

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ
ELEKTRONIKY**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Demonstrátory pro optickou inspekci pouzder elektronických součástek

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub LANGMAIER**
Osobní číslo: **E13B0281P**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Demonstrátory pro optickou inspekci pouzder elektronických součástek**
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Zpracujte přehled hlavních kategorií běžně používaných typů pouzder elektronických součástek v THT a SMT technologii. Zahrňte pouzdra diskrétních součástek i integrovaných obvodů.
2. Prakticky se seznamte s mikroskopovým vybavením Laboratoře technologií v elektronice. Zhodnoťte možnosti optické inspekce pouzder elektronických součástek popsanych v 1. bodě zadání s ohledem na dostupná zvětšení a velikosti obrazových polí.
3. Navrhněte rozložení demonstračních přípravků pro optickou inspekci pouzder elektronických součástek. Navrhněte vhodné uspořádání skupin součástek, velikost panelů s ohledem na pracovní plochu mikroskopů, způsob montáže součástek a jejich orientaci.
4. Vyberte vhodné varianty součástek reprezentující hlavní skupiny pouzder a prakticky realizujte navržené demonstrační panely. Ověřte použitelnost pro optickou inspekci s dostupným laboratorním vybavením.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

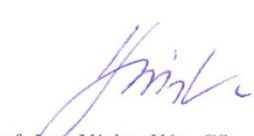
1. **MACH, Pavel, SKOČIL, Vlastimil a URBÁNEK, Jan. Montáž v elektronice: pouzdření aktivních součástek, plošné spoje. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. 440 s. ISBN 80-01-02392-3.**
2. **IPC Component Identification (dodá vedoucí v el. podobě).**
3. **TOPLINE: Surface Mount Nomenclature and Packaging: http://www.topline.tv/SMT_Nomenclature.pdf**
4. **<http://www.icpackage.org>.**
5. **<http://www.ti.com/sc/docs/package/guide.htm>.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Silvan Pretl**
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2015**
Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2016**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kús, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na pouzdření elektrotechnických součástek. Cílem této práce je zrealizovat demonstrační panely pro optickou inspekci pouzder elektronických součástek. Práce v první části obsahuje obecné informace o pouzdření součástek a přehled hlavních používaných typů pouzder. Druhá část práce se věnuje návrhu a realizaci demonstračních panelů a následné optické inspekci.

Klíčová slova

Pouzdro elektronické součástky, úroveň montáže, THT montáž, SMT montáž, demonstrační panel, optická inspekce, mikroskop, integrovaný obvod.

Abstract

The bachelor thesis is focused on the encasement of electrical components. The objective of this bachelor thesis is to produce a demonstration panels for optical inspection of electrical components. In the first part of the bachelor thesis are general information about the encasement of the components and a review of the main types of used case. The second part is dedicated to the design and manufacture of demonstration panels and subsequent optical inspection.

Key words

Case electronic components, the level of assembly, THT assembly, SMT assembly, demonstration panel, optical inspection, microscope, integrated circuit.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 30.5.2016

Jakub Langmaier

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Silvanu Pretlovi Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	9
1 CHARAKTERISTIKA POUZDŘENÍ	11
1.1 ÚROVNĚ MONTÁŽÍ.....	12
1.1.1 Montáž první úrovně.....	12
1.1.2 Montáž druhé úrovně.....	13
1.1.3 Montáž třetí úrovně.....	13
1.2 VÝVOJ POUZDŘENÍ.....	13
1.3 ELEKTRICKÁ FUNKCE POUZDRA.....	15
2 ZÁKLADNÍ TYPY POUZDER	15
2.1 TYPY POUZDER PRO THT MONTÁŽ.....	16
2.1.1 Pouzdra pasivních součástek.....	16
2.1.2 Pouzdra SIP.....	17
2.1.3 Pouzdra DIP.....	17
2.1.4 Pouzdra ZIP.....	18
2.1.5 Pouzdra PGA.....	19
2.2 TYPY POUZDER PRO SMT MONTÁŽ.....	19
2.2.1 Pouzdra pasivních součástek.....	20
2.2.2 Pouzdra SOP.....	21
2.2.3 Pouzdra CLCC.....	21
2.2.4 Pouzdra PLCC.....	22
2.2.5 Pouzdra QFP.....	23
2.2.6 Pouzdra BGA.....	23
2.2.7 Pouzdra CSP.....	24
3 NÁVRH A REALIZACE DEMONSTRAČNÍCH PANELŮ	25
3.1 VÝBĚR ZÁSTUPCŮ POUZDER.....	25
3.2 TECHNOLOGIE VÝROBY DEMONSTRAČNÍCH PANELŮ.....	25
3.3 NÁVRH ROZVRŽENÍ DEMONSTRAČNÍCH PANELŮ.....	26
3.4 NÁVRH POPISKŮ POUZDER.....	27
3.5 REALIZACE DEMONSTRAČNÍCH PANELŮ.....	27
4 OPTICKÁ INSPEKCE	30
4.1 DIGITÁLNÍ MIKROSKOPY DINO-LITE.....	30
4.1.1 Dino-Lite software.....	30
4.2 POSTUP PŘI OPTICKÉ INSPEKCI.....	31
4.3 VÝSLEDEK OPTICKÉ INSPEKCE.....	31
4.3.1 Příklad optické inspekce na pouzdře 2010.....	32
4.3.2 Příklad optické inspekce na pouzdře DFN8.....	33
4.3.3 Příklad optické inspekce na pouzdře PLCC32.....	34
ZÁVĚR	36
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	37
PŘÍLOHY	1

Úvod

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na pouzdření elektronických součástek. Text je rozdělen do dvou částí. První část se zabývá obecnými informacemi ohledně pouzdření elektronických součástek a obsahuje přehled nejpoužívanějších typů pouzder v současné době. Druhá část textu se zabývá praktickou částí, tedy návrhem a výrobou demonstračních panelů pro optickou inspekci pouzder elektronických součástek.

S vývojem elektroniky a mikroelektroniky je spojen i vývoj v oblasti pouzdření součástek. Dřívější hlavní význam pouzder byl chránit součástky. V dnešní době je nutné se při návrhu pouzdra zabývat i parazitními jevy a tepelným managementem. Pouzdra součástek se s postupem doby měnila. V 80. letech se masově rozšířila technologie pouzdření SMT. V dnešní době je rozšířená technologie multičipových modulů MCM, kde je více čipů připojeno k jedné základně a celý celek je zapouzdřen do jednoho pouzdra.

Demonstrační panely pro optickou inspekci mají sloužit pro získání lepší představy o rozměrech a tvaru nejpoužívanějších pouzder elektronických součástek.

Seznam symbolů a zkratk

SMD	Surface mount device (součástka pro povrchovou montáž)
SMT	Surface mount technology (technologie povrchové montáže)
THT	Through hole technology (montáž do děr v deskách plošných spojů)
MCM	Multichip module (pouzdra s dvěma a více čipy)
EMC	Electromagnetic compatibility (elektromagnetická kompatibilita)
SIP	Single in-line package (pouzdro s vývody v jedné řadě)
DIP	Dual in-line package (pouzdro s vývody na dvou protilehlých stranách)
ZIP	Zigzag dual-in package (pouzdro s vývody uspořádaný „cik-cak“)
PGA	Pin grid array (pouzdro s polem kolíkových vývodů na spodní straně)
MELF	Metal electrode face komponent (součástka válcového tvaru)
SOP	Small outline package (miniaturní pouzdro pro povrchovou montáž)
CLCC	Ceramic leadless chip carrier (keramický bezvývodový nosič čipu)
PLCC	Plastic leaded chip carrier (plastový nosič čipu s vývody)
QFP	Quad flat pack (pouzdro s vývody na všech stranách)
BGA	Ball grid array (pouzdro s polem kulových vývodů na spodní straně)
CSP	Chip scale packaging (pouzdro, které málo převyšuje rozměry čipu)
QFN	Quad flat no-leads (pouzdro s kontaktními ploškami na všech stranách)
DFN	Dual flat no-leads (pouzdro s kontaktními ploškami na dvou stranách)

1 Charakteristika pouzdření

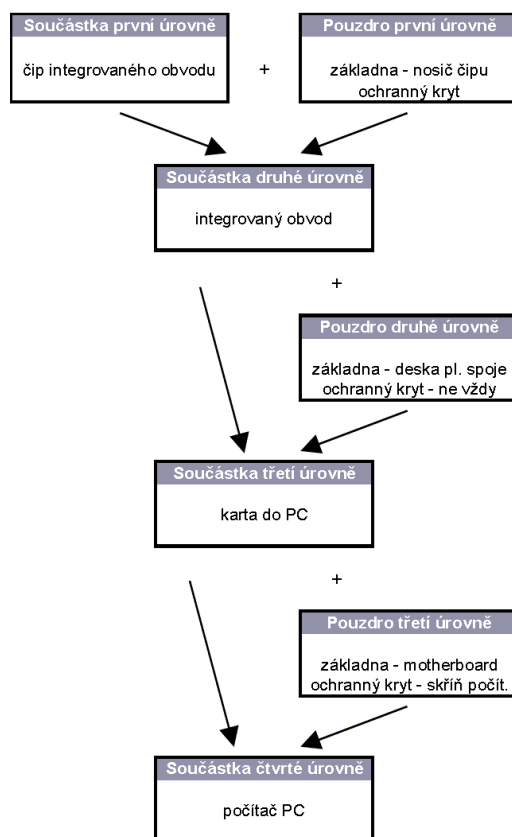
S vývojem elektroniky a mikroelektroniky je spojen i vývoj v oblasti pouzdření součástek. Pouzdření je velmi široký pojem. Znamená totiž jak opatření součástky pouzdrem, tak i připojení čipu k vývodům pouzdra. Obecně se tedy pouzdro skládá ze základny, která umožňuje připojení součástky a její propojení s dalšími součástkami a ochranného krytu. [1]

Hlavními funkcemi pouzdra elektronické součástky jsou rozvod napájecí energie, rozvod elektrického signálu, odvod tepla, zajištění mechanické pevnosti a zajištění ochrany před vnějšími vlivy. [1]

Protože spousta integrovaných obvodů generuje značné množství tepla, musí být dostatečně chlazeny. Odvod tepla zajišťuje základna pouzdra, vývody a vlastní pouzdro. V případě, kdy je potřeba odnést větší množství tepla, opatřuje se pouzdro součástky chladičem, který je s pouzdrem mechanicky a tepelně spojen. V případě nutnosti se součástky, nebo celá zařízení, opatřují ventilátory, které zajišťují dostatečný přívod chladícího vzduchu. [1]

1.1 Úrovně montáží

Pouzdra obecně mohou být použita v různých úrovních montáže. Montáž v elektronice je z pravidla rozdělena do tří úrovní.



Obr. 1: Příklad hierarchie součástek a pouzder v systému počítače [1]

1.1.1 Montáž první úrovně

Je to proces, kdy je montována součástka (čip) první úrovně na základnu pouzdra první úrovně. Součástka je propojena s vývody této základny a tento celek je opatřen ochranným krytem, např. plastovým nebo kovovým, s cílem vytvořit samostatnou diskrétní součástku. Součástka, která vznikne montáží první úrovně se nazývá součástkou druhé úrovně. Jedná se například o integrovaný obvod. [1]

1.1.2 Montáž druhé úrovně

Je to proces, při kterém je součástka druhé úrovně montována na základnu pouzdra druhé úrovně (např. desku plošného spoje). Cílem je vytvořit funkční kartu (např. videokartu nebo síťovou kartu). Funkční celek, který vznikne montáží druhé úrovně se nazývá součástkou třetí úrovně. [1]

1.1.3 Montáž třetí úrovně

Je to montáž součástek třetí úrovně na základnu pouzdra třetí úrovně, která zajišťuje propojení s dalšími součástkami a deskami do vyššího celku. Jako konkrétní případ může sloužit osazení základní desky počítače a montáž počítače, jako uceleného celku, do skříně. Funkční celek, který vznikne montáží třetí úrovně se nazývá součástkou čtvrté úrovně. [1]

1.2 Vývoj pouzdření

S vývojem v oblasti materiálů a technologií se museli vyvíjet i montáž v elektronice a pouzdření. Moderní součástky pracují často při vyšších frekvencích než starší součástky. To klade vyšší nároky na jejich připojování, propojování i na jejich pouzdření. [1]

Jako důsledek vývoje elektronických obvodů a systémů vznikly součástky pro povrchovou montáž (SMD). Tato technologie spočívá v montáži vývodových i bezvývodových součástek na stranu propojovací fólie. Bylo nutné nahradit montáž součástek do děr (THT), kvůli stále rostoucímu požadavku měření parametrů součástek před osazením do obvodu. Nová provedení součástek umožnila techniku pájení přetavením, vede ke zmenšení rozměrů a hmotnosti součástek, dále také ke snížení nákladů na výrobu. [1], [2]

S dalším vývojem v oblasti litografie a křemíkové technologie se ukázalo, že ani technologie povrchové montáže nestačí vyhovět požadavkům stále složitějších a rychlejších integrovaných obvodů. Bylo potřeba vyvinout technologii pouzdření s větší pouzdřicí účinností (poměr mezi plochou zapouzdrěných čipů, které jsou namontovány na desce plošného spoje tak, že ji beze zbytku překrývají a plochou této desky), než mají pouzdra pro povrchovou montáž. Řešení bylo nalezeno vývojem multičipových modulů (MCM). Multičipové moduly zajišťují vysoký stupeň integrace. Dosaženo je to tím, že základnu pouzdra tvoří vícevrstvý plošný spoj, na který jsou montovány nezapouzdrěné čipy integrovaných obvodů. K vzájemnému propojení jednotlivých čipů slouží základna, na kterou jsou montovány. Celý multičipový obvod, který může obsahovat i desítky nebo stovky čipů, je v konečné fázi výroby opatřen pouzdem a je dále používán jako jedna diskrétní součástka. [1]



Obr. 2: Ukázka otevřeného pouzdra MCM [5]

1.3 Elektrická funkce pouzdra

Hlavní elektrickou funkcí pouzdra je přenos elektrického digitálního nebo analogového signálu a to zpravidla v co nejkratším čase. Mezi nejzávažnější typy zkreslení střídavého signálu patří změna amplitudy a tvaru. To může způsobit špatnou indikaci logické úrovně nebo změnu časového odstupu mezi pulzy, a tím chybnou funkci logické jednotky a chybu celého systému. K nejzávažnějším typům zkreslení stejnosměrného napětí patří změna jeho velikosti. U napájecího napětí se však jeho velikost může pohybovat v určitých mezích. Závažnější dopad však může mít změna referenčního napětí. Ta může způsobit nesprávné vyhodnocení logické úrovně, a tím nesprávnou funkci obvodu. [1]

Pouzdro by dále mělo zabraňovat vyzařování signálů a zároveň stínit součástku před případným vnějším rušením. Tím pádem splňovat podmínku elektromagnetické kompatibility (EMC). Správný návrh pouzdra tedy vyžaduje analýzu stejnosměrných i vysokofrekvenčních vlastností vodivých spojů. [1]

2 Základní typy pouzder

Pouzdrění první úrovně je nejnáročnější pouzdřicí technologie z důvodu vysoké citlivosti čipů na elektrické, mechanické, fyzikální a chemické vlivy. Při pouzdření čipů musí být splněny podmínky, které zaručují, že nedojde k poškození čipů při pouzdření, ani při připojování zapouzdrěného čipu na základnu pouzdra vyššího typu. Pouzdra první úrovně se dělí podle typu vývodů. Ten závisí na tom, zda jsou zapouzdrěné IO určeny pro montáž typu THT, kdy jsou vývody součástek zasunuty do děr v desce plošného spoje a na druhé straně, než se nachází tělo součástky, jsou pájeny, nebo pro montáž typu SMT, kdy jsou součástky pájeny na straně součástek. [1]

2.1 Typy pouzder pro THT montáž

2.1.1 Pouzdra pasivních součástek

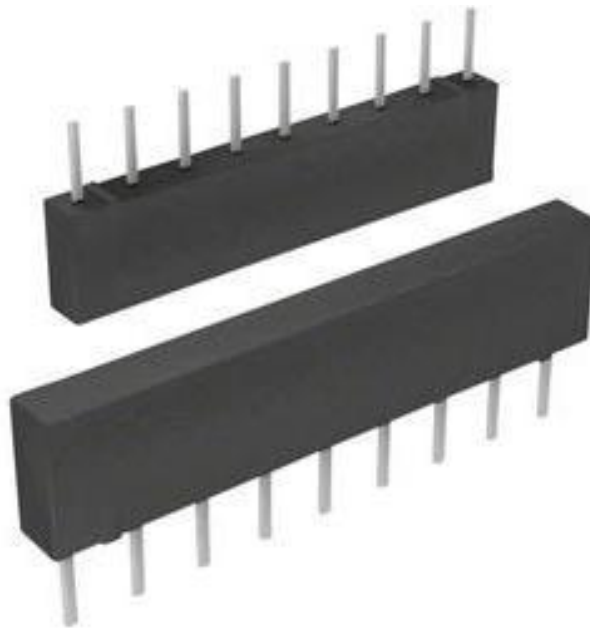
O tvaru a provedení součástky rozhoduje v první řadě základní výrobní operace. U drátových rezistorů je to navíjení odporového drátu na válcové izolační tělo. Čili většina THT rezistorů má výsledný tvar pouzdra váleček. Vrstvové rezistory se snadno uvádějí do rotačního pohybu, kde se snadno nanáší rovnoměrná vrstva po povrchu tělíska a především se snadno nastavuje nominální hodnota vybrušováním. Vývody jsou většinou drátové osově, přivařené k vývodním čepičkám nebo připájené k odporové vrstvě. [1]

Podobně je to i u kondenzátorů, které jsou zhotoveny navíjením izolační a vodivé fólie na trn. Tímto způsobem jsou realizovány například hliníkové elektrolytické kondenzátory. U keramických kondenzátorů se používají různé tvary, například trubičky, polštářky, terčíky. Vývody jsou opět ve většině případů drátové orientované převážně jednostranně nebo osově. [1]

Cívky mají svou formu velice pestrou, protože jejich specifické určení si vynucuje i zvláštní provedení. Jen výjimečně jsou samostatné, často jsou součástí laděných obvodů, transformátorů nebo stínících krytů. Mohou být s, nebo bez jádra z feromagnetického materiálu. Jejich vinutí může mít i více odboček. K uchycení obvykle neslouží jejich vývody, ale k tomu účelu provedené držáky. [1]

2.1.2 Pouzdra SIP

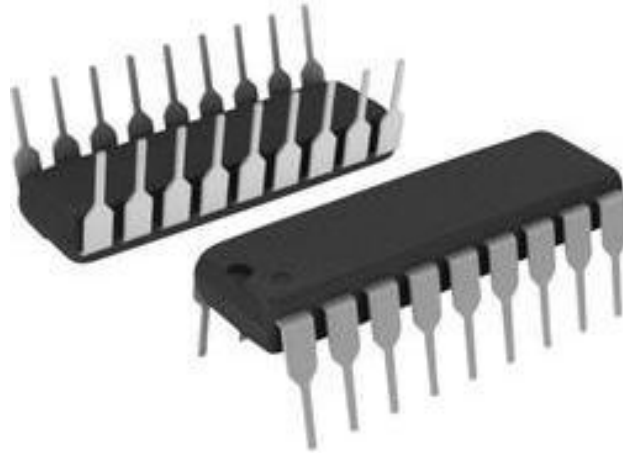
Tyto pouzdra jsou obdélníková, umístěná na výšku a s vývody na jedné delší straně. Vývody mají z pravidla rozteče 1,27 mm, ale jsou také používána pouzdra s roztečemi vývodů 2,54 mm. Čip je k vývodům kontaktován pomocí mikrodrátků. Výhoda těchto pouzder je ve velké chladicí ploše, ale malému půdorysnému průmětu. Obvykle se jako pouzdřicí materiál používá plast. Náklady na výrobu těchto pouzder jsou nízké. [1]



Obr. 3: Příklad typu pouzder SIP [6]

2.1.3 Pouzdra DIP

Jsou to pouzdra obdélníková, umístěná na šířku a s vývody po dvou delších stranách obdélníka. Rozteč vývodů je 2,54 mm. Pouzdro DIP může mít různé modifikace, např. SH-DIP (Shrink DIP), SK-DIP (Skinny DIP), SL-DIP (Slim DIP). Pouzdro SH-DIP má stejné rozměry těla, jako DIP, ale liší se zmenšenou roztečí vývodů, většinou na 1,78 mm. Typy SK-DIP a SL-DIP se od DIP liší pouze užším provedením těla pouzdra. S nárůstem počtu vývodů narůstá cena pouzdra a i jeho rozměry. Tím se ale zhoršují jeho elektrické vlastnosti, z důvodu dlouhých propojů mezi čipem a vývody. Proto se pro obvody s větším počtem vývodů používají jiné typy pouzder, například PGA. [1]



Obr. 4: Příklad typu pouzder DIP [7]

2.1.4 Pouzdra ZIP

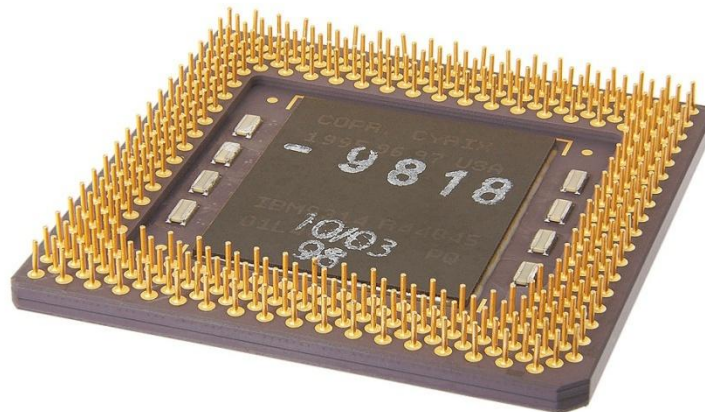
Je to typ pouzder, který je podobný typu SIP, ale jeho vývody jsou střídavě ve dvou řadách na jednom delším okraji pouzdra. Pouzdra ZIP byla zavedena jako náhrada typu DIP z důvodu jejich malých půdorysných rozměrů na desce plošného spoje a zároveň velké chladicí ploše. Vývody mají nejčastěji rozteče 1,27 mm. [1]



Obr. 5: Příklad typu pouzder ZIP [8]

2.1.5 Pouzdra PGA

Tento typ pouzder byl vyvinut z důvodu zvýšení počtu vývodů, aniž by se výrazně zvětšovaly rozměry pouzdra. Pouzdro je čtvercové, umístěné na plocho s vývody na spodní straně. Rastr vývodů bývá 2,54 mm. Pouzdra PGA se používají i pro THT technologii, ale jejich hlavním využitím je pro montování do patič. Tímto způsobem je například řešena i montáž obvodů CPU v počítačích. Častým důvodem užívání tohoto způsobu montáže bývá zejména možnost snadné výměny obvodu bez nutnosti pájení. [1]



Obr. 6: Příklad typu pouzder PGA [9]

2.2 Typy pouzder pro SMT montáž

Technologie povrchové montáže se začala masově používat v průběhu 80. let. Součástky pro SMT montáž mají zpravidla páskové vývody, nebo mají vývody vytvořené přímo na těle součástky. Pouzdra pro povrchovou montáž se provádí jak pro pasivní (např. rezistory, kondenzátory a cívky), tak aktivní součástky. [1]

2.2.1 Pouzdra pasivních součástek

Oproti pasivním součástkám pro THT, které rozměrově vznikali nekoordinovaně, jsou rozměry součástek pro SMT od začátku vývoje celosvětově standardizovány (viz tab. 1), a je tak usnadněna jejich aplikace. Jediným přetrvávajícím problémem je existence metrického a palcového délkového systému. [1]

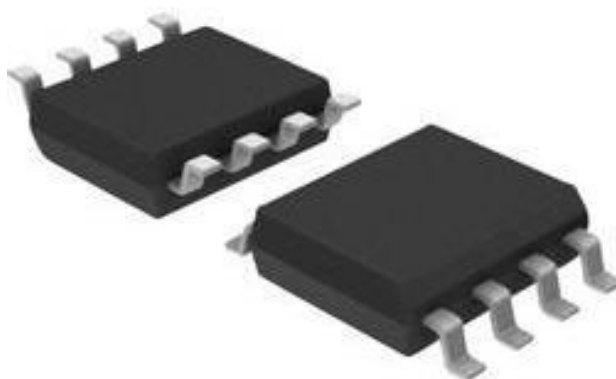
Tab. 1: Velikosti čipových součástek a jejich označení [1]

Rozměrový kód		Velikost (délka x šířka)
palcový	metrický	mm
0101	0303	0,3 x 0,3
0201	0603	0,6 x 0,3
0402	1005	1,0 x 0,5
0504	1210	1,2 x 1,0
0603	1508	1,5 x 0,8
0805	2012	2,0 x 1,2
1005	2512	2,5 x 1,2
1206	3216	3,2 x 1,6
1210	3225	3,2 x 2,5
1812	4532	4,5 x 3,2
2225	5664	5,6 x 6,4

Tvar pouzder je volen tak, aby byly snadno uchopitelné jednoduchými manipulačními prvky robotů a manipulátory. Pro rezistory a kondenzátory se používají pouzdra ve tvaru hranolu s definovanými rozměry: délka, šířka a výška. Pro rezistory a diody se také často používají pouzdra ve tvaru válce označovaného MELF. Rezistory jsou připravovány na keramických podložkách jako tenká odporová vrstva napařováním, nebo sítotiskem. Elektrolytické kondenzátory (např. hliníkové nebo tantalové) se používají s tuhým elektrolytem. Tvar pouzdra těchto součástek je takový, aby napomáhal indikovat správnou polaritu. Při připojení elektrolytického kondenzátoru do obvodu s obrácenou polaritou může dojít i k jeho výbuchu, proto jím je při diagnostických testech správného osazení věnována zvláštní pozornost. Induktory se vyrábí navinutím vodiče na jádro. Svým provedením a velikostí jsou obdobné tantalovým kondenzátorům, případně se vyrábějí ve velikostech pouzder 0402 a větších. [1]

2.2.2 Pouzdra SOP

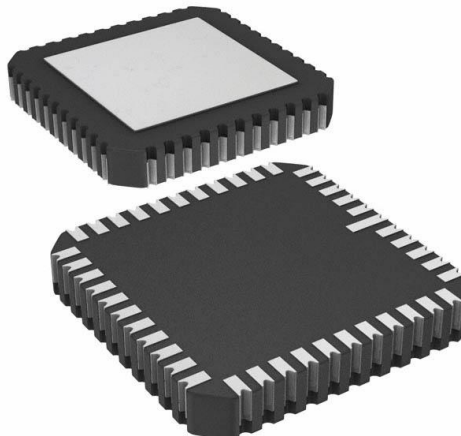
Tyto pouzdra se pro povrchovou montáž používají velice často. Tento typ je podobný pouzdrům DIP, ale má vývody upravené pro povrchovou montáž. Modifikací pouzdra SOP je pouzdro SOJ, které má vývody ve tvaru „J“. Ten sice zabírá méně prostoru, ale je u něj obtížnější kontrola kvality připojení součástky. Oba tyto typy jsou používány k pouzdření tranzistorů (označení SOT), diod (označení SOD) a jednodušších integrovaných obvodů (označení SOIC). Další modifikací pouzdra je typ TSOP, který má oproti klasickému SOP sníženou výšku a zpravidla vyšší hustotu propojů. [1]



Obr. 7: Příklad typu pouzder SOP [10]

2.2.3 Pouzdra CLCC

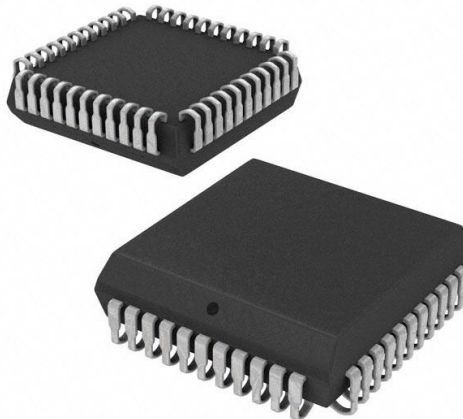
Vývody těchto pouzder jsou nahrazeny připojovacími ploškami. Pouzdra jsou vyráběná z různých typů keramiky. Jsou určena do prostředí s náročnými klimatickými podmínkami, dají se použít v širokém rozsahu teplot (-55 °C - $+125\text{ °C}$). Typické pro tyto pouzdra jsou „zubaté“ okraje s pokovenými vnitřními stěnami sloužící jako připojovací plošky. Připojovací plošky jsou umístěny na všech čtyřech stranách pouzdra, které má tvar buď čtverce, nebo obdélníka. Tyto pouzdra se používají i pro pouzdření výkonových součástek. [1]



Obr. 8: Příklad typu pouzder CLCC [11]

2.2.4 Pouzdra PLCC

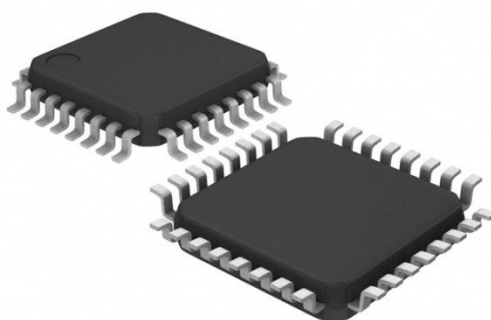
Tyto pouzdra mají vývody realizovány jako přímé, ale často se také používají vývody typu „J“. Vývody jsou na všech stranách pouzdra. Pouzdra jsou vyráběna z plastů. Výhodou těchto pouzder je možnost nepatrné pružné deformace vývodů při teplotních dilatacích. To zabraňuje vzniku trhlin v pájených spojích. [1]



Obr. 9: Příklad typu pouzder PLCC [12]

2.2.5 Pouzdra QFP

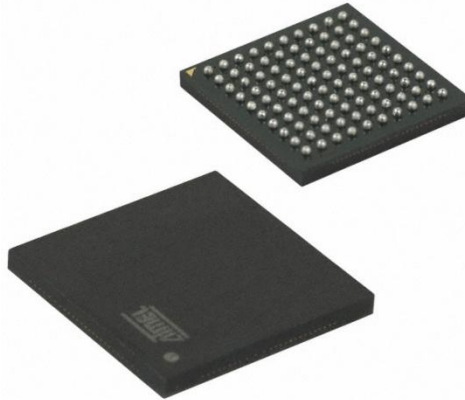
Jedná se o jedno z nejvíce používaných pouzder v elektrotechnice. Pouzdro je ploché s vývody po všech stranách. Tvar pouzdra je buď obdélník, nebo čtverec. Materiálem pouzdra je plast, proto se někdy používá označení PQFP. Existuje mnoho dalších modifikací těchto typů pouzder, například typ TQFP. Jedná se o typ se zmenšenou výškou pouzdra. Standardní výška QFP pouzdra je v rozmezí 2 - 3,8 mm, zatímco výška pouzdra TQFP je v rozmezí 1 – 1,4 mm. [1]



Obr. 10: Příklad typu pouzder QFP [13]

2.2.6 Pouzdra BGA

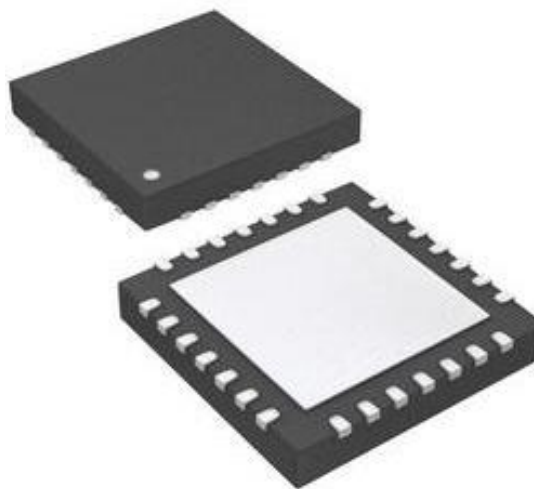
K vývoji pouzder BGA vedl požadavek na stálé zmenšování pouzder a zvyšování počtu vývodů. Tento typ je obdobou pouzder PGA, ale mají kulový tvar vývodů. To přináší významnou vlastnost, kterou je schopnost samovystředění při pájení přetavením. Hlavní nevýhodou pouzder BGA je obtížná kontrola kvality připojení s propojovací deskou, a opravitelnost. Existují různé typy. Pouzdra PBGA mají základnu z oboustranně plátované pryskyřice. Čip je na základnu přilepen vodivým epoxidovým lepidlem a připojen mikrodrážky. Hlavní výhodou tohoto typu je nízká cena, proto je kryt pouzdra plastový. Pouzdra typu CBGA mají základnu tvořenou tří až pětivrstevným keramickým substrátem. Výhodou oproti PBGA je lepší odvod tepla, vyšší hustota montáže a krátké propoje. Kryt pouzdra bývá keramický nebo kovový. Další typ je TBGA který má základnu realizovanou z ohebného plastu. Čip je k základně montován technologií flip-chip. Nevýhodou tohoto typu jsou vysoké náklady. [1], [2]



Obr. 11: Příklad typu pouzder BGA [14]

2.2.7 Pouzdra CSP

Standardní pouzdro tohoto typu neexistuje. Požadavky CSP technologie jsou, aby velikost pouzdra nepřevyšovala 1,5 násobek plochy čipu, a způsob připojení pouzdra na substrát musí být v SMT montáži. Vývody jsou často kulové, jako u BGA, nebo mají vývody flip-chip technologie. Zástupcem tohoto typu jsou například pouzdra QFN. Tyto pouzdra jsou charakterizovány tím, že jejich vývody nejsou vyvedeny mimo povrch pouzdra. Vývody jsou umístěny ze spodu pouzdra na všech čtyřech stranách a jsou tvaru plošek určené pro bezolovnaté pájení pájecí pastou. Tím je snížena indukčnost vývodů, proto se dost často používají pro aplikace s vysokým kmitočtem. Na stejném principu jsou realizována i pouzdra DFN, ale pájecí plošky jsou na spodní straně pouzdra pouze při dvou stranách. [1], [2]



Obr. 12: Příklad typu pouzder CSP (QFN) [15]

3 Návrh a realizace demonstračních panelů

3.1 Výběr zástupců pouzder

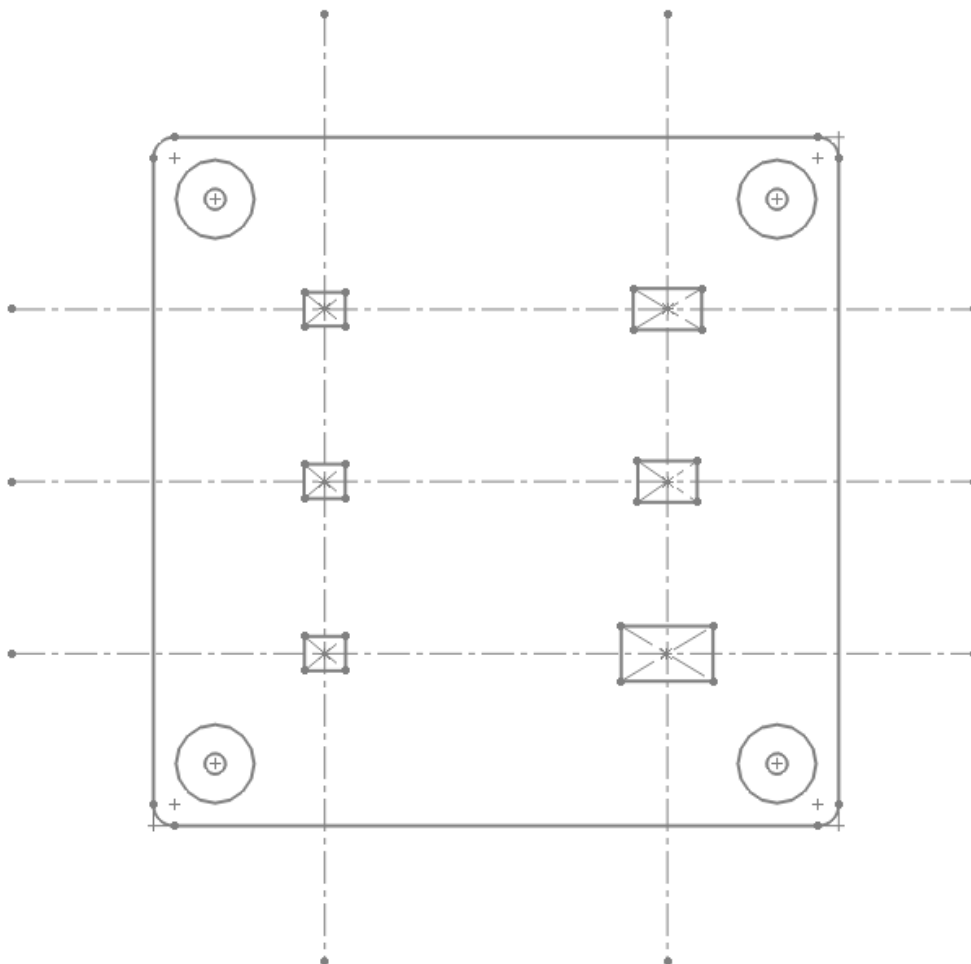
Z každého typu pouzder jsem vybral několik konkrétních součástek, které svým charakterem zastupují celou rodinu pouzder. Při výběru zástupců byla snaha najít takového zástupce, který se v současné době nejvíce používá ve výrobním procesu. Jako pojítko k těmto zástupcům mi posloužil výpis nejpoužívanějších pouzder součástek, který mi byl poskytnut ve firmě Integrated Micro-Electronics Czech Republic s.r.o.. Tato firma se zabývá výrobou a osazováním desek plošných spojů. Jako další pojítko mi posloužila četnost nabízených součástek od jednotlivých typů pouzder u velkých prodejců elektronických součástek. Kompletní výpis použitých součástek je v příloze C.

3.2 Technologie výroby demonstračních panelů

Na základě několika testovacích experimentů byl ze zvažovaných technologií výroby demonstračních panelů vybrán princip podlepení součástek na základní desku. Materiálem k podlepení součástek byla zvolena průhledná epoxidová pryskyřice kvůli jejím dobrým vlastnostem při následné optické inspekci. Jedná se o průhledný dvousložkový epoxid, který se skládá z nízkoviskózní epoxidové pryskyřice a aminového tužidla. Díky dlouhé době vytvrzení se s tímto materiálem velice dobře pracovalo a bylo možné se součástkami lehce manipulovat i po několika minutách od podlepení. Materiálem základní desky demonstračních panelů byl zvolen polymethylmethakrylát, neboli plexisklo. Tento materiál má velice dobré mechanické vlastnosti, ale především umožňuje dodatečnou optickou inspekci ze spodní strany podlepených součástek. Rozměry základní desky byly zvoleny s ohledem na dobrou manipulaci panelu pod mikroskopem na 100x100 mm, a výšku 3 mm.

3.3 Návrh rozvržení demonstračních panelů

Do návrhu rozvržení bylo zahrnuto rozvržení otvorů pro podpírající sloupky a rozvržení pouzder v pracovním prostoru demonstračního panelu. Rozvržení otvorů pro podpírající sloupky bylo realizováno s ohledem na toleranční mezery na krajích panelu, ale zároveň na získání co největšího pracovního prostoru pro umístění součástek. Návrh rozvržení součástek v pracovním prostoru byl realizován s ohledem na seskupení příbuzných typů pouzder na jednom panelu. Počet pouzder na jednom panelu byl zvolen s ohledem na rozměry součástek.



Obr. 13: Příklad jednoho návrhu rozvržení

3.4 Návrh popisků pouzder

Popisky k pouzdrům byly vytištěny na štítky 9x20 mm na průmyslové tiskárně CITIZEN CL-S631. Popisek obsahuje pořadové číslo na panelech, označení pouzdra a popis součástky a její funkce (viz. obr. 14).

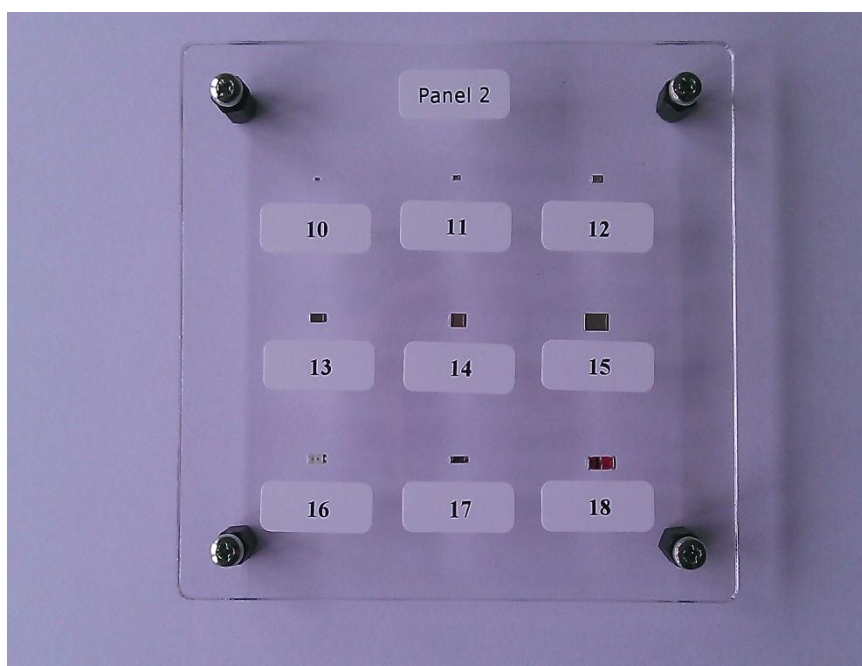


Obr. 14: Rozvržení popisků pouzder

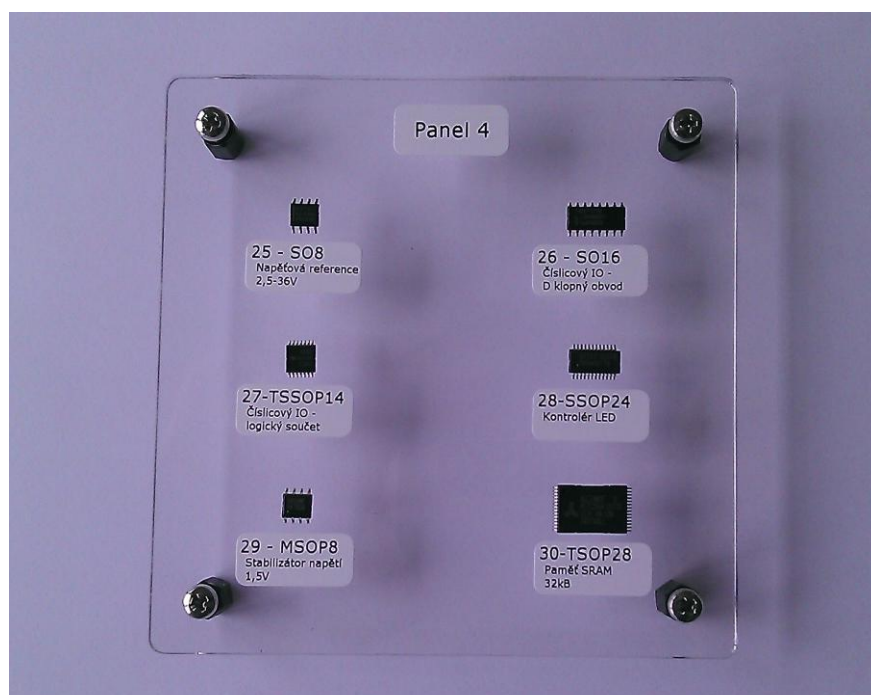
3.5 Realizace demonstračních panelů

Realizace demonstračních panelů začala výběrem a nákupem součástek. Po nákupu součástek následovalo jejich zařazení do úložných boxů, pro lepší orientaci mezi nimi. Následoval návrh pro výrobu plexiskla, návrh rozmístění sloupků a součástek na panelu. Poslední návrh je věnován popiskům u jednotlivých pouzder součástek. Dále proběhla samotná realizace demonstračních panelů, při které jsem dle vytištěného návrhu rozmístění lepil pouzdra součástek na demonstrační panel. Nejlepším způsobem nanášení epoxidové pryskyřice na plexisklo se mi osvědčilo nanášení pomocí tenkého měděného drátku. Tím se velice dobře dávkovala hmota na plexisklo. Celý panel byl následně postaven na sloupky, díky tomu je demonstrační panel odolný proti mechanickému opotřebení na spodní straně.

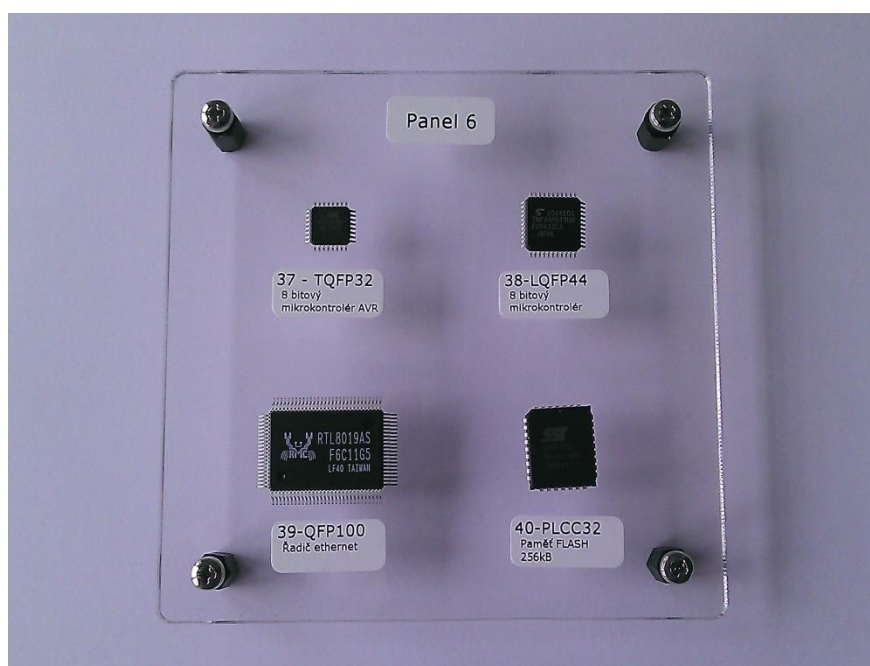
Bylo zrealizováno 6 typů panelů. Od každého typu se vyrobil jeden panel s plnými popisky a jeden panel pouze s číselnými popisky. Celkem tedy 12 demonstračních panelů. Příklady vyrobených panelů jsou vidět na obrázcích 15 - 17, a fotografie všech vyrobených panelů jsou v příloze A.



Obr. 15: Fotografie vyrobeného panelu pouze s číselnými popisky a rozložením součástek 3x3



Obr. 16: Fotografie vyrobeného panelu s plnými popisky a rozložením součástek 3x2



Obr. 17: Fotografie vyrobeného panelu s plnými popisky a rozložením součástek 2x2

4 Optická inspekce

4.1 Digitální mikroskopy Dino-Lite

K optické inspekci mi byly poskytnuty dva mikroskopy Dino-Lite. Jedná se o ruční digitální USB mikroskopy, které nabízejí výkonné, přenosné a na funkce bohaté řešení pro mikroskopickou kontrolu. Jejich využití je v nejrůznějších oborech lidských činností. Mohou být určeny k pozorování a měření ve strojírenství, elektrotechnice ale i v textilním průmyslu. Z těchto digitálních přístrojů lze získat výborný přehled o výrobcích, plochách a površích. Obzvláště vhodné jsou pro diagnostikování povrchů, hran, stop opotřebení, desek tištěných spojů, membrán, malých dílů, přesných soustružených, frézovaných, spojovaných, odlévaných a lisovaných dílů z jakéhokoliv materiálu. [3]

4.1.1 Dino-Lite software

K nasnímání a úpravě zvětšených fotografií slouží software DinoCapture. Tento program nabízí spoustu dalších funkcí, například ukládání fotografií v několika formátech, pokročilé zpracování obrazu, měření na snímcích nebo živých obrazech, kalibrační možnosti, přidání poznámek a označení do obrázků, připojení více mikroskopů Dino-Lite, řízení možnosti osvětlení, nebo funkci rozpoznání čárového/QR kódu. [4]

4.2 Postup při optické inspekci

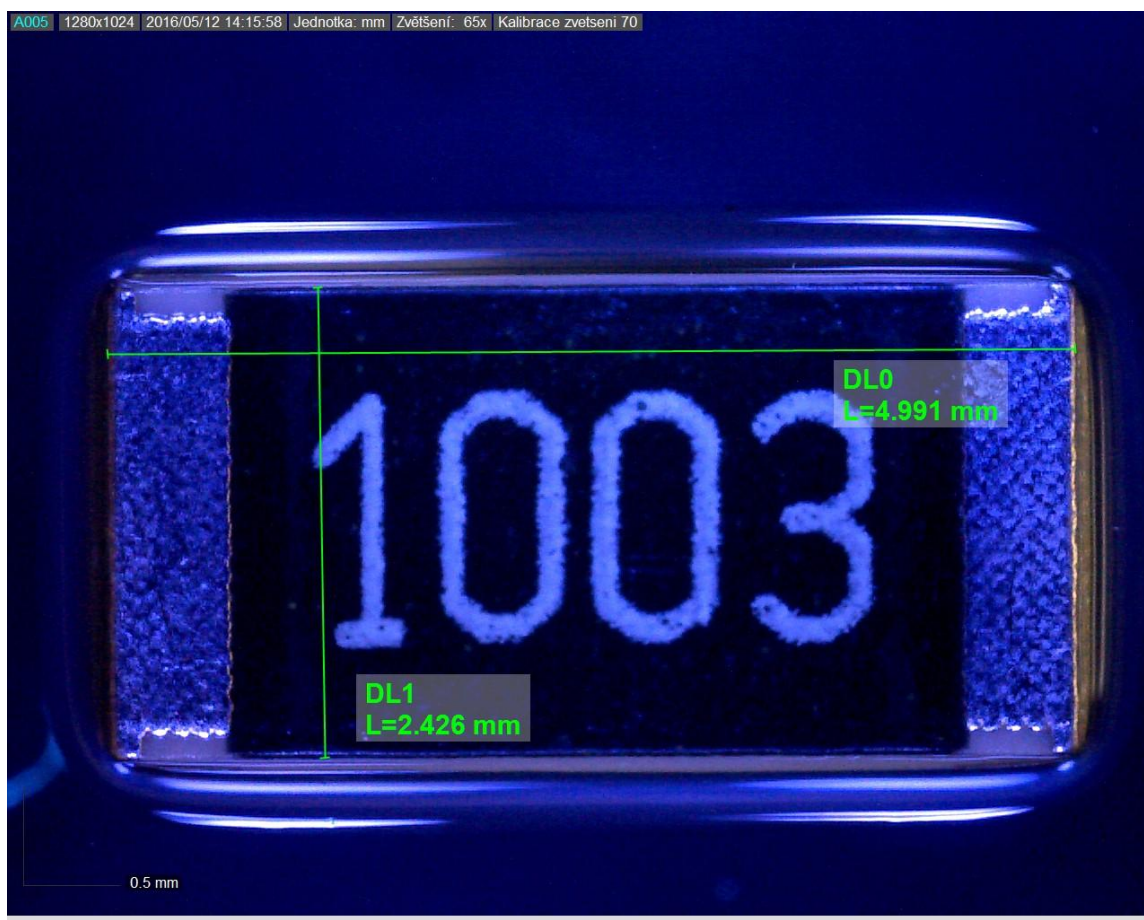
K dispozici jsem měl mikroskopy DinoLite AM4113T-FVW a DinoLite AM7013MZT. Pro optickou inspekci jsem zvolil mikroskop DinoLite AM4113T-FVW, který se díky možnosti volit zvětšení už od 25x a možnosti UV přisvětlení lépe hodí pro charakter této práce. Při inspekci jsem použil zvětšení 70x a 25x. Zvětšení 25x pro rozměrnější pouzdra a zvětšení 70x pro menší pouzdra, nebo pro zachycení detailu na rozměrnějších pouzdrech.

Následovalo nasnímání všech pouzder na demonstračních panelech pod odpovídajícím zvětšením. U některých pouzder byly udělány výbrusy v určité rovině pouzdra a bylo tak možné změřit výšku pouzdra, popř. výšku vývodů.

4.3 Výsledek optické inspekce

Na nasnímaných fotografiích jsem provedl měření charakteristických rozměrů (délka pouzdra, šířka pouzdra, rozteč vývodů, šířka vývodů, atd.), které jsem následně porovnal s hodnotami v technické dokumentaci a vypočetl procentuální chybu měření. Všechny údaje jsem zpracoval do přehledné tabulky, která je v příloze C. Pro přesnější měření jsem provedl kalibraci přes kalibrační destičku na obou použitých zvětšeních.

4.3.1 Příklad optické inspekce na pouzdře 2010

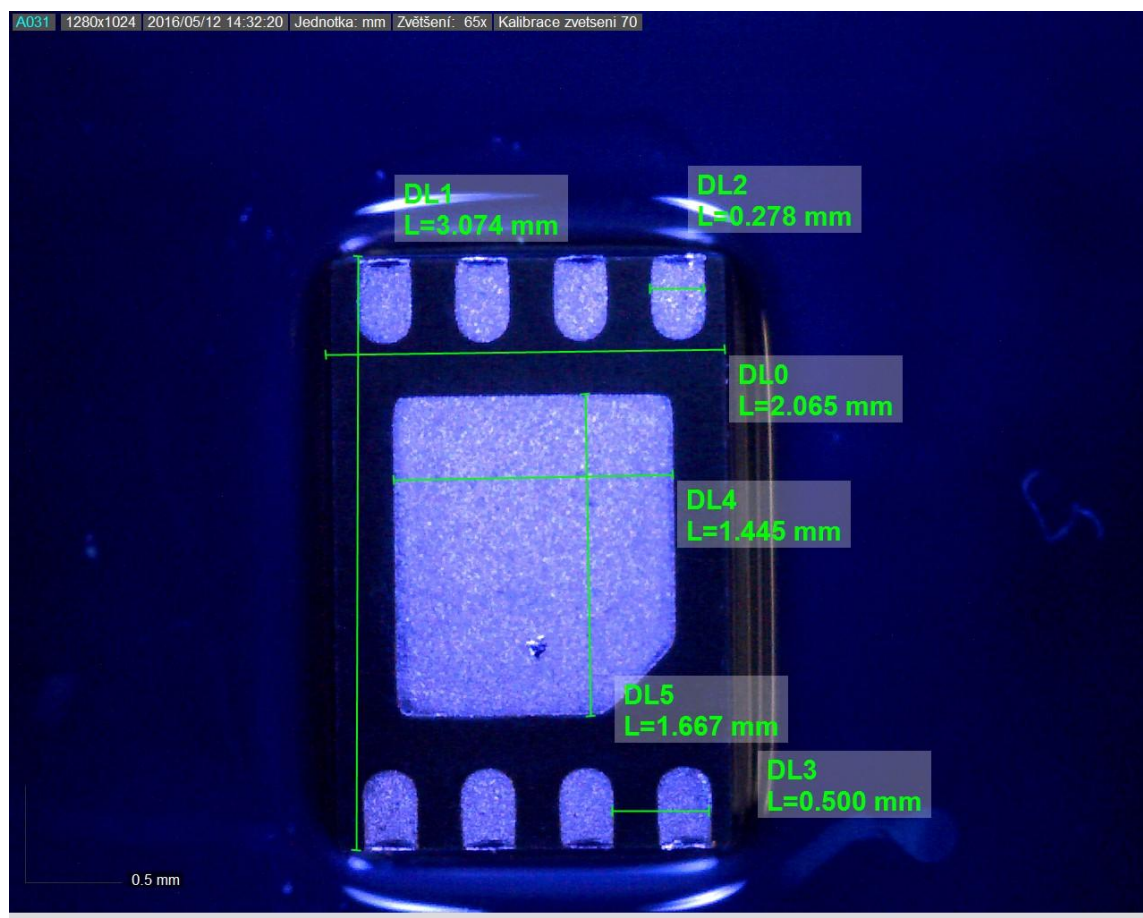


Obr. 18: Příklad inspekce pouzdra 2010

Tab. 2: Příklad naměřených a vypočítaných hodnot pro pouzdro 2010

Číslo na panelu	Pouzdro	Popis součástky	Rozměr	Hodnota výrobce (mm)	Naměřená hod. (mm)	Chyba měření (%)	Použité zvětšení
5	2010	Rezistor 100K	Délka	5	4,991	0,18	70x
			Šířka	2,5	2,426	2,96	70x

4.3.2 Příklad optické inspekce na pouzdře DFN8

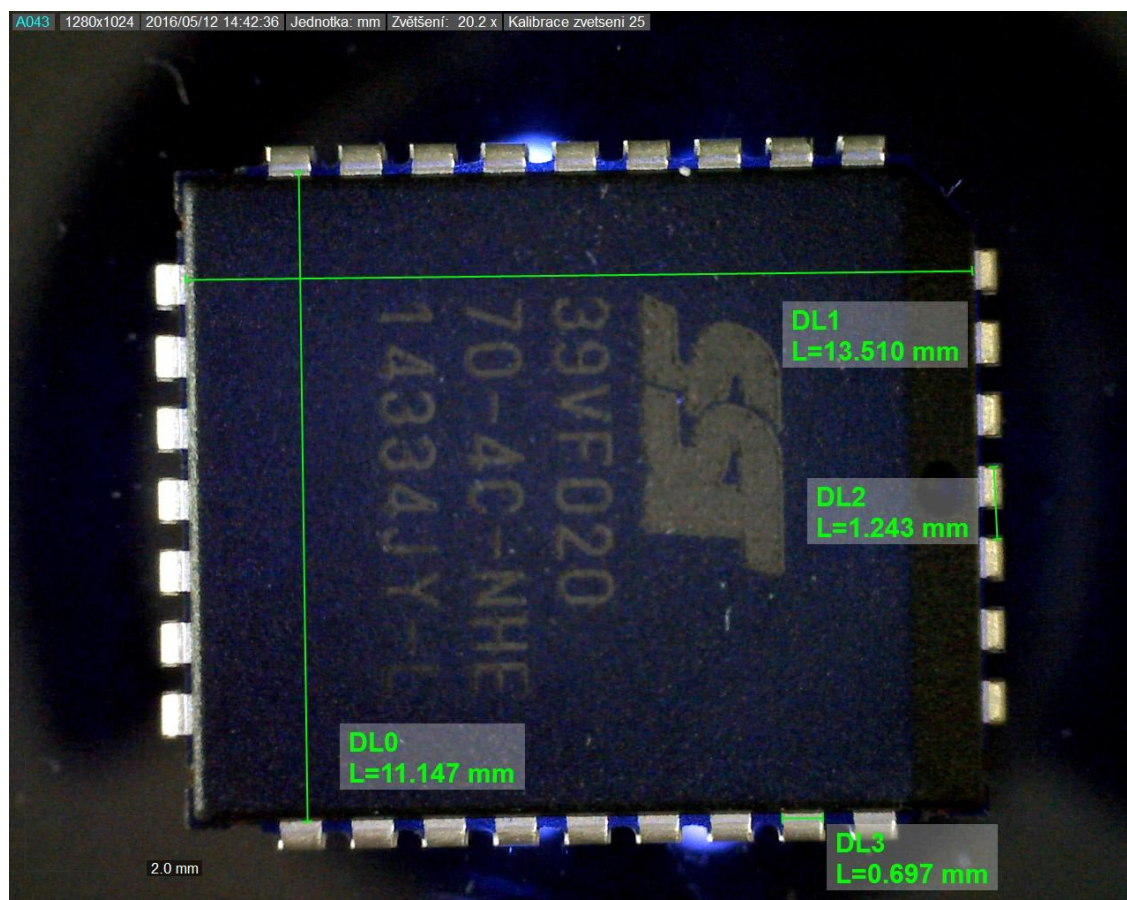


Obr. 19: Příklad inspekce pouzdra DFN8

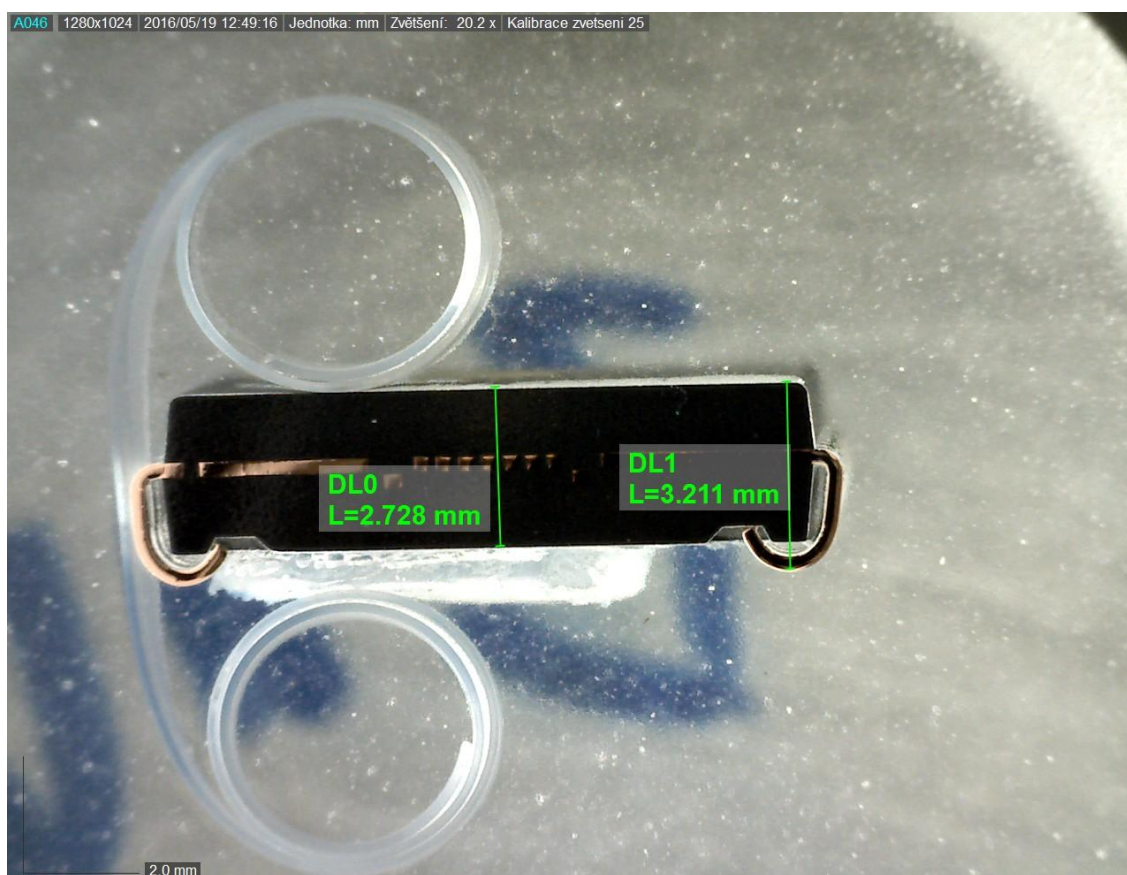
Tab. 3: Příklad naměřených a vypočítaných hodnot pro pouzdro DFN8

Číslo na panelu	Pouzdro	Popis součástky	Rozměr	Hodnota výrobce (mm)	Naměřená hod. (mm)	Chyba měření (%)	Použité zvětšení
31	DFN8	Paměť EEPROM128kB	Délka	3	3,074	2,47	70x
			Šířka	2	2,065	3,25	70x
			Rozteč vývodů	0,5	0,5	0,00	70x
			Šířka vývodů	0,2 - 0,3	0,278	0,00	70x
			Délka chladičí plošky	1,5 - 1,75	1,667	0,00	70x
			Šířka chladičí plošky	1,3 - 1,55	1,445	0,00	70x

4.3.3 Příklad optické inspekce na pouzdře PLCC32



Obr. 20: Příklad inspekce pouzdra PLCC32



Obr. 21: Příklad inspekce na výbrusu pouzdra PLCC32

Tab. 4: Příklad naměřených a vypočítaných hodnot pro pouzdro DFN8

Číslo na panelu	Pouzdro	Popis součástky	Rozměr	Hodnota výrobce (mm)	Naměřená hod. (mm)	Chyba měření (%)	Použité zvětšení
40	PLCC32	Flash paměť 256kB	Délka bez vývodů	13,9 - 14	13,51	2,81	25x
			Šířka bez vývodů	11,35 - 11,5	11,147	1,79	25x
			Rozteč vývodů	1,27	1,243	2,13	25x
			Šířka vývodů	0,66 - 0,81	0,697	0,00	25x
			Výška bez vývodů	2,692 - 2,845	2,728	0,00	25x
			Výška s vývodama	3,175 - 3,556	3,211	0,00	25x

Závěr

Obecné informace o pouzdření elektronických součástek jsou uvedeny v první kapitole. Tato kapitola popisuje hlavní funkce pouzdra, vývoj v technologii pouzdření, úroveň montáže a zabývá se odvodem tepla z pouzdra a jeho elektrickými funkcemi.

V druhé kapitole je zpracován přehled základních typů pouzder pro THT i SMT montáž. U každého typu je stručný popis charakteristických znaků pouzdra a názorný obrázek. Kapitola se věnuje i pouzdrům pasivních součástek pro THT i SMT montáž.

Třetí a čtvrtá kapitola se věnují druhé části bakalářské práce, tedy návrhem a realizací demonstračních panelů a následné optické inspekci. Je zde popsán způsob výběru použitých pouzder, volba technologie výroby panelů, návrh rozvržení součástek na panelech, druh použitých popisků u pouzder a následná samotná realizace. Následovala optická inspekce na mikroskopu Dino-Lite, z které byly výstupem obrázky nasnímané pod odpovídajícím zvětšením (obrázky jsou k nahlédnutí v příloze B). Na těchto snímcích je provedeno měření charakteristických rozměrů. Po optické inspekci byla vypracována tabulka (viz. příloha C) s porovnáním naměřených hodnot a hodnot uvedené v technické dokumentaci. Z těchto dvou rozměrů byla vypočtena chyba měření v procentech. Chyba u většiny případů vyšla maximálně do 5 %.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] MACH, P.; SKOČIL, V.; URBÁNEK, J.: *Montáž v elektronice: pouzdření aktivních součástek, plošné spoje*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. 440 s. ISBN 80-01-02392-3
- [2] SZENDIUCH, Ivan. *Základy technologie mikroelektronických obvodů a systémů*. Brno: VUTIUM, 2006. ISBN 80-214-3292-6.
- [3] *Dinolite.cz* [online]. SUTU websites SE, 2016 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.dinolite.cz/o-dino-lite>
- [4] *Www.dino-lite.eu* [online]. Dino-Lite Europe, 2015 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: http://cdnimages.dino-lite.eu/pdfs/Dino-Lite_General_Brochure_CZ_2015Q3.pdf
- [5] *Ict.com* [online]. Copyright, 2005 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: http://www.ict.com.tw/DSP/Osys/IEEE1394a/uc1394a_3.htm
- [6] *Conrad.com* [online]. Conrad Electronic Česká republika, 2015 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.conrad.cz/odporova-sit-bourns-4309r-101-1031f-10-k-sip-9-radialni-vyvody-0-2-w-2.k1055177>
- [7] *Conrad.com* [online]. Conrad Electronic Česká republika, 2015 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.conrad.cz/linearni-io-stmicroelectronics-uln2803a-dil-18.k171824>
- [8] *Digikey.com* [online]. Digi-Key Electronics, 2016 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.digikey.com/product-detail/en/rohm-semiconductor/BA3823LS/BA3823LS-ND/658318>
- [9] *Wikipedia.org* [online]. Wikimedia Foundation, 2016 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Pin_grid_array
- [10] *Conrad.com* [online]. Conrad Electronic Česká republika, 2015 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.conrad.cz/audio-zesilovac-low-power-taiwan-semiconductor-ts34119cs-rl-sop-8.k156951>
- [11] *Digikey.com* [online]. Digi-Key Electronics, 2016 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.digikey.com/product-detail/en/analog-devices-inc/AD2S80ATE/AD2S80ATE-ND/617107>
- [12] *Digikey.com* [online]. Digi-Key Electronics, 2016 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.digikey.com/product-detail/en/cypress-semiconductor-corp/SL811HS/428-1463-ND/464210>
- [13] *Digikey.com* [online]. Digi-Key Electronics, 2016 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.digikey.com/product-detail/en/akm-semiconductor-inc/AK4115VQ/974-1005-ND/2333354>

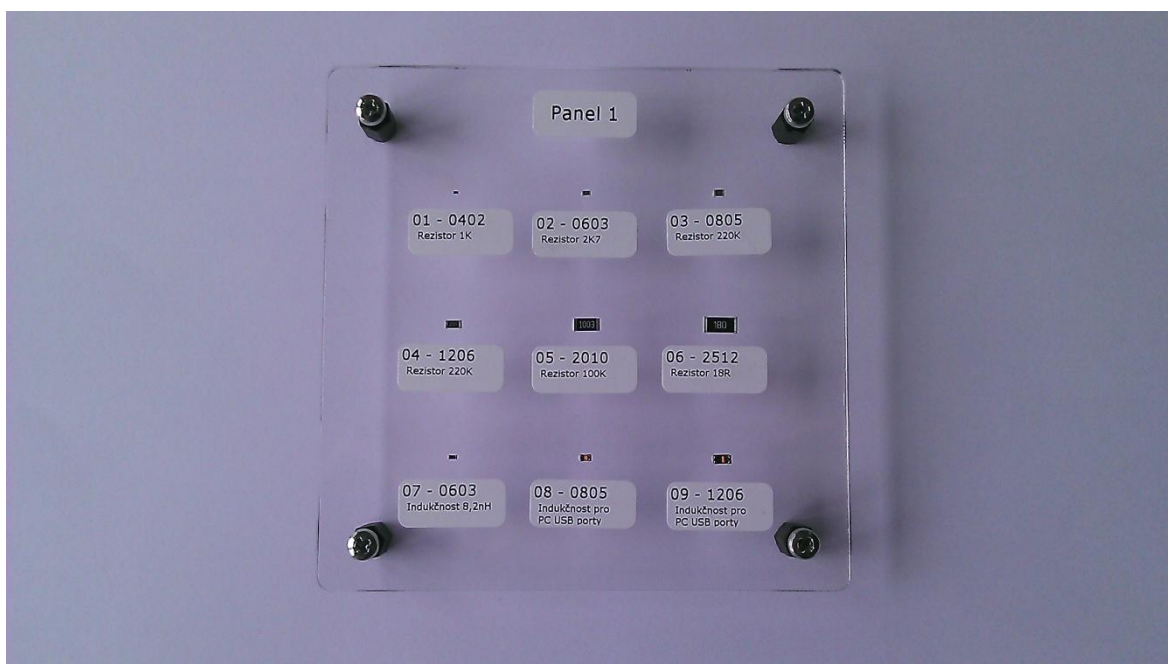
- [14] *Shannonstrutz.com* [online]. Shannon Strutz, 2014 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://shannonstrutz.com/component-packages>

- [15] *Conrad.com* [online]. Conrad Electronic Česká republika, 2015 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.conrad.cz/ethernet-kontroler-spi-microchip-technology-enc28j60-i-ml-qfn-28-6x6.k651375>

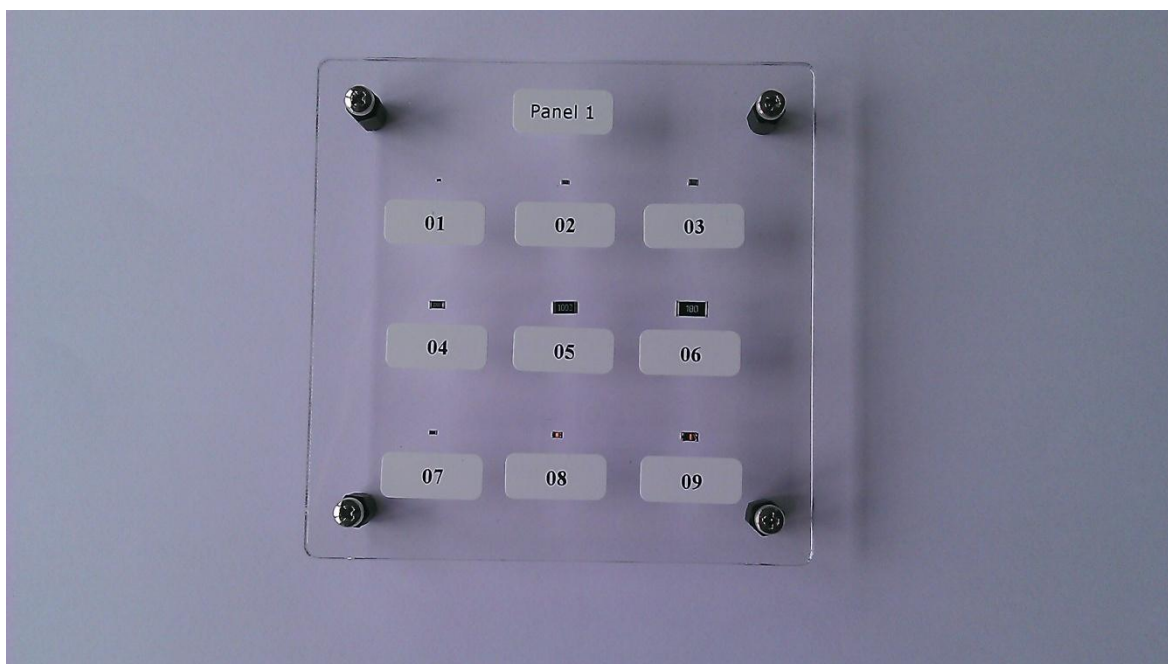
Přílohy

Vzhledem k velkému objemu dat je vytištěna pouze část příloh. Kompletní přílohy jsou na přiloženém CD.

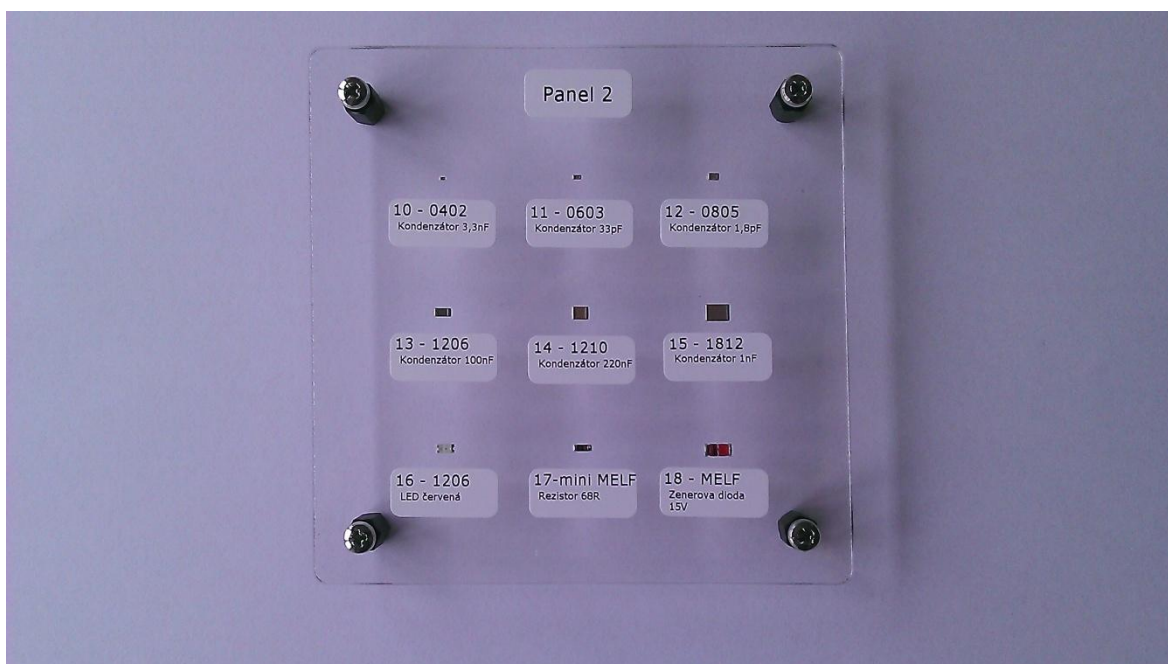
Příloha A – Fotografie vyrobených demonstračních panelů



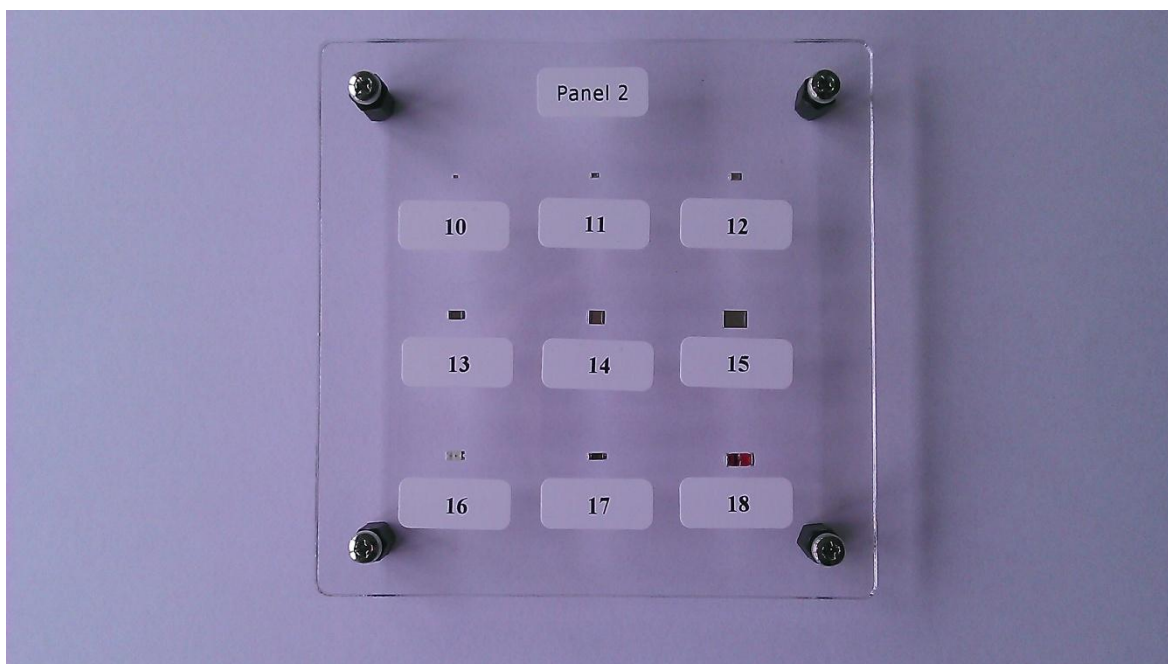
Obr. A1: Panel 1 s plnými popisky



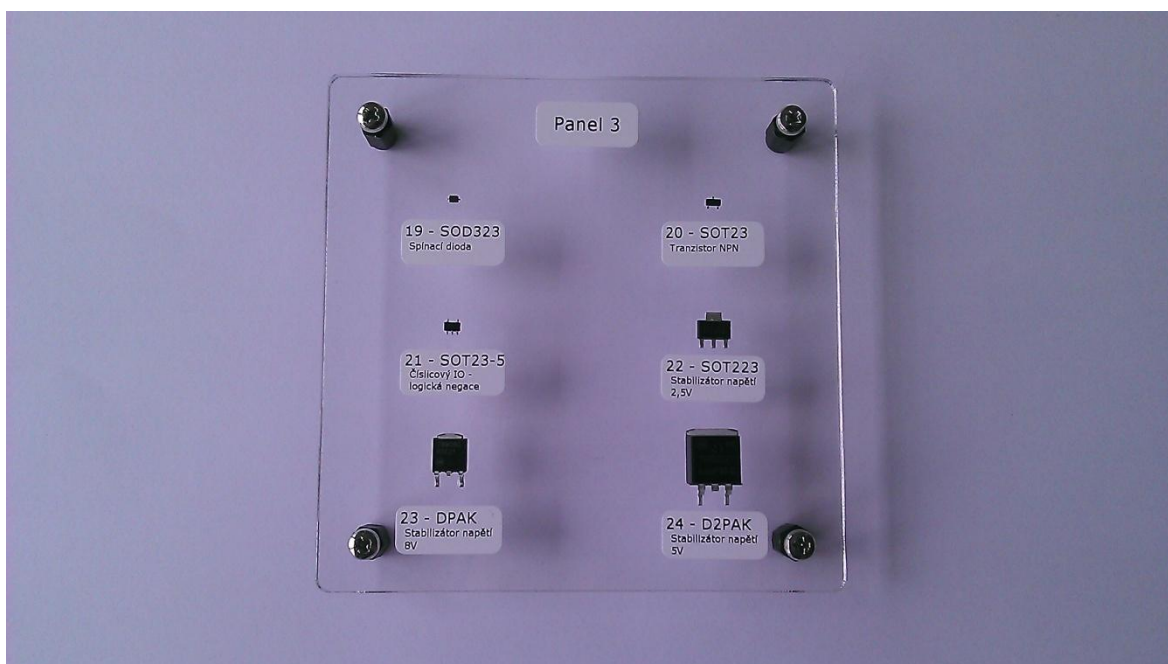
Obr. A2: Panel 1 s číselnými popisky



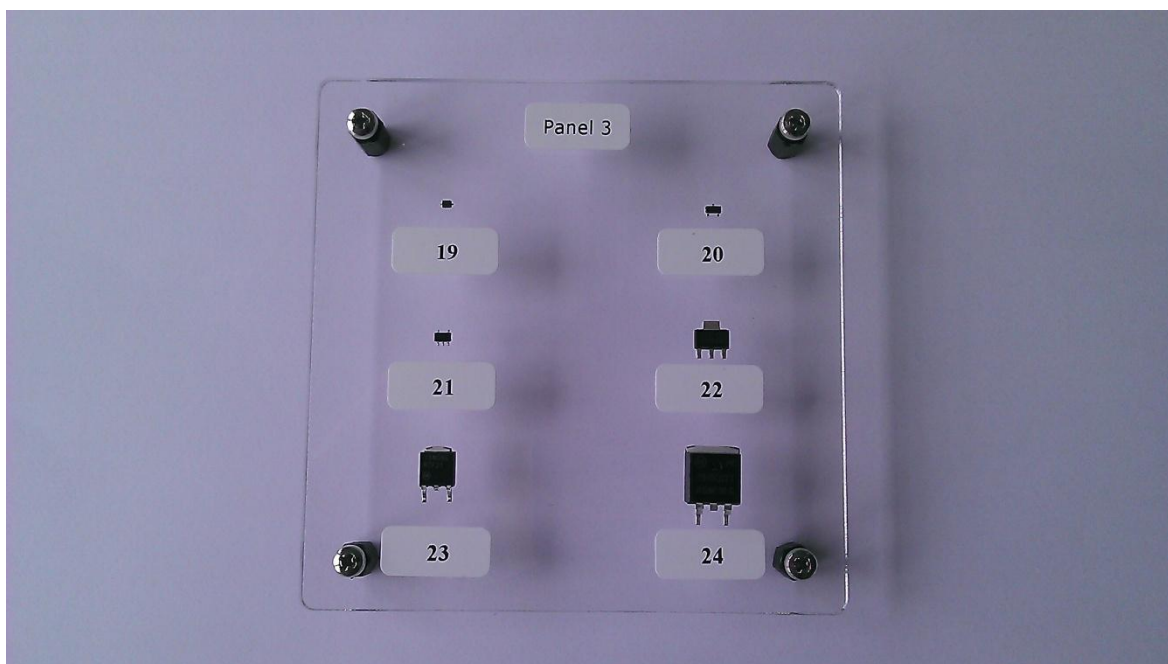
Obr. A3: Panel 2 s plnými popisky



Obr. A4: Panel 2 s číselnými popisky



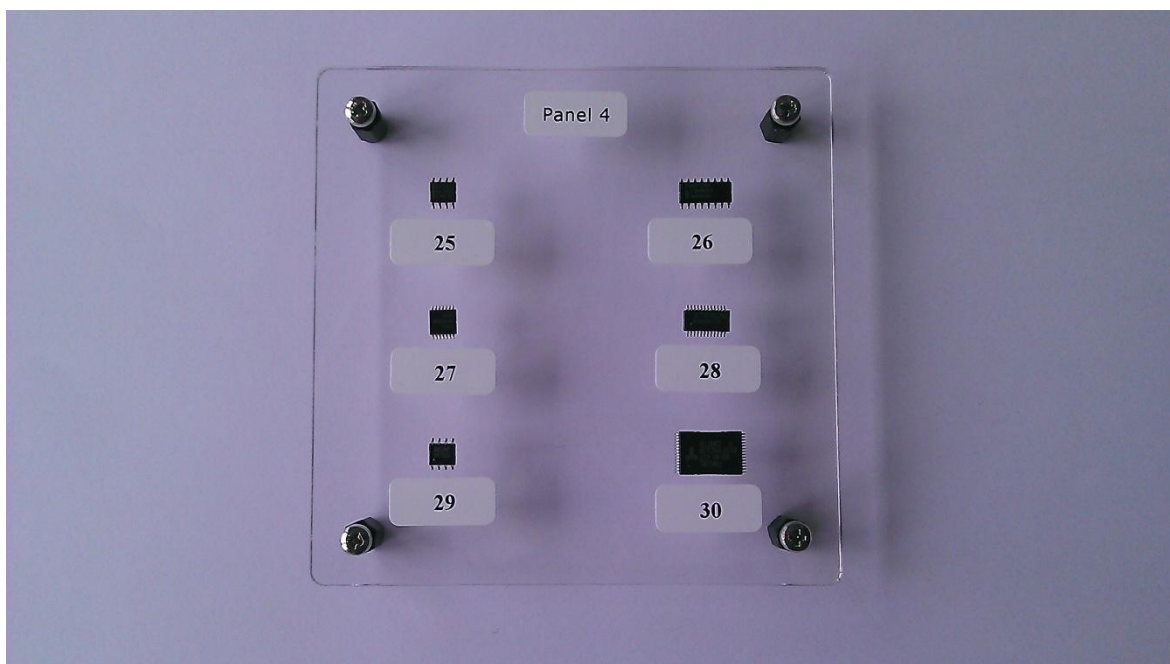
Obr. A5: Panel 3 s plnými popisky



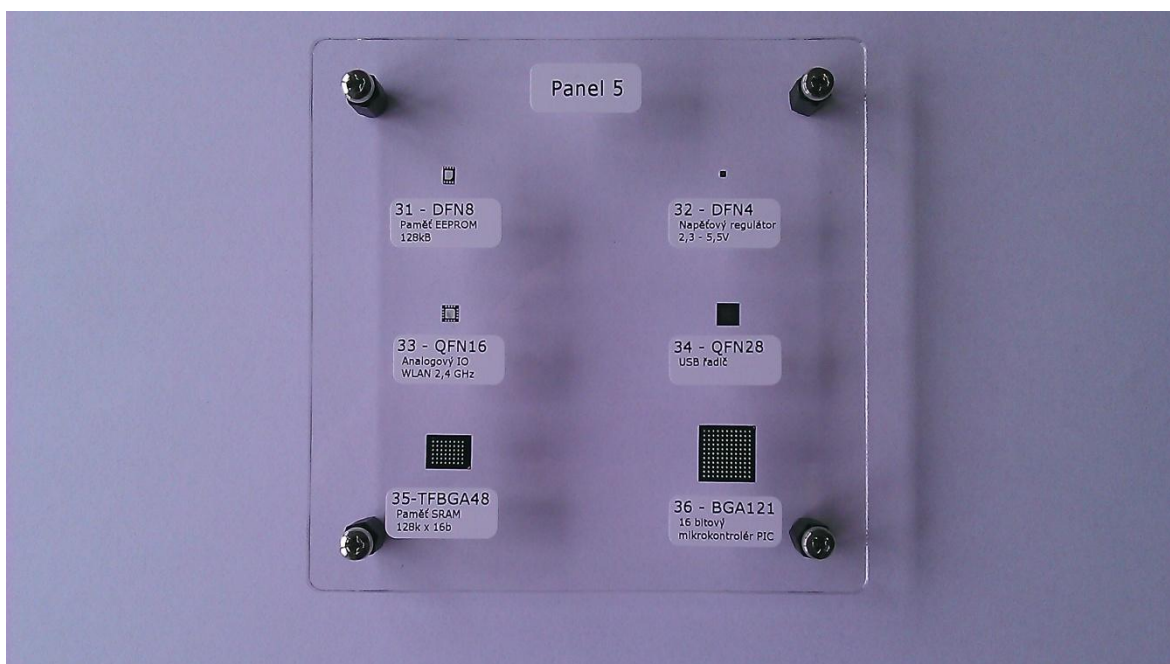
Obr. A6: Panel 3 s číselnými popisky



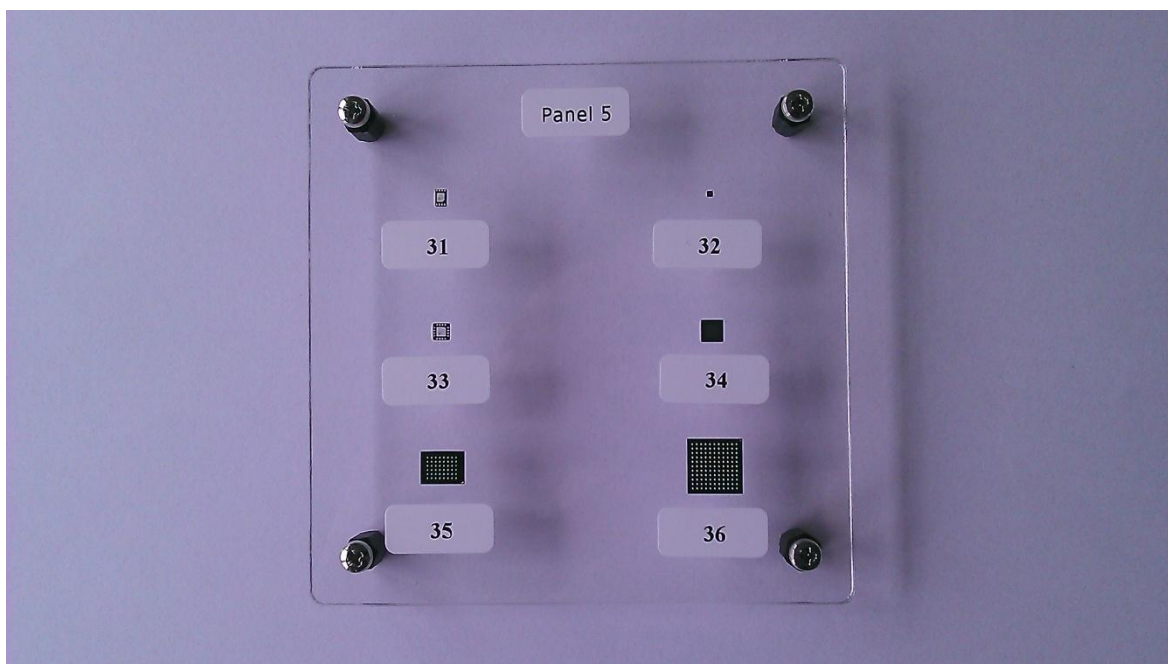
Obr. A7: Panel 4 s plnými popisky



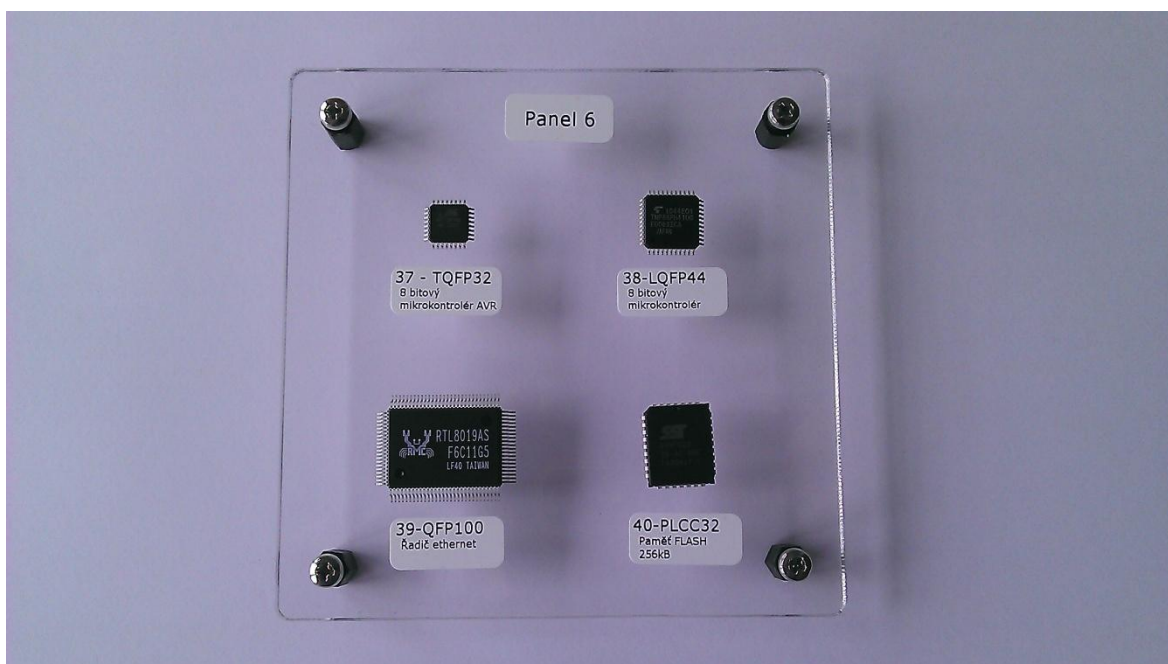
Obr. A8: Panel 4 s číselnými popisky



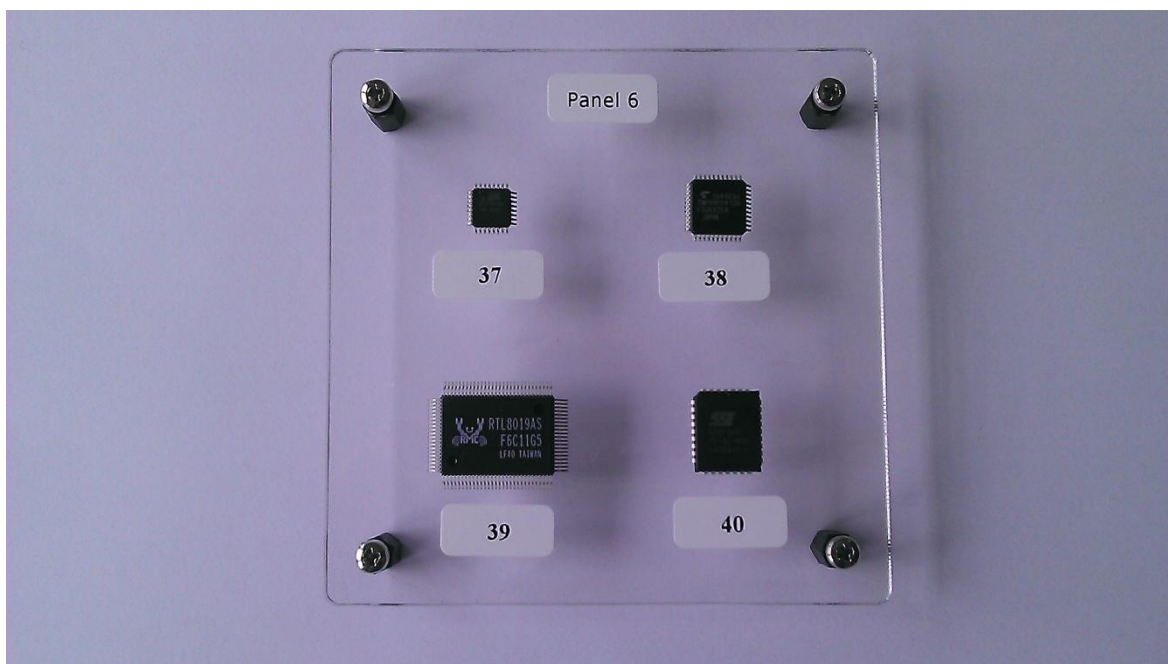
Obr. A9: Panel 5 s plnými popisky



Obr. A10: Panel 5 s číselnými popisky

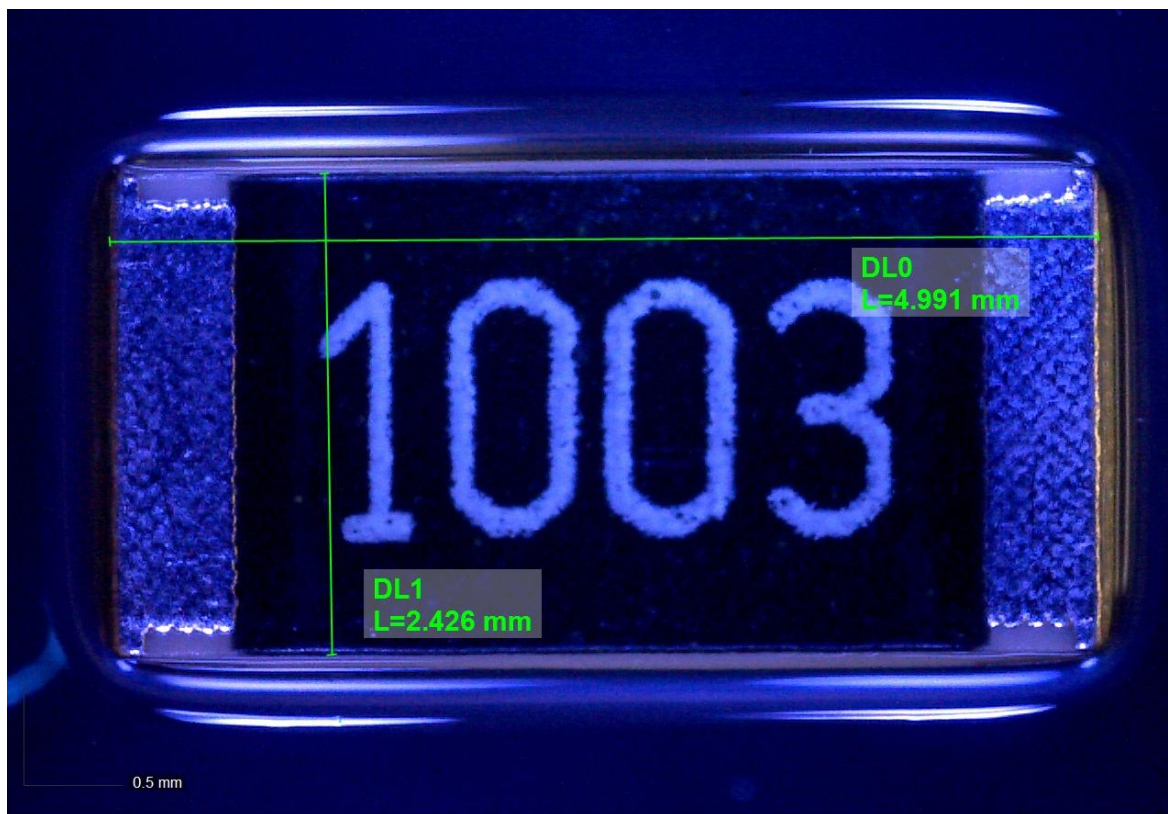


Obr. A11: Panel 6 s plnými popisky

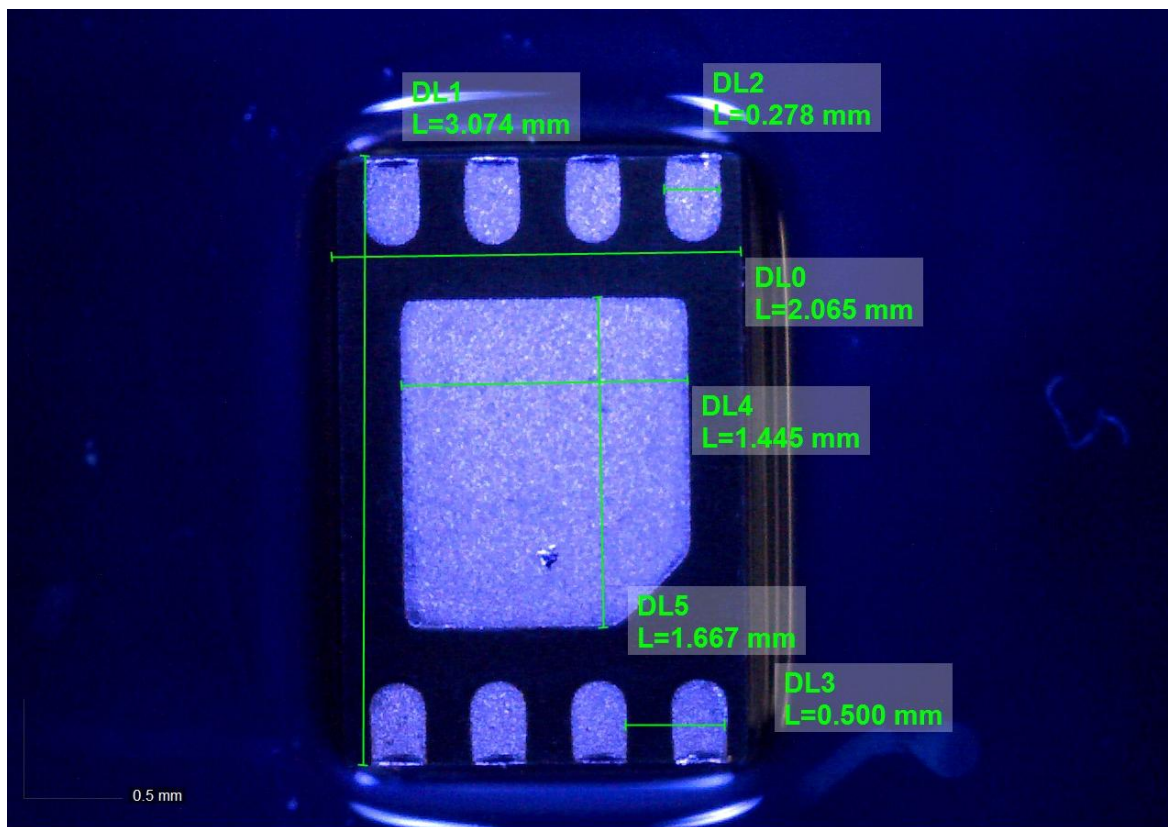


Obr. A12: Panel 6 s číselnými popisky

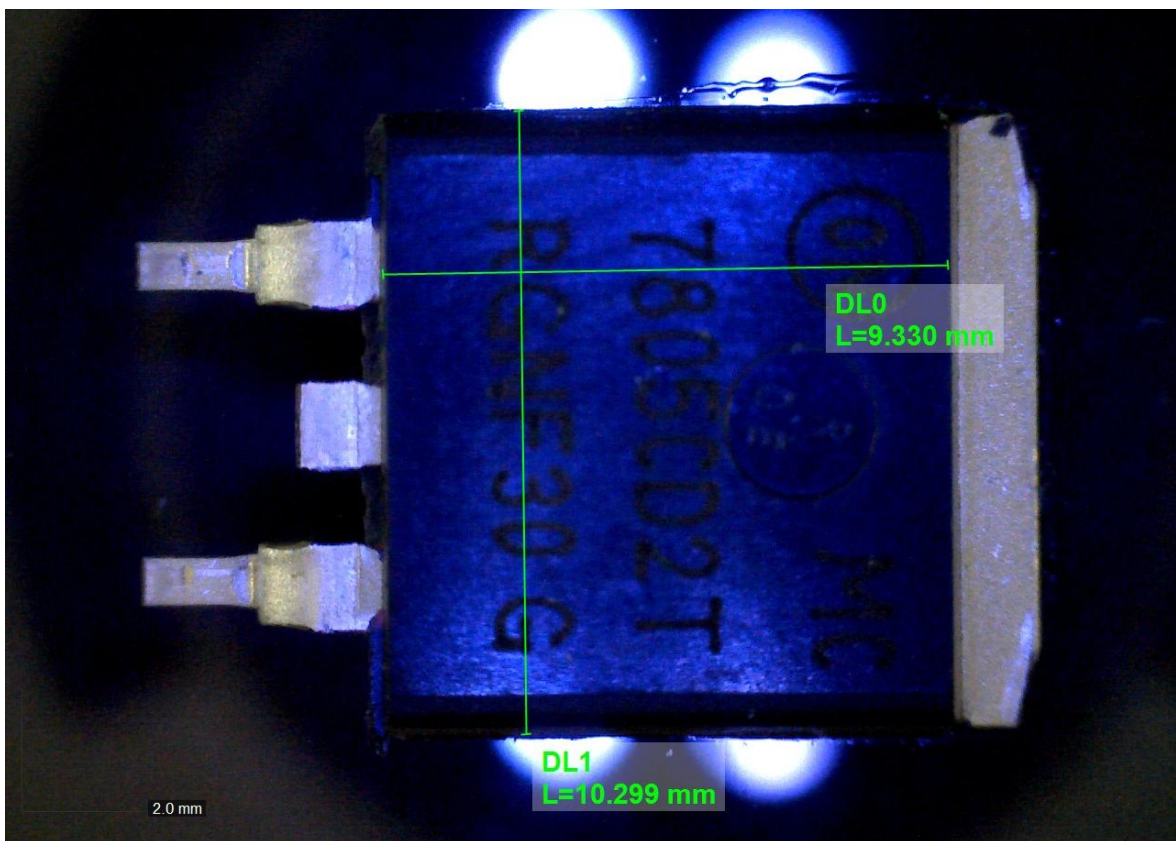
Příloha B - Fotografie optické inspekce



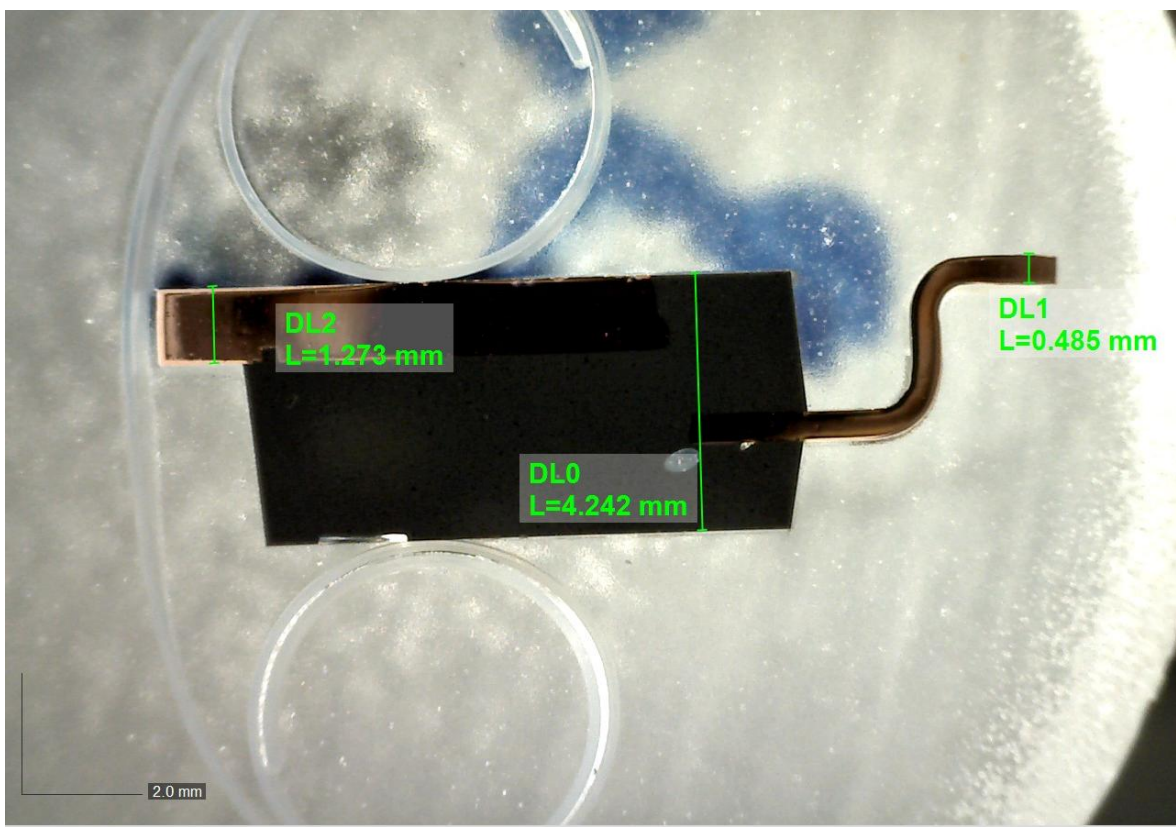
Obr. B1: Fotografie pouzdra 2010 kondenzátor



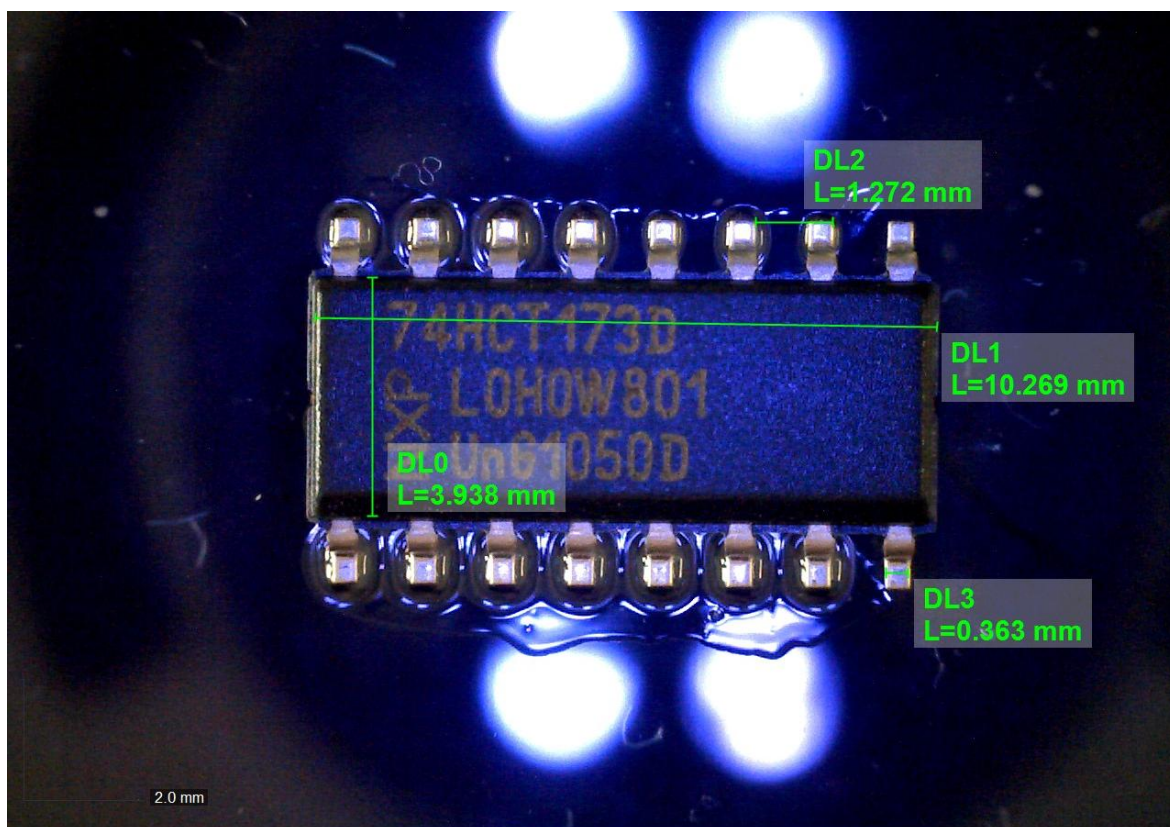
Obr. B2: Fotografie pouzdra DFN8



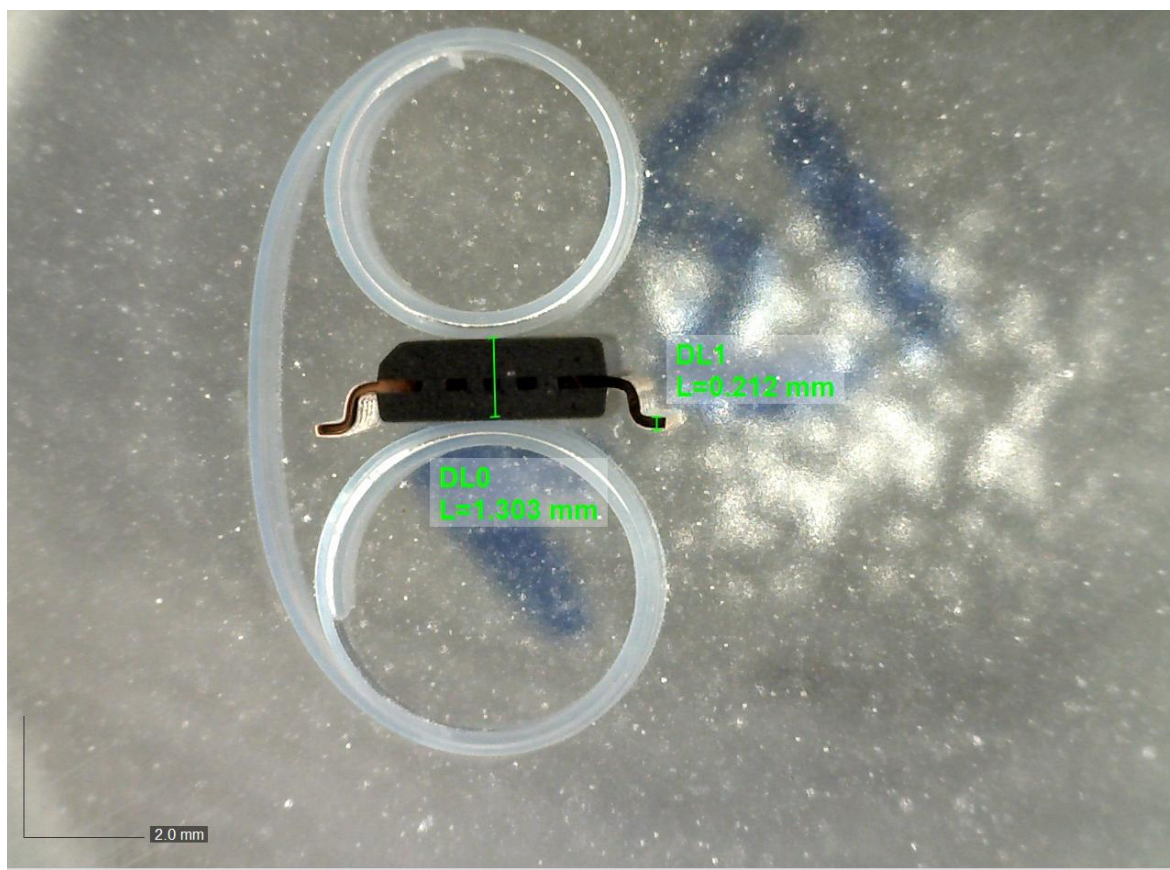
Obr. B3: Fotografie pouzdra D2PAK



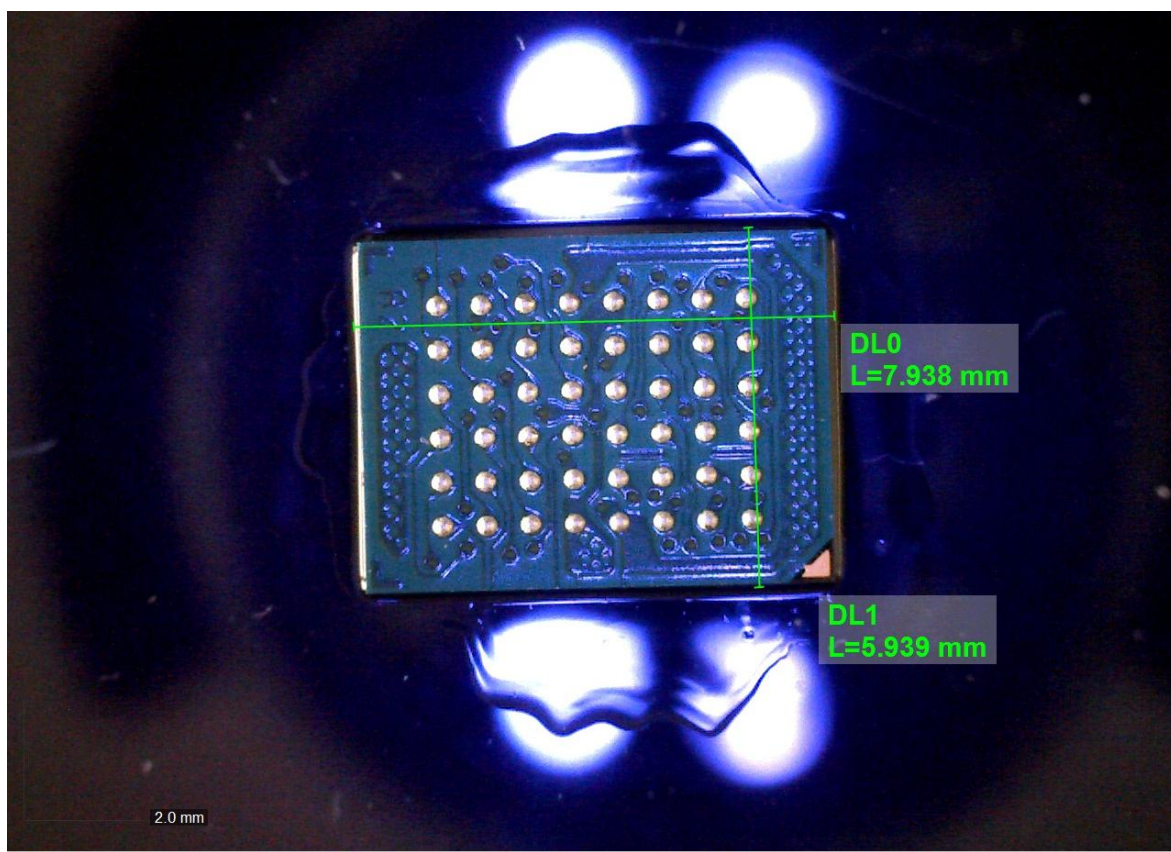
Obr. B4: Fotografie výbrusu pouzdra D2PAK



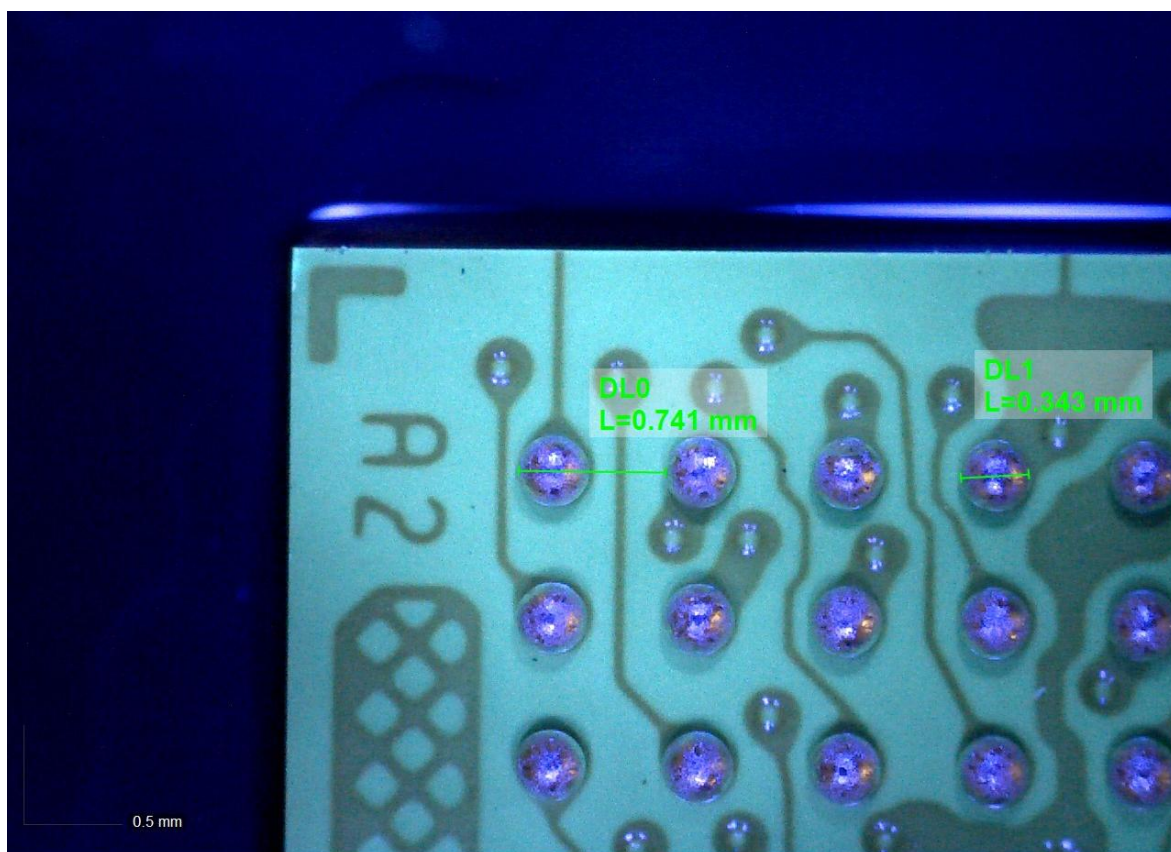
Obr. B5: Fotografie pouzdra SO16



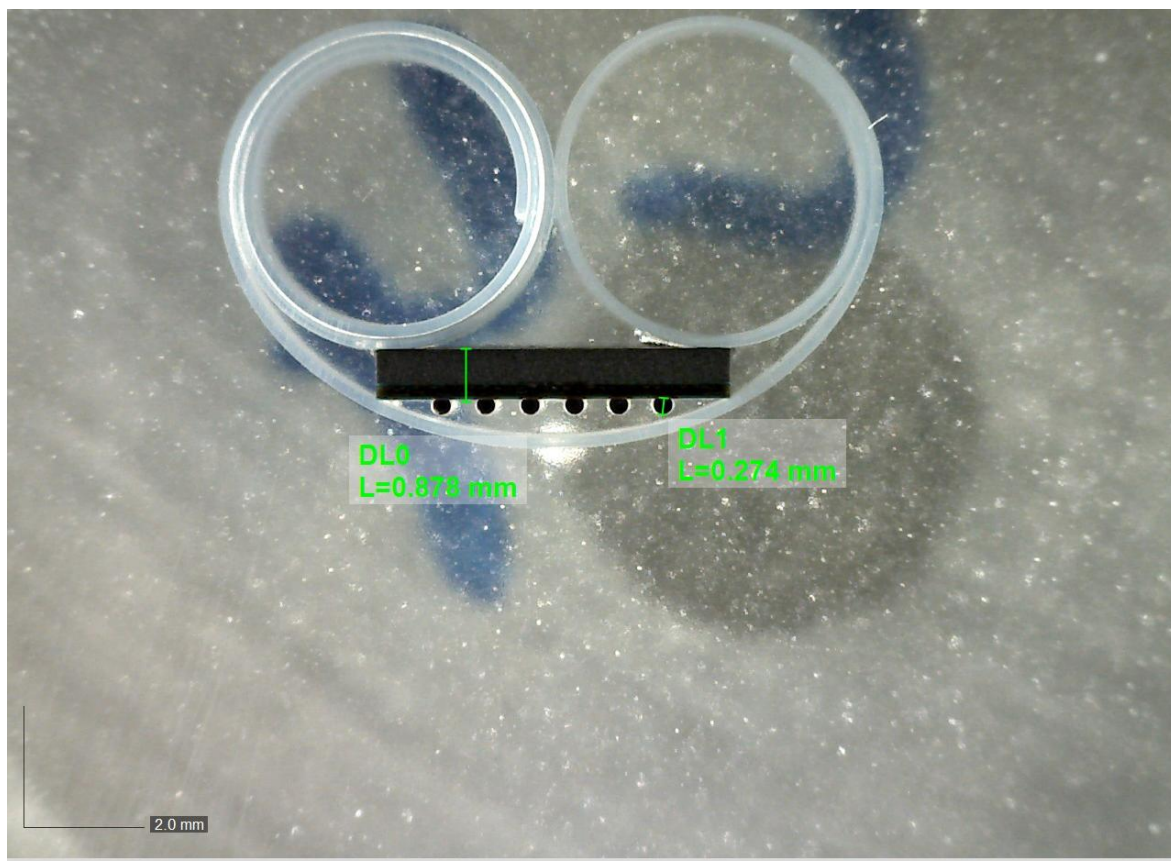
Obr. B6: Fotografie výbrusu pouzdra SO16



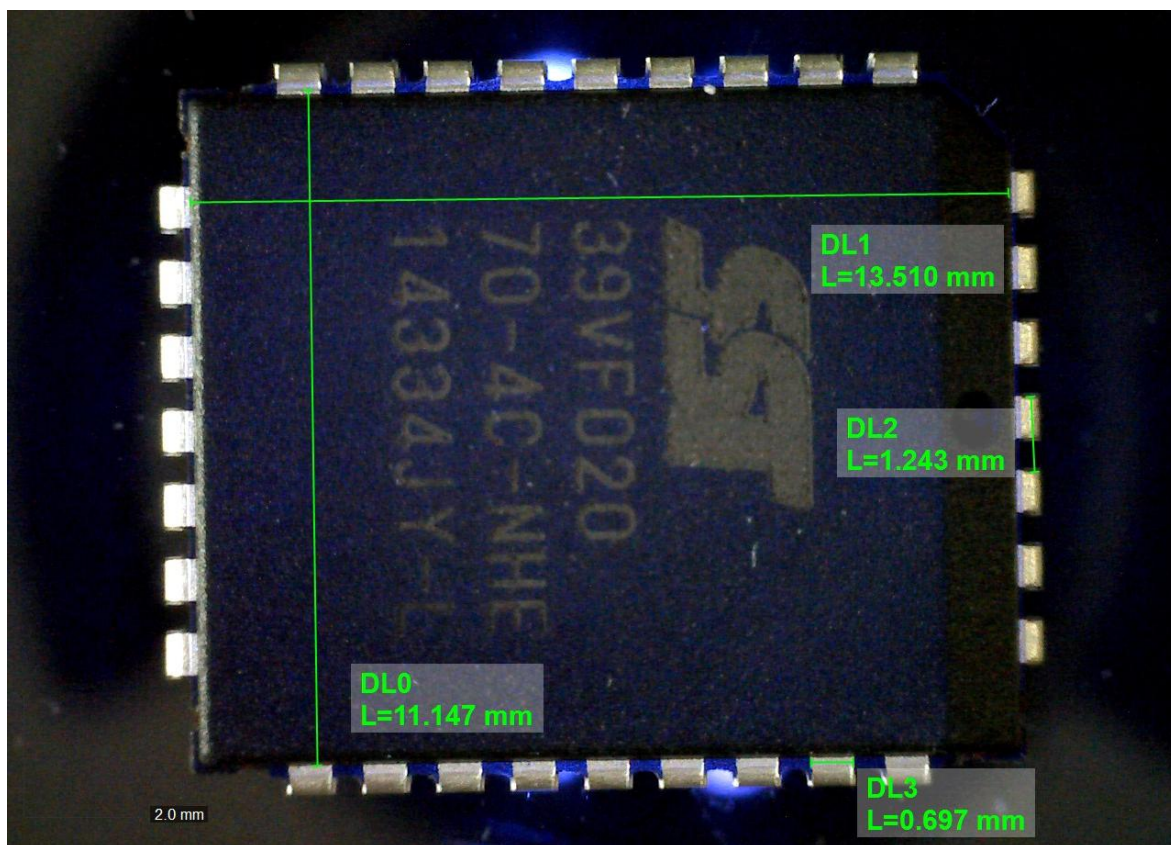
Obr. B7: Fotografie pouzdra TFPGA48



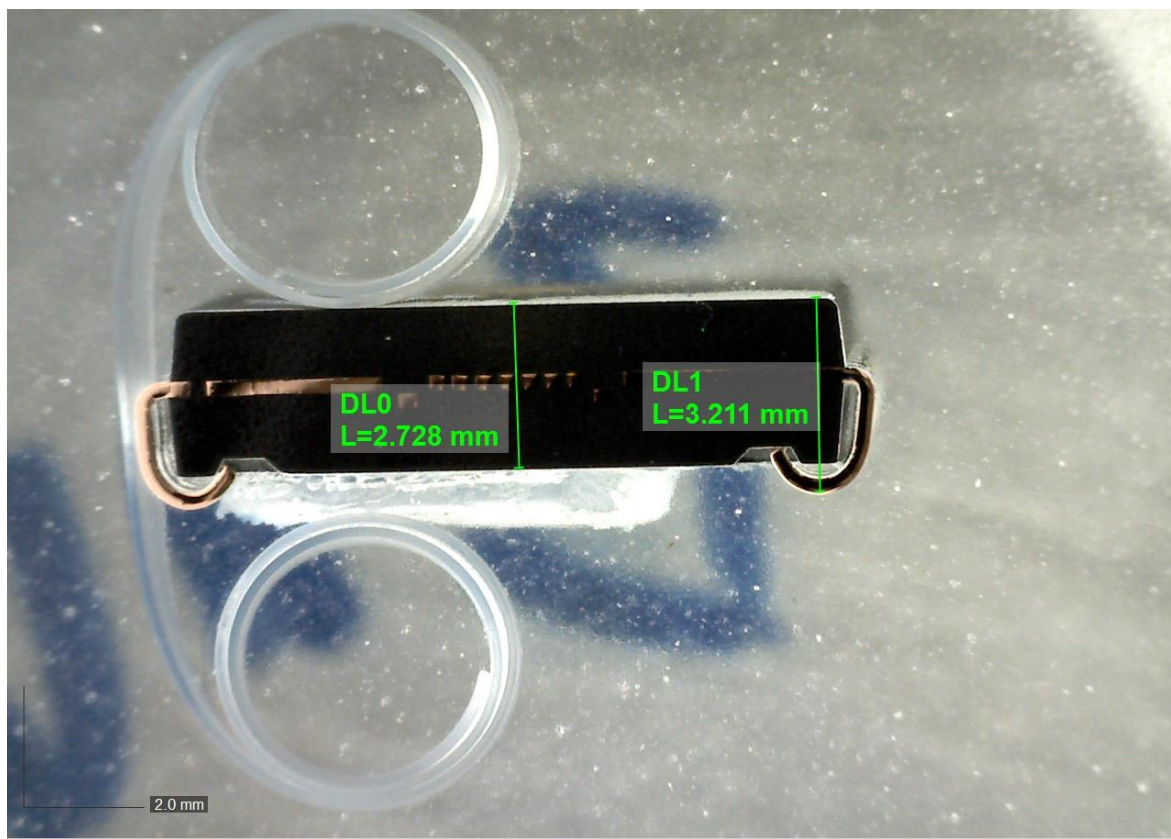
Obr. B8: Fotografie detailu pouzdra TFPGA48



Obr. B9: Fotografie výbrusu pouzdra TFPGA48



Obr. B10: Fotografie pouzdra PLCC32



Obr. B11: Fotografie výbrusu pouzdra PLCC32

Příloha C – Naměřené a vypočítané hodnoty optické inspekce

Tab. C1: Naměřené a vypočítané hodnoty optické inspekce

Číslo na panelu	Pouzdro	Popis součástky	Rozměr	Hodnota výrobce (mm)	Naměřená hod. (mm)	Chyba měření (%)
1	0402	Rezistor 1k	Délka	1	1,019	1,90
			Šířka	0,5	0,51	2,00
2	0603	Rezistor 2K7	Délka	1,6	1,605	0,31
			Šířka	0,8	0,807	0,88
3	0805	Rezistor 220K	Délka	2	2,046	2,30
			Šířka	1,25	1,241	0,72
4	1206	Rezistor 220K	Délka	3,2	3,167	1,03
			Šířka	1,6	1,574	1,63
5	2010	Rezistor 100K	Délka	5	4,991	0,18
			Šířka	2,5	2,426	2,96
6	2512	Rezistor 18R	Délka	6,4	6,422	0,34
			Šířka	3,2	3,211	0,34
7	0603	Indukčnost 8,2 nH	Délka	1,6	1,621	1,31
			Šířka	0,8	0,796	0,50
8	0805	Indukčnost pro PC USB porty	Délka	2	2,074	3,70
			Šířka	1,2	1,232	2,67
9	1206	Indukčnost pro PC USB porty	Délka	3,2	3,25	1,56
			Šířka	1,6	1,602	0,13
10	0402	Kondenzátor 3,3nF	Délka	1	0,982	1,80
			Šířka	0,5	0,509	1,80
11	0603	Kondenzátor 33pF	Délka	1,6	1,565	2,19
			Šířka	0,8	0,788	1,50
12	0805	Kondenzátor 1,8 pF	Délka	2	2,009	0,45
			Šířka	1,25	1,259	0,72

Číslo na panelu	Pouzdro	Popis součástky	Rozměr	Hodnota výrobce (mm)	Naměřená hod. (mm)	Chyba měření (%)
13	1206	Kondenzátor 100nF	Délka	3,2	3,111	2,78
			Šířka	1,6	1,602	0,13
14	1210	Kondenzátor 220nF	Délka	3,2	3,028	5,38
			Šířka	2,5	2,426	2,96
15	1812	Kondenzátor 1nF	Délka	4,5	4,306	4,31
			Šířka	3,17	3,083	2,74
16	1206	LED červená	Délka	3,2	3,232	1,00
			Šířka	1,6	1,648	3,00
17	mini-MELF	Rezistor 68R	Délka	3,6	3,51	2,50
			Průměr	1,4	1,296	7,43
18	MELF	Zenerova dioda 15V	Délka	4,8 - 5,2	4,935	0,00
			Průměr	2,4 - 2,6	2,501	0,00
19	SOD323	Spínací dioda	Délka	1,25	1,241	0,72
			Šířka s vývody	2,5	2,482	0,72
			Šířka vývodu	0,3	0,296	1,33
20	SOT23	Tranzistor NPN	Délka bez vývodů	1,2 - 1,4	1,176	2,00
			Šířka	2,8 - 3,04	2,862	0,00
			Šířka vývodů	0,37 - 0,5	0,408	0,00
21	SOT23-5	Číslicový IO Logická negace	Délka bez vývodů	1,5	1,62	8,00
			Šířka	3	3,01	0,33
			Šířka vývodů	0,25 - 0,5	0,324	0,00
22	SOT223	Stabilizátor napětí 2,5V	Délka s vývody	6,7 - 7,3	7,12	0,00
			Šířka	6,3 - 6,7	6,574	0,00
23	DPAK	Stabilizátor napětí 8V	Délka bez vývodů	5,97 - 6,22	6,179	0,00
			Šířka	6,35 - 6,73	6,725	0,00

Číslo na panelu	Pouzdro	Popis součástky	Rozměr	Hodnota výrobce (mm)	Naměřená hod. (mm)	Chyba měření (%)
24	D2PAK	Stabilizátor napětí 5V	Délka bez vývodů	9,042 - 9,347	9,33	0,00
			Šířka	9,804 - 10,236	10,299	0,00
			Výška pouzdra	4,1 - 4,5	4,242	0,00
			Výška vývodů	0,46 - 0,64	0,485	0,00
			Výška chladicí plošky	1,27 - 1,4	1,273	0,00
25	SO8	Napěťová reference 2,5 - 36V	Délka bez vývodů	3,8 - 4	3,938	0,00
			Šířka	4,8 - 5	4,998	0,00
			Rozteč vývodů	1,27	1,3	2,36
			Šířka vývodů	0,31 - 0,51	0,425	0,00
26	SO16	Číslicový IO D klopný obvod	Délka bez vývodů	3,8 - 4	3,938	0,00
			Šířka	9,8 - 10	10,269	2,69
			Rozteč vývodů	1,27	1,272	0,16
			Šířka vývodů	0,36 - 0,39	0,363	0,00
			Výška pouzdra	1,25 - 1,45	1,303	0,00
			Výška vývodů	0,19 - 0,25	0,212	0,00
27	TSSOP14	Číslicový IO Logický součet	Délka bez vývodů	4,3 - 4,5	4,483	0,00
			Šířka	4,9 - 5,1	5,089	0,00
			Rozteč vývodů	0,65	0,669	2,92
			Šířka vývodů	0,19 - 0,3	0,273	0,00
28	SSOP24	Kontroler LED	Délka bez vývodů	3,8 - 4	3,938	0,00
			Šířka	8,56 - 8,74	9,027	3,28
			Rozteč vývodů	0,635	0,636	0,16
			Šířka vývodů	0,2 - 0,3	0,274	0,00
29	MSOP8	Stabilizátor napětí 1,5V	Délka bez vývodů	3,8 - 4	3,847	0,00
			Šířka	4,8 - 5,1	4,937	0,00
			Rozteč vývodů	1,27	1,273	0,24
			Šířka vývodů	0,32 - 0,51	0,485	0,00

Číslo na panelu	Pouzdro	Popis součástky	Rozměr	Hodnota výrobce (mm)	Naměřená hod. (mm)	Chyba měření (%)
30	TSOP28	Paměť SRAM 32kB	Délka	7,9 - 8,1	8,028	0,00
			Šířka bez vývodů	11,7 - 11,9	11,874	0,00
			Rozteč vývodů	0,55	0,545	0,91
			Šířka vývodů	0,17 - 0,27	0,242	0,00
31	DFN8	Paměť EEPROM128kB	Délka	3	3,074	2,47
			Šířka	2	2,065	3,25
			Rozteč vývodů	0,5	0,5	0,00
			Šířka vývodů	0,2 - 0,3	0,278	0,00
			Délka chladicí plošky	1,5 - 1,75	1,667	0,00
			Šířka chladicí plošky	1,3 - 1,55	1,445	0,00
32	DFN4	Napěťový regulátor 2,3 - 5,5V	Délka	0,95 - 1,05	0,982	0,00
			Šířka	0,95 - 1,05	0,954	0,00
33	QFN16	Analogový IO WLAN 2,4 GHz	Délka	3	3,019	0,63
			Šířka	3	3,028	0,93
			Délka chladicí plošky	1,7	1,723	1,35
			Šířka chladicí plošky	1,7	1,741	2,41
34	QFN28	USB řadič	Délka	4	4,029	0,72
			Šířka	4	4,059	1,48
			Délka chladicí plošky	2,5	2,423	3,08
			Šířka chladicí plošky	2,5	2,484	0,64
35	TFBGA48	Paměť SRAM 128k x 16b	Délka	6	5,939	1,02
			Šířka	8	7,938	0,78
			Rozteč vývodů	0,75	0,741	1,20
			Průměr vývodů	0,35	0,343	2,00
			Výška bez vývodů	0,87	0,878	0,92
			Výška vývodů	0,27	0,274	1,48

Číslo na panelu	Pouzdro	Popis součástky	Rozměr	Hodnota výrobce (mm)	Naměřená hod. (mm)	Chyba měření (%)
36	BGA121	16 bitový mikrokontrolér PIC	Délka	10	10,259	2,59
			Šířka	10	10,298	2,98
			Rozteč vývodů	0,8	0,806	0,75
			Průměr vývodů	0,4	0,399	0,25
37	TQFP32	8 bitový mikrokontrolér AVR	Délka bez vývodů	6,9 - 7,1	6,665	3,41
			Šířka bez vývodů	6,9 - 7,1	6,756	2,09
			Rozteč vývodů	0,8	0,79	1,25
			Šířka vývodů	0,3 - 0,45	0,333	0,00
38	LQFP44	8 bitový mikrokontrolér	Délka bez vývodů	10	9,723	2,77
			Šířka bez vývodů	10	9,723	2,77
			Rozteč vývodů	0,8	0,818	2,25
			Šířka vývodů	0,37	0,363	1,89
39	QFP100	Řadič ethernet	Rozteč vývodů	0,5 - 0,8	0,637	0,00
			Šířka vývodů	0,18 - 0,42	0,273	0,00
40	PLCC32	Flash paměť 256kB	Délka bez vývodů	13,9 - 14	13,51	2,81
			Šířka bez vývodů	11,35 - 11,5	11,147	1,79
			Rozteč vývodů	1,27	1,243	2,13
			Šířka vývodů	0,66 - 0,81	0,697	0,00
			Výška bez vývodů	2,692 - 2,845	2,728	0,00
			Výška s vývodama	3,175 - 3,556	3,211	0,00