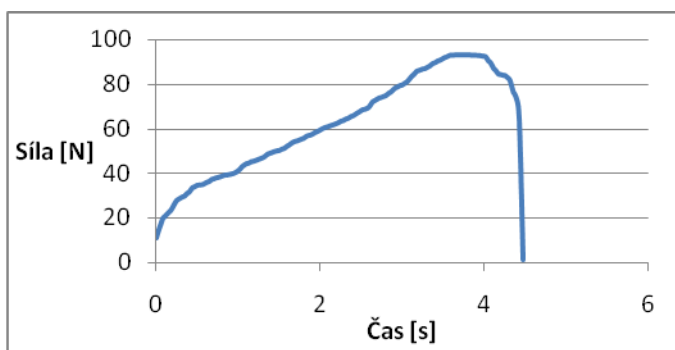
Součástka SMD 1206 SAC (2)



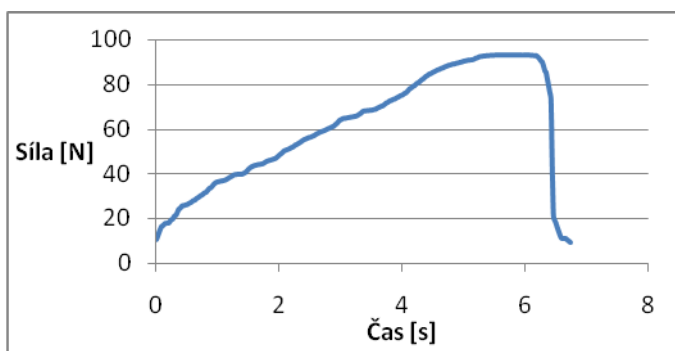
Součástka SMD 1206 SAC (3)



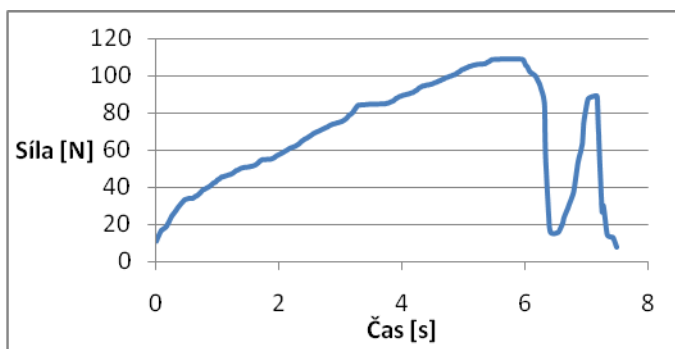
Součástka SMD 1206 SAC (4)



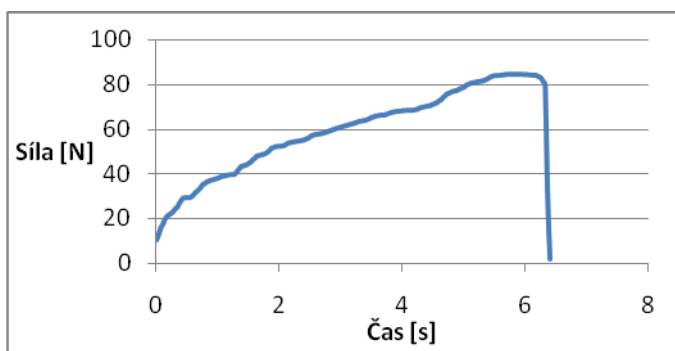
Součástka SMD 1206 SAC (5)



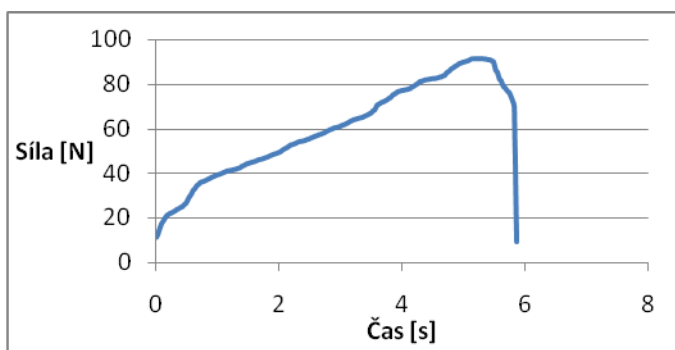
Součástka SMD 1206 SAC (6)



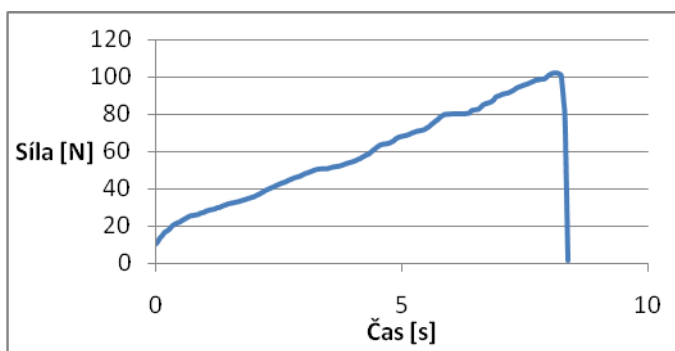
Součástka SMD 1206 SAC (7) (utržena i součástka 8)



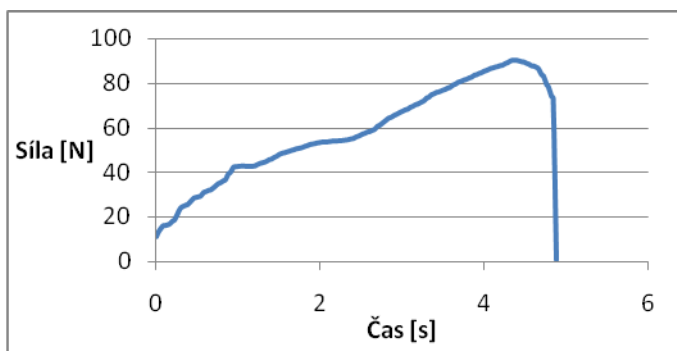
Součástka SMD 1206 SAC (9)



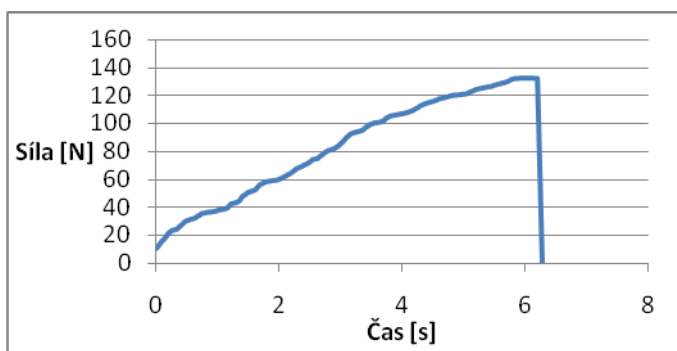
Součástka SMD 1206 SAC (10)



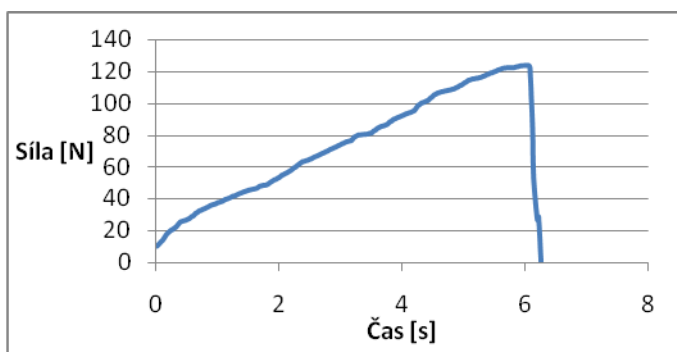
Součástka SMD 1206 SAC (11)



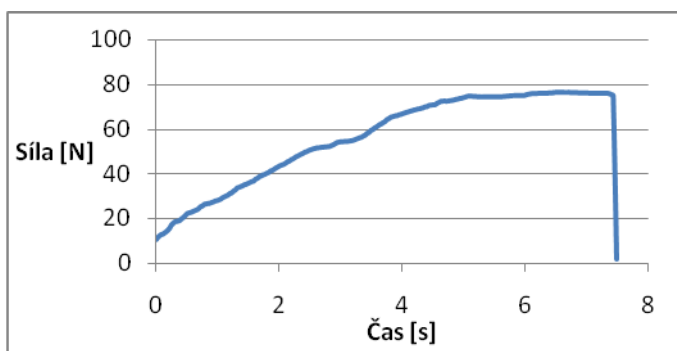
Součástka SMD 1206 SAC (12)



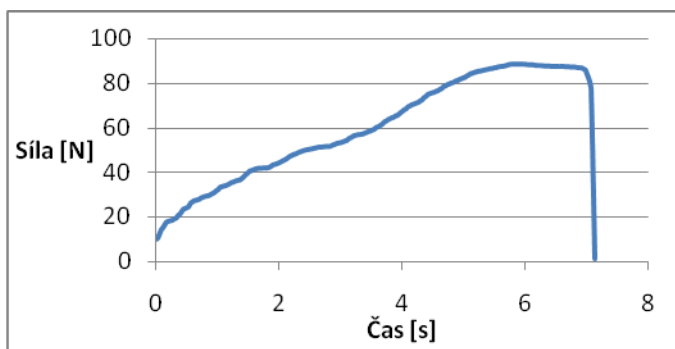
Součástka SMD 1206 SAC (13)



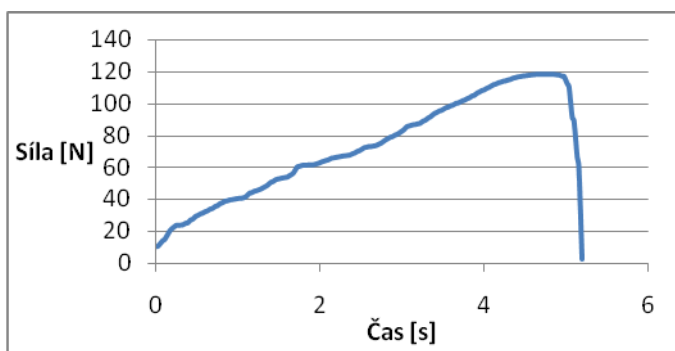
Součástka SMD 1206 SAC (14)



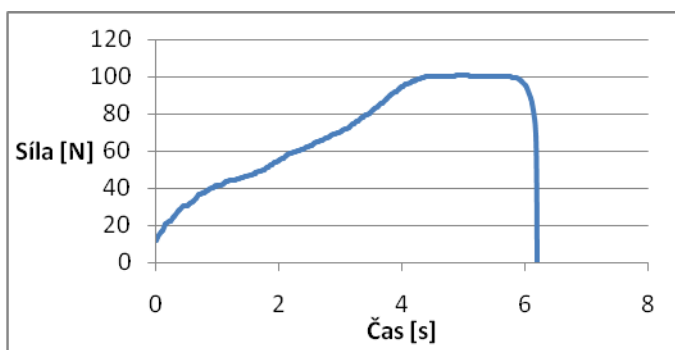
Součástka SMD 1206 SAC (15)



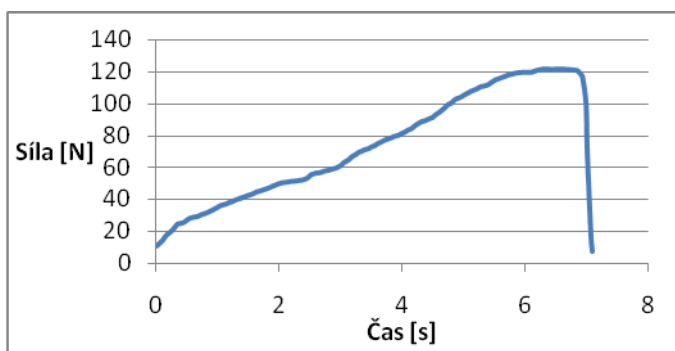
Součástka SMD 1206 SAC (16)



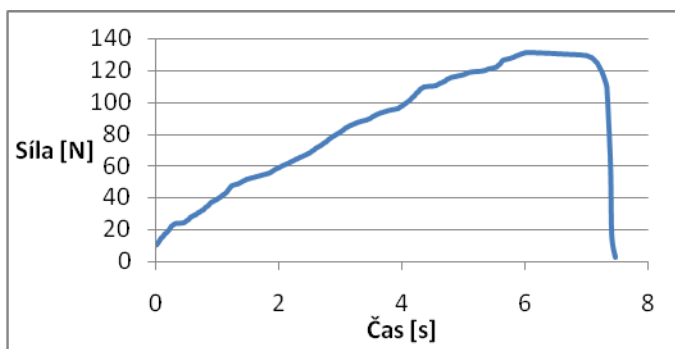
Součástka SMD 1206 SAC (17)



Součástka SMD 1206 SAC (18)

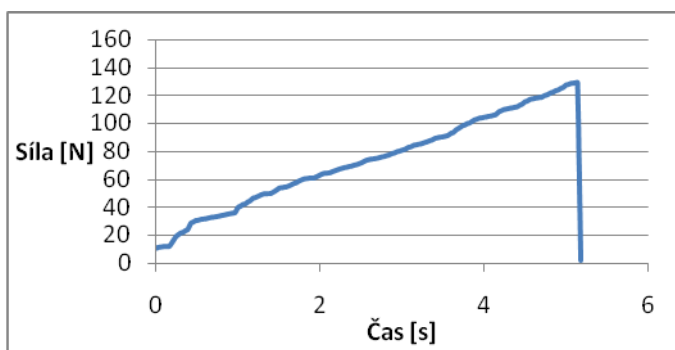


Součástka SMD 1206 SAC (19)

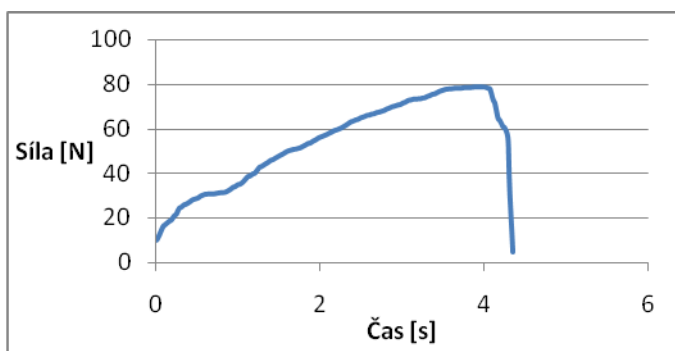


Součástka SMD 1206 SAC (20)

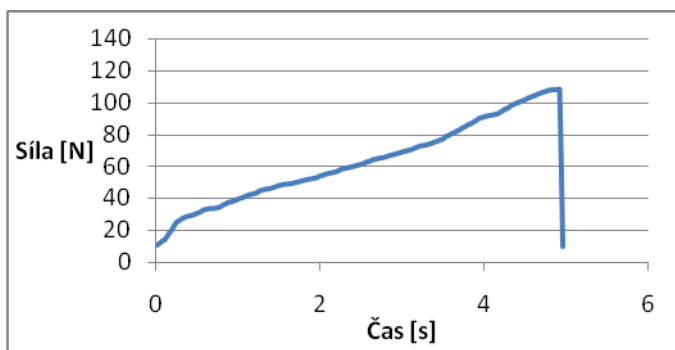
B.2 pasta PbSn



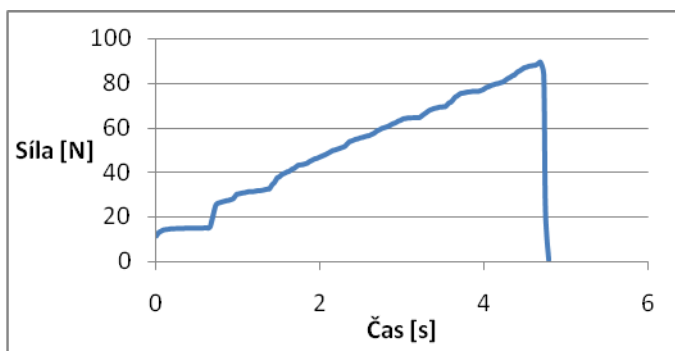
Součástka SMD 1206 PbSn (1)



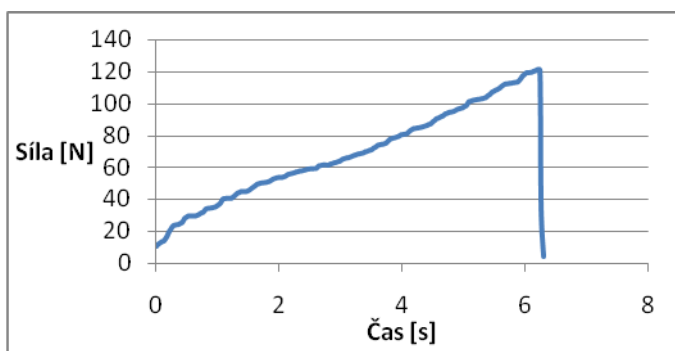
Součástka SMD 1206 PbSn (2)



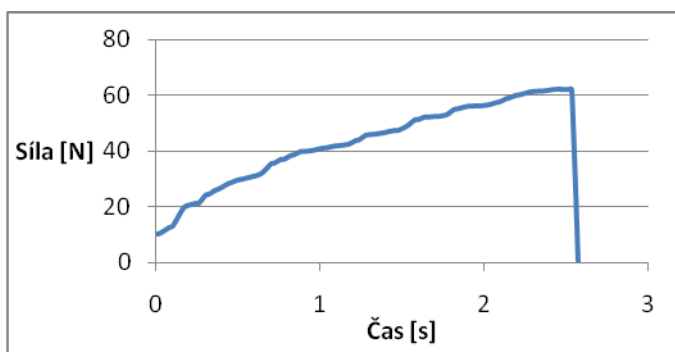
Součástka SMD 1206 PbSn (3)



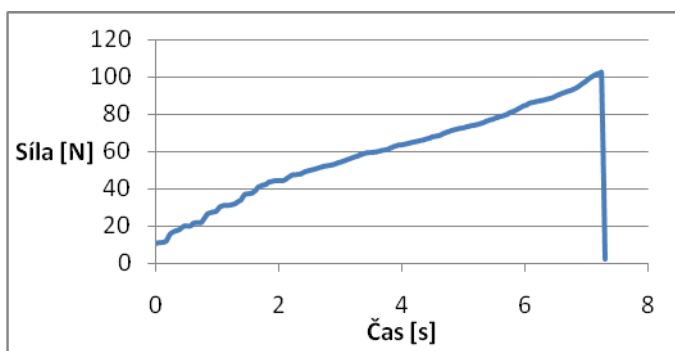
Součástka SMD 1206 PbSn (4)



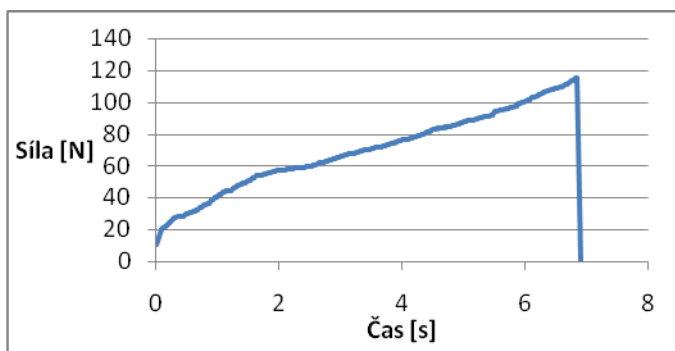
Součástka SMD 1206 PbSn (5)



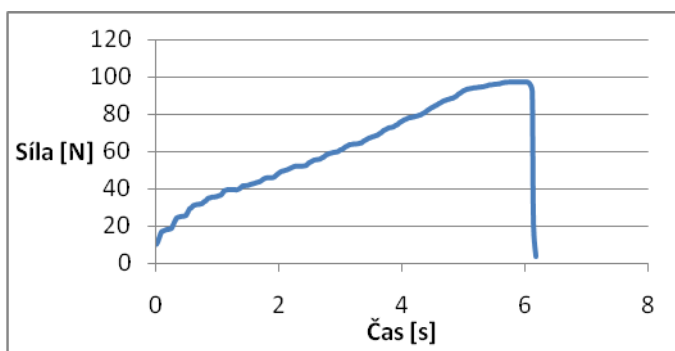
Součástka SMD 1206 PbSn (6)



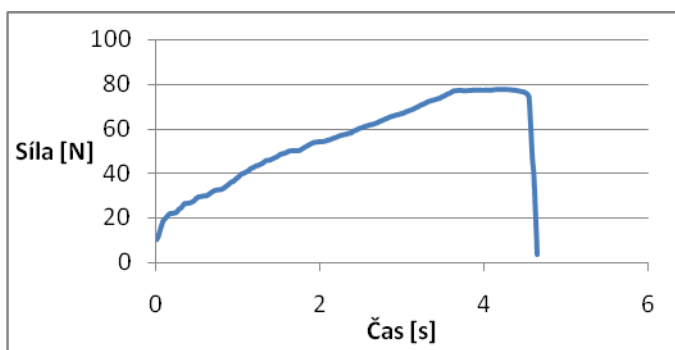
Součástka SMD 1206 PbSn (7)



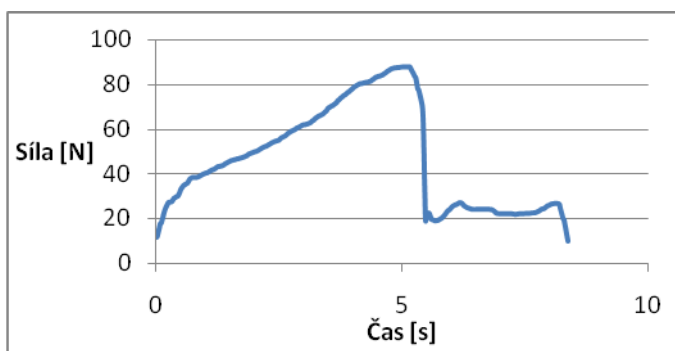
Součástka SMD 1206 PbSn (8)



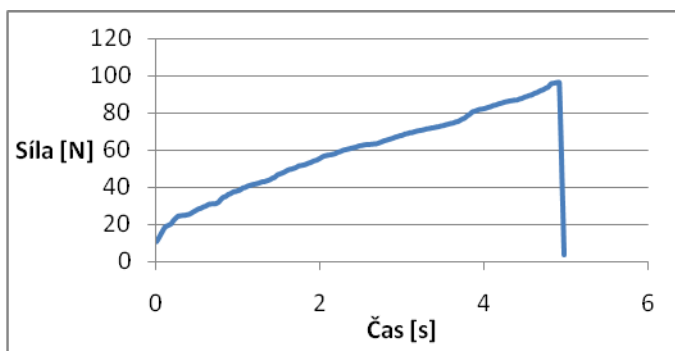
Součástka SMD 1206 PbSn (9)



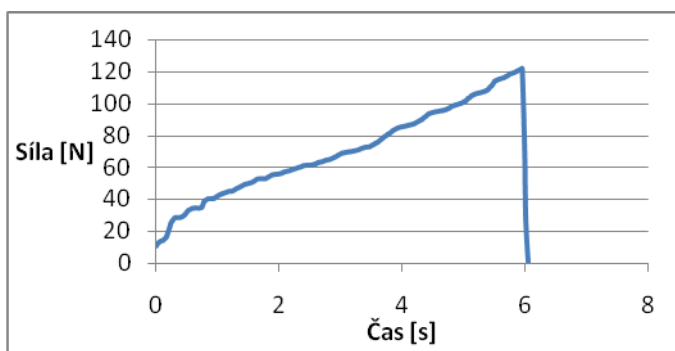
Součástka SMD 1206 PbSn (10)



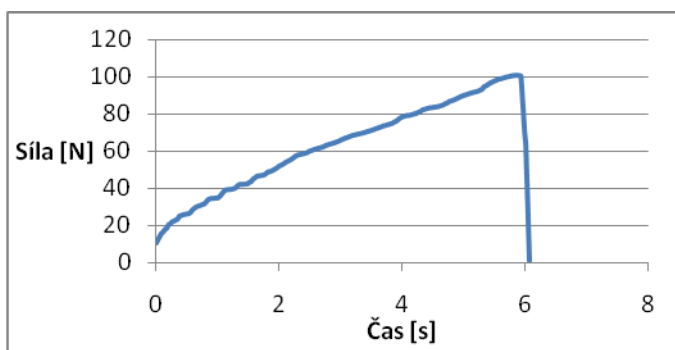
Součástka SMD 1206 PbSn (11)



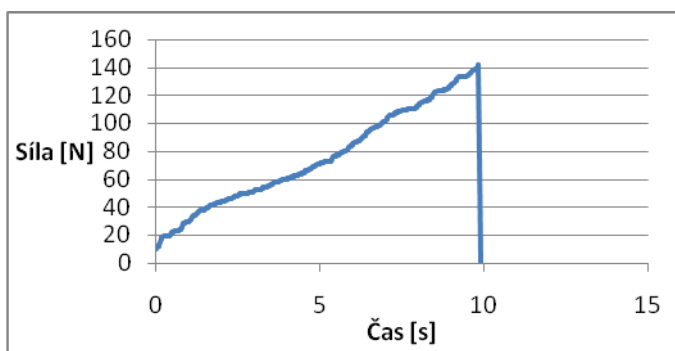
Součástka SMD 1206 PbSn (12)



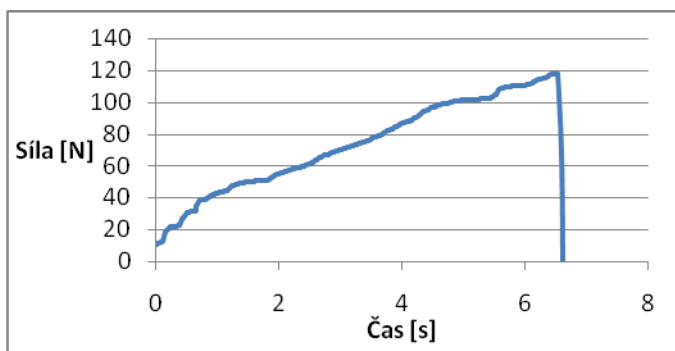
Součástka SMD 1206 PbSn (13)



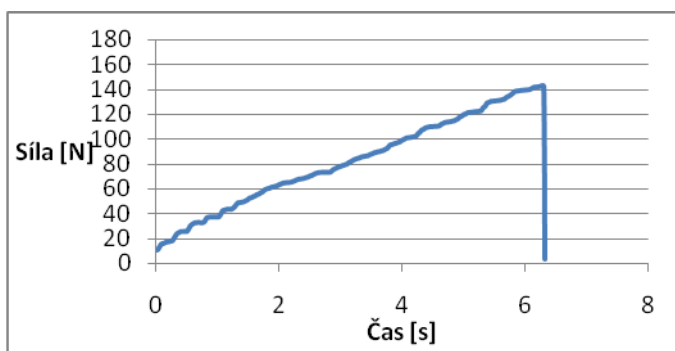
Součástka SMD 1206 PbSn (14)



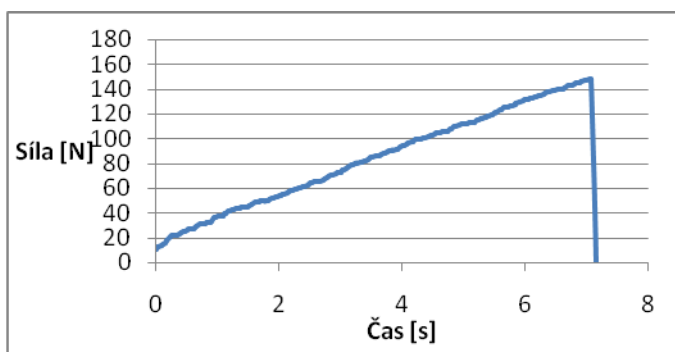
Součástka SMD 1206 PbSn (15)



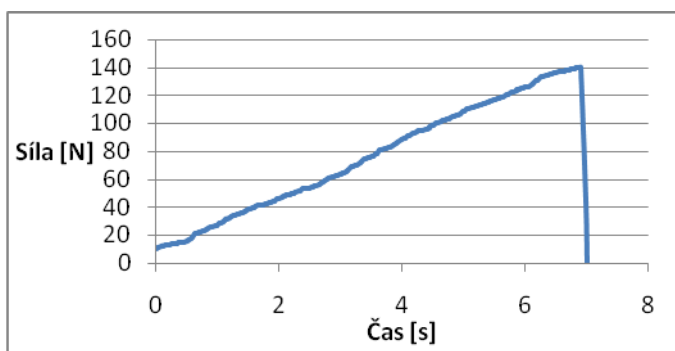
Součástka SMD 1206 PbSn (16)



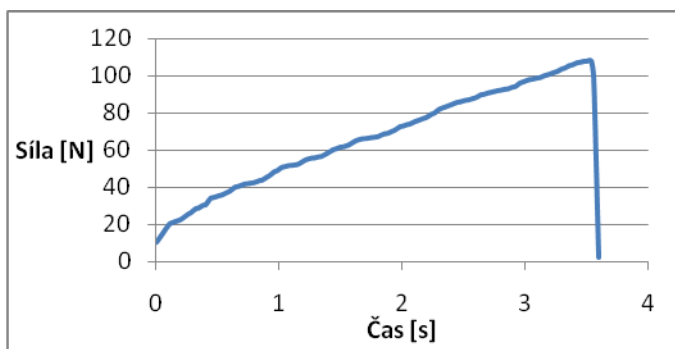
Součástka SMD 1206 PbSn (17)



Součástka SMD 1206 PbSn (18)

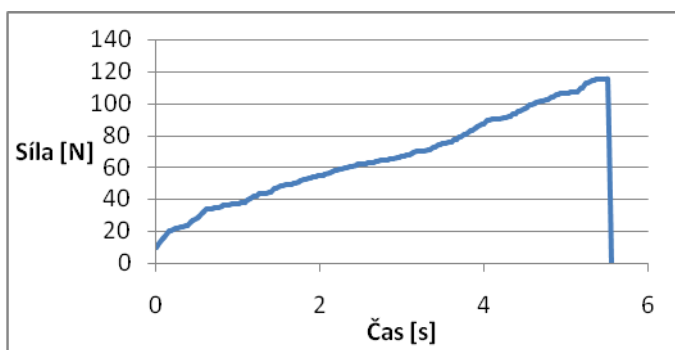


Součástka SMD 1206 PbSn (19)

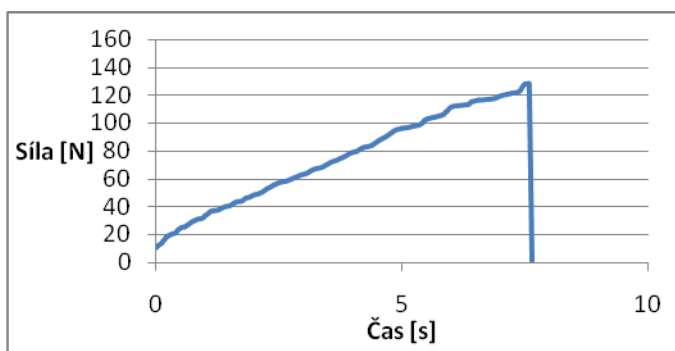


Součástka SMD 1206 PbSn (20)

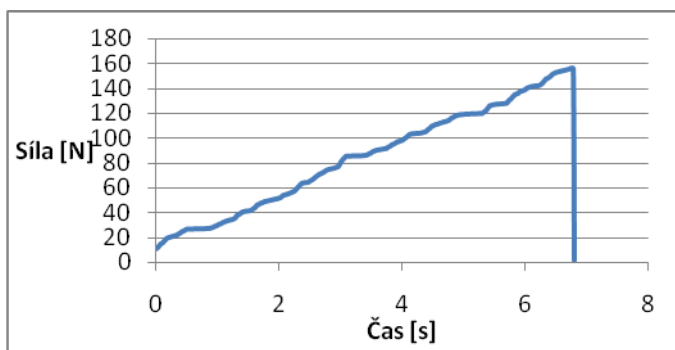
B.3 pasta BiSn



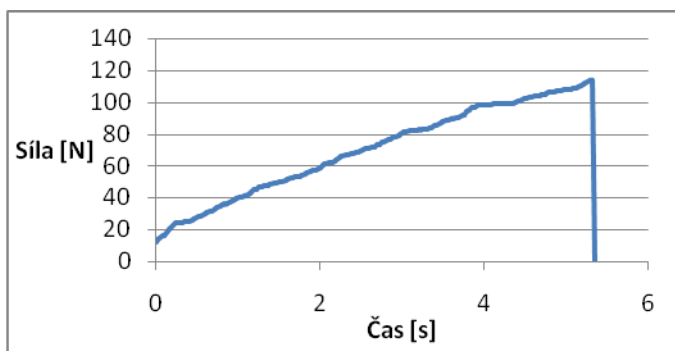
Součástka SMD 1206 BiSn (1)



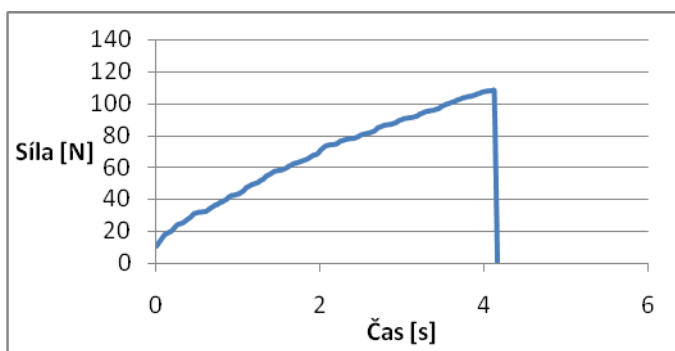
Součástka SMD 1206 BiSn (2)



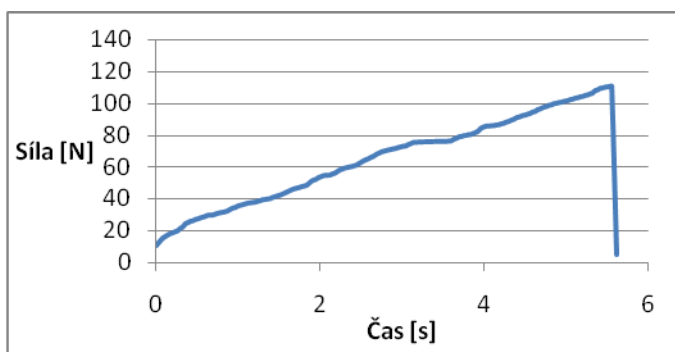
Součástka SMD 1206 BiSn (3)



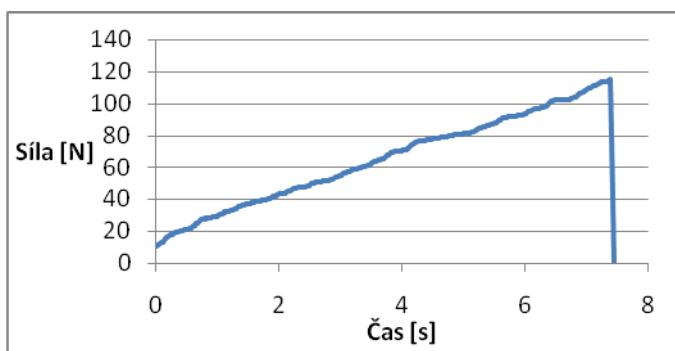
Součástka SMD 1206 BiSn (4)



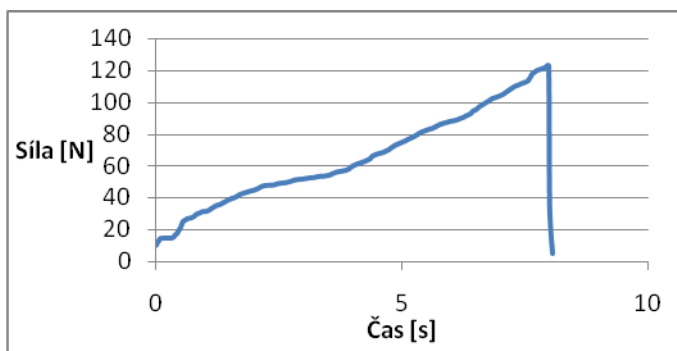
Součástka SMD 1206 BiSn (5)



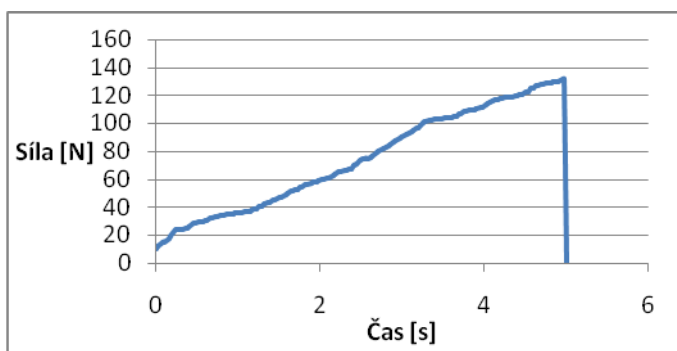
Součástka SMD 1206 BiSn (6)



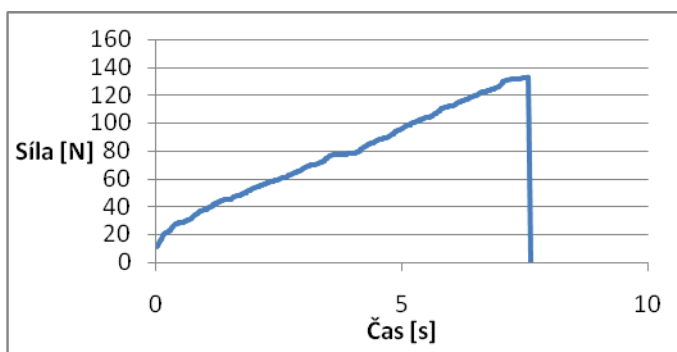
Součástka SMD 1206 BiSn (7)



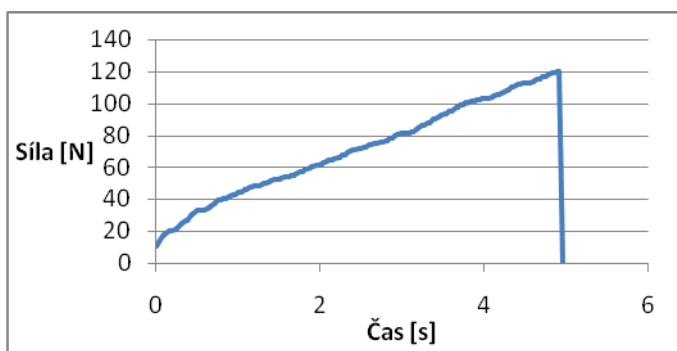
Součástka SMD 1206 BiSn (8)



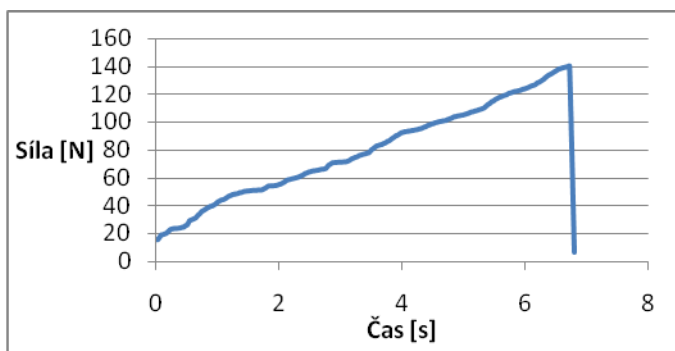
Součástka SMD 1206 BiSn (9)



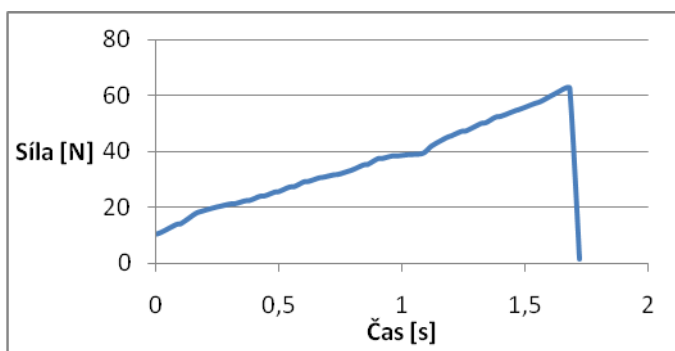
Součástka SMD 1206 BiSn (10)



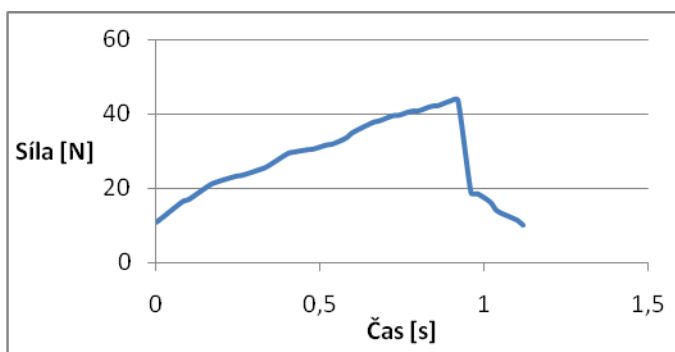
Součástka SMD 1206 BiSn (11)



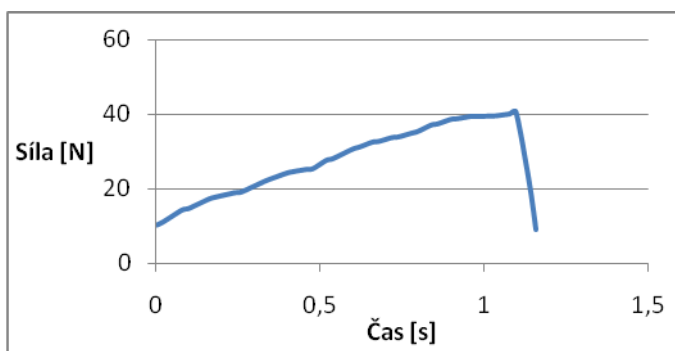
Součástka SMD 1206 BiSn (12)



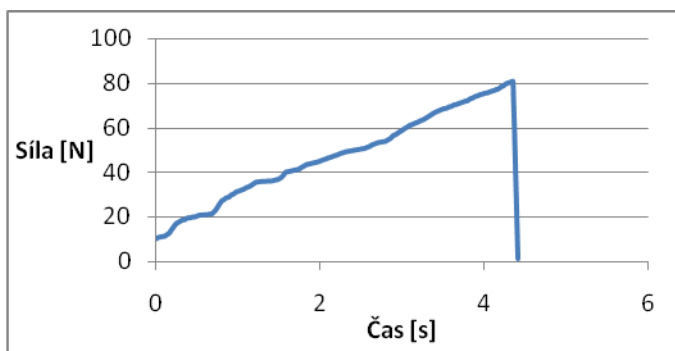
Součástka SMD 1206 BiSn (13)



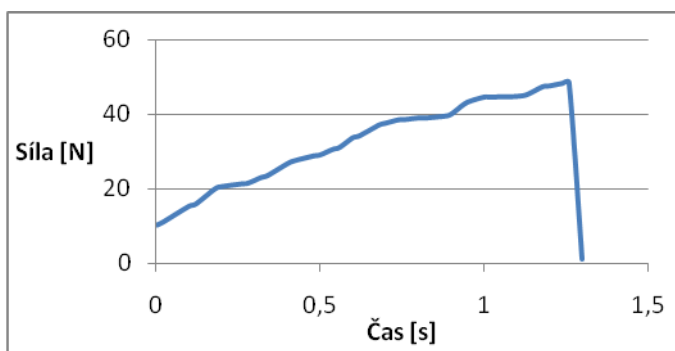
Součástka SMD 1206 BiSn (14)



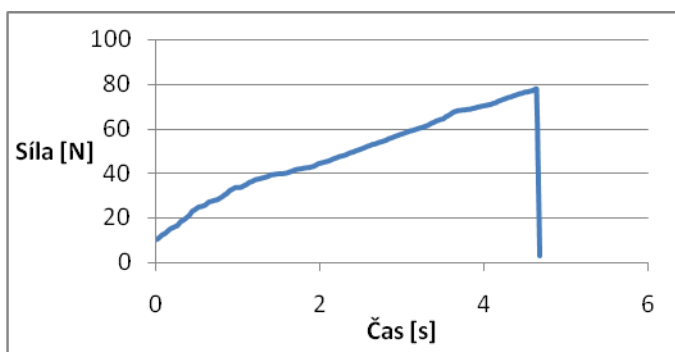
Součástka SMD 1206 BiSn (15)



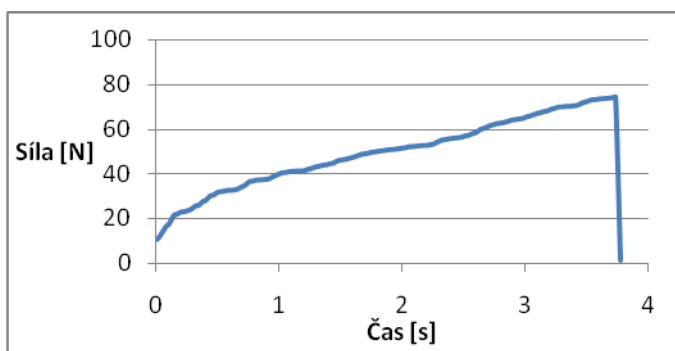
Součástka SMD 1206 BiSn (16)



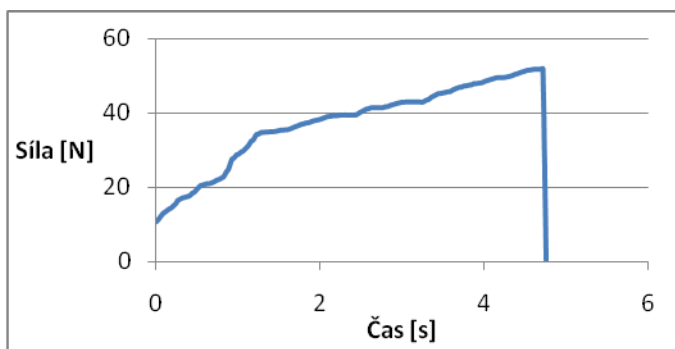
Součástka SMD 1206 BiSn (17)



Součástka SMD 1206 BiSn (18)



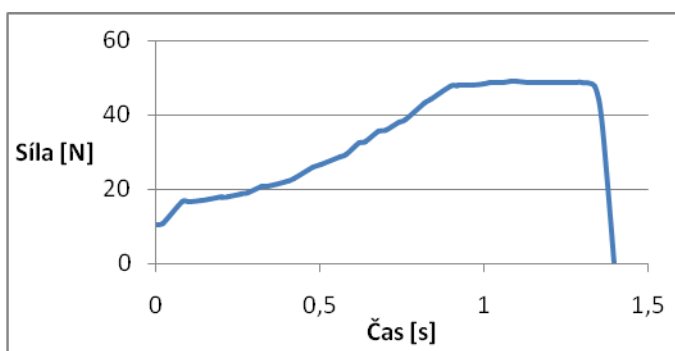
Součástka SMD 1206 BiSn (19)



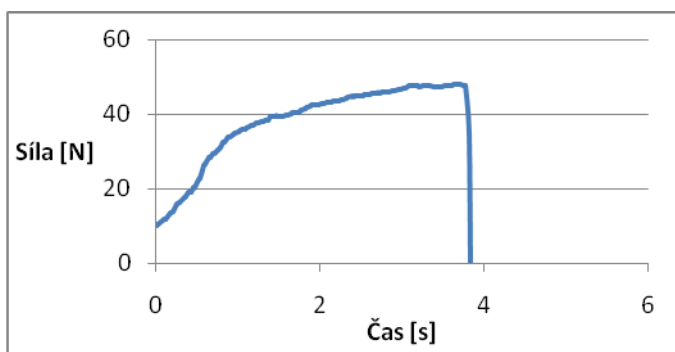
Součástka SMD 1206 BiSn (20)

C. GRAFY Z MĚŘENÍ THT

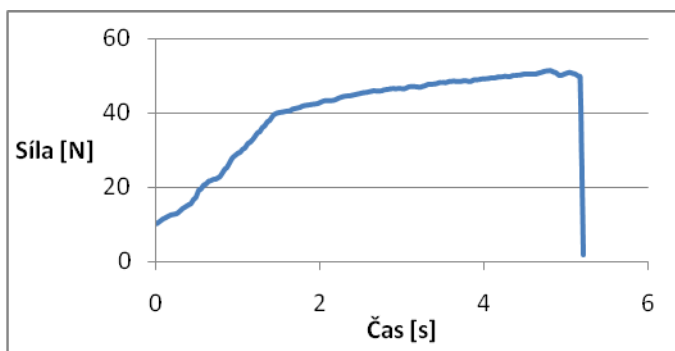
C.1 Vývody tloušťky 0,4 mm



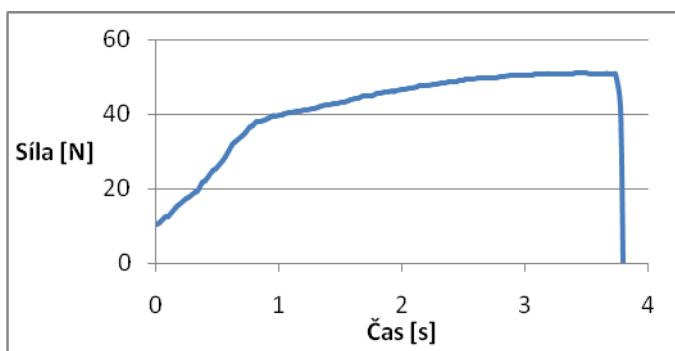
Vývod THT tloušťky 0,4 mm (1)



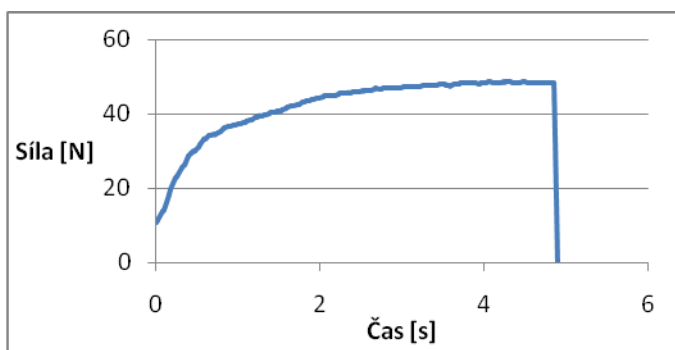
Vývod THT tloušťky 0,4 mm (2)



Vývod THT tloušťky 0,4 mm (3)

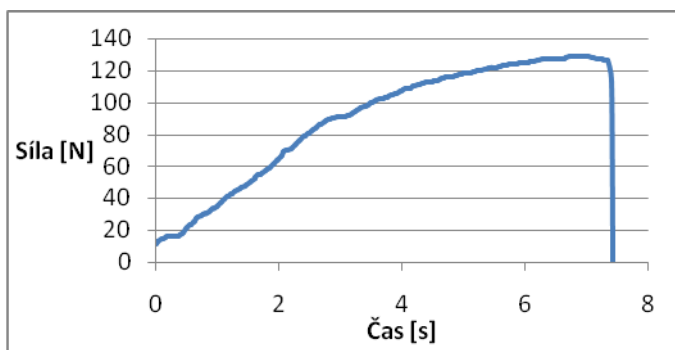


Vývod THT tloušťky 0,4 mm (4)

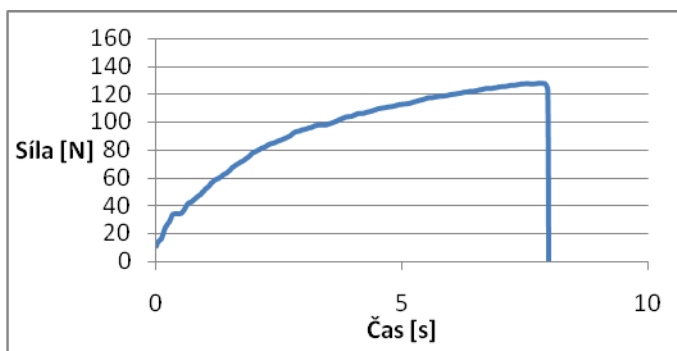


Vývod THT tloušťky 0,4 mm (5)

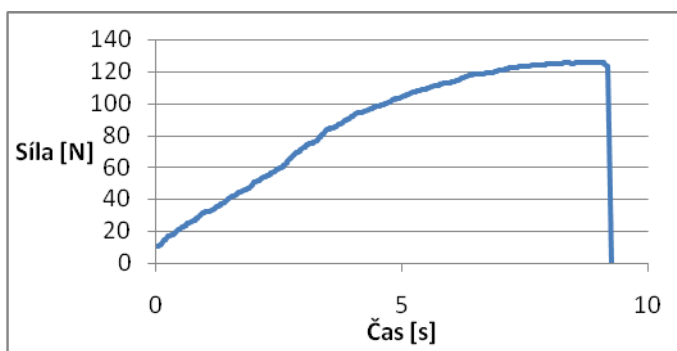
C.2 Vývody tloušťky 0,7 mm



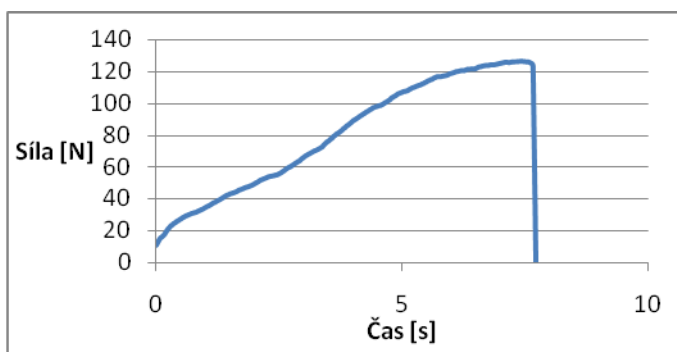
Vývod THT tloušťky 0,7 mm (1)



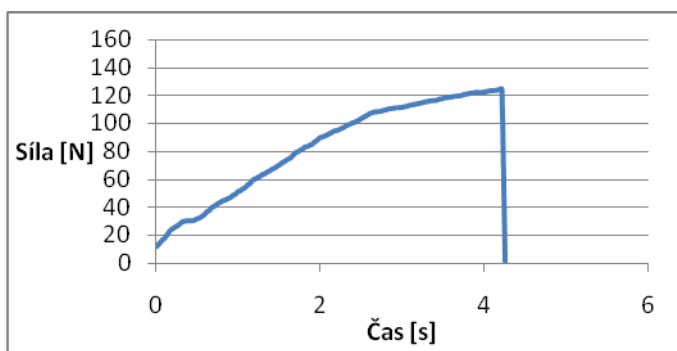
Vývod THT tloušťky 0,7 mm (2)



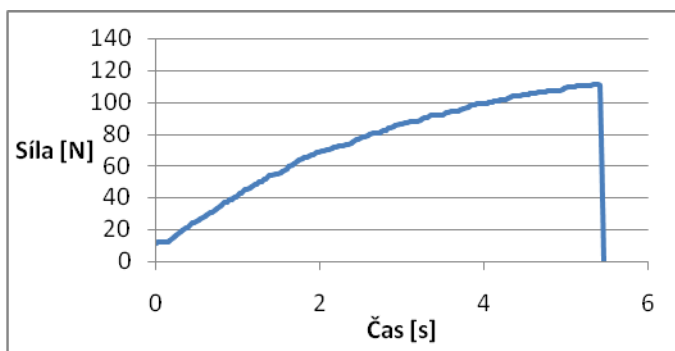
Vývod THT tloušťky 0,7 mm (3)



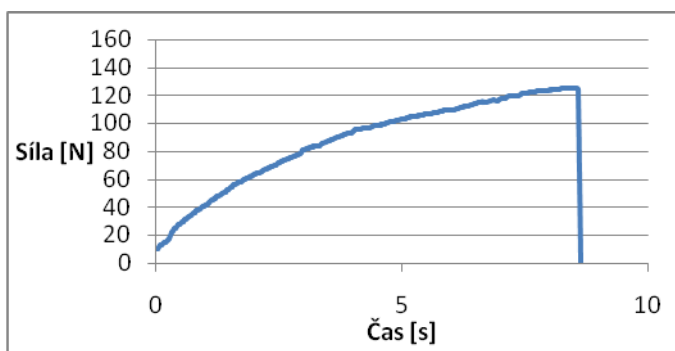
Vývod THT tloušťky 0,7 mm (4)



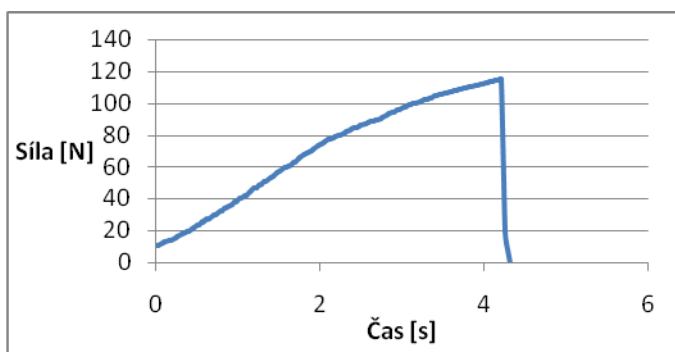
Vývod THT tloušťky 0,7 mm (5)



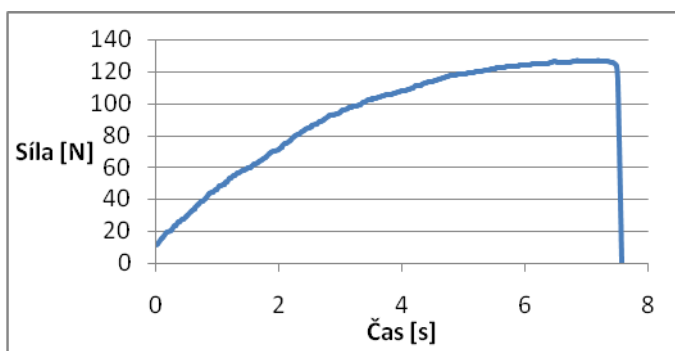
Vývod THT tloušťky 0,7 mm (6)



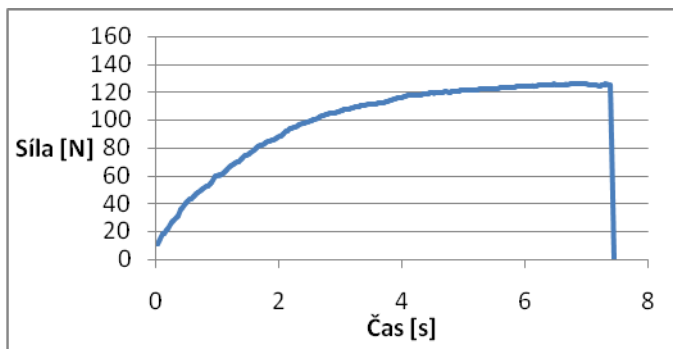
Vývod THT tloušťky 0,7 mm (7)



Vývod THT tloušťky 0,7 mm (8)



Vývod THT tloušťky 0,7 mm (9)



Vývod THT floušťky 0,7 mm (10)

D. NÁVOD PRO POUŽITÍ PRACOVNÍŠTĚ



Program MESURgauge

- Program se spouští pomocí modré ikony z plochy
- Jde o demo verzi programu, což program rád připomíná následující tabulkou, která občas vyskočí. Stačí ji odkliknout. Nikdy nevyškočí během měření. Netřeba se tedy obávat o výsledky.

Program MESURgauge

- Před měřením je potřeba mít program patřičně nastavený.
- Nejprve otevřete nabídku „system configuration“ a zvolíte „Gauge only“

Program MESURgauge

- V okně „port configuration“ nastavte následující parametry :
- COM port : COM3
- Baud Rate : 115200

Program MESURgauge

- V okně „gauge setting“ nastavte jednotky na Newtony

Program MESURgauge

- V okně „test setup“ nastavte následující parametry, aby se měření spustilo po překročení síly 10 N a zastavilo, jakmile spadne pod tuto hodnotu
- Start conditions : Load, threshold 10
- Stop conditions : Load, threshold 10
- Readings per sec. : 50
- Test units : Newtons (N)
- Load stop condition : Falling edge 1



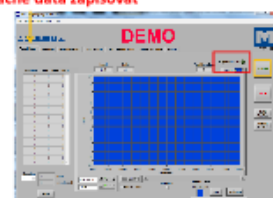
Program MESURgauge

- Nyní ověřte, zda siloměr posílá do programu data. V okně „digital display“ se zobrazuje aktuální hodnota
- Také ověřte, že hodnota je v Newtonech



Program MESURgauge

- V okně „acquisition“ je možno měření aktivovat tlačítkem START. Jakmile bude překročena síla 10 N, program začne zapisovat data a kreslit graf.
- Nesvítí-li zeleně „acquiring data“, měření není aktivováno a program nezačne data zapisovat**



Program MESURgauge

- Po dokončení měření přepněte do okna „analysis“. Zde je možno data exportovat do excelu. **Je-li export přerušen například kliknutím do okna excelu, nevyexportují se všechna data.**
- Také zde najdete maximální naměřenou hodnotu
- Pro další měření klikněte znovu v okně acquisition na START. Tímto dojde k vymazání předchozích dat. Exportujte tedy do excelu po každém měření.



Siloměr a stojan

- Siloměr se zapíná velkým červeným tlačítkem.
- Během měření je siloměr ovládán přes USB pomocí programu MESURgauge a není na něm tedy potřeba nic měnit.



Siloměr a stojan

- Do držáku na DPS vložte desku. Pomocí levého a pravého profilu ji zafixujte ke stojanu
- Tyto profily není nutno utahovat velikou silou.



Siloměr a stojan

- Celý držák posuňte blíže k měřicímu nástavci a nastavte vzdálenost nástavce od DPS. Hrot by při měření neměl o DPS drhnout. Vzdálenost konzultujte s vyučujícím
- DPS by měla být kolmo k měřicímu nástavci
- Jakmile máte pozici držáku nastavenou, utáhněte jej k podložce
- Pro jednodušší opakování k držáku přisuněte a utáhněte záračky



Siloměr a stojan

- Pomocí levého a pravého profilu posuňte DPS tak, aby měřená součástka byla přímo pod měřicím nástavcem.
- Při posunu nástavce vždy povolujte záračku stojanu



Siloměr a stojan

- Opatrně nastavte podpěrné šrouby. Tyto šrouby šroubujte ručně a s citem. Nemají desku prohýbat. Jen se jí dotýkat a podpírat ji.





Siloměr a stojan

- Nyní můžete začít měřit. Aktivujte měření v programu MESURgauge a pomalu začněte točit pákou. Čím pomaleji budete pákou otáčet, tím přesnější bude výsledné měření.
- Během měření sledujte graf v programu MESURgauge



Siloměr a stojan

- Po odtržení součástky exportujte měření do excelu a uložte. Z měřícího nástavce odstraňte případné zbytky součástky, nebo pájky.
- Při měření více součástek pod sebou odstraňte zbytky součástky a pájky z další měřené součástky

