

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Zkoušky vlivů prostředí

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub PALMA**
Osobní číslo: **E14B0067K**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Zkoušky vlivů prostředí**
Zadávající 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. Vytvořte přehled normalizovaných metod zkoušek vlivů prostředí.
2. Popište mechanismy vlivu těchto zkoušek na degradaci testovaných vzorků.
3. Popište požadavky na zařízení potřebná k realizaci těchto metod.
4. Zpracujte doporučení pro aplikaci jednotlivých metod a jejich kombinaci.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

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

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Hirman**

Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **10. října 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2018**


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




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

Anotace

Bakalářská práce je zaměřená na zkoušky vlivů prostředí. Úvodní část se věnuje přehledu normalizovaných metod zkoušek vlivů prostředí. Je zde znázorněn přehled norem ČSN a IPC. V druhé části je popisován vliv daných zkoušek na degradaci testovaných vzorků. Konkrétně se zaměřuje na zkoušky solnou mlhou, teplotními šoky, vibracemi a na následný dopad zkoušek na DPS osazené různými druhy integrovaných obvodů BGA a QFN (MLF). V bodě třetím jsou popsány potřebná zařízení k realizaci zkoušek a požadavky na zkušební zařízení. V části poslední, práce seznamuje s ochranou DPS před vnějšími vlivy prostředí a problematikou uvádění elektronického zařízení na trh.

Klíčová slova

Vnější vlivy, solná mlha, vibrace, tepelné šoky, degradace, deska plošných spojů, integrované obvody

Abstract

The bachelor thesis focuses on the testing of environmental impact. The introduction describes the overview of standardized testing of environmental impact. It highlights the overview of the ČSN and IPC standards. The second chapter describes the effect of given tests on the degradation of the test samples. Specifically, it focuses on the salt fog testing, temperature shocks, vibrations and on the following impact of the testing on DPS equipped with various types of circuits BGA and QFN (MLF). The third chapter describes the necessary test facilities and requirements for the test facility. The last part of the thesis introduces the protection of DPS from external environmental influences and the issue of placing electronic devices on the market.

Key words

External influences, salt fog, vibrations, heat shocks, degradation, printed circuit board, integrated circuits

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.

V Plzni, 23.05.2018

.....
Jakub Palma

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinovi Hirmanovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a vedení práce a rodině za podporu.

Obsah

Obsah	7
Úvod	9
1 Přehled normalizovaných metod zkoušek vlivů prostředí	10
1.1 Základní charakteristika vnějších vlivů prostředí	10
1.2 Normy ČSN, IPC	11
1.2.1 Přehled norem ČSN EN	11
1.2.2 Přehled norem ČSN IEC	13
1.2.3 Přehled norem IPC	13
2 Charakteristika mechanismů vlivu daných zkoušek na degradaci testovaných vzorků .	18
2.1 Vliv zkoušky v solné mlze na jednotlivé vzorky	18
2.2 Vliv zkoušky vibracemi na jednotlivé vzorky	20
2.3 Vliv zkoušky tepelným šokem na jednotlivé vzorky	22
3 Potřebná zařízení k realizaci metod a jejich požadavky	25
3.1 Solná komora	25
3.2 Vibrační stolice	28
3.4 Šoková komora	31
4 Doporučení pro aplikaci jednotlivých metod a jejich kombinaci	37
4.1 Ochrana zařízení proti vlivům prostředí	37
4.1.1 Konformní povlak	37
4.1.2 Zalévání a zapouzdření	40
4.2 Požadavky na výrobek před uvedením na trh	41
Závěr	45
Seznam literatury a informačních zdrojů	46

Seznam zkratek

AR	akrylátová pryskyřice
BGA	ball grid array (kuličkové mřížkové pole)
CABGA	chip array ball grid array (čip s kuličkovým mřížkovým polem)
CuCl ₂	chlorid měďnatý
CVD	chemical vapour deposition (chemické vylučování par)
ČSN	České technické normy
DPS	desky plošných spojů
ER	epoxidová pryskyřice
FR4	epoxidový laminát vyztužený skelným vláknem tzv. sklolaminát
HT	high temperature (vysoká teplota)
IPC	Institute of Printed Circuits (Institut plošných spojů)
MLF	technologie micro leadframe
QFN	quad flat no leads (ploché bezdrátové vedení)
SnAgCu	slitina cínu, stříbra a mědi (cínová pájka)
SR	silikonová pryskyřice
UR	uretanová pryskyřice
XR	parylenová pryskyřice

Úvod

Jako téma bakalářské práce byly zvoleny zkoušky vlivů prostředí. Vzhledem k neustále se vyvíjejícím elektronickým zařízením, jako je například elektronika v domácnostech, automobilovém průmyslu, armádě a v neposlední řadě u přenosné elektroniky, například mobilních telefonů, se jedná o téma stále velmi aktuální a významné. V dnešní době velmi vyspělého technologického vývoje a s tím související tendence neustálého zmenšování elektronických zařízení se kladou stále větší požadavky na spolehlivost a bezpečnost. Je proto velmi důležité před tím, než se vyrobená elektronika uvede na trh, elektronické zařízení vyzkoušet dle normalizovaných metod, aby se předešlo poruchám, které by mohly z důvodu působení vnějších vlivů nastat.

Jak již z názvu práce vyplývá, jedná se o téma velmi obsáhlé a pokud by se práce měla věnovat skutečně podrobně a kompletně každému z témat, která pod tento okruh spadají, přesahovala by nepochybně rozsah bakalářské práce. Cílem této práce proto je vytvoření základního přehledu norem, které zkoušky jednotlivých vlivů upravují a následně popis základních typů zkoušek, které se v praxi používají, včetně popisu zařízení, která se k těmto testům používají. Práce by měla rovněž obsahovat dopad vybraných vlivů na testované vzorky, tedy zjistit a uvést, jakým způsobem ta která zkouška na vzorky působí, zda dochází k degradaci vzorků, za jakých podmínek a v jakém rozsahu. Jelikož smysl jednotlivých zkoušek spočívá zejména v tom, aby byla otestována spolehlivost a bezpečnost testovaných vzorků tak, aby mohly být následně uvedeny na trh, bude součástí práce i kapitola věnující se zákonným požadavkům, které musí být splněny pro to, aby vzorek mohl být na trh uveden.

Jedním ze základních pramenů, který upravuje požadavky na výrobky a předepsaný průběh jednotlivých zkoušek, a ze kterých bude čerpáno i pro účely této práce, jsou nepochybně normy ČSN, které jsou vydávány Úřadem pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví a lze je podle různých kritérií rozdělit, jak je ostatně podrobněji rozvedeno v první kapitole práce. Práce bude v podrobnějším rozsahu zaměřena na zkoušky v solné mlze, vibracemi a tepelným šokem, což samozřejmě nejsou jediné vlivy, které je možné sledovat a zkoušet. Normy upravují dále například zkoušky vlivu suchého tepla, slunečního záření, vlhkého tepla cyklického, rázů, stálého zrychlení, nárazů apod. Pokud se práce bude věnovat zkouškám vlivů na jednotlivé vzorky, jsou těmito vzorky myšleny DPS, tedy desky plošných spojů.

1 Přehled normalizovaných metod zkoušek vlivů prostředí

1.1 Základní charakteristika vnějších vlivů prostředí

Vnější vlivy můžeme rozdělit do několika stupňů. Jednotlivé stupně vnějšího vlivu jsou označeny kódem, který je složen ze dvou velkých písmen abecedy a číslicí. První velké písmeno značí základní rozdělení kategorií vnějších vlivů, a to: písmeno A odpovídá vnějšímu činiteli prostředí, jako je např. teplota okolí, vlhkost, nadmořská výška, výskyt korozivních nebo znečišťujících látek, sluneční záření, apod.; písmeno B odpovídá využití a písmeno C odpovídá konstrukci. Druhé velké písmeno značí povahu vnějšího vlivu a tato skupina se skládá ze 17 písmen [1, 2, 3]

A - PROSTŘEDÍ S POVAHOU

AA – teplota okolí

AB - atmosferické podmínky v okolí

AC - nadmořská výška

AD - výskyt vody

AE – výskyt cizích pevných těles

AF – výskyt korozivních nebo znečišťujících látek

AG – ráz

AH – vibrace

AK – výskyt rostlinstva nebo plísní

AL – výskyt živočichů

AM – elektromagnetická, elektrostatická nebo ionizující působení

AN – sluneční záření

AP – seismické účinky

AQ – bouřková činnost

AR – pohyb vzduchu

AS – vítr

B - VYUŽITÍ S POVAHOU

BA – schopnost osob

BC – dotyk osob s potenciálem země

BD – podmínky úniku v případě nebezpečí

BE – povaha zpracovávaných nebo skladových látek

C - KONSTRUKCE BUDOV S POVAHOU

CA – stavební materiály

CB – konstrukce budovy

[1, 2, 3]

1.2 Normy ČSN, IPC

Normy jsou zpracovány institucí CENELEC. Jedná se o Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice. Problematikou českých norem neboli českou soustavou norem (ČSN), se dříve zabýval Český normalizační institut (ČSNI). Jednalo se o příspěvkovou organizaci, která byla k 31.12.2008 na základě rozhodnutí ministra průmyslu a obchodu zrušena. Od 1.1.2009 zajišťuje tvorbu a vydávání ČSN Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví neboli ÚNMZ. Veškeré normy se používají z důvodu zlepšení bezpečnosti, provedení, ochrany spotřebitelů, pracovníků a životního prostředí [4, 5].

1.2.1 Přehled norem ČSN EN

- | | |
|--------------------------------------|---|
| ČSN EN 60068-2-1 ed.2 | - zkoušení vlivů prostředí – část 2-1: Zkouška A: Chlad |
| ČSN EN 60068-2-2:2008 | - Zkoušení vlivů prostředí – část 2-2: Zkouška B:
Suché Teplo |
| ČSN EN 60068-2-5 | - Elektrotechnické a elektronické výrobky. Základní zkoušky vlivu vnějších činitelů prostředí. Část 2-5:
Zkouška Sa: Sinusové sluneční záření na úrovni zemského povrchu |
| ČSN EN 60068-2-6:1997+Z1:2008 | - Zkouška vlivů prostředí – Část 2: Zkoušky –
Zkouška Fc: Vibrace (sinusové) |
| ČSN EN 60068-2-13:2000 | - Zkoušení vlivů prostředí – část 2: Zkoušky –
Zkouška M: Nízký tlak vzduchu |
| ČSN EN 60068-2-14 ed.2:2010 | - Zkoušení vlivů prostředí – část 2-14: Zkoušky -
Zkouška N: Změna teploty |
| ČSN EN 60068-2-17:1997 | - Zkoušení vlivů prostředí – Část 2: Zkoušky –
Zkouška Q: Hermetičnost |
| ČSN EN 60068-2-18:2001 | - Zkoušení vlivů prostředí – část 2-18: Zkoušky –
Zkouška R a návod: Voda |

- ČSN EN 60068-2-20** - Elektrotechnické a elektronické výrobky. Základní zkoušky vlivu vnějších činitelů prostředí. Část 2-20: Zkouška T: Pájení
- ČSN EN 60068-2-27** - Zkoušení vlivů prostředí – část 2: Zkoušky. Zkouška Eb a návod: Rázy
- ČSN EN 60068-2-27 ed.2:2010** - Zkoušení vlivů prostředí – část 2-18: Zkoušky – Zkouška Ea a návod: Rázy
- ČSN EN 60068-2-30:2006** - Zkoušení vlivů prostředí – část 2-30: Zkouška Db: Vlhké teplo cyklické
- ČSN EN 60068-2-38** - Elektrotechnické a elektronické výrobky. Základní zkoušky vlivu vnějších činitelů prostředí. Část 2-38: Zkoušky Z/AD: Složená cyklická zkouška teplotou a vlhkostí
- ČSN EN 60068-2-40:2000** - Zkoušení vlivů prostředí – část 2: Zkoušky – Zkouška Z/AM: Kombinované zkoušky chladem a nízkým tlakem vzduchu
- ČSN EN 60068-2-41:2000** - Zkoušení vlivů prostředí – Část 2: Zkoušky – Zkouška Z/BM: Kombinované zkoušky suchým teplem a nízkým tlakem vzduchu
- ČSN EN 60068-2-55** - Elektrotechnické a elektronické výrobky. Základní zkoušky vlivu vnějších činitelů prostředí. Část 2-55: Zkouška Ee a návod: Náráz
- ČSN EN 60068-2-58: 1997** - Zkoušení vlivu prostředí – Část 2: Zkoušky – Zkouška L: Prach a písek
- ČSN EN 60068-2-58 ed.2:2005** - Zkoušení vlivů prostředí – ČÁST 2-58: Zkoušky Zkouška Td: Metoda zkoušení součástek pro povrchovou montáž (SMD) – pájitelnost, odolnost proti rozpouštění metalizace a proti teplu při pájení
- ČSN EN 60068-2-60: 1997** - Zkouška vlivů prostředí – Část 2: Zkoušky – Zkouška Ke: Korozní zkouška proudící směsí plynů.
- ČSN EN 60068-2-78:2002** - Zkouška vlivů prostředí – část 2-78: Zkouška Cab: Vlhké teplo konstantní

ČSN 34 5791-2-11:1992+Z1:2000 - Elektrotechnické a elektronické výrobky. Základní zkoušky vlivu vnějších činitelů prostředí. Část 2-11: Zkouška Ka: Solná mlha

1.2.2 Přehled norem ČSN IEC

ČSN IEC 68-2-7:1994 +

Opr. 1: 1993 + Z1: 1997

- Elektrotechnické a elektronické výrobky. Základní zkoušky vlivu vnějších činitelů prostředí. Část 2-7: Zkouška Ga a návod: Stálé zrychlení

ČSN IEC 68-2-31:1992

- Elektrotechnické a elektronické výrobky. Základní zkoušky vlivu vnějších činitelů prostředí. Část 2-31: Zkouška Ec: Pád a překlopení, přednostně pro vzorky typu zařízení.

ČSN IEC 68-2-39:1993

- Elektrotechnické a elektronické výrobky. Základní zkoušky vlivu vnějších činitelů prostředí. Část 2-39: Zkouška Z/AMD: Kombinovaná postupná zkouška chladem, nízkým tlakem vzduchu a vlhkým teplem.

1.2.3 Přehled norem IPC

IPC – TM – 650: 2.6.1G

- Fungus Resistance Printed Wiring Materials 3/07
(Rezistence materiálů plošných spojů vůči houbám)

IPC – TM – 650: 2.6.1.1

- Fungus Resistance – Conformal Coating 7/00
(Rezistence vůči houbám – konformní nátěry)

IPC – TM – 650: 2.6.2D

- Moisture Absorption, Flexible Printed Wiring 2/12
(Absorpce vlhkosti, pružné plošné spoje)

IPC – TM – 650: 2.6.2.1A

- Water Absorption, Metal Clad Plastic Laminates
5/86 (Absorpce vody, pokovené plastové lamináty)

IPC – TM – 650: 2.6.3F

- Moisture and Insulation Resistance, Printed Boards
5/04 (Vlhkost a izolační odpor, desky s plošnými spoji)

IPC – TM – 650: 2.6.3.1E

- Solder Mask - Moisture and Insulation Resistance
3/07 (Nepájivá maska - vlhkost a izolační odpor)

- IPC – TM – 650: 2.6.3.2B** - Insulation and Moisture Resistance, Flexible Base Dielectric 5/88 (Izolace a odolnost proti vlhkosti, pružná nevodivá základna 5/88)
- IPC – TM – 650: 2.6.3.3B** - Surface Insulation Resistance, Fluxes 6/04 (Rezistence povrchové izolace, proudění)
- IPC – TM – 650: 2.6.3.4A** - Moisture and Insulation Resistance – Conformal Coating 7/03 Supersedes 2.6.3.4 and 2.6.3.1C for Conformal Coating Test (Vlhkost a odolnost izolace – konformní nátěry 7/03 – nahrazuje 2.6.3.4 a 2.6.3.1C o zkoušce konformních nátěrů)
- IPC – TM – 650: 2.6.3.5** - Bare Board Cleanliness by Surface Insulation Resistance 1/04 (Čistota základní desky podle rezistence povrchové izolace)
- IPC – TM – 650: 2.6.3.6** - Surface Insulation Resistance - Fluxes - Telecommunications 1/04 (Rezistence povrchové izolace – proudy – telekomunikace)
- IPC – TM – 650: 2.6.3.7** - Surface Insulation Resistance 3/07 (Rezistence povrchové izolace)
- IPC – TM – 650: 2.6.4B** - Outgassing, Printed Boards 5/04 (Odplynění, plošné spoje)
- IPC – TM – 650: 2.6.5D** - Physical Shock, Multilayer Printed Wiring 5/04 (Fyzikální náraz, vícevrstvé plošné spoje)
- IPC – TM – 650: 2.6.6B** - Temperature Cycling, Printed Wiring Board 12/87 (Cyklické změny teploty, plošné spoje)
- IPC – TM – 650: 2.6.7A** - Thermal Shock and Continuity, Printed Board 8/97 (Tepelný ráz a kontinuita, plošné spoje)
- IPC – TM – 650: 2.6.7.1A** - Thermal Shock - Conformal Coating 7/00 Supersedes 2.6.7.1 for Conformal Coating Tests (Tepelný ráz – konformní nátěry 7/00 – nahrazuje 2.6.7.1 o zkouškách konformních nátěrů)
- IPC – TM – 650: 2.6.7.2B** - Thermal Shock, Continuity and Microsection, Printed Board 5/04 (Tepelný ráz, kontinuita a mikrovýbrus, plošné spoje)

- IPC – TM – 650: 2.6.7.3** - Thermal Shock - Solder Mask 7/00 Supersedes 2.6.7.1 for Solder Mask Test (Tepelný ráz – nepájivá maska 7/00 – nahrazuje 2.6.7.1 o zkoušce nepájivé masky)
- IPC – TM – 650: 2.6.8E** - Thermal Stress, Plated-Through Holes 5/04 (Tepelné namáhání, pokovené otvory)
- IPC – TM – 650: 2.6.8.1** - Thermal Stress, Laminate 9/91 (Tepelné namáhání, laminát)
- IPC – TM – 650: 2.6.9B** - Vibration, Rigid Printed Wiring 5/04 (Vibrace, pevné plošné spoje)
- IPC – TM – 650: 2.6.9.1** - Test to Determine Sensitivity of Electronic Assemblies to Ultrasonic Energy 1/95 (Zkouška k určení citlivosti elektronických celků na ultrazvukovou energii)
- IPC – TM – 650: 2.6.9.2** - Test to Determine Sensitivity of Electronic Components to Ultrasonic Energy 1/95 (Zkouška k určení citlivosti elektronických součástek na ultrazvukovou energii)
- IPC – TM – 650: 2.6.10A** - X-Ray (Radiography), Multilayer Printed Wiring Board Test Methods 8/97 (Rentgen (rentgenografie), zkušební metody pro vícevrstvé plošné spoje)
- IPC – TM – 650: 2.6.11D** - Solder Mask - Hydrolytic Stability 3/07 (Nepájivá maska – hydrolytická stabilita)
- IPC – TM – 650: 2.6.11.1** - Hydrolytic Stability - Conformal Coating 7/00 Supersedes 2.6.11B for Conformal Coating Test (Hydrolytická stabilita – konformní nátěry 7/00 – nahrazuje 2.6.11B o zkoušce konformních nátěrů)
- IPC – TM – 650: 2.6.13** - Assessment of Susceptibility to Metallic Dendritic Growth: Uncoated Printed Wiring 10/85 (Hodnocení náchylnosti k růstu dendritů: plošné spoje bez nátěru)
- IPC – TM – 650: 2.6.14D** - Solder Mask - Resistance to Electrochemical Migration 3/07 (Nepájivá maska – odolnost vůči elektrochemické migraci)

- IPC – TM – 650: 2.6.14.1** - Electrochemical Migration Resistance Test 9/00
(Zkouška odolnosti vůči elektrochemické migraci)
- IPC – TM – 650: 2.6.15C** - Corrosion, Flux 6/04 (Koroze, proudění)
- IPC – TM – 650: 2.6.16** - Pressure Vessel Method for Glass Epoxy Laminate Integrity 7/85 (Metoda zkoušení epoxidové pryskyřice vyztužené skleněným vláknem v tlakové nádobě)
- IPC – TM – 650: 2.6.16.1** - Moisture Resistance of High Density Interconnection (HDI) Materials Under High Temperature and Pressure (Pressure Vessel) 8/98 (Odolnost HDI materiálů vůči vlhkosti za vysokých teplot a tlaku (v tlakové nádobě))
- IPC – TM – 650: 2.6.18A** - Low Temperature Flexibility, Flexible Printed Wiring Materials 7/85 (Pružnost za nízkých teplot, pružné plošné spoje)
- IPC – TM – 650: 2.6.21B** - Service Temperature of Metal-Clad Flexible Laminate, Cover Material and Adhesive Bonding Films 6/11 (Provozní teplota plátovaných pružných plošných spojů, krycího materiálu a adhesivního spojovacího materiálu)
- IPC – TM – 650: 2.6.23** - Test Procedure for Steam Ager Temperature Repeatability 7/93 (Postup testu opakovatelnosti teplot ve vyvíječi páry)
- IPC – TM – 650: 2.6.24** - Junction Stability Under Environmental Conditions 11/98 (Stabilita spojů za podmínek okolního prostředí)
- IPC – TM – 650: 2.6.25A** - Conductive Anodic Filament (CAF) Resistance Test: X-Y Axis 5/12 (Odolnost vodivých anodických vláken (CAF): osa X-Y)
- IPC – TM – 650: 2.6.26A** - DC Current Induced Thermal Cycling Test 6/14 (Zkouška tepelného okruhu indukovaného stejnosměrným proudem)

IPC – TM – 650: 2.6.27A

- Thermal Stress, Convection Reflow Assembly Simulation 8/17 (Tepelné namáhání, simulace soustavy konvekčního pájení reflow)

IPC – TM – 650: 2.6.28

- Moisture Content and/or Moisture Absorption Rate, (Bulk) Printed Board 8/10 (Obsah vlhkosti a/nebo nasáklivost, (objemové) desky plošných spojů) [6].

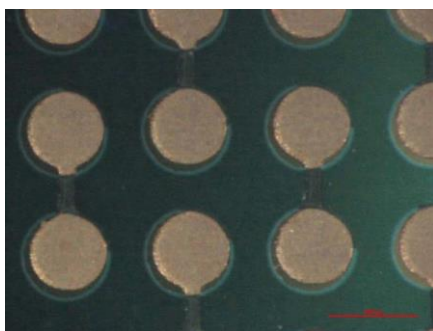
2 Charakteristika mechanismů vlivu daných zkoušek na degradaci testovaných vzorků

V této části práce se budu zabývat tím, jak působí vnější vlivy, konkrétně solná mlha, vibrace a tepelné šoky při zkoušce na jednotlivé vzorky, kterými jsou myšleny DPS.

2.1 Vliv zkoušky v solné mlze na jednotlivé vzorky

Vlivu zkoušky v solné mlze se například věnuje článek *Corrosion study on BGA assemblies* [1], který zde podrobně popíše. Pro účely této zkoušky byl vybrán vzorek BGA. Jde o vzorek pro povrchovou montáž integrovaných obvodů tzv. čipový nosič s SnAgCu (cínová pájka) namontovaný na desce FR4 (označení pro epoxidový laminát vyztužený skelným vláknem tzv. sklolaminát). V rámci této zkoušky je testováno stárnutí vzorku v solné komoře a vliv použitého solného roztoku na vlastnosti vzorku. [7]

Vybraný vzorek byl vložen do solné komory, kde byl rozprašován solný roztok s 5% obsahem chloridu sodného NaCl při teplotě 35°C. Zkoušené vzorky byly postupně vyjímány po 24, 48, 72 a 96 hodinách a zároveň byl měřen elektrický odpor a hmotnost. Kromě vývoje koroze v průběhu stárnutí se studie také zaměřuje na to, jak se vzorky chovají poté ve vzduchu. Po vyjmutí ze solné mlhy se používají dvě techniky čištění, a to promytí v ultrazvukové lázni s deionizovanou vodou a následné sušení proudem čistého stlačeného vzduchu, nebo jemné opláchnutí vodou pokojové teploty a následné sušení při 50°C po dobu 24 hodin. Čištění vzorků je nezbytné pro lepší analýzu koroze, která se vytváří na měděných podložkách. Na Obr. 1 je vidět zkoušený vzorek před začátkem testování v solné komoře a na Obr. 2 je vzorek vyjmutý ze solné komory po 48 hodinách. Je zde vidět, že na měděných ploškách se vytvořila koroze. Zelená vrstva na měděných ploškách znázorňuje výskyt chloridu měďnatého (CuCl_2) [7].

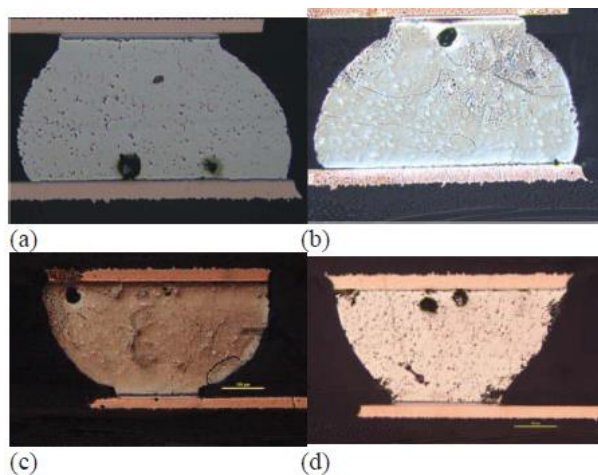


Obr. 1 Vzorek s měděnými podložkami před testem [7].



Obr. 2 Vzorek s měděnými podložkami po 48 hodinách testování [7].

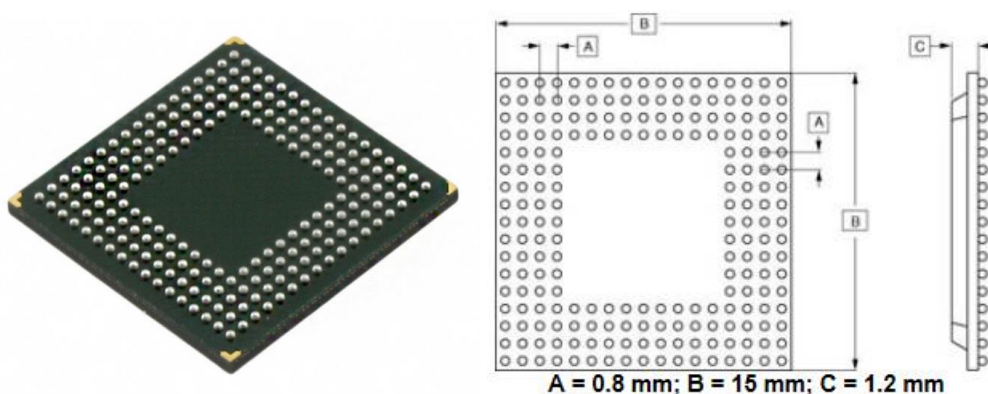
Pájené spoje a měděné podložky jsou pozorovány pomocí optického mikroskopu. Následně byl vytvořen průřez vzorku, který byl následně vyleštěn. Leštěním byla odhalena pájková mikrostruktura, která je zkoumána skenovacím elektronovým mikroskopem (SEM). Na Obr. 3 je znázorněna mikrostruktura pájeného bodu po různých dobách testování v solné mlze. Jak je již z Obr. 3 patrné, vliv na pájené spoje BGA nastává až po 48 hodinách testu. Jedná se zde o povrchovou korozi, ale už zde není žádná jiná známka porušení. Po 96 hodinách je vidět na vzorku závažná koroze, ale nikoliv porucha, která by zapříčinila nevodivost [7].



Obr. 3 Průřezy pájených bodů po 0h(a), 48h(b), 72(c), 96(d) [7].

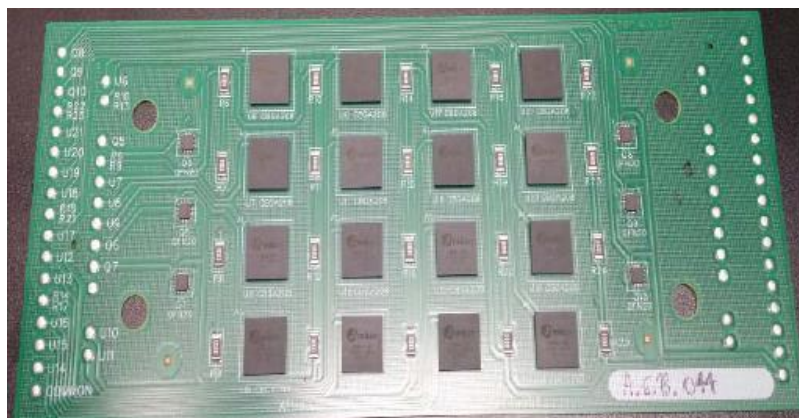
2.2 Vliv zkoušky vibracemi na jednotlivé vzorky

Pro účely popisu vlivu vibrací na vzorky jsem vycházel z článku *The study of vibrational performance on different doped low creep lead free solder paste and solder ball grid array packages* [8], který se zabývá mechanickým namáháním vzorku s pomocí vibrací. V experimentu se zaměřili konkrétně na vzorek BGA s bezolovnatou pájkou SAC 305, která je společně se SAC 105 a Innolotem nejpoužívanější na čipech CABGA. Jeho rozměr je 15 mm a je tvořen 208 pájenými piny, které jsou od sebe vzdáleny 0,8mm (Obr. 4). Tyto testovací desky byly vyrobeny tak, aby odolávaly standardům, které uvádí JEDEC JESD22-B103B, tedy vibracím. Cílem testu bylo zjistit, jak je odolný pájený spoj a kdy nastane jeho degradace např. prasknutí spoje [8].



Obr. 4 Čip CABGA [9,10].

Testovací vzorek byl navržen tak, jak je ukázáno na Obr. 5. Tento vzorek obsahuje čtyři různé druhy BGA. Jedná se buď o slitinu SAC 105 na pastu SAC 305, slitiny SAC 305 na pastu SAC 305, nebo SAC 105 a SAC 305 na pastu Innolot [8].



Obr. 5 Testovaný vzorek [8].

SAC je bezolovnatá slitina cínu, stříbra a mědi. Dle označení (názvu) lze určit, o jaké poměry složek se jedná. Například u SAC 105 se jedná o poměr 98,5% Sn, 1% Ag, 0,5% Cu, kdežto u SAC 305 je poměr 96,5% Sn, 3% Ag a 0,5% Cu [11].

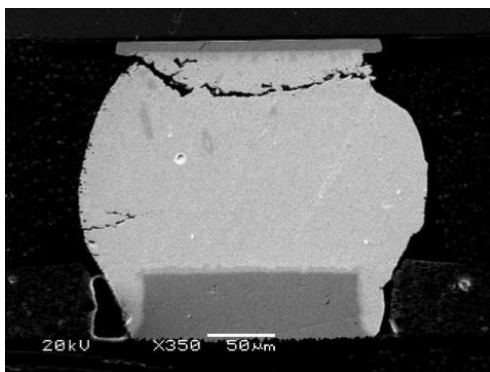
Innolot je slitina na podobné bázi jako je SAC, ale je navržena tak, aby odolávala náročnějším podmínkám (vysoká teplota a vibrace), které jsou mimo možnosti spolehlivosti standardních slitin SAC [12].

Při zkoušce se desky upevnilly na hliníkové přípravky a ty byly následně upevněny na vibrační stoličce. Nejprve bylo třeba stanovit vlastní frekvenci desky za účelem kalibrace zkušebního zařízení. K těmto účelům se používá laserový zdroj a osciloskop. Měření bylo prováděno každých 60 minut za účelem zjištění závad ve spojích během testu. Testování bylo ukončeno, když byla zjištěna závada, a to například narušení nebo prasknutí spoje. Tyto poruchy, jak bylo zjištěno, jsou závislé na umístění součástky na PCB, protože pnutí při vibracích je napříč deskou jiné. Na Obr. 6 je zřetelně vidět různé rozmístění BGA na PCB, kde BGA byly rozmístěny do čtyř zón [8].



Obr. 6 Rozmístění BGA na PCB [8].

Pomocí elektronového mikroskopu byla provedena analýza, kde byly zkoumány průřezy spojů. Tato analýza se provádí z důvodu zkoumání intermetalických součástí v pájeném spoji. Tento test je důležitý pro správnou volbu SAC nebo Innolotu. Všechny poruchy na SAC 105 a SAC 305 se vytvořily v intermetalické vrstvě, jak je znázorněno na Obr. 7 [8].

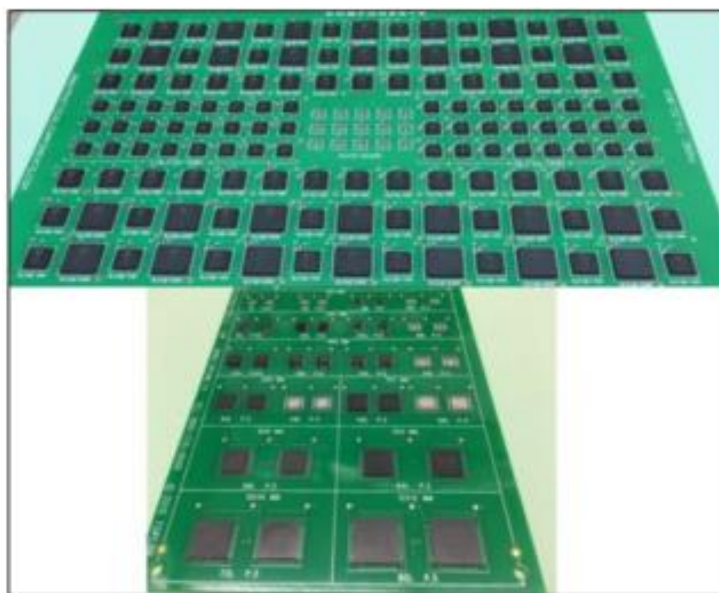


Obr. 7 Analýza mikrostruktury pájky SAC 305 [8].

2.3 Vliv zkoušky tepelným šokem na jednotlivé vzorky

I v tomto případě jsem pro popis vlivu zkoušky tepelným šokem na vzorky vycházel z konkrétního článku, a to z *QFN reliability, thermal shock, lead-free vs. SnPb, microstructure* [13]. Jsou zde uvedeny údaje o spolehlivosti různých QFN – jedná se o ploché bezdrátové vedení, které propojuje fyzicky a elektricky integrované obvody s DPS s pocínovanými a bezolovnatými spoji. Zkoušky byly prováděny v souladu s normou IEC9701, přičemž se jednalo o zkoušky s teplotními rozsahy TC4 (-55 až +125°C) a TC5 (-55 až +100°C). Byly zvoleny dva různé vzorky, které se lišily osazením [13].

Pro první test byly zvoleny dva druhy PCB, na nichž byly osazeny různé druhy a různé velikosti QFN. Na Obr. 8 jsou znázorněny varianty provedení PCB, na kterých je vidět různé rozmístění a velikost QFN součástek [13].



Obr. 8 Ukázka dvou vzorků PCB a rozmístění QFN součástek [13].

Dle specifikace normy IPC byl zvolen test tepelnými šoky TC4 (-55 až +125°C). Test byl prováděn v intervalech po 6x186 cyklů, tedy do 1166 cyklů, po kterých se začaly vytvářet poruchy ve formě trhlin, a to ve spojích mezi QFN a PCB. Tyto poruchy závisely podle očekávání na velikosti QFN (MLF). Přehled poruch při jednotlivých cyklech na různé druhy (velikosti) QFN je znázorněn v Tab. 1 [13].

Tab. 1 Přehled poruch při určitém počtu cyklů [13].

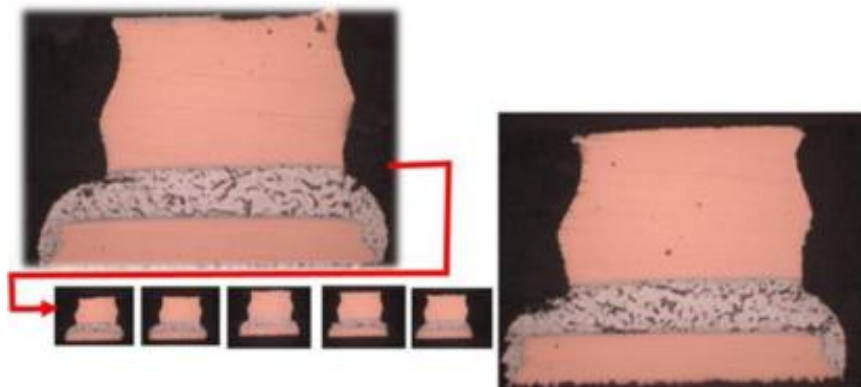
Druh QFN	MLF16-5mm-0,8	MLF28-7mm-0,8	MLF68-10mm-0,5
Cykly	Poruchovost		
1x186 = 186	0	0	0
2x186 = 336	0	0	0
3x186 = 558	0	0	1
4x186 = 744	0	1	1
5x186 = 930	0	1	6
6x186 = 1116	1	5	17

Jak je zde vidět, tak MLF16-5mm-0.8 měl pouze jednu chybu, a to až po provedení 1166 cyklů, MLF28-7mm- 0,8 měl při provedení 1166 cyklů 5 chyb, ale její poruchovost započala již po 744 cyklech a MLF68-10mm-0.5 měla největší poruchovost, která započala při 558 cyklech a po 1166 cyklech již byla diagnostikována velká poruchovost, a to 17 chyb [13].

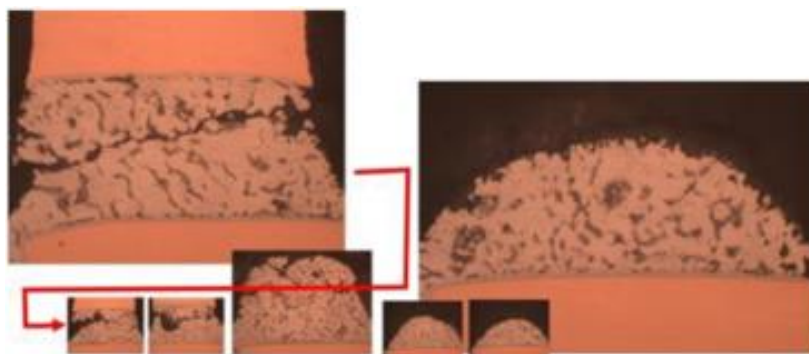


Obr. 9 Plně obsazená komora s různými druhy desek PCB [13].

Analýza poruch byla prováděna opticky a pomocí průřezů, aby se ověřily úrovně poškození. Byly zjištěny mikrotrhliny a úplné prasknutí. Na Obr. 10 je znázorněn průřez MLF 28-7mm- 0,8mm po 1488 teplotních cyklech, kde jsou vidět mikrotrhliny. Obr. 11 pak znázorňuje průřez MLF68-7mm-10mm po 1488 teplotních cyklech, opět s viditelnými mikrotrhlinami [13].



Obr. 10 Průřez MLF28-7mm- 0,8mm po 1488 teplotních cyklech [13].



Obr. 11 Průřez MLF68-7mm-10mm po 1488 teplotních cyklech [13].

V druhém testu byly PCB vystaveny tepelným šokům za mírnějších podmínek dle normy IPC9701 a to TC5 (-55 až +100°C). Doba mezi střídáním teplot byla větší než 10 minut. První měření bylo provedeno po 200 cyklech a nebyla zjištěna žádná změna. V tomto testu se dále nepokračovalo z důvodu provádění testu prvního, kde byly podmínky drsnější a k tomu, aby byly zjištěny poruchy, by bylo zapotřebí v tomto testu většího počtu cyklů. Při dokončení obou testů bylo také zjištěno, že rozmístění součástek QFN na PCB nemá vliv na poruchovost, ale záleží na velikosti QFN [13].

3 Potřebná zařízení k realizaci metod a jejich požadavky

K realizaci zkoušek vlivů prostředí na vzorky se využívá několika zařízení. Z těchto zařízení se asi nejvíce používá solná komora, vibrační stolice, klimatická komora a šoková komora. V závislosti na prováděných zkouškách zkoušeného vzorku se volí vhodné testovací zařízení a probíhá testování například odolnosti vůči solné mlze (solná komora), otřesům (vibrační stolice), klimatickým podmínkám (klimatická komora) nebo odolnosti vůči tepelným šokům (šoková komora). Mezi nejznámější výrobce výše uvedených zařízení patří Vötsch a Weiss technik.

3.1 Solná komora

Zkouška v solné mlze je upravena normou ČSN 34 5791-2-11: *Elektrotechnické a elektronické výrobky. Základní zkoušky vlivu vnějších činitelů prostředí. Část 2-11: Zkouška Ka: Solná mlha* [14], kde jsou udané veškeré podmínky, parametry (solného roztoku, vzduchu) a postup zkoušky, potřebný ke splnění této normy. Účelem této zkoušky je porovnání odolnosti vzorků obdobné konstrukce oproti znehodnocování solnou mlhou. Ke zkouškám se používá tzv. zkušební komora (Obr. 12), která musí být vyrobena z odolného materiálu vůči solné mlze, aby nehrozila její koroze [14].

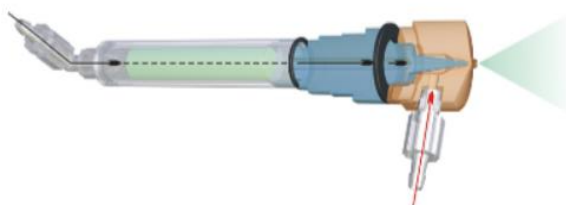


Obr. 12 Zkušební komora [15].

V průběhu zkoušky musí být udrženy stabilní a homogenní podmínky (nenarušené turbulenci) v souladu s výše uvedenou normou a zároveň tyto podmínky nesmí být ovlivněny zkoušejícím vzorkem. Postřík solné mlhy nesmí dopadat přímo na zkoušející vzorek. Solná mlha se rozptyluje do celého prostoru komory rovnoměrně. Nahromaděné kapky solného roztoku na stropu, stěnách, nebo jiných částech zkušební komory nesmějí

stékat na zkoušené vzorky. Komora je stavěna tak, aby takto nahromaděné kapky roztoku stékaly po stěnách. Aby se solná mlha rozptýlila rovnoměrně a nevznikal zde přetlak, musí být zkušební komora opatřena odvětrávacím otvorem [14].

Součástí zkušební komory je tzv. rozprašovač, který je zobrazen na Obr. 13. Rozprašovač musí být navržen a konstruován tak, aby jeho činností vznikla jemně rozptýlená, vlhká a hustá mlha, a musí být vyhotoven z materiálu, který nereaguje se solným roztokem [14].



Obr. 13 Rozprašovač solné mlhy[16].

PARAMETRY SOLNÉHO ROZTOKU

Koncentrace – Celkový obsah nečistot v chloridu sodném (NaCl) použitým k výrobě zkušební roztoku nesmí být za sucha větší než 0,3%. Z toho smí být nejvýše 0,1% jodidu sodného. Hmotnostní koncentrace chloridu sodného v solném roztoku musí být (5+1) %. Roztok se připraví rozpuštěním (5+1) hmotnostních dílů soli v 95 hmotnostních dílech destilované či minerální vody [14].

Hodnota pH – Hodnota pH roztoku při teplotě (35+2) °C musí být v rozmezí od 6,5 do 7,2. Hodnota pH se musí během expozice udržovat v uvedeném rozmezí. K úpravě hodnoty pH lze použít zředěnou kyselinu chlorovodíkovou p.a. nebo hydroxid sodný. Koncentrace chloridu sodného musí přitom zůstat v předepsaných mezích. Hodnota pH se měří při přípravě každé nové dávky roztoku [14]. Jednou rozprašený roztok nesmí být již znovu použit.

Přívod vzduchu – Stlačený vzduch nesmí při vstupu do rozvaděče obsahovat žádné nečistoty (např. olej, prach). K dosažení provozních podmínek je nutno zabezpečit zvlhčování a ohřívání stlačeného vzduchu. Tlak vzduchu musí být takový, aby při použití rozprašovače vznikla jemně rozptýlená hustá mlha. Aby se rozprašovač nezanášel nánosy solí, doporučuje se, aby relativní vlhkost vzduchu při výstupu z trysky byla nejméně 85%. Tomu vyhovuje postup, při kterém vzduch v podobě velice jemných bublinek prochází

promývačkou s automatickým udržováním hladiny vody. Teplota této vody nemá být nižší než 35°C. Při větším objemu vzduchu nebo při zhoršené tepelné izolaci komory a jejího okolí může být teplota vody vyšší. Tato teplota nemá však být tak vysoká, aby se do komory dostávalo příliš mnoho vlhkosti nebo aby znemožňovala splnění požadavků na zkušební teplotu [14].

POSTUP ZKOUŠKY

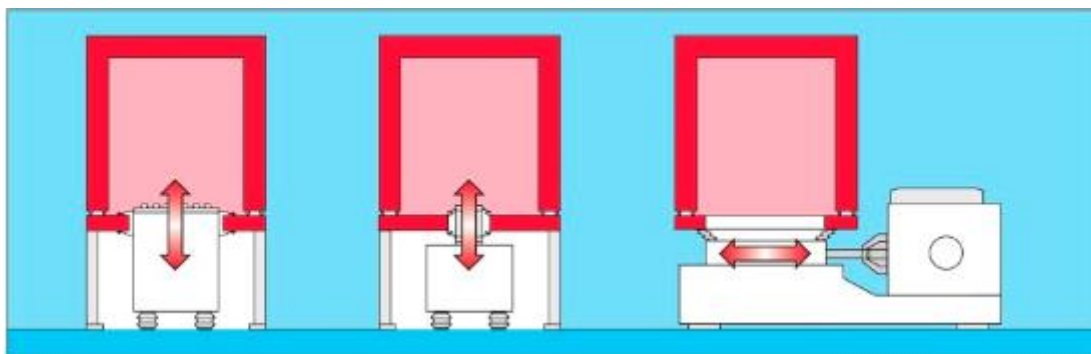
Nejdříve se provede počáteční měření tak, že se vzorky prohlédnou a v případě nutnosti se změří elektrické parametry a zkontrolují se mechanické vlastnosti vzorků podle požadavků příslušné specifikace. Následně dochází k přípravě ke zkoušce, kde příslušná specifikace musí stanovit způsob čištění vzorků, který se použije bezprostředně před zkouškou. Musí také stanovit, zda se odstraňují povlaky sloužící k dočasné ochraně. Použitá metoda čištění nesmí narušovat vliv solné mlhy na zkoušený vzorek ani vyvolávat druhotnou korozi. Pokud je to možné, je třeba zamezit přímému dotyku zkoušených ploch rukou před zahájením zkoušky. Vzorky se zkoušejí v normálních provozních polohách v souladu s požadavky příslušné specifikace. Proto se soubor zkoušených vzorků rozdělí a každá jeho část se zkouší v jedné z provozních poloh. Vzorky se nesmějí navzájem dotýkat a nesmějí se ani dotýkat jiných kovových částí, aby se vzájemně neovlivňovaly. Poloha vzorku ve zkušební komoře je velice důležitá. Při malé změně polohy může dojít ke změnám výsledku. Ve zkušební komoře se udržuje teplota 35 ±2°C. Doba expozice musí být předepsána v příslušné specifikaci a volí se z této řady: 16h, 24h, 48h (2 dny), 96h (4 dny), 168h (1 týden), 336h (2 týdny), 672h (4 týdny). Posléze nastává další fáze a to aklimatizace. Pokud příslušná specifikace nestanoví jiný způsob čištění, malé vzorky se po ukončení zkoušky omyjí v tekoucí vodě po dobu 5 minut a opláchnou se destilovanou nebo demineralizovanou vodou. Kapky vody se odstraní setřením nebo proudem vzduchu. Teplota vody použité k čištění nesmí být vyšší než 35°C. Vzorky musí být potom vystaveny normálním podmínkám aklimatizace po dobu nejméně 1h a nejvýše 2h. Když se vzorky aklimatizují, tak se vzorky prohlédnou a v případě nutnosti se změří elektrické parametry a zkontrolují se mechanické vlastnosti vzorků podle požadavků příslušné specifikace. Výsledky měření se uvedou do záznamu [14].

3.2 Vibrační stolice

Mechanická odolnost předmětů, zařízení a přístrojů proti působení vibrací je testována prostřednictvím vibračních zkušebních systémů. Může se jednat o elektrodynamické vibrační stoly a vibrační stoly s opakovaným šokem. Tato zařízení se skládají z vibračního stolu, na který se umístí testované vzorky. K němu je připevněna cívka, kterou protéká konstantní proud, který vytváří silné magnetické pole. Řízeným průtokem střídavého proudu menší pohyblivou cívku se pak vytváří pohyb a připojením generátoru se vibrační stůl začne pohybovat nahoru a dolů, čímž se docílí požadovaných vibrací. Vibrace mohou být generovány buď ve vertikálním, nebo v horizontálním směru (Obr. 15). Na Obr. 14 je pak znázorněný vibrační zkušební systém společnosti Vötsch Industrietechnik GmbH. Tato konkrétní vibrační stolice je kombinována s klimatickou komorou, díky které se mohou simulovat vibrace za různých klimatických podmínek [17].



Obr. 14 Vibrační stolice kombinovaná s klimatickou komorou [17].



Obr. 15 Pohyby vibrační stolice [18].

Pro účely popisu vibrační zkoušky jsem vycházel z normy ČSN EN 60068-2-6 (dále jen „norma“), která je zaměřena na vliv sinusových vibrací na vybraný vzorek. Norma poskytuje podrobný postup zkoušení, specifikaci požadavků na vibrační pohyb a volbu stupňů přísnosti včetně kmitočtových rozsahů, amplitud a dob trvání, přičemž všeobecný návod pro zkoušku a návod pro volbu stupňů přísnosti pro součástky a zařízení jsou obsaženy v přílohách normy. Zkouška sinusovými vibracemi je relativně jednoduše proveditelná a tedy snadno použitelná pro diagnostické i provozní zkoušení životnosti testovaných vzorků [19].

Základní pohyb při zkoušení musí být sinusovou funkcí času a musí být takový, aby se upevňovací body vzorku pohybovaly v zásadě soufázově, přímočaře a rovnoběžně. Normou je zároveň stanoveno omezení, kterému tento základní pohyb podléhá. Jedná se o rušivý pohyb, a to příčný i točivý pohyb a toleranci signálu zrychlení. U každého z těchto bodů jsou uvedeny konkrétní hodnoty, které nesmí být překročeny, případně, jak postupovat, pokud není možné takových hodnot docílit. Co se týká tolerance amplitudy vibrací, je třeba, aby tolerance řídicího signálu v referenčním bodě, tj. bodě zvoleném z kontrolních bodů, jehož signál se používá k řízení zkoušky tak, aby byly splněny požadavky této normy, byl $\pm 15\%$. Rovněž tolerance řídicího signálu v kontrolním bodě, tj. bodě umístěném na upevňovacím přípravku, na vibračním stole nebo na vzorku pokud možno co nejbližší k jednomu z jeho upevňovacích bodů a v každém případě s ním pevně spojeném, musí být $\pm 25\%$ do 500Hz a $\pm 50\%$ nad 500Hz. K toleranci kmitočtu jsou normou rovněž stanoveny tolerance v případě zkoušky s rozkmitáním i v případě zkoušky na stálých kmitočtech a rovněž tolerance v případě, že se mají porovnávat kritické kmitočty před zkouškou a po ní. Samotné rozkmitání musí být plynulé, kmitočet se musí měnit exponenciálně s časem, rychlost rozkmitání musí být jedna oktáva za minutu s tolerancí $\pm 10\%$ [19].

Při zkoušce se používá jednobodové nebo vícebodové řízení. V případě jednobodového řízení se používá signál ze snímače umístěného v referenčním bodě za účelem udržení tohoto bodu na specifikované úrovni vibrací, v případě vícebodového řízení se používají signály ze všech snímačů umístěných v kontrolních bodech. Jaká z těchto metod řízení byla použita, musí být stanoveno v příslušné specifikaci. Strategii řízení pak může být průměrování, kdy se jedná o aritmetický průměr amplitud signálu z kontrolních bodů a tato výsledná amplituda se poté porovnává se specifikovanou amplitudou. Další z možností je strategie váženého průměru, která nabízí možnost, aby signály z různých kontrolních bodů přispívaly k řízení různým dílem a dále strategie použití extrémní hodnoty, kdy se výsledná složená řídicí amplituda vypočítává z maximální nebo minimální extrémní amplitudy

signálu měřené v každém kontrolním bodě. Vzorek musí být, není-li v příslušné specifikaci stanoveno jinak, upevněn na zkušebním zařízení v souladu s požadavky IEC 60068-2-47, která se věnuje zkoušení vlivů prostředí, v části 2-47 upevnění vzorků pro zkoušky vibracemi, nárazy a obdobné dynamické zkoušky [19].

Norma definuje rovněž stupně přísnosti vibrací, které jsou definovány kombinací tří parametrů, a to kmitočtového rozsahu, amplitudy vibrací a doby trvání zkoušky. Každý z těchto parametrů musí být v příslušné specifikaci předepsány, kdy hodnoty mohou být zvoleny dle této normy, odvozeny ze známého prostředí nebo odvozeny ze známých zdrojů platných dat [19].

Co se týká samotného průběhu zkoušky, nejprve, pokud to příslušná specifikace požaduje, je nutná aklimatizace, a to dle předepsaných podmínek. Dále je vzorek podroben vizuálním, rozměrovým a funkčním kontrolám předepsaným v příslušné specifikaci, kdy účelem počátečních a konečných měření je porovnat konkrétní parametry, aby bylo možné posoudit vliv vibrací na vzorek. Počet os, ve kterých musí vzorek vibrovat a jejich relativní polohy, musí být uveden v příslušné specifikaci. Není-li stanoveno jinak, musí vibrovat vzorek postupně ve třech navzájem kolmých osách, které se mají zvolit tak, aby bylo odhalení poruchových stavů nejvíce pravděpodobné. Zkouška se stává z několika etap, které se provádějí postupně ve stejné ose a poté se opakují pro ostatní osy. Pokud je to ve specifikaci požadováno, vyšetřuje se odezva vzorku v definovaném kmitočtovém rozsahu, aby se prozkoumalo chování vzorku při vibracích. Postupy zkoušení mohou být buď zkouška rozkmitáním, které se dává přednost a při které se kmitočet rozmítá ve zvoleném kmitočtovém rozsahu se zvolenou rychlostí rozmítání, při zvolené amplitudě vibrací a po zvolenou dobu dle specifikace, nebo zkouška na stálých kmitočtech, kdy se použitý kmitočet udržuje na aktuálním kritickém kmitočtu. V průběhu zkoušky jsou pak kontrolovány výkonnostní parametry vzorku, a to po specifikovanou část celkové doby zkoušky. V případě, že je to nezbytné a specifikací předepsané, je nutné poskytnout po zkoušce před konečnými měřeními určitou dobu, aby vzorek dosáhl stejných podmínek, za jakých se provádělo počáteční měření. V rámci konečného měření se vzorek opět podrobí vizuálním, rozměrovým a funkčním kontrolám dle příslušné specifikace [19].

3.4 Šoková komora

Zkoušku odolnosti DPS proti náhlým vystavením extrémním změnám teploty upravují normy ČSN EN 60068-2-14 a IPC – TM – 650: 2.6.7A.

Zkoušky probíhají v teplotních šokových komorách. Jedná se o zařízení, která zajišťují to, že zkoušený vzorek je vystaven rozpětí extrémně vysokých a nízkých teplot. Na Obr. 16 je vidět například zkušební komora pro zkoušku tepelným šokem od firmy Vötsch, typ VT3 7006 S2. Jedná se o komoru, která má kapacitu komory 60 l a hmotnost vzorku musí být do 20 kg. Další varianty jsou typ VT3 7012 S2 - 120 l s možností hmotnosti vzorku do 50 kg a typ VT3 7030 S2 - 300 l s možností hmotnosti vzorku do 100 kg. Tento typ komory má vertikální uspořádání zkušebních teplotních zón. V horní části zkušební komory je horká zóna, kde se teploty pohybují od +50 °C do +220 °C a ve spodní části komory je studená zóna, kde se teploty pohybují od -80 °C do +70 °C. Komory s označením S2 mají dvě teplotní zóny. Existují i komory, které mají teplotní zóny tři a ty daná firma značí jako S3. Tyto komory jsou obohaceny o tzv. střední teplotní zónu, kde se teploty pohybují od -10 °C do +90 °C [20].



Obr. 16 Zkušební komora pro zkoušku tepelným šokem [20].

Dle normy IPC – TM – 650: 2.6.7A je dán předpis pro tepelný šokový cyklus tak, že se vzorky podrobí 100 teplotním cyklům v souladu s příslušnými zkušebními podmínkami, jak jsou popsány v Tab. 2 [21].

Tab. 2 Zkušební podmínky [21].

Krok	Testovací podmínky A		Testovací podmínky B		Testovací podmínky C	
	Teplota	Čas	Teplota	Čas	Teplota	Čas
1	0, +0/-5	15	-40	15	-55	15
2	25, +10/-5	0	25, +10/-5	0	25, +10/-5	0
3	+70, +5/-0	15	+85, +5/0	15	+105, +5/0	15
4	25, +10/-5	0	25, +10/-5	0	25, +10/-5	0
Krok	Testovací podmínky D		Testovací podmínky E		Testovací podmínky F	
	Teplota	Čas	Teplota	Čas	Teplota	Čas
1	-55 +0/-5	15	-65, +0/-5	15	0, +0/-5	15
2	25, +10/-5	0	25, +10/-5	0	25, +10/-5	0
3	+125, +5/-0	15	+150, +5/-0	15	+170, +5/-0	15
4	25, +10/-5	0	25, +10/-5	0	25, +10/-5	0

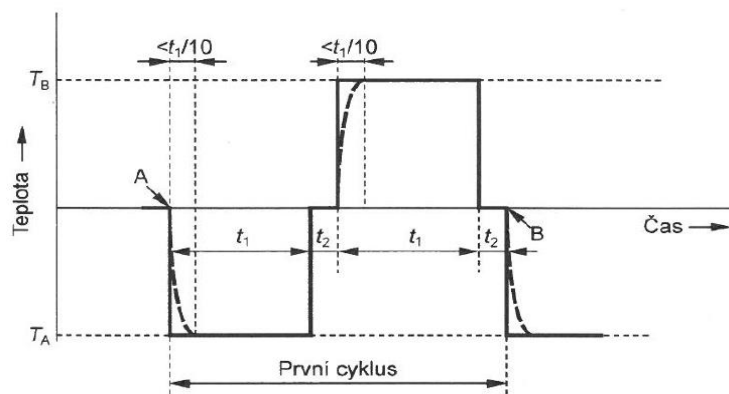
Doba přechodu mezi jednotlivými komorami musí být kratší než 2 minuty a tepelná kapacita použité zkušební komory musí být taková, aby teplota okolního prostředí dosáhla stanovené teploty do 2 minut poté, co byl vzorek převeden do příslušné komory. [21]

Dle normy ČSN EN 60068-2-14 se zkoušky prováděné teplotním šokem rozdělují do několika skupin - **Na** (Rychlá změna teploty s předepsanou dobou přemístění), **Nb** (Změna teploty se stanovenou rychlostí změny) a **Nc** (Rychlá změna teploty, metoda se dvěma kapalinovými lázněmi) [22].

Zkouška Na: rychlá změna teploty s předepsanou dobou přemístění

Tato zkouška určuje schopnost součástek, zařízení, nebo jiných předmětů odolávat rychlým změnám teploty okolí. Doba expozice k dosažení změn závisí na povaze vzorku. Zkoušející vzorek musí být buď nezabalen, vypnut a připraven k použití, nebo v jiném stavu stanoveném v příslušné specifikaci. Vzorek je vystaven rychlým změnám teploty ve vzduchu nebo ve vhodném inertním plynu tak, že je střídavě vystaven nízké a vysoké teplotě. K samotné zkoušce se mohou použít dvě samostatné komory nebo jedna komora s rychlou změnou teploty. Jestliže se použijí dvě komory z toho jedna je pro nízkou teplotu a druhá pro vysokou teplotu, musí být umístěny tak, aby bylo možné vzorek přemístit z jedné komory do druhé v předepsané době. Vzorky se přemísťují z jedné komory do druhé buď ručně, nebo automaticky. Teplota působící na zkoušený vzorek musí být stejná v každé části komory. Přísnost zkoušky je určena kombinací dvou teplot, dobou přemístění, dobou

expozice vzorku a počtem cyklů. Nižší teplota T_A musí být stanovena ve specifikaci a má být zvolena ze zkušebních teplot uvedených v normách IEC 60068-2-1 a IEC 60068-2-2. Totéž platí i pro vyšší teplotu T_B . Doba expozice t_1 závisí na tepelné kapacitě vzorku. Jedná se o 3h, 2h, 1h, 30min., 10min., nebo jak je stanoveno ve specifikaci. Když není ve specifikaci uvedena žádná doba, rozumí se tím automaticky doba 3h. Preferuje se pět zkušebních cyklů, pokud není uvedeno jinak. Teplota vzorku a teplota ve zkušební komoře musí mít teplotu okolního vzduchu $+25^{\circ}\text{C} \pm 5\text{K}$. Zkoušený vzorek musí být exponován při nízké teplotě T_A , která musí být udržována specifickou dobu t_1 , do které se zahrnuje počáteční doba pro ustálení teploty vzduchu v komoře, která není delší než $0,1 t_1$. Doba expozice se měří od okamžiku vložení vzorku do zkušební komory. Poté musí být vzorek vystaven vysoké teplotě T_B po uplynutí doby t_2 , která by neměla být delší než 3 minuty. Do doby t_2 je zahrnuta doba nutná k vyjmutí vzorku z jedné komory a vložení do komory druhé i jakékoliv prodlení na teplotě okolního vzduchu. Teplota T_B musí být udržována po stanovenou dobu expozice t_1 , do které se zahrnuje počáteční doba pro ustálení teploty vzduchu v komoře, která není delší než $0,1 t_1$. Doba expozice se měří od okamžiku vložení vzorku do zkušební komory. Poté pro expozici musí být v příštím cyklu vzorek vystaven nízké teplotě T_A po uplynutí doby přemístění t_2 , která by neměla být delší než 3 minuty. První cyklus je složen ze dvou dob expozice t_1 a dvou dob přemístění t_2 . Grafické znázornění průběhu zkoušky Na ukazuje Obr. 17 [22].



Obr. 17 Zkušební cyklus s předepsanou dobou přemístění [22].

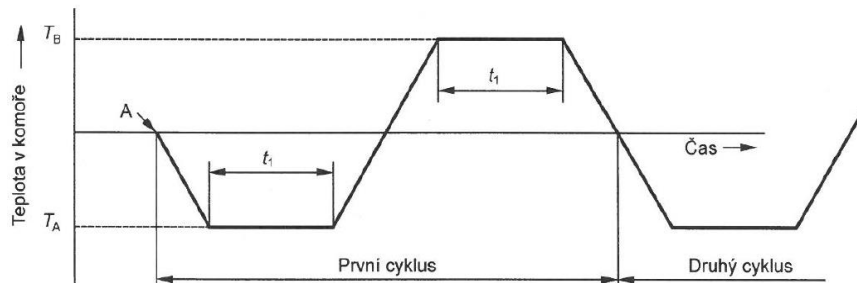
- A - začátek prvního cyklu
- B - konec prvního a začátek druhého cyklu
- T_A - nízká teplota
- T_B - vysoká teplota
- t_1 - čas expozice
- t_2 - čas přemístění

Na konci posledního cyklu se vzorek musí aklimatizovat po zkoušce, kdy vzorek musí zůstat v normálních klimatických podmínkách měření a zkoušek dokud nenastane teplotní rovnováha. Tato doba může být specifikována pro daný druh vzorku [22].

Zkouška Nb: Změna teploty se stanovenou rychlostí změny

Tato zkouška určuje schopnost součástek, zařízení, nebo jiných předmětů odolávat změnám teploty okolí nebo fungovat během těchto změn. Zkoušený vzorek musí být buď nezabalen, vypnut a připraven k použití, nebo v nějakém jiném stavu stanoveném v příslušné specifikaci. Vzorek se podrobí expozici změnami teploty ve vzduchu tak, že se v komoře vystaví předepsaným teplotám, které se mění řízenou rychlostí. Funkce vzorku může být během této expozice monitorována. Komora pro tuto zkoušku musí být konstruována tak, aby v pracovním prostoru, ve kterém je zkoušený vzorek umístěn, mohl probíhat teplotní cyklus takovým způsobem, že lze udržovat nízkou a vysokou teplotu požadovanou při zkoušce a že lze provádět změnu teploty z nízké na vysokou teplotu a naopak rychlostí požadovanou při zkoušce. Pokud není v příslušné specifikaci stanoveno něco jiného, musí být tepelná vodivost upevnění nebo podpěr tak nízká, že vzorek je prakticky tepelně izolován. Při zkoušení více vzorků současně musí být vzorky rozmístěny tak, aby bylo zajištěno volné proudění vzduchu mezi vzorky, mezi vzorky a povrchem komory. Přísnost zkoušky je určena kombinací dvou teplot, rychlostí změny teploty, dobou expozice vzorku a počtem vzorků. Nižší teplota T_A musí být stanovena ve specifikaci a má být zvolena ze zkušebních teplot uvedených v normách IEC 60068-2-1 a IEC 60068-2-2. Vyšší teplota T_B musí být stanovena ve specifikaci a má být zvolena ze zkušebních teplot uvedených v normách IEC 60068-2-1 a IEC 60068-2-2. Teplota vzduchu se musí snižovat nebo zvyšovat v rozmezí 90% a 10% hodnoty $D = T_B - T_A$ předepsanou rychlostí změny teploty s tolerancí 20%. Preferované jsou $(1 \pm 0,2)$ K/min, $(3 \pm 0,6)$ K/min, (5 ± 1) K/min, (10 ± 2) K/min nebo (15 ± 3) K/min, pokud není uvedeno ve specifikaci něco jiného. Doba expozice t_1 závisí na tepelné kapacitě vzorku. Jedná se o 3h, 2h, 1h, 30min., 10min., nebo jak je stanoveno ve specifikaci. Když není ve specifikaci uvedena žádná doba, rozumí se tím automaticky doba 3h. Testovaný vzorek se musí podrobit dvěma za sebou jdoucím cyklům, pokud není specifikováno jinak. Teplota vzorku a teplota ve zkušební komoře musí mít teplotu okolního vzduchu $+25^\circ\text{C} \pm 5\text{K}$. Poté se musí teplota v komoře snižovat specifikovanou rychlostí na stanovenou nízkou teplotu T_A . Když nastane teplotní rovnováha v komoře, musí být vzorek exponován za podmínek nízké teploty po specifikovanou dobu t_1 . Následně se musí teplota v komoře zvyšovat specifickou rychlostí na nastavenou vysokou

teplotu T_B . Když nastane teplotní rovnováha v komoře, musí být vzorek exponován za podmínek vysoké teploty po specifikovanou dobu t_1 . Teplota vzduchu v komoře se poté musí snižovat specifikovanou rychlostí na teplotu okolního vzduchu $\pm 25^\circ\text{C} \pm 5\text{K}$. V tomto popisu se jedná o jeden cyklus. Grafické znázornění zkoušky Nb je vidět na Obr. 18 [22].



Obr. 18 Zkušební cyklus se stanovenou rychlostí změny [22].

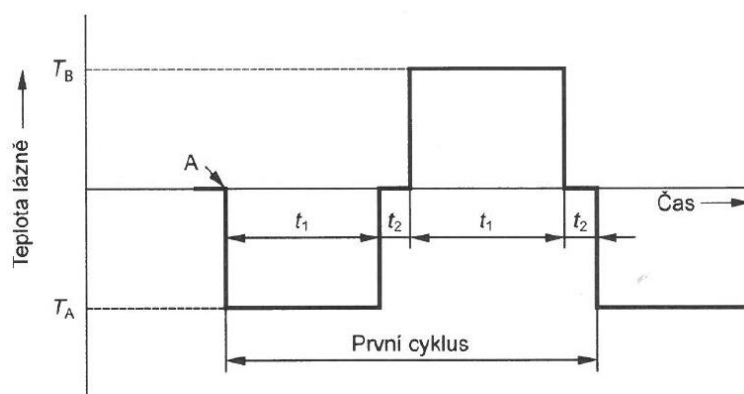
- A - začátek prvního cyklu
- T_A - nízká teplota
- T_B - vysoká teplota
- t_1 - čas expozice

Stejně jako v případě zkoušky Na musí vzorek při aklimatizaci na konci zkušebního cyklu zůstat v normálních klimatických podmínkách měření a zkoušek po dobu, než nastane teplotní rovnováha. Doba aklimatizace pro daný typ vzorku může být uvedena ve specifikaci [22].

Zkouška Nc: Rychlá změna teploty, metoda se dvěma kapalinovými lázněmi

Tato zkouška určuje schopnost součástek, zařízení, nebo jiných předmětů odolávat rychlým změnám teploty. K samotné zkoušce se používají dvě lázně. V jedné lázni je nízká a ve druhé vysoká teplota, aby mohl být zkoušený vzorek snadno ponořován a přemísťován z jedné lázně do druhé. V první lázni s nízkou teplotou musí být kapalina s nízkou teplotou T_A , která je stanovena v příslušné specifikaci. Pokud není teplota stanovena, musí mít kapalina teplotu 0°C . V druhé lázni s vysokou teplotou musí být kapalina s vysokou teplotou T_B , která je stanovena v příslušné specifikaci. Pokud není teplota stanovena, musí mít kapalina teplotu 100°C . Lázně musí být navrženy tak, aby teplota studené lázně během zkoušky nevzrostla více než 2K nad nízkou teplotu T_A a teplota v horké lázni neklesla o více jak 5K pod teplotu T_B . Kapaliny používané při zkouškách musí být kompatibilní s materiály a povrchovými úpravami použitými při výrobě vzorků. Přísnost zkoušky je určena

stanovenými teplotami lázní, dobou přemístění z jedné lázně do druhé t_2 a počtem cyklů. Ve specifikaci musí být stanoveny parametry doby trvání, které se používají a zvolená hodnota t_1 . Počet cyklů je 10, pokud není uvedeno jinak. Zkouška se musí provádět tehdy, když není vzorek zabalený. Zkušební vzorek, který má teplotu okolí laboratoře, se musí ponořit do studené lázně obsahující kapalinu o teplotě T_A , jak je stanoveno v příslušné specifikaci. Testovaný vzorek musí být ponořený ve studené lázni po patřičnou dobu t_1 . Poté se musí vzorek vyjmout ze studené lázně a ponořit do horké lázně obsahující kapalinu o teplotě T_B , jak je stanoveno v příslušné specifikaci. Doba na přemístění t_2 je stanovena specifikací. Testovaný vzorek se musí ponechat ponořený v horké lázni po dobu t_1 . Po uplynutí této doby se musí vzorek vyjmout z horké lázně. Doba t_2 , která je mezi vyjmutím z horké lázně a ponořením do studené lázně musí být taková, jak je stanoveno ve specifikaci. Jeden zkušební cyklus se skládá ze dvou dob ponoření t_1 a dvou dob přemístění t_2 . Grafické znázornění zkoušky N_c opět znázorněn na Obr. 19 [22].



Obr. 19 Zkušební cyklus rychlé změny teploty [22].

- A - začátek prvního cyklu
- T_A - nízká teplota
- T_B - vysoká teplota
- t_1 - čas expozice
- t_2 - čas přemístění

Po konci testu se musí i v tomto případě vzorek podrobit aklimatizaci, kdy se po ukončení zkušebního cyklu ponechá při teplotě okolí v laboratoři. Kapky na povrchu se musí odstranit a musí se také očistit veškeré nečistoty. Doba aklimatizace je uvedena v příslušné specifikaci [22].

4 Doporučení pro aplikaci jednotlivých metod a jejich kombinaci

4.1 Ochrana zařízení proti vlivům prostředí

Aby byla zajištěna spolehlivost zařízení, je nutné zajistit ochranu DPS proti vlivům prostředí a zabránit snížení jejich účinnosti nebo v horším případě úplnému zničení zařízení. Široká škála elektronických aplikací znamená mnoho různých vlivů prostředí, které mohou způsobit zhoršení elektrických vlastností, například díky absorpci atmosférické vlhkosti, elektrostatickému přitahování prachu nebo mechanickým namáháním v podobě teplotního šoku, oděru a vibracím. Ochrana může být provedena prostřednictvím konformních povlaků, nanokonzervačních prostředků, tmelových hmot, tmelů nebo mechanické výztuže. Záleží na tom, v jakém prostředí bude daná DPS umístěna. [23]

4.1.1 Konformní povlak

Jak bylo uvedeno, konformní povlaky jsou jednou z možností zvyšování spolehlivosti. Na sestavené DPS jsou po pájení a čištění aplikovány tenké, elektricky nevodivé povlaky. V minulosti byly konformní povlaky používány hlavně k ochraně proti plošným korozním vlivům, prachu a vlhkosti. V současnosti snižují i riziko elektrických zkratů. Jedná se o povlaky z chemického nebo polymerního materiálu používané k ochraně elektronických obvodů DPS před extrémními teplotami, chemikáliemi, prachem, solnou mlhou, vlhkostí, ale také před fyzickým poškozením, které může nastat během manipulace a instalace. Mezi další vlastnost konformních povlaků patří schopnost zvýšit dielektrickou pevnost mezi vodivými cestami a součástkami. Tím pádem mohou být vodivé cesty blíže u sebe a celkový obvod se v důsledku toho zmenší. Zároveň slouží jako ochrana před zkratem. Volba správného povlaku vyžaduje znalost toho, v jakém prostředí se budou DPS vyskytovat. Konformní povlaky rozdělujeme do několika skupin, jako jsou akrylové pryskyřice (AR), epoxidové pryskyřice (ER), polyuretanové pryskyřice (UR), silikonové pryskyřice (SR) a parylenové pryskyřice (XR). [23, 24]

Akrylové pryskyřice (AR) – jedná se o nejjednodušší z konformních povlaků. Snadno se aplikují a rychle (během pár minut) vysychají. Při vytvrzování se nemění jejich velikost, mají dlouhou životnost. Odolnost proti vlhkosti mají srovnatelnou s UR a SR, ale mají špatnou odolnost vůči rozpouštědlům, alkoholu a také špatně odolávají oděru. Při

vyšších teplotách se rychleji změkčuje ve srovnání s jinými chemickými látkami. Teplotní rozsah je -59°C až 132°C . Dielektrická odolnost je větší než 1500V.

Epoxidové pryskyřice (ER) - lze je vytvrzovat buď zvýšenou teplotou, nebo ultrafialovým světlem (UV). Povlaky se během vytvrzování smršťují a zanechávají tvrdou folii. Mají dobrou chemickou odolnost, jsou odolné proti oděru a mají přiměřenou odolnost proti vlhkosti. Díky dobré odolnosti proti rozpouštědlům je prakticky nemožné povlak odstranit a opravit.

Polyuretanové pryskyřice (UR) - patří mezi nejvíce pružné konformní povlaky. Jsou velmi odolné proti rozpouštědlům, korozi a oděru. Odolnost proti vlhkosti mají podobnou s AR a SR. Teplotní rozsah je shodný s výše uvedeným AR. Jedná se o složitý nátěr, který je téměř nemožné odstranit.

Silikonové pryskyřice (SR) - mají vysokou odolnost proti korozi, rozpouštědlům a jsou vhodné pro vysoké teploty díky jejich flexibilitě. Silikony mají tendenci být velmi flexibilní, ale mají malou přilnavost a jsou málo odolné proti oděru. Odolnost vůči vlhkosti mají podobnou jako UR a AR. Dielektrická odolnost může být nižší než u ostatních povlaků, ale pružnost silikonového povlaku umožňuje mnohem větší tloušťku povlaku, než je tomu u AR nebo UR. Teplotní rozsah je -65°C až 200°C . Aplikace je jednoduchá a opravit jej není náročné, i když celkové odstranění náročné být může.

Parylenová pryskyřice (XR) – pro ochranu DPS se využívá Parylen C, D, N. Mezi nejnovější patří HT, který vyniká v unikátní technologii nanášení CVD. Při této metodě vzniká vysoce přilnavý povlak o stejné tloušťce bez jakýchkoliv bublinek a děr. Díky tomuto kvalitnímu nanášení povlaku je ideální ochranou před agresivními rozpouštědly, solnou mlhou, krátkodobým ponořením do vody. Mezi nevýhody patří náročné odstranění, opravy, malá odolnost vůči UV záření a provozní teplota se pohybuje okolo 120°C . Parylen HT byl navržen tak, aby odolával větším teplotám, a to až do 350°C (krátkodobě i více) a jsou stavěny na dlouhodobé vystavení UV záření. [24,25, 26,27].

V Tab. 3 je uvedena doporučená nanášená tloušťka a přehled typů konformních povlaků. Jak je z tabulky zřejmé, tak největší nanášenou vrstvu lze uskutečnit u nátěru se silikonovou pryskyřicí SR z důvodu její flexibility. Tab. 4 znázorňuje porovnání jednotlivých konformních povlaků a jejich vzájemné vlastnosti [26].

Na Obr. 20 je znázorněna DPS na jejímž povrchu je nanášena vrstva konformního povlaku.

Tab. 3 Typy konformních povlaku, nanášená vrstva [26].

TYP	POPIS	NANÁŠENÁ VRSTVA
AR	Akrylátová pryskyřice	0,03 - 0,13 mm
ER	Epoxidová pryskyřice	0,03 - 0,13 mm
UR	Uretanová pryskyřice	0,03 - 0,13 mm
SR	Silikonová pryskyřice	0,05 - 0,21 mm
XR	Parylenová pryskyřice	0.01 – 0.05 mm

Tab. 4 Porovnání vlastností konformních povlaků [23].

Vlastnosti	Akryláty s rozpouštědly	Akryláty na vodní bázi	Uretany	Silikony	Epoxidy	Parylen
Těkavé látky		1				1
Opravitelnost	1					
Cena	1					
Životnost		1				
Tepelná odolnost						1
Chemická odolnost						1
Mechanická odolnost						1
Odolnost vůči solím						1
Odolnost vůči vodě				1		1
Depozice	1					
Hořlavost				1		1
Fluorescence	1					
Zdraví/bezpečnost						

Poznámka: Číslo 1 v tabulce je oblast, ve které má konformní povlak výborné výsledky.

Zelená barva značí kladné hodnocení a červená negativní vlastnosti.



Obr. 20 Konformní povlak [26].

4.1.2 Zalévání a zapouzdření

Zalévání má stejné cíle jako již zmiňovaný konformní povlak. Zabraňuje poškození DPS v nepříznivých podmínkách, jako jsou například vibrace, vlhkost, koroze, odolnost vůči rozpouštědlům, ale také jako dobrý odvod tepla. Jedná se o dvoukrokový proces, přičemž je DPS nejprve chráněn tím, že je vložen do pouzdra, pláště, a pak následně se do pouzdra nalije hmota, která vyplní celé již zmiňované pouzdro neboli plášť. Je ale nutné vědět, kam danou metodu a jaké materiály použít, aby nedocházelo k nežádoucímu namáhání nebo ohřívání. Zalévání je metoda, která je nejúčinnější proti nárazům, otřesům, oděrům a také rozptýlení tepla. Zajistíme tím nejvyšší možnou ochranu DPS. Jednou z největších nevýhod zalévací metody je, že vytváří na povrchu DPS tlustý povlak (blok) a tím naroste tloušťka i hmotnost celého zařízení a je tím znemožněno jakéhokoliv následujícího nastavení. Další nevýhodou je, že při zalévání pouzdra hmotou a jeho následném vytvrzování se hmota smršťuje a může způsobit poškození DPS. K zalévání se používají epoxidy, horké taveniny, polyestery, uretany a silikony [28, 29, 30].

Epoxidy se aplikují tam, kde mohou být vystaveny teplotám od 125°C do 155°C, ale existují i výjimky a ty mohou být vystaveny i vyšším teplotám až do 220°C. Epoxidy mají dobrou chemickou odolnost s výjimkou kyselin. Mají velkou přilnavost. Mohou se vytvrzovat UV zářením. Nejsou vhodné pro DPS s komponenty pro povrchovou montáž, protože mohou být po vytvrzení příliš tuhé a při nanesení na ohebnou desku může dojít k prasknutí [31].

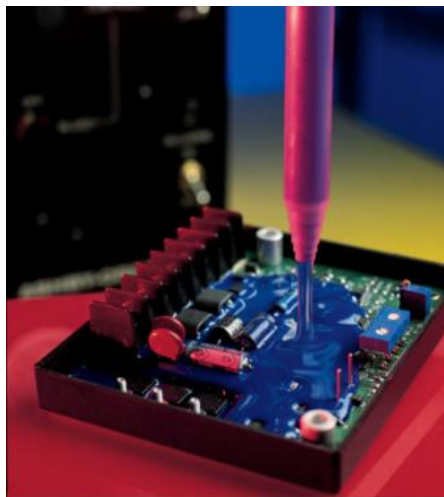
Horké taveniny se snadno aplikují a poskytují velké vyplnění všech mezer. Lehce se odstraňují a tím pádem se i dobře opravují. Mají nízkou tepelnou odolnost, ale zároveň mají dobrou odolnost proti rozpouštědlům. Mezi horké taveniny řadíme polyamidy a polyuretany.

Polyestery se dají použít při teplotách do 180°C. Mají dobrou chemickou odolnost a také mají dobrou přilnavost [31].

Uretany je vhodné používat v teplotách do 130°C, některé speciální uretany lze použít až do 150°C. Mají dobrou chemickou odolnost, ale nemohou být zcela ponořeny. Mohou být tuhé až ohebné a jsou ideální pro aplikace, které vyžadují flexibilitu.

Silikony lze použít do teplot od -65°C až 200°C. Poskytují měkkou a pružnou vazbu, která může být vytvrzena pomocí UV záření. Mají dobrou odolnost vůči rozpouštědlům [28].

Metoda zalévání DPS je znázorněna na Obr. 21. Je zde vidět, jak zalévací hmota, v tomto případě silikon nebo epoxid, postupně vyplňuje obsah pouzdra a tím dosáhneme dokonalé ochrany DPS [32].



Obr. 21 Zalévání DPS [32].

4.2 Požadavky na výrobek před uvedením na trh

Technické požadavky na výrobky a akreditace subjektů posuzování shody upravuje zákon č. 22/1997 Sb. (dále jen „zákon“). Konkrétně tento předpis upravuje způsob stanovování technických požadavků na výrobky, které by mohly ve zvýšené míře ohrozit zdraví nebo bezpečnost osob, majetek nebo životní prostředí, popřípadě jiný veřejný zájem, dále práva a povinnosti osob, které uvádějí na trh nebo distribuují, popřípadě uvádějí do provozu výrobky, které by mohly ve zvýšené míře ohrozit oprávněný zájem, dále práva a povinnosti osob pověřených k činnostem podle tohoto zákona, které souvisí s tvorbou a uplatňováním českých technických norem nebo se státním zkušebnictvím a způsob zajištění informačních povinností souvisejících s tvorbou technických předpisů a technických norem, vyplývajících z mezinárodních smluv a požadavků práva Evropských společenství (srov. § 1 odst. 1 zákona) [33].

Zákon se vztahuje na tzv. stanovené výrobky, tj. výrobky, které představují zvýšenou míru ohrožení oprávněného zájmu a výrobky, u kterých proto musí být posouzena shoda a o kterých to stanoví vláda svým nařízením. Jednotlivá vládní nařízení pak stanoví technické požadavky na jednotlivé stanovené výrobky, které musí tyto výrobky splňovat, aby mohly být uvedeny na trh, případně do provozu. Dále nařízení stanoví, které ze stanovených výrobků a za jakých podmínek musí nebo mohou být při uvádění na trh nebo do provozu opatřeny označením stanoveným nařízením vlády (srov. § 12 odst. 1 zákona). Těchto vládních nařízení je cca 30 a vztahují se buď k určitým druhům výrobků (např. hračky – nařízení vlády č. 86/2011 Sb., zdravotnické prostředky – nařízení vlády č. 55/2015 Sb., strojní zařízení – nařízení vlády č. 176/2008 Sb., výtahy – nařízení vlády č. 122/2016 Sb.,

stavební výrobky – nařízení vlády č. 163/2002 Sb., rádiová a telekomunikační zařízení – nařízení vlády 426/2016 Sb. apod.) nebo k určitým vlastnostem výrobku (např. k emisím hluku – nařízení vlády 9/2002 Sb. či elektromagnetické kompatibilitě – nařízení vlády č. 117/2016 Sb. apod.). K tomu, aby výrobek mohl být uveden na trh, musí tedy splňovat technické požadavky, kterými se rozumí technická specifikace obsažená v právním předpisu, technickém dokumentu nebo technické normě.

Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví na svých webových stránkách uvádí jak kompletní seznam nařízení vlády k provedení zákona č. 22/1997 Sb., tak přehled stanovených výrobků. U každého z těchto výrobků je pak uveden i seznam osob autorizovaných k posuzování shody či přehled subjektů oznámených k činnostem při posuzování shody [34].

Nezbytnou fází před uvedením výrobku na trh je úspěšné posouzení shody výrobku s technickými požadavky dle příslušných nařízení a v návaznosti na to musí být výrobek opatřen stanoveným označením dle nařízení, a pokud tak stanoví nařízení vlády, musí být k němu vydáno nebo přiloženo ES prohlášení o shodě nebo jiný dokument. Až na výjimky se jedná o označení CE (Conformité Européenne). Certifikaci provádí nezávislé autorizované nebo akreditované osoby. Autorizovanou osobou, nebo podle nařízení 305/2011/EU "oznámeným subjektem", podle § 11b zákona a subjektem pro technické posuzování dle § 11c zákona jsou právnické osoby, které mají pověření Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví k činnostem při posuzování shody výrobků zahrnujících i posuzování činností souvisejících s jejich výrobou, popřípadě s jejich opakovaným použitím, a vymezených v technických předpisech [35].

Tyto osoby vydáním certifikátu osvědčí, že výrobek nebo činnost s výrobou související je v souladu s technickými požadavky na výrobky. Za tímto účelem jsou přezkoumány předložené doklady, posouzeno, zda odpovídají požadavkům nařízení, vzorek výrobku je zkoušen a je ověřováno, zda splňuje základní požadavky na výrobky. V případě, že výrobek odpovídá uvedeným požadavkům, vystaví autorizovaná nebo akreditovaná osoba certifikát typu výrobku, který obsahuje závěry zjišťování, ověřování a výsledků zkoušek, popis případně zobrazení výrobku, nezbytné pro jeho identifikaci. Certifikát je vydáván na určité časové období zpravidla na dobu 3-5 let a po ukončení jeho platnosti jsou výrobce, dovozce nebo jiná osoba povinni žádat o prodloužení certifikátu, popřípadě o nové přezkoušení [35].

Pravidla používání označení CE stanoví Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 765/2008 ze dne 9. července 2008, podle kterého tímto označením nesmí být výrobek

opatřen v zásadě do té doby, než je dokončen postup posuzování shody, výrobek nebo jeho štítek s údaji musí být označením CE opatřen viditelně, čitelně a nesmazatelně. Označení CE musí mít tvar uvedený v příloze II. tohoto nařízení a minimální velikost 5 mm. Pokud je označení zmenšeno nebo zvětšeno, musí být zachovány jeho proporce [36].

Vedle označení CE je používána rovněž česká značka shody CCZ (viz. Obr. 22), avšak pouze v případě výrobků, na něž se nevztahují předpisy Evropských společenství. Značka CCZ se může připojit na výrobky, které nejsou harmonizované legislativou EU. Jedná se o stavební výrobky podle nařízení vlády č. 163/2002 Sb. a o vybrané výrobky podle nařízení vlády č. 173/1997 Sb. Je jí vyjádřeno, že výrobek splňuje technické požadavky dle příslušného nařízení vlády a že byl dodržen stanovený postup při posuzování jeho shody. Společné použití označení CE a CCZ je nepřípustné. Vzor označení CCZ je obsažen v přílohách I. a II. nařízení vlády č. 179/1997 Sb., kterým se stanoví grafická podoba české značky shody, její provedení a umístění na výrobku [37].



Obr. 22 Na obrázku je znázorněno označení CE a označení CCZ [38].

Dozor nad tím, zda stanovené výrobky jsou uváděny a dodávány na trh nebo do provozu v souladu s požadavky stanovenými zákonem či přímo použitelným předpisem, zda nejsou výrobky neoprávněně opatřovány označením CE, provádí Česká obchodní inspekce, nebo v rozsahu stanoveném zvláštními právními předpisy Český báňský úřad, Drážní úřad či další úřad, pokud tak zvláštní zákon stanoví (§ 18 odst. 1 zákona). K vykonání dozorové funkce má dozorový orgán řadu pravomocí uvedených v § 18 zákona. Pokud má dozorový orgán podezření, že výrobek nesplňuje zákonné požadavky, může uložit ochranné opatření, kterým zakáže uvádění na trh, do provozu nebo distribuci výrobku po dobu potřebnou k provedení kontroly. V případě, že se zjistí, že výrobek nesplňuje požadavky zákona nebo představuje ohrožení oprávněného zájmu, může dozorový orgán rozhodnout o stažení výrobku nebo série výrobku z trhu nebo oběhu, může nařídit jeho zničení nebo jiné znehodnocení [33].

V případě porušení zákonných povinností se fyzická či právnická osoba vystavuje riziku sankcí uložených v rámci řízení o přestupku, ale také riziku občanskoprávních žalob.

Přestupku se může dopustit fyzická i právnická osoba či osoba fyzická podnikající. Dále také autorizovaná osoba nebo výrobce, dovozce, zplnomocněný zástupce nebo distributor. Výčet jednotlivých jednání, která naplňují skutkovou podstatu přestupku, uvádí § 19 a 19a zákona. Jedná se například o zneužití označení CE, certifikátu nebo jiného dokumentu, značky ČSN, provedení posouzení shody bez potřebné autorizace, nesplnění vydaného ochranného opatření atd. Výše pokuty je stanovena pro jednotlivé případy uvedených skutkových podstat a její výše může dosáhnout až 50 000 000 Kč [33].

Vedle správního potrestání se ten, kdo vyrobí výrobek, nebo výrobek nebo jeho část označí svým jménem, ochrannou známkou nebo jiným způsobem, vystavuje rovněž riziku žaloby občanskoprávní, neboť v takovém případě odpovídá ve smyslu ust. § 2939 zákona č. 89/2012 Sb., občanského zákoníku za škodu, která je vadou výrobku způsobena. Společně a nerozdílně pak za škodu odpovídá a hradí ji i ten, kdo takový výrobek dovezl za účelem jejího uvedení na trh v rámci svého podnikání. V tomto směru je také třeba říci, že samotné prohlášení o shodě nezabavuje výrobce či dovozce odpovědnosti za škodu způsobenou vadným výrobkem [39].

Závěr

Cílem práce bylo vytvoření přehledu základních norem ČSN a IPC a dále vliv vybraných vlivů na testované vzorky. Přehledu normalizovaných metod zkoušek vlivů prostředí, tedy přehled norem ČSN, IPC se věnuje první část práce. Tato práce tvoří pouhý výčet norem tak, aby byl vytvořen přehledný seznam. Následně pak druhá část práce je zaměřena na vliv daných zkoušek na degradaci testovaných vzorku, přičemž práce je zaměřena na zkoušky solnou mlhou, teplotními šoky, vibracemi. Je zde popsán dopad prováděných zkoušek na DPS osazené různými druhy BGA. Jedná se o druh integrovaného obvodu, který je určen k povrchové montáži SMD součástek. Jeho spodní strana je tvořena kontakty, na kterých je nanosená pájka ve formě kuliček, která při zapájení tvoří vodivý spoj mezi DPS a BGA. Dále byly na DPS osazeny pro zkoušky pouzdra QFN (MLF), které na rozdíl od BGA nejsou připájeny na DPS pomocí pájky ve formě kuliček, ale pomocí kontaktních plošek.

Třetí část práce je zaměřena na popis potřebných zařízení k realizaci zkoušek a požadavky na tato zkušební zařízení z pohledu již zmiňovaných norem ČSN a IPC. Popisuje, jak by z pohledu norem měla probíhat příslušná zkouška vlivů prostředí a jaké parametry (podmínky) musí splňovat zkušební zařízení. V případě této práce se jedná o solnou komoru, šokovou komoru a vibrační stolicí. Konečně poslední čtvrtá část se věnuje ochraně proti vlivům prostředí a technickým požadavkům na výrobek před jeho uvedením na trh, včetně zákonné úpravy. Co se týká ochrany DPS proti vnějším vlivům, věnuje se práce ochraně konformním povlakem, zaléváním a zapouzdřením, jelikož se jedná o metody nejpoužívanější. Je zde rovněž znázorněno, kdy a jakou metodu je vhodné použít a jaké jsou vlastnosti jednotlivých ochranných materiálů.

Jak bylo již uvedeno, práce si nekladla za cíl vytvořit kompletní detailní pojednání o celé problematice, která by se pod téma práce dala vztáhnout. Práce byla zaměřena na vybrané zkoušky na vzorky, a to za použití vybraných norem. V tomto směru proto práce vytvořila základní přehled dané problematiky s podrobnějším zaměřením na vybrané kapitoly, zejména pak na vybrané metody zkoušek vlivů na degradaci vzorků. Obecně pak byla uvedena normativní regulace dle zákona č. 22/1997 Sb. Práce vyhotovená jako práce bakalářská pak nabízí nepochybně velký prostor k jejímu rozšíření, podrobnějšímu zaměření se na jednotlivé vlivy a metody zkoušek za použití příslušných norem ČSN a IPC.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] DVOŘÁČEK, Karel. Vnější vlivy, jejich určování a protokol o určení vnějších vlivů (1. část). *Elektro* [online]. 2011, 2011(4), 2 [Cit. 01.05.2018]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/vnejsi-vlivy-jejich-urcovani-a-protokol-o-urceni-vnejsich-vlivu-1-cast--9870>
- [2] DVOŘÁČEK, Karel. Vnější vlivy, jejich určování a protokol o určení vnějších vlivů (2. část). *Elektro* [online]. 2011, 2011(5), 3 [Cit. 01.05.2018]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/vnejsi-vlivy-jejich-urcovani-a-protokol-o-urceni-vnejsich-vlivu-2-cast--9929>
- [3] DVOŘÁČEK, Karel. Vnější vlivy, jejich určování a protokol o určení vnějších vlivů (3. část - dokončení). *Elektro* [online]. 2011, 2011(6), 2 [Cit. 01.05.2018]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/vnejsi-vlivy-jejich-urcovani-a-protokol-o-urceni-vnejsich-vlivu-3-cast-dokonceni--9994>
- [4] CEN-CENELEC [online]. [Cit 22.5.2016]. Dostupné z WWW: www.cenelec.eu
- [5] Český normalizační institut [online]. [Cit. 01.05.2018]. Dostupné na WWW: <http://csni.cz/>
- [6] IPC- Association Connecting Electronics Industries [online]. [Cit. 01.05.2018]. Dostupné na WWW: <https://www.ipc.org/test-methods.aspx>, část 2.6 věnovaná vlivům prostředí
- [7] GUEDON-GRACIA, A., H. FREMONT, J.-Y. DELETAGE a K. WEIDE-ZAAGE. Corrosion study on BGA assemblies. In: *2016 Pan Pacific Microelectronics Symposium (Pan Pacific)* [online]. IEEE, 2016, 2016, s. 1-7 [Cit. 01.05.2018]. DOI: 10.1109/PanPacific.2016.7428402. ISBN 978-0-9888-8739-8. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7428402/>
- [8] THIRUGNANASAMBANDAM, Sivasubramanian, Thomas SANDERS, Anto RAJ, Derrick STONE, John EVANS, George FLOWERS a Jeff SUHLING. The study of vibrational performance on different doped low creep lead free solder paste and solder ball grid array packages. In: *Fourteenth Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm)* [online]. IEEE, 2014, 2014, s. 920-923 [Cit. 01.05.2018]. DOI: 10.1109/ITHERM.2014.6892379. ISBN 978-1-4799-5267-0. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6892379>

- [9] Digi-Key Electronics [online]. [Cit. 01.05.2018]. Dostupné na WWW:
<https://www.digikey.kr/product-detail/ko/idt-integrated-device-technology-inc/70V657S12BFI/70V657S12BFI-ND/2010530>
- [10] Bomir [online]. [Cit. 01.05.2018]. Dostupné na WWW:
<http://www.bomir.com/online/,427,Reballing-Set.html>
- [11] CAPLINQ [online]. [Cit. 01.05.2018]. Dostupné na WWW:
<https://www.caplinq.com/buy-sac305-leadfree-solder-spheres-solder-balls-online-sac305.html?SS>
- [12] Alpha Assembly Solutions [online]. [Cit. 01.05.2018]. Dostupné na WWW:
<https://alphaassembly.com/Markets/Automotive/CVP-390-Innolot-Automotive>
- [13] ANSELM, Martin K. a Reza GHAFFARIAN. QFN reliability, thermal shock, lead-free vs. SnPb, microstructure. In: *2017 16th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm)* [online]. IEEE, 2017, 2017, s. 422-427 [Cit. 01.05.2018]. DOI: 10.1109/ITHERM.2017.7992505. ISBN 978-1-5090-2994-5. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7992505/>
- [14] ČSN 34 5791 – 2 – 11. *Elektrotechnické a elektronické výrobky. Základní zkoušky vlivu vnějších činitelů prostředí. Část 2-11: Zkouška Ka: Solná mlha*. 1992. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [15] JD Dvořák s.r.o. [online]. [Cit. 01.05.2018]. Dostupné na WWW:
<http://www.testsysteme.cz/cz/produkty/zkusebni-komory/korozni-komory/solne-komory-sc-ukwt.html>
- [16] Alpha+ by ascott [online]. [Cit. 01.05.2018]. Dostupné na WWW:
<http://docplayer.cz/23179242-Rada-zakladnich-koroznich-komor-od-vyrobce-jemuz-muzete-verit.html>
- [17] VVAUTOMOTIVE [online]. [Cit. 01.05.2018]. Dostupné na WWW:
<http://www.vvautomotive.cz/protrepat-nemichat/>
- [18] Direct industry [online]. [Cit. 01.05.2018]. Dostupné na WWW:
<http://pdf.directindustry.com/pdf/voetsch-industrietechnik/vtv-vcv/16219-15696.html>
- [19] ČSN EN 60068 – 2 – 6. *Zkoušení vlivů prostředí – Část 2 - 6: Zkoušky - Zkouška Fc: Vibrace (sinusové)*. 2008. Ed. 2. Praha: Český normalizační institut.
- [20] Direct industry [online]. [Cit. 01.05.2018]. Dostupné na WWW:
<http://pdf.directindustry.com/pdf/voetsch-industrietechnik/vt-7012-s3/16219373557.html>

- [21] IPC - Association Connecting Electronics Industries [online]. [Cit. 01.05.2018]. Dostupné na WWW: <https://www.ipc.org/TM/2.6.7a.pdf>
- [22] ČSN EN 60068 – 2 – 14. *Zkoušení vlivů prostředí – Část 2-14: Zkoušky – Zkouška N: Změna teploty*. 2010. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [23] FRIDRICHOVSKY, Martin, Frantisek STEINER a Martin HIRMAN. Comparison of the characteristics of PCB protective coatings. In: *2017 40th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)* [online]. IEEE, 2017, 2017, s. 1-6 [Cit. 01.05.2018]. DOI: 10.1109/ISSE.2017.8000928. ISBN 978-1-5386-0582-0. Dostupné na : <http://ieeexplore.ieee.org/document/8000928/>
- [24] GarrettCom, Inc. *The Pros of Conformal Coatings* [online]. [Cit. 01.05.2018]. Dostupné na WWW: http://opensat.cc/wiki/_media/assembly:conformalcoating.pdf
- [25] KUMAR, Rakesh, Frank KE, Angie SUMMERS a Lamar YOUNG. A high temperature vapor phase conformal coating for improving reliability of harsh environment electronics. In: *2016 39th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)* [online]. IEEE, 2016, 2016, s. 128-133 [Cit. 01.05.2018]. DOI: 10.1109/ISSE.2016.7563174. ISBN 978-1-5090-1389-0. Dostupné na: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7563174/>
- [26] Electronic Coating Technologies [online]. [Cit. 01.05.2018]. Dostupné na WWW: <http://www.electroniccoating.com/our-services/conformal-coating>
- [27] Diamond MT [online]. [Cit. 01.05.2018]. Dostupné na WWW: <http://blog.paryleneconformalcoating.com/blog/liquid-teflon-vs-parylene>
- [28] Electronic Coating Technologies [online]. [Cit. 01.05.2018]. Dostupné na WWW: <http://www.electroniccoating.com/our-services/potting-encapsulation/>
- [29] Diamond MT [online]. [Cit. 01.05.2018]. Dostupné na WWW: <http://blog.paryleneconformalcoating.com/blog/whats-the-difference-between-potting-and-conformal-coating>
- [30] Diamond MT [online]. [Cit. 01.05.2018]. Dostupné na WWW: <http://blog.paryleneconformalcoating.com/blog/how-to-choose-between-potting-and-conformal-coating>
- [31] ELANTAS PDG, Inc. *Selecting the Right Potting Compound for Your Application* [online]. [Cit. 01.05.2018]. Dostupné na WWW: https://www.elantas.com/fileadmin/_migrated/content_uploads/ELANTAS-Potting-Compound-Brochure_01.pdf

- [32] Mindtribe [online]. [Cit. 01.05.2018]. Dostupné na WWW: <http://mindtribe.com/2016/05/the-landscape-of-electronic-housings/>
- [33] Česká republika. *Zákon o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů*. In: 1997. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, 1997, č. 22, částka 6. Dostupné na: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirkazakonu/SearchResult.aspx?q=1997&typeLaw=zakon&what=Rok&stranka=12>
- [34] Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví [online]. [Cit. 01.05.2018]. Dostupné na WWW: www.unmz.cz
- [35] KLABUSAYOVÁ, Naděžda. *Zákon o obecné bezpečnosti výrobků: Zákon o technických požadavcích na výrobky: komentář*. Praha: Wolters Kluwer, 2016. Komentáře (Wolters Kluwer ČR). ISBN 978-80-7552-371-6.
- [36] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 765/2008, kterým se stanoví požadavky na akreditaci a dozor nad trhem týkající se uvádění výrobků na trh a kterým se zrušuje nařízení (EHS) č. 339/93. Dostupné na : <http://www.unmz.cz/urad/narizeni-es-c-765-2008-pozadavky-na-akreditaci-a-dozor-nad-trhem-tykajici-se-uvadeni-vyrobku-na-trh-c519>
- [37] Nařízení vlády, kterým se stanoví grafická podoba české značky shody, její provedení a umístění na výrobku. In: 1997. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, 1997, č. 179, částka 64. Dostupné na: <http://www.unmz.cz/urad/seznam-narizeni-vlady-k-provedeni-zakona-c-22-1997-sb--c574>
- [38] Rosa, o.p.s. [online]. [Cit. 01.05.2018]. Dostupné na WWW: <http://www.ekospotrebitel.cz/ekospotreba/ekoznaceni/ekoznaky/>
- [39] Česká republika. *Občanský zákoník*. In: 2012. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, 2012, č. 89, částka 33. Dostupné na: http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=89/2012&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy