

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Elektronické součástky citlivé na vlhkost, měření  
jejich citlivosti a zásady manipulace s nimi ve  
výrobním podniku.**

**vedoucí práce: Ing. Milan Šíma  
autor: Bc. Jakub Pinc**

**2012**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub PINC**  
Osobní číslo: **E10N0045P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Název tématu: **Elektronické součástky citlivé na vlhkost, měření jejich citlivosti a zásady manipulace s nimi ve výrobním podniku**  
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Popište problematiku skladování a manipulace s elektronickými součástkami citlivými na vlhkost.
2. Seznamte se s klasifikací stupně citlivosti těchto součástek a jejím měřením.
3. Navrhňte laboratorní úlohu k měření citlivosti vybraných součástek na vlhkost.
4. Navrhňte systém bezpečné manipulace s těmito součástkami ve výrobním cyklu podniku a jeho začlenění do celkového systému řízení kvality.

Rozsah grafických prací: dle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran

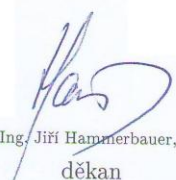
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

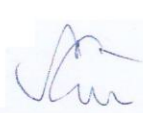
1. IPC/JEDEC J-STD-020D.1.
2. IPC/JEDEC J-STD-033B.1.
3. Hnatek, Eugene R.: Integrated circuit quality and reliability 2nd edition.
4. ČSN EN 60749-20-1 Součástky citlivé na teplo a vlhkost.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Milan Šíma  
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: 17. října 2011  
Termín odevzdání diplomové práce: 11. května 2012

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



  
Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

## **Anotace**

Předkládaná diplomová práce se zabývá součástkami citlivými na vlhkost, skladováním a manipulací s nimi ve výrobním procesu. Seznamuje s riziky těchto součástek při pájení přetavením. Uvádí třídy citlivosti součástek na vlhkost a postup klasifikace součástek do těchto tříd pomocí měření, včetně návrhu laboratorní úlohy pro zkušební měření na součástkách citlivých na vlhkost. Dále popisuje systém řízení kvality ve společnosti Integrated Microelectronics a poskytuje návrh pro zakomponování kontroly součástek citlivých na vlhkost do tohoto systému.

## **Klíčová slova**

relativní vlhkost, proces přetavení, řízení kvality, elektronická součástka, substrát, pouzdro

## **Abstract – Moisture sensitive devices, its measurement and control in production.**

This master thesis deals with the moisture-sensitive components, their storage and handling in the manufacturing process. Introduces the risks of these components during the reflow soldering. Specifies moisture sensitivity levels and their classification process by measurement, including a proposal for laboratory measurement on components sensitive to moisture. It also describes the quality management system at Integrated Microelectronics company and provides a blueprint for implementation of moisture sensitive component control into the quality management system.

### **Key words**

relative humidity, reflow assembly, quality management, electronic device, substrate, package

## **Prohlášení**

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

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

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

V Plzni dne 10.5.2012

Pinc Jakub

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Milanu Šimovi, Ing. Jířímu Kelemenovi a Ing. Pavlu Zavadřákovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

# Obsah

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>1 PROBLEMATIKA MSD</b> .....	<b>9</b>
1.1 VLHKOST A JEJÍ VLIV NA ELEKTRONICKÉ SOUČÁSTKY .....	9
1.2 VADY ZPŮSOBENÉ VLHKOSTÍ .....	10
1.3 HMOTNOSTNÍ ZISK .....	11
1.4 FLOOR LIFE .....	11
1.5 VYSOUŠENÍ KOMPONENT .....	12
1.6 OBNOVA FLOOR LIFE .....	12
1.6.1 <i>Obal s bariérou proti vniknutí vlhkosti</i> .....	15
1.6.2 <i>Skříň se suchou atmosférou</i> .....	16
1.6.3 <i>Skříň s dusíkem</i> .....	17
<b>2 MĚŘENÍ STUPNĚ CITLIVOSTI MSD</b> .....	<b>18</b>
2.1 POŽADOVANÉ VYBAVENÍ .....	18
2.1.1 <i>Testovací vzorky</i> .....	18
2.1.2 <i>Zařízení pro testování</i> .....	18
2.2 TESTOVÁNÍ VZORKŮ .....	19
2.2.1 <i>Elektrická zkouška a počáteční prohlídka</i> .....	20
2.2.2 <i>Zvlhčování vzorku</i> .....	20
2.2.3 <i>Test přetavením</i> .....	21
2.2.4 <i>Finální prohlídka</i> .....	23
2.3 ANALÝZA HMOTNOSTNÍHO ZISKU .....	24
2.3.1 <i>Absorpční křivka</i> .....	25
<b>3 NÁVRH LABORATORNÍ ÚLOHY</b> .....	<b>26</b>
3.1 VOLBA ZKUŠEBNÍCH SOUČÁSTEK .....	26
3.2 EXPOZICE V KLIMATICKÉ KOMOŘE A PŘETAVENÍ .....	26
3.2.1 <i>Expozice v klimatické komoře</i> .....	26
3.2.2 <i>Přetavení</i> .....	27
3.3 OPTICKÁ KONTROLA A FUNKČNÍ TEST .....	28
3.4 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ .....	28
3.5 NÁVRH VHODNÉ SOUČÁSTKY PRO LABORATORNÍ ÚLOHU .....	31
<b>4 NÁVRH SYSTÉMU ŘÍZENÍ MANIPULACE S MSD</b> .....	<b>32</b>
4.1 SPOLEČNOST INTEGRATED MICRO-ELECTRONICS .....	32
4.2 SYSTÉMY ŘÍZENÍ KVALITY .....	33
4.3 PROCESNÍ PŘÍSTUP .....	33
4.3.1 <i>Řízení kvality</i> .....	34
4.3.2 <i>Výroba</i> .....	35
4.3.3 <i>Dodavatelský řetězec</i> .....	36
4.4 NÁVRH INSTRUKCE PRO MANIPULACI S MSD .....	37
4.4.1 <i>Popis výchozího stavu</i> .....	37
4.4.2 <i>Zavedení systému značení MSD</i> .....	38
4.4.3 <i>Opětovné použití MSD komponentů umístěných v udržovací skříni</i> .....	41
4.5 PŘÍNOSY .....	41
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>42</b>



## **Úvod**

V dnešní době, kdy je elektronika vyráběna ve velkých sériích, se na výrobních linkách využívá především pájení přetavením. Tento typ pájení, přestože je rychlý a snadno využitelný pro hromadnou výrobu, s sebou přináší některé nevýhody. Jednou z nich je i vysoká pájecí teplota, které jsou součástky vystaveny. Tato teplota může snižovat spolehlivost a životnost součástek citlivých na vlhkost. Z toho důvodu je třeba manipulaci se součástkami citlivými na vlhkost věnovat zvýšenou pozornost.

V první části práce se nachází informace o tom, co jsou součástky citlivé na vlhkost, jak na ně vlhkost působí a co způsobuje. Dále jsou pak popsány způsoby bezpečné manipulace a skladování těchto součástek dle příslušných standardů.

Druhá část popisuje postup při klasifikaci součástek do kategorií citlivosti na vlhkost. Uvádí přehled požadovaného vybavení a požadovaných parametrů zkoušek, které je třeba při klasifikaci dodržet.

Další částí práce je popis postupu měření součástek citlivých na vlhkost v univerzitních laboratořích za účelem stanovení vhodných součástek pro laboratorní úlohu.

Poslední část práce se věnuje návrhu řízení manipulace se součástkami citlivými na vlhkost ve společnosti Integrated Micro-electronics. V této části se nachází přehled o systému řízení kvality a jeho zdokonalení pomocí zavedení navrhovaného řízení manipulace se součástkami citlivými na vlhkost.

## **1 Problematika MSD**

Tato část seznamuje s problematikou působení vlhkosti na elektronické součástky citlivé na vlhkost (MSD z „Moisture Sensitive Devices“) a riziky, které to s sebou přináší. Dále pak uvádí metody, jakými lze tyto součástky bezpečně skladovat a manipulovat s nimi ve výrobním procesu.

### **1.1 Vlhkost a její vliv na elektronické součástky**

Vlhkost je výraz pro množství vody ve formě vodní páry ve vzduchu. Množství vodních par je proměnlivé a závisí na geografické poloze a na ročním období. Hmotnost vodní páry obsažená v jednotce vzduchu se nazývá absolutní vlhkost. Pro běžné použití se ovšem nepoužívá vyjádření v absolutní vlhkosti, ale vlhkost vzduchu vyjadřujeme jako relativní vlhkost. Relativní vlhkost vzduchu udává poměr mezi množstvím vodních par ve vzduchu a množstvím vodních par, které by měl vzduch při plném nasycení za stejného tlaku a teploty. Relativní vlhkost se uvádí v procentech (např. 60% RH).

Vlhkost ovlivňuje materiály, na které působí. Plastová pouzdra SMD (Surface Mount Devices) absorbují vlhkost ze vzduchu. Použití SMD se rapidně rozšiřuje z důvodu miniaturizace a automatizace výroby elektroniky. Při hromadné výrobě se nejčastěji součástky pájí využitím technologie pájení přetavením. Při pájení přetavením se nejprve nanáší pájecí pasta na desku plošných spojů, poté se na desku rozmístí součástky a celek se zahřívá působením tepelné energie, při kterém dochází k přetavení pájecího materiálu. Při zahřívání celku ovšem dochází také k zahřívání součástek a tedy k zahřívání vodních par, které jsou obsaženy v plastových pouzdrech součástek. Toto zahřívání zvyšuje vnitřní tlak vodní páry uvnitř plastového pouzdra a může způsobit prasklinu, trhlinu nebo jiný negativní efekt plastového pouzdra součástky, ale také například vývodů součástky nebo samotného čipu součástky.

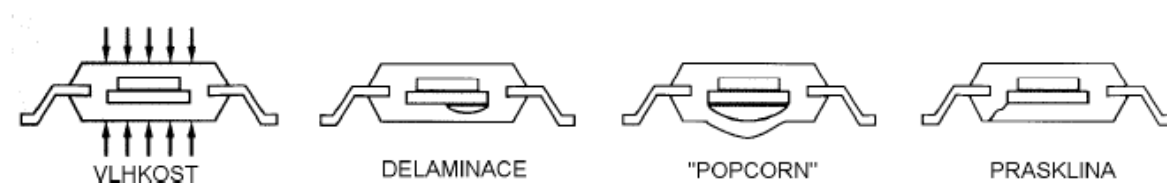
Citlivost elektronických součástek na vlhkost závisí na velikosti plastového pouzdra a rozměrech součástky. Typickým příkladem součástky citlivé na vlhkost jsou součástky s pouzdem BGA (Ball Grid Array).

## 1.2 Vady způsobené vlhkostí

SMD součástky jsou při montáži pájení přetavením vystaveny teplotám 220 až 235°C. Pro SMD součástky se využívá pájení v párách, přetavení infračerveným zářením a pájení nuceným prouděním.

Plastový kryt součástky absorbuje vlhkost ze vzduchu. Vysoké teploty při pájení přetavením způsobují rychlou expanzi vlhkosti, při které se zvyšuje vnitřní tlak. Zvýšený vnitřní tlak uvnitř pouzdra součástky může způsobit následující poškození součástky.

- a) Mikroprasklina pouzdra
- b) Prasklina pouzdra
- c) Delaminace substrátu od pouzdra
- d) „Popcorning“



Obrázek 1: Vady způsobené vlhkostí [obr. 1]

Delaminace je oddělení plastového pouzdra od substrátu součástky. Pokud se vnitřní tlak nadále zvyšuje i po delaminaci, může s velkou pravděpodobností dojít k zvětšení bubliny a vyboulení pouzdra. Tento jev je nazýván „popcorning“. Namáhání materiálu pouzdra součástky při delaminaci a popcorningu může způsobit mikropraskliny. Mikropraskliny jsou trhliny ve vnitřní struktuře pouzdra a mohou se zvětšovat. V nejhorším případě se mikroprasklina dostane až k povrchu pouzdra součástky. V tomto případě hovoříme prasklině. Praskliny pouzdra mohou za přítomnosti vodní páry vést ke korozi a při dlouhodobější expozici mohou vést k poškození vodičů uvnitř pouzdra součástky. K prasklinám dochází nejčastěji na spodní straně součástky, protože je zde nejslabší stěna plastového pouzdra. Při porušení pouzdra se také může uvolnit substrát součástky a to může vést k porušení vývodů vlivem pohybu substrátu. [4]

Zatímco u většiny součástek lze vady, které ovlivňují jejich funkci, odhalit ještě před montáží, u MSD se vnitřní defekty projeví až selháním výsledného výrobku. Součástky s externím defektem mohou projít testy funkčnosti bez jakékoliv indikace problému.

Výrobci musí věnovat pozornost manipulaci a skladování součástek citlivých na vlhkost, aby mohli maximalizovat kvalitu výrobků. [3]

### **1.3 Hmotnostní zisk**

Součástka je nevyhovující v okamžiku, kdy absorbuje dostatečné množství vlhkosti, které by při procesu přetavení mohlo způsobit defekt. Vodní pára, kterou obsahuje plastové pouzdro, zvyšuje hmotnost součástky. Hmotnost vodní páry vyjadřujeme v procentech váhy vysušené součástky a nazýváme jej hmotnostní zisk. Nebezpečí vzniku defektu vlivem vlhkosti vzniká při různých hodnotách hmotnostního zisku, v závislosti na velikosti, materiálu a tvaru pouzdra součástky. Stav, kdy součástka obsahuje dostatek vlhkosti pro vznik defektu během přetavení, se jmenuje saturace. Většina součástek citlivých na vlhkost dosahuje saturace při 0,3 – 0,4% hmotnostního zisku. Hmotnostní zisk je podrobněji přiblížen v kapitole 2.3 Analýza hmotnostního zisku.

### **1.4 Floor life**

Pod pojmem floor life rozumíme maximální povolenou dobu mezi vyndáním součástky z ochranného balení a pájením. SMD pouzdra citlivá na vlhkost, která jsou vystavena vlhkosti po dobu, která překračuje jejich floor life, nesmí být použita pro montáž. Takové součástky je nutné opět vysušit a tím resetovat floor life. Tabulka 1 udává floor life součástek podle kategorie citlivosti na vlhkost za standardních podmínek  $\leq 30^{\circ}\text{C}/60\% \text{ RH}$ . Pokud nastanou podmínky prostředí jiné, např. vyšší teplota nebo vyšší vlhkost vzduchu, je třeba údaje z tabulky 1 modifikovat. Tyto modifikované hodnoty jsou uvedeny v příloze 1. [2]

**Tabulka 1: Floor life dle kategorií citlivosti na vlhkost [2]**

Kategorie	Floor Life (mimo obal) za okolních podmínek $\leq 30^{\circ}\text{C}/60\%\text{RH}$
1	Neomezený při $\leq 30^{\circ}\text{C}/85\%\text{RH}$
2	1 rok
2a	4 týdny
3	168 hodin
4	72 hodin
5	48 hodin
5a	24 hodin
6	Povinné vypéct před použitím. Časový limit pro montáž po vypečení specifikován na štítku.

## 1.5 Vysoušení komponent

Směrnice pro třídění, manipulaci a balení součástek citlivých na vlhkost jsou stanoveny v normě IPC/JEDEC J-STD-033. Tato norma definuje kategorie součástek podle jejich citlivosti na vlhkost a maximální přípustné době vystavení vlhkosti. Dále definuje požadavky na vysoušení, balení a manipulaci.

Součástky citlivé na vlhkost, které byly vystaveny relativní vlhkosti vzduchu menší než 60%, lze vysušit dle standardů za vysoké teploty řádově v hodinách nebo za nízké teploty řádově ve dnech. Správné vysoušení obnoví floor life, ale může být nákladné a časově náročné. Například součástka 4. kategorie (72 hodin floor life při  $30^{\circ}\text{C}/60\%\text{RH}$ ) musí být vysoušen 34 hodin při  $125^{\circ}\text{C}$  nebo 47 dní při  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $\leq 5\%\text{RH}$ . Požadavky na správné vysoušení mohou zapříčinit pokles produkce ve výrobach s velkou různorodostí výroby. Harmonogram vysušování komponent musí také zajistit dostupnost dostatečného množství součástek pro výrobu. Zahřívání součástek při vysoušecím procesu také zvyšuje oxidaci vývodů a snižuje tak jejich pážitelnost. [3]

## 1.6 Obnova floor life

Součástky, které byly vystaveny vlhkosti, lze opět vysušit a tím znovu obnovit jejich floor life. Způsob vysušování závisí na teplotě a vlhkosti vzduchu, které byly součástky vystaveny, na době expozice a na kategorii součástky. Součástky vystavené vlhkosti lze vždy vysušit pečením v peci. Vysoušení v peci probíhá zpravidla při teplotách  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $90^{\circ}\text{C}$  a  $125^{\circ}\text{C}$ . V některých případech, pokud doba

expozice nepřekročí hodnotu udávanou v normě, lze u součástek obnovit floor life i bez vypékání v peci. Rozhodná doba expozice je 12 hodin u součástek kategorie 2, 2a, 3 a 8 hodin u součástek kategorie 4, 5, 5a za standardních podmínek  $\leq 30^{\circ}\text{C}/60\% \text{RH}$ . Expozice nepřesahující rozhodnou dobu se nazývá krátkodobá expozice. V opačném případě, po překročení rozhodné doby, mluvíme o dlouhodobé expozici. Podmínky expozice a příslušný způsob obnovy floor life, udává tabulka 2.

**Tabulka 2: Obnovení/pozastavení floor life [2]**

Kategorie	Doba expozice teplota/vlhkost	Floor life	Doba a vlhkost při vysoušení	Pečení
2,2a,3,4,5,5a	libovolná $\leq 40^{\circ}\text{C}/85\% \text{RH}$	obnovení	-	Tabulka 3
2,2a,3,4,5,5a	> floor life $\leq 30^{\circ}\text{C}/60\% \text{RH}$	obnovení	-	Tabulka 3
2,2a,3	> 12 hodin $\leq 30^{\circ}\text{C}/60\% \text{RH}$	obnovení	-	Tabulka 3
2,2a,3	$\leq 12$ hodin $\leq 30^{\circ}\text{C}/60\% \text{RH}$	obnovení	5x doba expozice $\leq 10\% \text{RH}$	Nepotřebné
4,5,5a	> 8 hodin $\leq 30^{\circ}\text{C}/60\% \text{RH}$	obnovení	-	Tabulka 3
4,5,5a	$\leq 8$ hodin $\leq 30^{\circ}\text{C}/60\% \text{RH}$	obnovení	10x doba expozice $\leq 5\% \text{RH}$	Nepotřebné
2,2a,3	kumulativní čas $\geq$ floor life $\leq 30^{\circ}\text{C}/60\% \text{RH}$	pozastavení	libovolná $\leq 10\% \text{RH}$	Nepotřebné

V případě dlouhodobé expozice je možné obnovit floor life pouze vysušením pomocí pečení. Podmínky pro vysušování součástek pečením jsou uvedeny v tabulce 3.

**Tabulka 3: Podmínky pro vysoušení MSD pečením [2]**

Tělo součástky	Kategorie	Pečení při 125°C		Pečení při 90°C ≤ 5% RH		Pečení při 40°C ≤ 5% RH	
		Překročení floor life o > 72 h	Překročení floor life o ≤ 72 h	Překročení floor life o > 72 h	Překročení floor life o ≤ 72 h	Překročení floor life o > 72 h	Překročení floor life o ≤ 72 h
Tloušťka ≤ 1.4 mm	2	5 h	3 h	17 h	11 h	8 d	5 d
	2a	7 h	5 h	23 h	13 h	9 d	7 d
	3	9 h	7 h	33 h	23 h	13 d	9 d
	4	11 h	7 h	37 h	23 h	15 d	9 d
	5	12 h	7 h	41 h	24 h	17 d	10 d
	5a	16 h	10 h	54 h	24 h	22 d	10 d
Tloušťka > 1.4 mm ≤ 2.0 mm	2	18 h	15 h	63 h	2 d	25 d	20 d
	2a	21 h	16 h	3 d	2 d	29 d	22 d
	3	27 h	17 h	4 d	2 d	37 d	23 d
	4	34 h	20 h	5 d	3 d	47 d	28 d
	5	40 h	25 h	6 d	4 d	57 d	35 d
	5a	48 h	40 h	8 d	6 d	79 d	56 d
Tloušťka > 2.0 mm ≤ 4.5 mm	2	48 h	48 h	10 d	7 d	79 d	67 d
	2a	48 h	48 h	10 d	7 d	79 d	67 d
	3	48 h	48 h	10 d	8 d	79 d	67 d
	4	48 h	48 h	10 d	10 d	79 d	67 d
	5	48 h	48 h	10 d	10 d	79 d	67 d
	5a	48 h	48 h	10 d	10 d	79 d	67 d
BGA > 17 x 17 mm	2-6	96 h	Jak je uvedeno výše dle tloušťky a kategorie*	-	Jak je uvedeno výše dle tloušťky a kategorie*	-	Jak je uvedeno výše dle tloušťky a kategorie*

\*Doba vysoušení se určí z tabulky podle tloušťky těla součástky

Pokud součástky splní podmínky stanovené pro krátkodobou expozici tj. expozice po dobu méně jak 8 hodin (MSL 4,5,5a) nebo méně jak 12 hodin (MSL 2,2a,3), je možné obnovit floor life vysušením při nízké teplotě bez nutnosti pečení. Tato metoda ušetří výrobcům spoustu času. Při tomto vysoušení navíc nehrozí zvýšená oxidace vývodů součástek.

Norma udává tři způsoby vysoušení bez použití vysoušecí pece:

- a) Vysušení v balení s bariérou proti vniknutí vlhkosti
- b) Skříň se suchou atmosférou
- c) Skříň s dusíkem

### 1.6.1 Obal s bariérou proti vniknutí vlhkosti

Obal s bariérou proti vniknutí vlhkosti (dále MBB z „Moisture Barrier Bag“) je antistatický sáček odolávající okolní vlhkosti. Uvnitř MBB musí být vždy umístěno vysoušedlo a indikátor vlhkosti.



Obrázek 2: Kompletní balení s ochranou proti vlhkosti [obr. 2]

Obal musí splňovat standard MIL-PRF-81705, TYPE I pro pružnost, ESD ochranu, mechanickou pevnost a odolnost proti proražení. MBB se uzavírá zatavením. Nejdůležitějším parametrem MBB je míra vodní páry, která projde specifickou oblastí materiálu (dále WVTR z „Water Vapour Transmission Rate“). WVTR se měří podle normy ASTM F 1249. WVTR obalů pro součástky citlivé na vlhkost musí být menší než  $0.03 \text{ g/m}^2$  za 24 hodin při okolní teplotě  $40^\circ\text{C}$ .

Vysoušedlo je materiál pohlcující vlhkost, který se vkládá do MBB. Požadované parametry vysoušedla stanovuje norma MIL-D-3464, TYPE II. Vysoušedlo musí být



bezprašné, nekorozivní a pohlcující v množství stanoveném normou. V MBB musí být dostatek vysoušedla pro zajištění vnitřní vlhkosti <10% při 25°C. Jednotkou množství je „UNIT“. UNIT je množství vysoušedla, které absorbuje 2,85g vodní páry při 20% vlhkosti vzduchu a teplotě 25°C.

Indikátor vlhkosti je karta s minimálně třemi barevnými body s hodnotami citlivosti 5%, 10% a 60% RH. Tyto body indikují vlhkost výraznou změnou odstínu barvy. Význam jednotlivých barev musí být popsán přímo na kartě. Karta by měla být vyrobena z celulózového materiálu s minimální hmotností 300g/m<sup>2</sup>. [2]

### **1.6.2 Skříň se suchou atmosférou**

Pro vysoušení a také uskladnění součástek lze použít skříň s řízenou vlhkostí. Pro skladování součástek citlivých na vlhkost rozlišujeme dva typy skříní a to skříň s 5% RH a skříň s 10% RH. Uskladnění součástek citlivých na vlhkost ve skladovací skříni s 5% RH lze považovat za stejné jako uložení v MBB. U součástek uložených ve skříni s 10% RH je nutné dodržet časové limity podle přílohy 1. [2]



**Obrázek 3: Skříň s ochrannou atmosférou [obr. 3]**

### **1.6.3 Skříň s dusíkem**

Ochranná dusíková atmosféra má na rozdíl od atmosféry vzduchové velmi nízký obsah vodních par. Úroveň relativní vlhkosti se u dusíkové atmosféry pohybuje od 1% RH do 5% RH. Skříň se po uzavření samočinně propláchne dusíkem s průtokem až 600l/min. Trvale je pak udržován uvnitř skříně přetlak dusíku s nastavitelným průtokem. Skříň s ochrannou dusíkovou atmosférou potřebuje ke svému provozu zdroj suchého filtrovaného dusíku, nejlépe odparem kapalného dusíku.

Vlhkost atmosféry uvnitř skříně nižší než 5% umožňuje časově neomezené skladování elektronických součástek všech kategorií.

## **2 Měření stupně citlivosti MSD**

Následující kapitola je zaměřena na klasifikaci součástek do příslušných kategorií citlivosti na vlhkost. Klasifikace nebo také re-klasifikace se provádí pomocí specifického testování dle IPC/JEDEC J-STD 020D.1.

### **2.1 Požadované vybavení**

Ke klasifikaci součástek je potřeba sada vzorků, na nichž provádíme testování a vhodná zařízení pro samotné testy. [1]

#### **2.1.1 Testovací vzorky**

Součástky, u kterých známe kategorii citlivosti na vlhkost, a budou reklasifikovány bez dalšího testování spolehlivosti, je třeba použít testovací vzorek obsahující minimálně 22 kusů součástek pro každou úroveň citlivosti.

Pro klasifikaci nebo reklasifikaci součástek včetně testování spolehlivosti postačuje testovací vzorek zahrnující 11 kusů součástek pro každou úroveň citlivosti.

#### **2.1.2 Zařízení pro testování**

##### **Klimatizační komora**

Pro navlhčování testovaných vzorků se využívá klimatizačních komor. Použitá klimatizační komora musí být schopná trvale udržet podmínky 85°C/85%RH, 85°C/60%RH, 60°C/60%RH, 30°C/60%RH. Uvnitř klimatizační komory je dovolena tolerance teploty  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  a relativní vlhkosti  $\pm 3\%\text{RH}$ .

##### **Vysoušecí komora**

K vysoušení testovaných vzorků je nutné použít vysoušecí pec, která pracuje při teplotě 125  $\pm 5/-0^{\circ}\text{C}$ .

## **Pec pro přetavení**

Pro zkušební zahřívání součástek se používá zařízení pro pájení přetavením nebo zařízení pro přetavení infračerveným zářením. U přetavení infračerveným zářením je důležité, aby záření ohřívalo pouze vzduch a ne přímo testované vzorky.

## **Mikroskopy**

Optická zkouška vyžaduje optický mikroskop s maximálním sto-násobným zvětšením. Optický mikroskop se využívá pro vnější kontrolu součástky.

Pro kontrolu vnitřní struktury součástky se používá akustický mikroskop. Musí být schopen měřit delaminaci minimálně 5% měřené plochy.

## **Zařízení pro elektrické testy**

Pro provedení elektrických testů na vzorcích, pro ověření elektrických parametrů součástek, lze využít typické laboratorní měřicí přístroje jako voltmetry, ampérmetry, wattmetry, napájecí zdroje, osciloskopy.

## **Měření teploty**

Během zahřívání součástek přetavením nebo infračerveným zářením je potřeba přesně a nepřetržitě měřit teplotu vzorků. K tomuto účelu lze použít tepelné měřicí sondy nebo termočlánky dle JEP140.

## **2.2 Testování vzorků**

Vzorky mohou být testovány z různých důvodů. Mezi nejčastější důvody patří ověření zařazení součástky do správné kategorie citlivosti na vlhkost, stanovení kategorie pro novou součástku nebo přehodnocení kategorie.

Kategorie citlivosti na vlhkost jsou klasifikovány pro určitou teplotu, které tělo součástky může dosáhnout při pájení přetavením. Tenké součástky s malým objemem dosahují vyšší teploty těla než součástky s většími rozměry a větším objemem. Velikosti součástek a příslušné teploty, pro kterou jsou klasifikovány, jsou uvedeny v tabulce 4 a tabulce 5. [1]

**Tabulka 4: Klasifikační teploty – olovnaté pájky [1]**

Tloušťka těla	Objem < 350 mm <sup>3</sup>	Objem ≥ 350 mm <sup>3</sup>
< 2,5 mm	235 °C	220 °C
≥ 2,5 mm	220 °C	220 °C

**Tabulka 5: Klasifikační teploty - bezolovnaté pájky [1]**

Tloušťka těla	Objem těla < 350 mm <sup>3</sup>	Objem těla 350 - 2000 mm <sup>3</sup>	Objem těla > 2000 mm <sup>3</sup>
< 1,6 mm	260 °C	260 °C	260 °C
1,6 - 2,5 mm	260 °C	250 °C	245 °C
> 2,5 mm	250 °C	245 °C	245 °C

### 2.2.1 Elektrická zkouška a počáteční prohlídka

První fází testování vzorků je provedení vstupních zkoušek všech vzorků. Každá součástka musí projít elektrickým testem, při kterém se ověřují elektrické parametry součástky udávané výrobcem v katalogu. Všechny součástky, které nevyhovují, musí být vyměněny tak, aby byl dodržen minimální počet testovaných součástek v každém vzorku.

Pokud všechny součástky projdou elektrickým testováním, tak následuje počáteční prohlídka součástek. Ta se provádí optickým mikroskopem při 40-ti násobném zvětšení. Při optické prohlídce zkoumáme vnější integritu součástky a kontrolujeme, zda neobsahuje praskliny, trhliny nebo delaminaci. Stejnou kontrolu poté provádíme akustickým mikroskopem za účelem odhalení delaminace ve vnitřní struktuře součástky. Všechny součástky obsahující delaminaci nebo defekty ve struktuře materiálu musí být vyměněny za nové. Tyto nové součástky musí opět projít elektrickým testem a počáteční prohlídkou. [1]

### 2.2.2 Zvlhčování vzorku

Vzorek, skládající se z požadovaného počtu součástek, které prošly počáteční kontrolou, je třeba vysušit. Vysoušení je důležité pro odstranění přebytečné počáteční vlhkosti, aby tato vlhkost neovlivnila následné zvlhčování v klimatické

komoře. Vysoušení se provádí ve vysoušecí peci při teplotě 125 +5/-0°C po dobu minimálně 24 hodin.

Vysušené součástky je třeba umístit do čisté, suché a mělké nádoby tak, aby se vzájemně nedotýkaly a nepřekrývaly. Součástky vložíme do klimatické komory a vystavíme podmínkám uvedeným v tabulce 6. [1]

**Tabulka 6: Podmínky pro zvlhčování [1]**

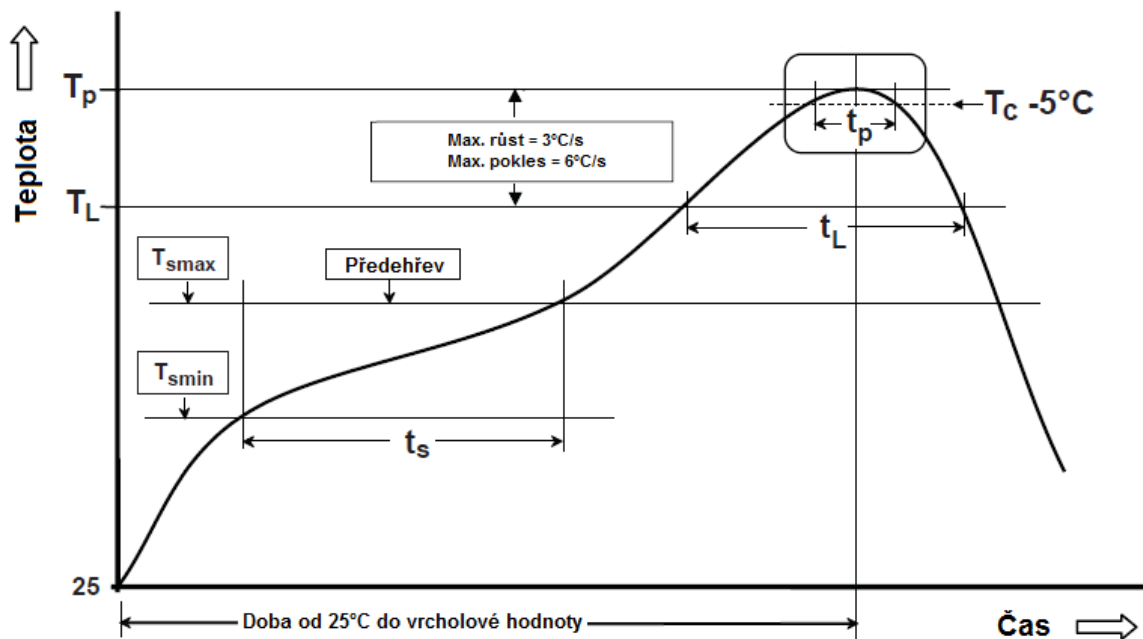
Kategorie	Požadavky pro vlhčení	
	Doba [hod]	Podmínky
1	168 +5/-0	85°C/85% RH
2	168 +5/-0	85°C/60% RH
2a	696 +5/-0	30°C/60% RH
3	192 +5/-0	30°C/60% RH
4	96 +2/-0	30°C/60% RH
5	72 +2/-0	30°C/60% RH
5a	48 +2/-0	30°C/60% RH
6	Doba na štítku*	30°C/60% RH

\*U kategorie 6 je floor life a tedy i doba potřebná pro zvlhčování uvedena na štítku na balení součástky

### 2.2.3 Test přetavením

Test přetavením simuluje proces pájení přetavením na zkoušených vzorcích. Test je třeba provést minimálně 15 minut a maximálně 4 hodiny po vyjmutí součástek z klimatické komory. V tomto časovém rozmezí musíme součástky podrobit testu přetavením celkem třikrát. Jednotlivé testy musí být odděleny časovou prodlevou minimálně 5 a maximálně 60 minut. Při nedodržení těchto podmínek je třeba součástky opět vysušit a znovu zvlhčit v klimatické komoře.

Průběh teploty součástky při simulaci pájení přetavením je zobrazen na obrázku 4.



Obrázek 4: Graf zahřívání testovaných součástek [obr. 4]

Oblast mezi teplotami  $T_{smin}$  a  $T_{smax}$  se nazývá oblast předeheřevu. Teplota těla součástky musí vzrůst z  $T_{smin}$  na  $T_{smax}$  za dobu  $t_s$ . Teplotu těla lze měřit teplotní měřící sondou připevněnou k součástce nebo například termokamerou. Od teploty tání pájky  $T_L$  k vrcholové teplotě  $T_p$  lze teplotu navyšovat maximálním tempem růstu  $3^\circ\text{C}$  za sekundu. Vrcholová teplota  $T_p$  závisí na rozměrech součástky dle tabulky 4 a 5. Doba trvání vrcholové teploty  $t_p$  je čas, kdy se teplota součástky pohybuje nad teplotou o  $5^\circ\text{C}$  nižší než je vrcholová teplota součástky  $T_p$ . Při ochlazování součástky je opět třeba dodržet maximální tempo poklesu  $6^\circ\text{C}$  za sekundu. Tato rychlost ochlazování platí až do dosažení teploty  $T_s$ . Celý proces zahřívání ze standardní teploty ( $25^\circ\text{C}$ ) až do vrcholové teploty  $T_p$  je časově omezen. Všechny konkrétní hodnoty teplot a časů jsou uvedeny v tabulce 7.

**Tabulka 7: Hodnoty pro simulaci pájení přetavením [1]**

Vlastnost průběhu	Olovnaté pájky	Bezolovnaté pájky
<b>Přehřev</b> Min. teplota [ $T_{smin}$ ] Max. teplota [ $T_{smax}$ ] Čas od $T_{smin}$ do $T_{smax}$	100°C 150°C 60-120 sekund	150°C 200°C 60-120 sekund
Míra náběhu [ $T_L - T_P$ ]	max 3°C/sek	max 3°C/sek
Teplota tání [ $T_L$ ]	183°C	217°C
Čas $t_L$ pro $T > T_L$	60-150 sekund	60-150 sekund
Vrcholová teplota těla součástky [ $T_P$ ]	viz tabulka 4*	viz tabulka 5*
Čas $t_P$ pro $T > (T_P - 5^\circ\text{C})$	20 sekund**	30 sekund**
Míra poklesu [ $T_P - T_L$ ]	max 6°C/sek	max 6°C/sek
Čas od 25°C k vrcholu $T_P$	max 6 min	max 8 min
*uživatel používá hodnotu v tabulce jako maximální, zatímco dodavatel jako minimální **uvedený čas je pro uživatele maximální a pro dodavatele minimální		

## 2.2.4 Finální prohlídka

Po simulaci procesu pájení přetavením je nutné všechny testované součástky zkontrolovat. Při finální prohlídce se provádí stejné činnosti jako při prohlídce vstupní. Opět je třeba provést elektrický test a zkontrolovat katalogové parametry součástek. Vnější integrita pouzdra se zkoumá optickým mikroskopem a vnitřní integrita pouzdra se zkoumá akustickým mikroskopem pomocí ultrazvukových vln. Při prohlídce integrity pouzdra součástky hledáme následující defekty, které slouží jako kritéria pro posouzení úspěšnosti testu.

- a) vnější prasklina viditelná mikroskopem
- b) vnitřní prasklina přerušující nebo křížící vodivý spoj součástky
- c) vnitřní prasklina mezi jednotlivými prvky součástky
- d) vnitřní prasklina delší než 2/3 vzdálenosti od substrátu k povrchu pouzdra
- e) změna ve tvaru nebo rozměrech součástky

Pokud je alespoň u jedné ze součástek stejného typu finální prohlídkou prokázán nějaký z výše uvedených defektů, tato součástka testem neprošla



a pro stanovení třídy MSL je třeba celý test opakovat s podmínkami pro vyšší MSL kategorii o jeden stupeň.

Pokud finální prohlídka neprokáže žádný z výše uvedených defektů u všech součástek stejného typu, součástky prošly testem pro zvolenou třídu citlivosti na vlhkost.

### **2.3 Analýza hmotnostního zisku**

Pro posouzení množství vodních par, které obsahuje pouzdro součástky, se využívá analýza hmotnostního zisku. Při této analýze je třeba znát tzv. suchou váhu součástky a vlhkou váhu součástky. Suchá váha součástky je váha součástky, ze které již nelze odstranit další vlhkost při 125°C. Vlhká váha je váha součástky, která byla vystavena specifickým vnějším podmínkám. Hmotnostní zisk nebo také hmotnostní ztrátu počítáme jako průměrnou hodnotu celého vzorku. Vážíme tedy všechny součástky stejného typu najednou a výslednou hmotnost dělíme počtem součástek. Při posouzení času expozice počítáme hmotnostní zisk ze vztahu (1).

$$\begin{aligned} \text{finální hmotnostní zisk} &= (\text{vlhká váha} - \text{suchá váha})/\text{suchá váha} & (1) \\ \text{průběžný hmotnostní zisk} &= (\text{průběžná váha} - \text{suchá váha})/\text{suchá váha} \end{aligned}$$

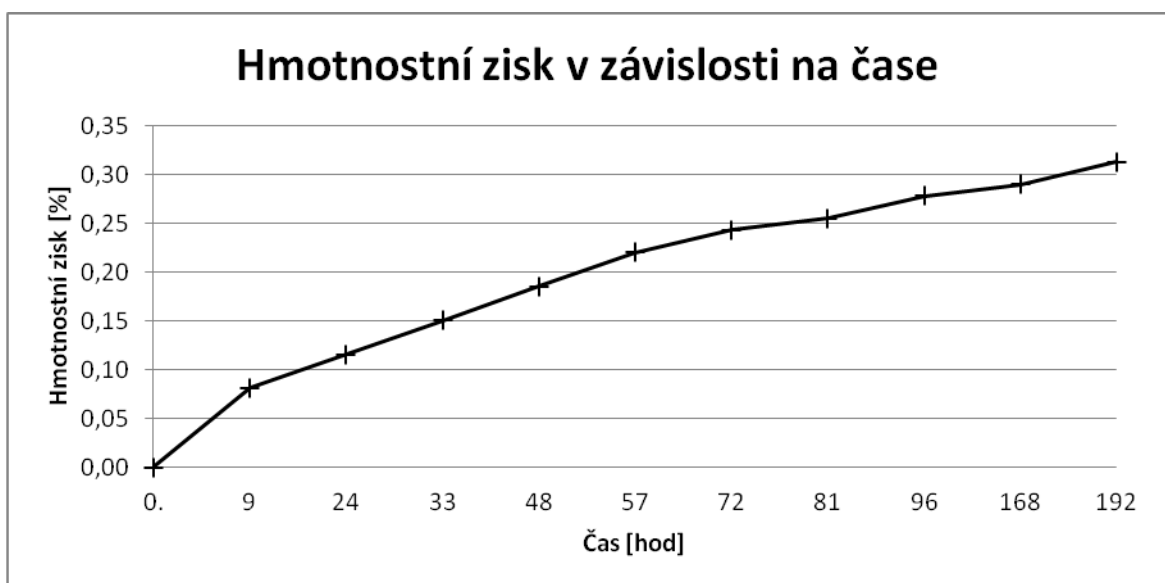
Pro posouzení nutnosti součástku vysušit a stanovení potřebného času pro vysušení počítáme hmotnostní ztrátu ze vztahu (2).

$$\begin{aligned} \text{finální hmotnostní ztráta} &= (\text{vlhká váha} - \text{suchá váha})/\text{vlhká váha} & (2) \\ \text{průběžná hmotnostní ztráta} &= (\text{vlhká váha} - \text{průběžná váha})/\text{vlhká váha} \end{aligned}$$

Suchá váha součástek se musí vždy stanovit jako první. Testované součástky je třeba vysušit pečením při 125°C po dobu 48 hodin. Po vyndání z pece se součástky nechají 15 minut stát a poté se pomocí mikrovah zváží suchá váha. Ostatní hmotnosti se poté měří stejným způsobem, vždy v časovém rozmezí 15-30 minut po vyndání z klimatické komory. Po zvážení se součástky musí umístit zpět do klimatické komory během jedné hodiny od vyjmutí.

### 2.3.1 Absorpční křivka

Absorpční křivka vyjadřuje závislost hmotnostního zisku na čase neboli rychlost absorbování vodních par pouzdrům součástky. Vodorovná osa reprezentuje čas, kdy počáteční intervaly by měly být malé (12 hodin), protože křivka má zpočátku rychlý nárůst. Ke konci se časové intervaly mohou prodloužit až na několikadenní (10 dní), protože křivka je na konci asymptotická. Svislá osa udává hmotnostní zisk. Začíná v hodnotě 0% (suchá váha) a končí v saturaci (0,3 – 0,4%).



Obrázek 5: Příklad naměřené absorpční křivky (operační zesilovač APX324TSG-13)

### **3 Návrh laboratorní úlohy**

Tato část práce popisuje test součástek citlivých na vlhkost, které jsem vystavil vlhkosti v klimatické komoře, přetavil a sledoval, zda se na součástkách objeví defekty pozorovatelné pod mikroskopem. Účelem měření je zjistit na jaké součástce nejnáze vznikají snadno pozorovatelné defekty.

#### **3.1 Volba zkušebních součástek**

Pro měření jsem vybral zástupce z 1. až 5. třídy citlivosti na vlhkost. Zkušební vzorek jsem zvolil tak, aby obsahoval součástky, u nichž lze jednoduchým měřením ověřit funkčnost (LED, kondenzátory), ale také integrované obvody s rozdílným počtem vývodů a geometrií pouzdra. Součástky jsou z důvodu snazší manipulace během měření označeny čísly 1 až 12.

MSL1: (1) LED LXML-PWC2, (2) Komparátor ADCMP370AKS

MSL2: (3) Multiplexor CD74ACT258M, (4) IO 74LVT162245MTD

MSL2a: (5) IO DS14185WM, (6) Fototranzistor VEMT2500X01

MSL3: (7) Operační zesilovač APX324TSG-13, (8) Kondenzátor 6SXB47M

MSL4: (9) Fotodioda BPW34S, (10) LED SML-LX0603IW-TR

MSL5: (11) Kondenzátor 50ST684MB33225, (12) SRAM IS62C1024AL-35QLI

Od každé součástky bylo objednáno 5 kusů. To hlavně z důvodů posouzení zda se nějaký defekt opakuje nebo se vyskytuje pouze ojediněle.

#### **3.2 Expozice v klimatické komoře a přetavení**

Umístěním součástek do klimatické komory a jejich následným přetavením jsem simuloval situaci, ke které by mohlo dojít ve výrobním procesu, pokud by nebyla žádným způsobem řízena manipulace se součástkami citlivými na vlhkost.

##### **3.2.1 Expozice v klimatické komoře**

Součástky jsem rozdělil do dvou skupin. První skupina jsou součástky třídy citlivosti 1 až 2a. Pro tuto skupinu odpovídá doba expozice 168 hodin v podmínkách 85°C/60% RH. Druhá skupina jsou součástky třídy citlivosti 3 až 5, které jsem

vystavil podmínkám 30°C/60% RH. U druhé skupiny se u každé třídy citlivosti na vlhkost liší doba expozice. Vzhledem k rozdílným podmínkám expozice a dostupnosti jedné klimatické komory, jsem měření prováděl ve dvou fázích. Všechny součástky jsem před umístěním do klimatické komory vysoušel 48 hodin při 125°C ve vysoušecí peci, jak požaduje norma.

**Tabulka 8: Údaje pro expozici součástek**

Měřicí skupina	Kategorie	Požadavky pro vlhčení	
		Doba [hod]	Podmínky
1.	1	168 +5/-0	85°C/60% RH
	2	168 +5/-0	85°C/60% RH
	2a	168 +5/-0	85°C/60% RH
2.	3	192 +5/-0	30°C/60% RH
	4	96 +2/-0	30°C/60% RH
	5	72 +2/-0	30°C/60% RH

Po vysušení součástek ve vysoušecí peci jsem součástky zvažil na vahách s rozlišením 0,1 mg. Vážil jsem vždy všech 5 kusů najednou celkem 3x po sobě. Výslednou hmotnost jsem vypočetl jako průměr tří změřených hmotností a tato hmotnost odpovídá tzv. suché váze. Po změření suché váhy jsem součástky umístil do klimatické komory.

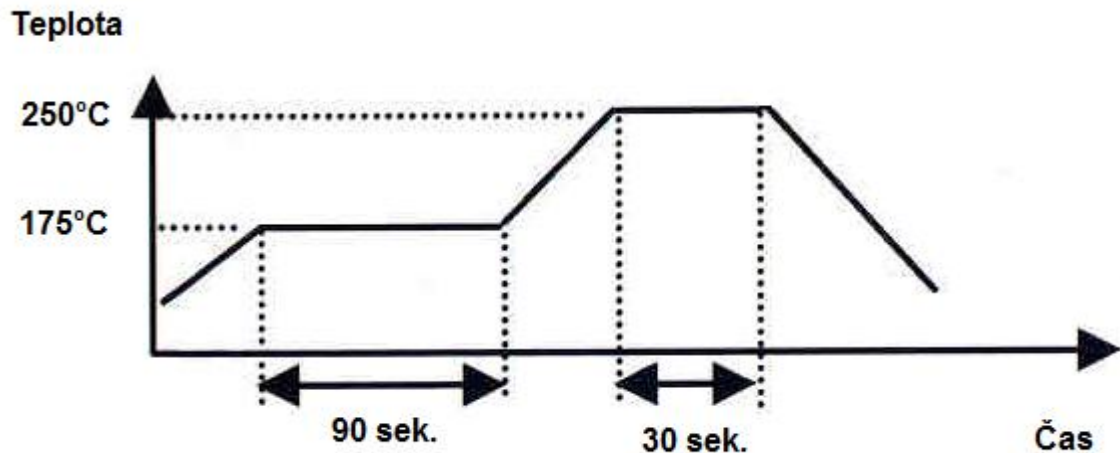
Průběžnou hmotnost součástek jsem měřil dvakrát denně stejným způsobem jako suchou hmotnost tj. všech 5 součástek jsem najednou zvažil 3x. Při průběžném měření hmotnosti je třeba součástky zvažit a vrátit do klimatické komory v rozmezí 15 – 60 minut.

Po uplynutí příslušné doby expozice, uvedené v tabulce 8, jsem součástky vyjmul, naposledy převážil a přetavil. Naměřené hmotnosti a vypočtený hmotnostní zisk je uveden v příloze 2 pro všechny součástky včetně grafické interpretace.

### 3.2.2 Přetavení

Přetavení součástek jsem prováděl v dvoupolohové, horkovzdušné přetavovací peci. Předehřev byl nastaven na 175°C po dobu 90 sekund a samotné přetavení na 250°C po dobu 30 sekund. Jeden cyklus přetavení nesměl přesáhnout dobu 8 minut.

Všechny součástky jsem přetavil vždy třikrát s přestávkou 5 minut mezi jednotlivými přetaveními.



Obrázek 6: Nastavené parametry pro přetavení [obr. 6]

### 3.3 Optická kontrola a funkční test

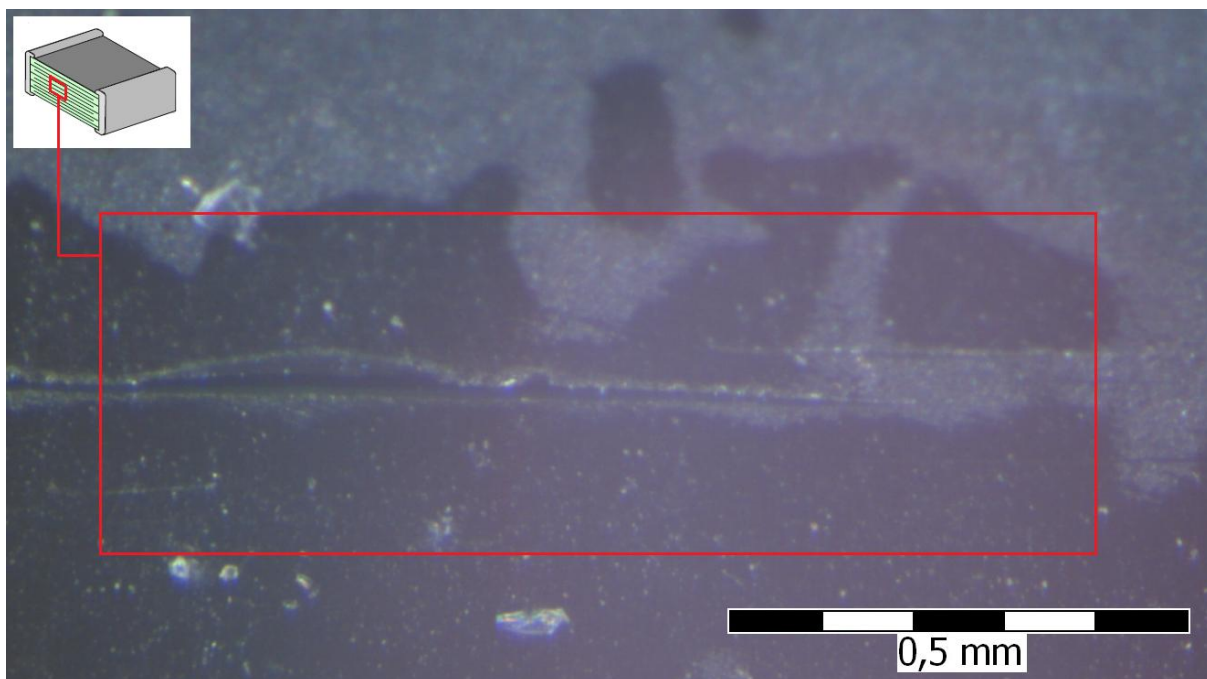
Optickou kontrolu součástek jsem provedl mikroskopem s maximálním 126-násobným zvětšením. Všechny součástky jsem prohlédl ze všech stran a hledal známky defektů.

Ověření funkce součástek jsem provedl u kondenzátorů, fotodiod, fototranzistorů a LED diod. U kondenzátorů jsem změřil kapacitu a ztrátový úhel. Funkčnost fotodiod jsem ověřil pomocí multimetru, režimem pro měření diod. U fototranzistorů jsem zjišťoval vliv osvětlení na jeho ohmický odpor. Pro osvětlení jsem používal dva stavy - osvětlený stav a zakrytý stav (fototranzistor přelepen černou neprůhlednou páskou).

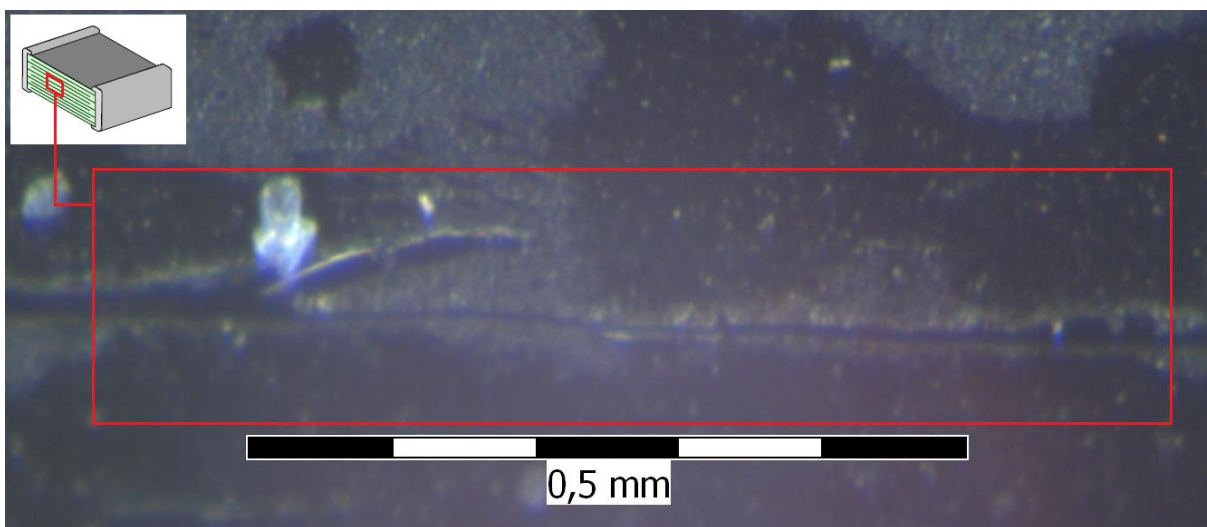
### 3.4 Zhodnocení výsledků

Většina součástek prošla zvlhčením a následným přetavením bez újmy. Při optické kontrole jsem našel praskliny na vrstveném polymerovém kondenzátoru 50ST684MB33225 (č. 11) třídy citlivosti na vlhkost 5. Kondenzátor je vrstvený a na boku součástky se po přetavení objevily praskliny ve směru jednotlivých vrstev kondenzátoru. Na obrázcích níže jsou zachyceny detaily na mikropraskliny v pouzdře

součástky. Podobné praskliny jsem našel na všech kusech tohoto typu a na obou stranách pouzdra.



Obrázek 7: Prasklina v pouzdře kondenzátoru



Obrázek 8: Prasklina v pouzdře kondenzátoru

Vznik prasklin bude s největší pravděpodobností způsoben slabou tloušťkou stěny kondenzátoru. Ta snadno absorbovala vlhkost, která při přetavení expandovala

a tím způsobila popraskání boční stěny. Na ostatních stranách kondenzátorů jsem žádné praskliny neobjevil.

Výrobce v dokumentaci uvádí nominální hodnotu kapacity kondenzátoru 0,68  $\mu\text{F}$ . Hodnotu ztrátového úhlu neuvádí. Tolerance hodnoty kapacity je  $\pm 20\%$ . Kapacita se tedy může pohybovat v rozmezí 0,54 - 0,81  $\mu\text{F}$ . Naměřené hodnoty kapacity kondenzátorů po přetavení jsou v tabulce 9.

**Tabulka 9: Naměřené parametry kondenzátorů 50ST684MB33225 po přetavení**

Kondenzátor č.	1.	2.	3.	4.	5.
Kapacita [ $\mu\text{F}$ ]	0,644	0,670	0,677	0,656	0,650
Ztrátový úhel [tg $\delta$ ]	0,0084	0,0083	0,0084	0,0083	0,0083

Všechny naměřené hodnoty odpovídají rozsahu tolerovaných kapacit, které udává výrobce. Mikropraskliny tedy neovlivňují funkci součástky ihned po přetavení. Tento fakt odpovídá teorii o součástkách citlivých na vlhkost. Defekt se ve většině případů neprojeví na funkci součástky ihned. Praskliny umožňují vlhkosti, aby se dostala dovnitř součástky, a tím snižuje její spolehlivost a zkracuje životnost. Defekt by se pravděpodobně projevil později selháním finálního zařízení.

Kapacitu jsem ověřil měřením také u druhého kondenzátoru 6SXB47M (č. 8), třídy citlivosti na vlhkost 3. U tohoto kondenzátoru jsem při optické kontrole nenalezl žádné defekty. Změřené kapacity jednotlivých kondenzátorů odpovídají kapacitě a toleranci, kterou udává výrobce.

Oba typy LED diod, červenou SML-LX0603IW-TR (MSL4) i bílou LXML-PWC2 (MSL1), jsem při otestování funkce připojil na regulovatelný laboratorní zdroj napětí se sériovým ochranným odporem. Při nastavených hodnotách napětí a proudu v propustném směru, podle údajů výrobce, všechny diody svítily.

**Tabulka 10: Testování funkce diod - parametry**

Typ	Uf [V]	Rs [ $\Omega$ ]	If [mA]
LED LXML PWC2	3	5	600
LED LX0603IW-TR	2	100	20

Funkčnost fototranzistorů VEMT2500X01 jsem ověřil změřením ohmického odporu mezi jeho vývody při plném denním osvětlení a pak při zakrytí světelně citlivé plochy. Odpor součástky při osvětlení denním světlem byl nižší než odpor součástky

při nízké úrovni osvětlení. Z toho lze usoudit, že fototranzistory fungují a nebyly porušeny.

Fotodiody BPW34S jsem měřil multimetrem, režimem pro měření diod. Fotodiody nevykazovaly žádné známky poruchy funkce a všechny měly při měření stejné výsledky.

### **3.5 Návrh vhodné součástky pro laboratorní úlohu**

Z výsledků optického testu a zkoušky funkce všech součástek jsem vyzoroval, že jediné součástky, které vykazují poškození způsobené přetavením navlhlé součástky, jsou kondenzátory 50ST684MB33225, třídy citlivosti na vlhkost 5. Všechny ostatní součástky prošly procesem zvlhčení a přetavení bez pozorovatelného nebo měřitelného poškození. Z tohoto důvodu jsem kondenzátor 50ST684MB33225 určil jako nejvhodnější součástku pro laboratorní měření součástek citlivých na vlhkost. Na této součástce byly defekty pozorovatelné ve 100% případech. Součástka není náročná na podmínky vlhčení v klimatické komoře. Stačí expozice při podmínkách 30°C/60% RH po dobu 72 hodin.



## 4 Návrh systému řízení manipulace s MSD

Následující kapitoly popisují systém řízení kvality ve společnosti Integrated Micro-electronics a návrh nové instrukce pro manipulaci se součástkami citlivými na vlhkost ve výrobě.

### 4.1 Společnost Integrated Micro-electronics

Společnost Integrated Micro-electronics (IMI) vznikla v roce 1980 spojením společností Ayala Corporation a Resins Inc. Dnes je IMI všeobecně uznávaným odborníkem v poskytování služeb v oblasti elektronické výroby (EMS), v montáži polovodičových a výkonových polovodičových součástek. IMI je nadnárodní společnost, která má celkem 17 výrobních závodů a prodejních poboček v Číně, Filipínách, Singapuru, Mexiku, USA, Bulharsku a v České republice (obrázek 9).



**Obrázek 9: Integrated Micro-electronics ve světě [obr. 9]**

Po celém světě má IMI přibližně 16 000 zaměstnanců a 245 000 m<sup>2</sup> výrobních ploch. V roce 2011 IMI koupila podniky společnosti EPIQ v Bulharsku, Mexiku a také podnik v České republice. Výrobní závod v České republice se nachází v obci Třemošná. Vznikl už v roce 1991 jako závod společnosti EPIQ. V IMI v Třemošné pracuje přibližně 110 zaměstnanců a podnik má 7740 m<sup>2</sup> výrobní plochy. Produkce obsluhuje především trh spotřební elektroniky, ale dodává také výrobky do automobilového průmyslu. [5]

V systému EMS má zákazník možnost dodat si své vlastní součástky. V takovém případě nese odpovědnost za kvalitu součástek sám zákazník. V opačném případě nese odpovědnost za kvalitu součástek dodavatel, u kterého IMI součástky objednává.

## **4.2 Systémy řízení kvality**

Integrated Micro-electronics je držitelem certifikace pro systém řízení kvality dle ISO 9001, ISO 14001 a ISO/TS 16949.

ISO 9001 je standard, který uvádí požadavky na systém řízení kvality. Organizace se musí orientovat na řízení procesů, to zahrnuje přesné identifikování hlavních i vedlejších procesů v organizaci, určení vazeb mezi jednotlivými procesy a zajištění jejich efektivního fungování. Standard také vyžaduje vedení dokumentace a samozřejmě dodržování příslušné legislativy.

Standard ISO 14001 specifikuje požadavky na systém environmentálního managementu. Normu lze uplatnit ve všech organizacích, které chtějí zavést nebo zlepšit systém environmentálního managementu. Využívá se pro stanovení environmentální politiky organizace a pro prokázání shody.

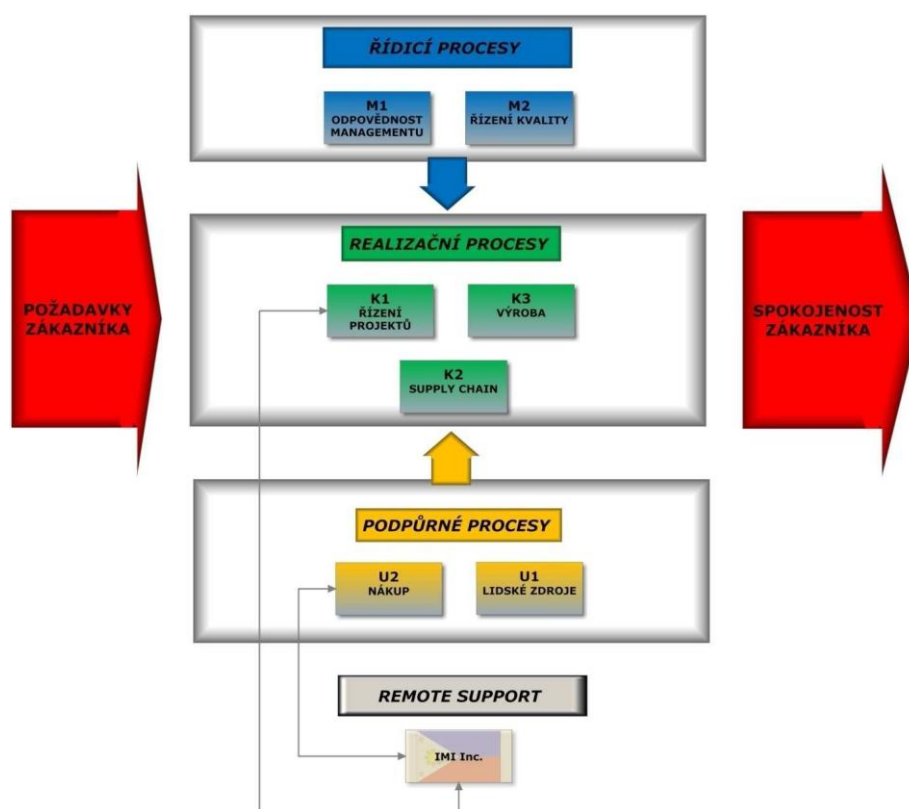
ISO/TS 16949 je automobilový systémový standard. Tento standard přímo vychází ze standardu QS 9000. Cílem ISO/TS 16949 je rozvoj systému jakosti, které umožňují neustále zlepšování, kladou důraz na prevenci neshod a redukci variability a ztrát v dodavatelském řetězci. Řízení kvality a certifikační audit může být doplněn o specifické požadavky zákazníka, aby bylo zajištěno uznání certifikace zákazníkem. [6]

## **4.3 Procesní přístup**

Procesní řízení vychází z faktu, že každý produkt nebo služba vzniká určitým sledem činností neboli procesů. Tento způsob organizování také zahrnuje pracovníky, kteří se na procesech podílejí, včetně dělníků. Snižuje se potřeba řídicí práce, protože pracovníci jsou organizováni mezi sebou a řešení možných situací je již předem stanoveno. Jsou stanoveny rozhodovací činnosti a pracovníci zodpovědní za jejich řešení.

K zajištění procesního řízení ve společnosti Integrated Micro-electronics je uplatňováno sedm hlavních procesů. Těmi jsou dva řídicí procesy (odpovědnost managementu a řízení kvality), dva podpůrné procesy (nákup a lidské zdroje) a tři realizační procesy (řízení projektů, dodavatelský řetězec a výroba). Procesy na sebe navazují a zajišťují realizaci produktů ve společnosti.

Procesní mapa společnosti Integrated Micro-electronics je znázorněna na následujícím obrázku.



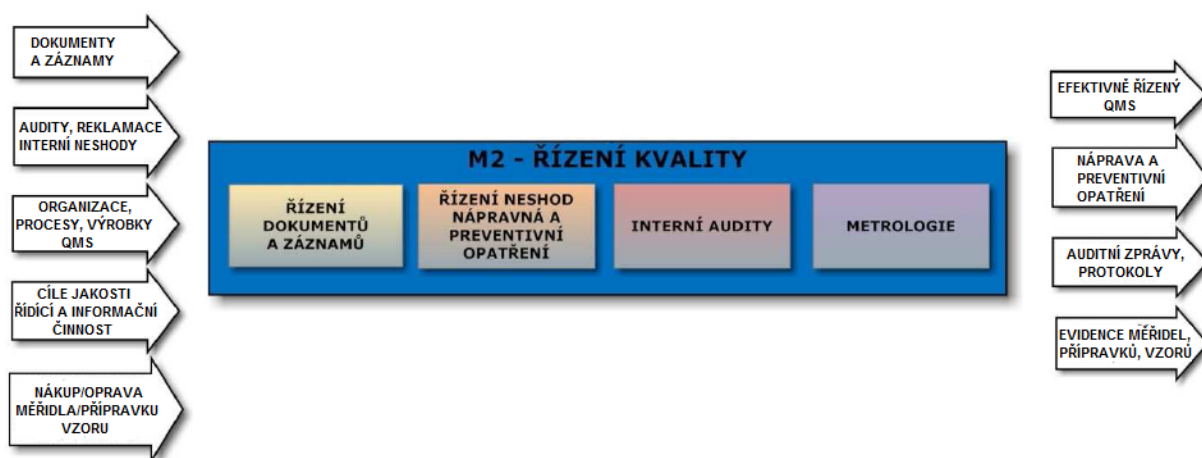
Obrázek 10: IMI procesní mapa [obr. 10]

Z pohledu řízení kvality součástek citlivých na vlhkost jsou důležité tři procesy a to řízení kvality (M2), výroba (K3) a dodavatelský řetězec (K2). Tyto procesy jsou zpracovány v jednotlivých pracovních postupech a pracovních instrukcích, které jsou v souladu se systémy řízení kvality. Procesy jsou samostatně zpracovány v následujících kapitolách. [7]

#### 4.3.1 Řízení kvality

Účelem procesu řízení kvality je zajistit, aby zákazník obdržel produkt, který je ve shodě s jeho požadavky. Vstupy procesu řízení kvality jsou hlavně záznamy

z výroby, výsledky auditů, cíle kvality a informace o neshodách. Řízení kvality v sobě zahrnuje čtyři bloky činností - řízení dokumentů a záznamů, řízení neshod, interní audity a metrologie. Pro účely řízení manipulace se součástkami citlivými na vlhkost je velmi důležitý proces řízení neshod – nápravná a preventivní opatření. Tento proces zahrnuje manipulaci s veškerými neshodnými výrobky, které se mohou vyskytnout ve výrobním procesu, ale i například ve skladu nebo při přijetí nově objednaných součástek. Neshodné výrobky/součástky jsou vždy označeny a poté oddělení řízení kvality posoudí neshodu a rozhodne, zda neshodu lze nebo nelze napravit.



**Obrázek 11: Proces řízení kvality [obr. 11]**

Výchozí stav ve společnosti Integrated Micro-electronics nezahrnoval žádné sledování doby expozice součástek citlivých na vlhkost. Důsledkem toho nelze u součástek zbylých po výrobě určit přesnou dobu expozice a rozhodnout jakým způsobem se součástkou dále nakládat. Z důvodu zajištění kvality je nutné u takových součástek automaticky předpokládat nejhorší možný stav. Tím je expozice přesahující floor life součástky o 72 hodin a tedy jedinou možností jak u součástky floor life obnovit je vysoušení po dobu 13 dní v peci při 40°C (IMI nemá pec schopnou vysušet při 125°C). [7]

### **4.3.2 Výroba**

Proces výroby zajišťuje plánování, přípravu a realizaci výroby a také údržbu stávajících a industrializaci nových strojů a zařízení. Plánování výroby vytvoří podle

zakázky pracovní postup a žádanku na součástky ze skladu (podrobněji v kapitole 4.3.3 Dodavatelský řetězec). Ve skladu se podle žádanky připraví konkrétní součástky v požadovaném množství (ne vždy v přesném množství, součástky se vydávají například v kotoučích). Součástky jsou poté do realizace výroby převáženy na speciálním vozíku. Z tohoto vozíku si je pak operátoři jednotlivých výrobních linek podle potřeby berou, rozbalují a vkládají do výrobních strojů. Po skončení výroby se zbylé součástky vrátí zpět na vozík a pak do skladu. Realizace výroby je proces, kde se přímo manipuluje se součástkami citlivými na vlhkost. V tomto procesu manipulace se součástkami citlivými na vlhkost není upravena nebo odlišena od běžných součástek. MSD součástky zde nejsou značeny a operátoři nerozpoznají součástku citlivou na vlhkost od jakékoli jiné součástky. Z toho důvodu s nimi zacházejí stejně a proces realizace výroby neposkytuje žádnou informaci o době expozice pro proces řízení kvality. Právě zde je nejlepší potenciál pro zlepšení celé manipulace se součástkami citlivými na vlhkost. [7]

### **4.3.3 Dodavatelský řetězec**

Proces dodavatelský řetězec slouží k přijímání objednávek od zákazníků, zajišťování zdrojů a skladování materiálu.

Při přejímce nového materiálu se vždy kontroluje, zda se materiál shoduje s objednávkou. Kontroluje se číslo dodávky, šarže a typ. Materiál, který vyhověl, se označí tzv. Bare kódem z programu BaaN. Bare kód obsahuje BaaN kód, datum vstupní kontroly (příjmu), šarži, pozici uskladnění a popis položky. U každého materiálu je v informačním systému BaaN informace, zda se provádí vstupní kontrola kvality. Při vstupní kontrole se přeměřují především rozměry součástek a porovnávají se s výkresy v systému Palstat. Za kvalitu materiálu nese odpovědnost dodavatel, případně zákazník pokud si dodává vlastní součástky.

Materiál je ukládán na příslušné pozice ve skladu dle BaaN kódu. Elektronické součástky citlivé na vlhkost jsou uloženy ve skladu na pozicích označených MSL2-MSL4. Za celý proces skladování a za kvalitu uskladněného materiálu zodpovídají všichni zaměstnanci skladu a jejich nadřízený – vedoucí skladu.

Materiál je do výroby vydáván ze skladu na základě žádanek ze systému BaaN a také žádanek, které vystavují mistři jednotlivých středisek. Pracovník pověřený vydáváním materiálu žádanku přezkoumá s ohledem na stav skladových zásob a připraví požadovaný materiál k výdeji. Skutečně vydaný materiál se pak přeskladí

ze skladu do výroby v systému BaaN. Materiál se zpravidla připravuje a vydává na danou výrobní objednávku. Následnou odpovědnost za kvalitu materiálu mají mistři ve výrobě a jednotliví pracovníci, kteří s materiálem manipulují. Materiál musí být vždy řádně označen dle směrnice „Identifikace materiálu a výrobků“.

Nezpracovaný materiál a materiál z pozastavené výroby se vrací zpět do skladu. [7]

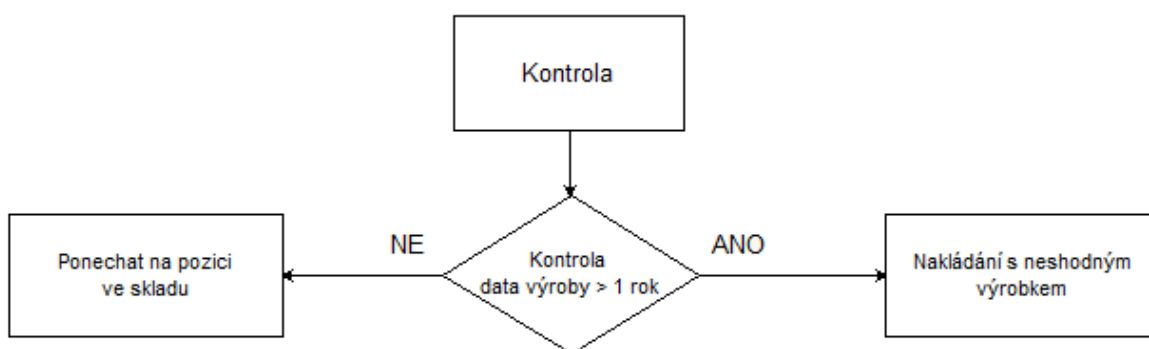
#### 4.4 Návrh instrukce pro manipulaci s MSD

Pro zajištění kvality během jednotlivých procesů jsou ve společnosti Integrated Micro-electronics využívány pracovní instrukce dle standardu ISO 9001.

##### 4.4.1 Popis výchozího stavu

Jak již bylo naznačeno v předchozích kapitolách, v IMI nebyla u součástek citlivých na vlhkost kontrolována doba expozice podmínkám výrobního prostředí. Tyto součástky byly dle normy správně uskladněny v ochranném balení s bariérou proti vlhkosti ve skladu na pozicích MSL1 a MSL2. Označení pozice nese informaci, že zde jsou uskladněny součástky citlivé na vlhkost.

Tyto skladovací pozice pracovník skladu jednou měsíčně kontroluje. V celém skladu platí skladovací systém FIFO. U nejstarších součástek se kontroluje datum zabalení. Toto datum nesmí být starší než 1 rok. V opačném případě jsou součástky přesunuty na zpracování neshod, kde oddělení kvality může součástky uvolnit na vysušení a nové zabalení do ochranného balení.



Obrázek 12: Diagram kontroly data zabalení MSD ve skladu

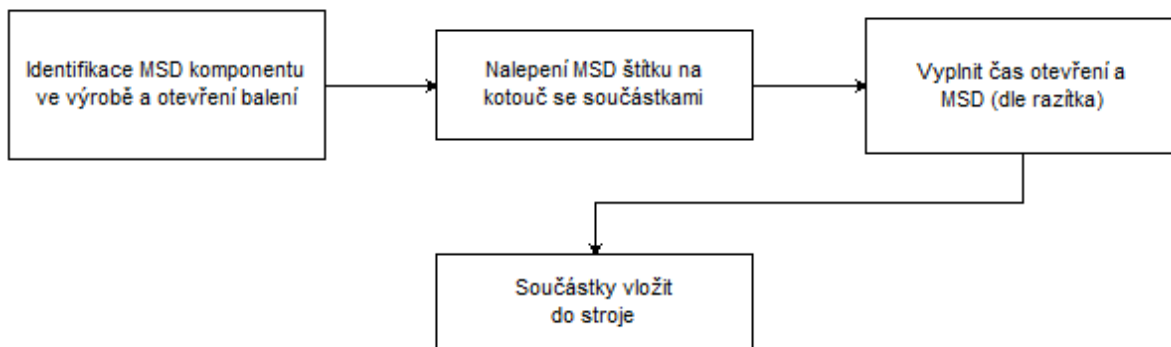
Sklad má k dispozici vysoušecí pec, která je schopna vysušet při teplotě 40°C. Přímo ve výrobě je umístěna skříň s ochrannou atmosférou schopna trvale udržet vlhkost menší než 5% RH. Tato skříň byla nevyužita.

Součástky citlivé na vlhkost jsou označovány varovným štítkem na obalu. Na samotných součástkách (kotouči) již žádné označení není. V IMI nebyl nastaven žádný způsob označování součástek citlivých na vlhkost po otevření ochranného obalu a vyjmutí součástek ven. Operátoři na montážních linkách tedy nebyli schopni tyto součástky identifikovat. Pokud se vyrobila celá zakázka a ve stroji zbyly nějaké součástky, byly tyto součástky vyndány a umístěny zpět na manipulační vozík. Když se součástky na vozíku vrátily zpět do skladu, nenesly s sebou informaci o době expozice. Z toho důvodu se předpokládal nejhorší možný stav a všechny součástky se vysušovaly pečením v peci při 40°C po dobu 13 dní.

Manipulace bez nastaveného kontrolování doby expozice a vysoušení všech součástek s sebou přináší nevýhody. Těmi jsou především prodlevy způsobené nadměrnou rotací materiálu v podniku, prodlevy způsobené vysoušením v peci a problémy se skladováním FIFO.

#### **4.4.2 Zavedení systému značení MSD**

Manipulace se součástkami citlivými na vlhkost probíhá ve výrobním procesu ve dvou fázích. První, majoritní fáze je otevření ochranného balení a vložení součástek do montážního stroje. Tato fáze se samozřejmě provádí bez výjimky u všech součástek citlivých na vlhkost. Druhá, minoritní fáze je vyndání součástek, které zbyly po dokončení výroby, z montážního stroje. Tato fáze ve většině případů neprobíhá, protože výroba v průběhu zpracování jedné zakázky spotřebovává všechny součástky. Teprve po dokončení výroby ve stroji zůstanou součástky, jež lze považovat za zbytky.



Obrázek 13: Diagram první fáze manipulace s MSD ve výrobě

Pro snadnou identifikaci součástek citlivých na vlhkost jsem navrhl samolepicí štítek, který se ihned po otevření ochranného balení nalepí na kotouč se součástkami. Součástku citlivou na vlhkost lze ve výrobě identifikovat pomocí ochranného vakuového balení, popisku součástky (kde je uvedena MSD kategorie) a barevného razítka s údajem MSD8 nebo MSD12. Po nalepení štítku na kotouč musí operátor výroby zapsat datum a čas otevření balení a zapsat zda se jedná o MSD8 nebo MSD12. Teprve pak zakládá komponent do stroje. Příklad správně vyplněného MSD štítku je v příloze 4.

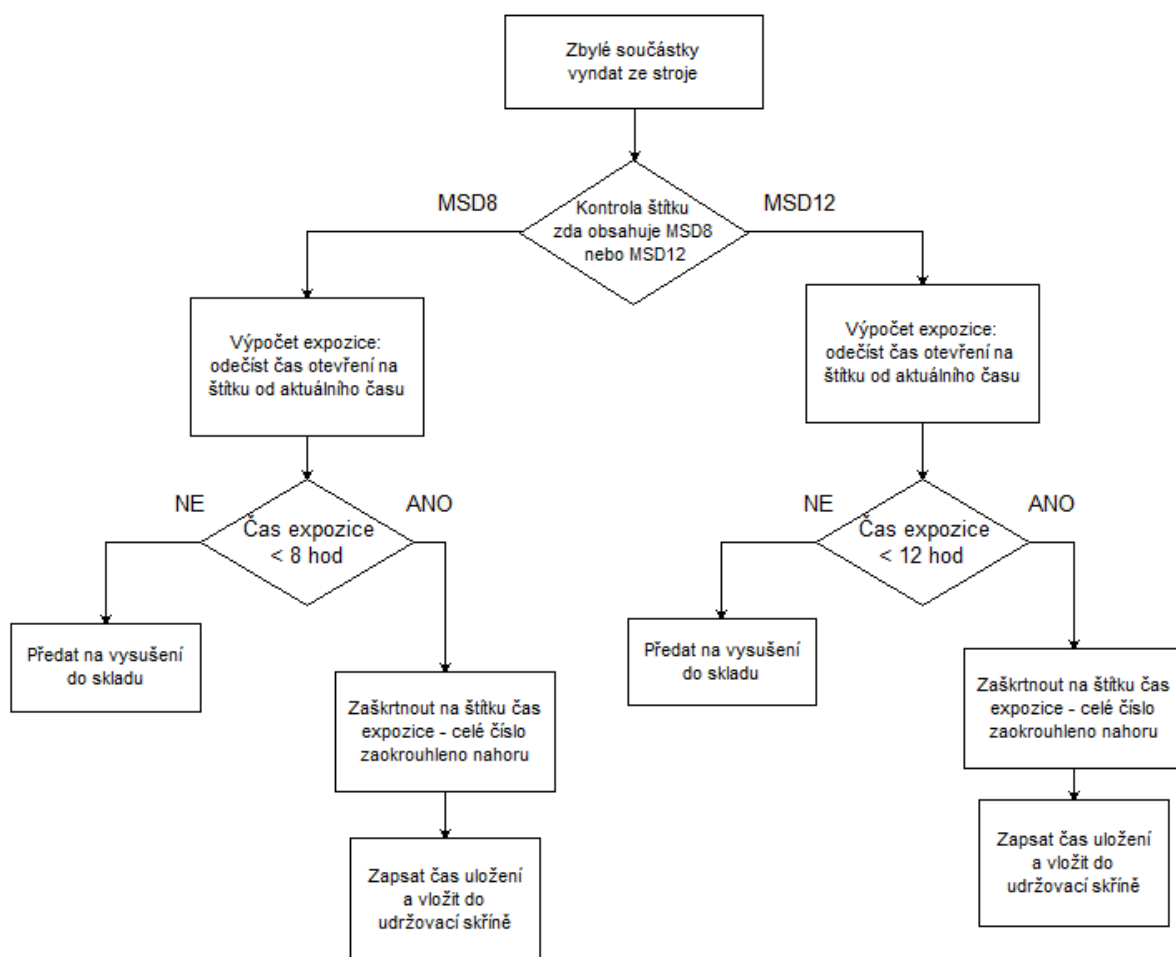
Datum a čas otevření balení						MSD					
Datum a čas uložení do skříně											
<input type="text"/>	1	<input type="text"/>	2	<input type="text"/>	3	<input type="text"/>	4	<input type="text"/>	5	<input type="text"/>	6
<input type="text"/>	7	<input type="text"/>	8	<input type="text"/>	9	<input type="text"/>	10	<input type="text"/>	11	<input type="text"/>	12
Opětovné zpracování											

Obrázek 14: Samolepicí štítek pro označení MSD součástek

Pokud operátor výroby vyjímá zbylé součástky ze stroje, pozná součástku citlivou na vlhkost podle štítku, nalepeném na kotouči. Pokud takto označený komponent vyjme ze stroje, musí zjistit aktuální čas a od něj odečíst čas otevření balení uvedený na štítku. Takto získá aktuální čas expozice součástek. Čas expozice



pak musí porovnat s dobou 12 hodin u součástek označených na štítku MSD12 a dobou 8 hodin u součástek s označením MSD8. Pokud je doba expozice menší jak 12 hodin u MSD12 zaškrtně na štítku skutečnou dobu expozice v hodinách zaokrouhlenou nahoru, vyplní aktuální čas do kolonky čas uložení do skříně na štítku a umístí součástky do udržovací skříně ve výrobě.



Obrázek 15: Diagram druhé fáze manipulace s MSD ve výrobě

U udržovací skříně je umístěn seznam součástek citlivých na vlhkost s příslušným BaaN kódem. V tomto seznamu musí operátor zaškrtnout konkrétní typ součástek, které do skříně vkládá. V opačném případě, pokud je expoziční doba větší než 12 hodin u MSD12 nebo 8 hodin u MSD8 je třeba součástky vrátit do skladu na vysušení v peci. Výhodou uložení v udržovací skříně se suchou atmosférou je pozastavení momentálního floor life součástek a také možnost obnovení floor life.

Část pracovní instrukce, o kterou byla doplněna původní instrukce Komponenty MSD, je uvedena v příloze 3.

#### **4.4.3 Opětovné použití MSD komponentů umístěných v udržovací skříni**

U komponent uložených v udržovací skříni dochází k pozastavení momentálního floor life a po určité době k obnově floor life. Tato doba je uvedena v tabulce 2 (str. 13). Pro komponent označený MSD12 je tato doba rovna 5-ti násobku (10-ti násobku u MSD8) doby expozice, která je zaškrtnuta na štítku. Při splnění této podmínky je floor life obnoven a součástky se chovají, jako kdyby byly čerstvě vyndány z ochranného vakuového balení. Pro označení součástek s obnoveným floor life se aktuální štítek s vyplněnými údaji přelepí štítkem zcela novým a do data a času otevření balení zapíše operátor datum a čas vyndání ze skříně.

Součástky, které při vyndání z udržovací skříně nemají ještě obnoven floor life se mohou použít pro výrobu, avšak celková doba expozice nesmí překročit celkový floor life součástky. Pro tento účel slouží na štítku údaj opětovné zpracování, kam lze vyplnit zbývající floor life, čas vyndání ze skříně nebo jiné důležité údaje. Pokud nejsou součástky ani napodruhé zpracovány, operátor je předá na oddělení kvality, které rozhodne jak se součástkami dále naložit.

### **4.5 Přínosy**

Systém značení součástek citlivých na vlhkost, který jsem navrhl, má řadu výhod. Nejdůležitějším přínosem je získání informace o době expozice součástek. Díky této informaci lze určit vhodný způsob vysoušení a využít skříní s ochrannou atmosférou, která byla dříve nevyužita. Součástky mají v udržovací skříni pozastavený floor life a lze je kdykoli znovu použít do výroby. To snižuje prodlevy, které dříve vznikaly vysoušením v peci.

Dalším významným přínosem je zajištění kvality výroby pomocí značení součástek citlivých na vlhkost. Díky značení lze součástky ve výrobě sledovat. To výrazně snižuje riziko, že se zapájí součástky MSD po vypršení jejich floor life. Dříve sledovatelnost záležela pouze na schopnostech operátora tyto součástky rozpoznat. S pracovní instrukcí doplněnou o manipulaci s MSD součástkami ve výrobě mají operátoři podrobný návod jak se součástkami citlivými na vlhkost manipulovat.

## **Závěr**

Cílem práce bylo poskytnout přehled o požadavcích na skladování a manipulaci součástek citlivých na vlhkost. Práce uvádí základní defekty, které se mohou na součástkách citlivých na vlhkost objevit a důvody kvůli kterým vznikají. Nejvhodnějším způsobem jak těmto defektům zabránit je dodržovat zásady bezpečné manipulace a skladování součástek na vlhkost, které jsou v práci popsány dle příslušných norem.

Důležitou součástí problematiky součástek citlivých na vlhkost je klasifikace součástek do příslušných úrovní citlivosti na vlhkost. Tuto klasifikaci téměř výhradně provádějí výrobci součástek. V práci jsem se zaměřil na popis požadovaného vybavení pro klasifikaci MSD a pracovní postup, kterým lze určit pro součástky příslušnou úroveň citlivosti na vlhkost. Do práce jsem zahrnul přehled jednotlivých tříd citlivosti na vlhkost, a tabulky, dle kterých lze správně určit požadované expoziční podmínky a podmínky pro přetavení.

Praktickou část práce jsem rozdělil na dvě části. První částí je návrh laboratorní úlohy. V této části popisuji postup měření vybraných součástek citlivých na vlhkost z důvodu otestování jejich vhodnosti pro další měření. Tato část práce také obsahuje vyhodnocení výsledků měření. Měření je záměrně popisováno tak, aby sloužilo jako návrh laboratorní úlohy, která demonstruje citlivost součástek na vlhkost.

Druhou praktickou částí je návrh systému manipulace se součástkami citlivými na vlhkost ve společnosti Integrated Micro-electronics v Třemošné u Plzně. V této části popisuji procesní řízení a výchozí stav manipulace se součástkami citlivými na vlhkost v IMI. Dále pak popisuji návrh instrukce, kterou jsem vytvořil ve spolupráci se zaměstnanci oddělení kvality IMI a podle které se nyní výroba řídí. Instrukce zajišťuje bezpečnou manipulaci se součástkami citlivými na vlhkost ve výrobním cyklu.

## Použitá literatura

- [1] IPC/JEDEC J-STD-020D.1. *Moisture/Reflow Sensitivity Classification for Nonhermetic Solid State Surface Mount Devices*. 3000 Lakeside Drive, Suite 309S Bannockburn, Illinois : IPC, Srpen 2007. 22 s. Dostupné z WWW: <www.jedec.org>.
- [2] IPC/JEDEC J-STD-033B.1. *Handling, Packing, Shipping and Use of Moisture/Reflow Sensitive Surface Mount Devices*. 3000 Lakeside Drive, Suite 309S Bannockburn, Illinois : IPC, Leden 2007. 24 s. Dostupné z WWW: <www.jedec.org>.
- [7] IMI: *Integrated Micro-electronics*, Quality Manual. [cit. 2012-04-23]. IMI 2012, 25 s.

## Seznam použitých webových zdrojů:

- [3] SUGANUMA Hiro a TAMANAHA Alvin. *MOISTURE SENSITIVE COMPONENT STORAGE* [online]. 2003 [cit. 2012-01-22]. Dostupné z: <http://www.seikausa.com/products/mcdry/technical-articles/MSD-Storage-Technical-Article.pdf>
- [4] STARÝ, Jiří. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. *Plošné spoje a povrchová montáž*. Dostupné z: [http://files.gamepub.sk/Bakalar/ET1/Plosne\\_spoje\\_a\\_povrchova\\_montaz.pdf](http://files.gamepub.sk/Bakalar/ET1/Plosne_spoje_a_povrchova_montaz.pdf)
- [5] IMI: The Flexible Experts. *Integrated Micro-electronics* [online]. [cit. 2012-03-31]. Dostupné z: <http://www.global-imi.com/>
- [6] *Quality centrum: Systémy managementu jakosti* [online]. [cit. 2012-04-02]. Dostupné z: <http://www.certifikace-iso.cz/>
- [8] Farnell: Element14. *Farnell semiconductors* [online]. [cit. 2012-04-02]. Dostupné z: <http://cz.farnell.com/semiconductors-ics>

## Seznam použitých obrázků:

- [obr. 1] STARÝ, Jiří. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. *Plošné spoje a povrchová montáž*. Dostupné z: [http://files.gamepub.sk/Bakalar/ET1/Plosne\\_spoje\\_a\\_povrchova\\_montaz.pdf](http://files.gamepub.sk/Bakalar/ET1/Plosne_spoje_a_povrchova_montaz.pdf)
- [obr. 2] SUGANUMA Hiro a TAMANAHA Alvin. *MOISTURE SENSITIVE COMPONENT STORAGE* [online]. 2003 [cit. 2012-01-22]. Dostupné z: <http://www.seikausa.com/products/mcdry/technical-articles/MSD-Storage-Technical-Article.pdf>
- [obr. 3] SUGANUMA Hiro a TAMANAHA Alvin. *MOISTURE SENSITIVE COMPONENT STORAGE* [online]. 2003 [cit. 2012-01-22]. Dostupné z: <http://www.seikausa.com/products/mcdry/technical-articles/MSD-Storage-Technical-Article.pdf>
- [obr. 4] IPC/JEDEC J-STD-020D.1. *Moisture/Reflow Sensitivity Classification for Nonhermetic Solid State Surface Mount Devices*. 3000 Lakeside Drive, Suite 309S Bannockburn, Illinois : IPC, Srpen 2007. 22 s. Dostupné z WWW: <www.jedec.org>.
- [obr. 6] KFI/King Fai International [online]. [cit 2012-04-23]. Dostupné z: [http://www.kingfai.com/product\\_xtal\\_smd\\_glass\\_8x4-5.asp](http://www.kingfai.com/product_xtal_smd_glass_8x4-5.asp)
- [obr. 9] IMI: The Flexible Experts. *Integrated Micro-electronics* [online]. [cit. 2012-03-31]. Dostupné z: <http://www.global-imi.com/>

[obr. 10] IMI: *Integrated Micro-electronics*, Quality Manual. [cit. 2012-04-23]. IMI 2012, 25 s.

[obr. 11] IMI: *Integrated Micro-electronics*, Quality Manual. [cit. 2012-04-23]. IMI 2012, 25 s.

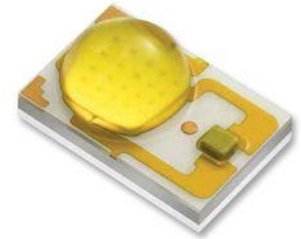
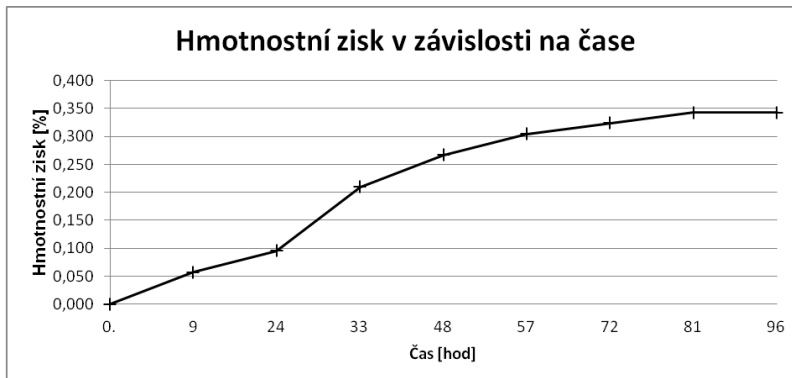
## Přílohy

### Příloha 1: Modifikované hodnoty floor life (ve dnech)

Typ součástky a tloušťka těla	Kategorie citlivosti na vlhkost	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	
Tloušťka těla $\geq 3.1$ mm včetně PQFP > 84 pinů PLCC (čtvercové) MQFP BGA $\geq 1$ mm	2a	$\infty$	$\infty$	94	44	32	26	16	7	5	4	35°C
		$\infty$	$\infty$	124	60	41	33	28	10	7	6	30°C
		$\infty$	$\infty$	167	78	53	42	36	14	10	8	25°C
		$\infty$	$\infty$	231	103	69	57	47	19	13	10	20°C
	3	$\infty$	$\infty$	8	7	6	6	6	4	3	3	35°C
		$\infty$	$\infty$	10	9	8	7	7	5	4	4	30°C
		$\infty$	$\infty$	13	11	10	9	9	7	6	5	25°C
		$\infty$	$\infty$	17	14	13	12	12	10	8	7	20°C
	4	$\infty$	3	3	3	2	2	2	2	1	1	35°C
		$\infty$	5	4	4	4	3	3	3	2	2	30°C
		$\infty$	6	5	5	5	5	4	3	3	3	25°C
		$\infty$	8	7	7	7	7	6	5	4	4	20°C
	5	$\infty$	2	2	2	2	1	1	1	1	1	35°C
		$\infty$	4	3	3	2	2	2	2	1	1	30°C
		$\infty$	5	5	4	4	3	3	2	2	2	25°C
		$\infty$	7	7	6	5	5	4	3	3	3	20°C
	5a	$\infty$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	35°C
		$\infty$	2	1	1	1	1	1	1	1	1	30°C
		$\infty$	3	2	2	2	2	2	1	1	1	25°C
		$\infty$	5	4	3	3	3	3	2	2	2	20°C
2.1 mm $\leq$ Tloušťka těla < 3.1 mm PLCC (obdélníkové) 18-32 pinů SOIC (široké tělo) SOIC $\geq 20$ pinů PQFP $\leq 80$ pinů	2a	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	58	30	22	3	2	1	35°C
		$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	86	39	28	4	3	2	30°C
		$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	148	51	37	6	4	3	25°C
		$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	69	49	49	8	5	4	20°C
	3	$\infty$	$\infty$	12	9	7	6	5	2	2	1	35°C
		$\infty$	$\infty$	19	12	9	8	7	3	2	2	30°C
		$\infty$	$\infty$	25	15	12	10	9	5	3	3	25°C
		$\infty$	$\infty$	32	19	15	13	12	7	5	4	20°C
	4	$\infty$	5	4	3	3	2	2	1	1	1	35°C
		$\infty$	7	5	4	4	3	3	2	2	1	30°C
		$\infty$	9	7	5	5	4	4	3	2	2	25°C
		$\infty$	11	9	7	6	6	5	4	3	3	20°C
	5	$\infty$	3	2	2	2	2	1	1	1	1	35°C
		$\infty$	4	3	3	2	2	2	1	1	1	30°C
		$\infty$	5	4	3	3	3	3	2	1	1	25°C
		$\infty$	6	5	5	4	4	4	3	3	2	20°C
	5a	$\infty$	1	1	1	1	1	1	1	0.5	0.5	35°C
		$\infty$	2	1	1	1	1	1	1	0.5	0.5	30°C
		$\infty$	2	2	2	2	2	2	1	1	1	25°C
		$\infty$	3	2	2	2	2	2	2	2	1	20°C
Tloušťka těla < 2.1 mm včetně SOIC < 18 pinů všechna TQFP, TSOP nebo BGA s tloušťkou těla < 1 mm	2a	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	17	1	0.5	0.5	35°C
		$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	28	1	1	30°C
		$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	2	1	25°C
		$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	2	2	20°C
	3	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	8	5	1	0.5	0.5	35°C
		$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	11	7	1	1	1	30°C
		$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	14	10	2	1	1	25°C
		$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	20	13	2	2	1	20°C
	4	$\infty$	$\infty$	$\infty$	7	4	3	2	1	0.5	0.5	35°C
		$\infty$	$\infty$	$\infty$	9	5	4	3	1	1	1	30°C
		$\infty$	$\infty$	$\infty$	12	7	5	4	2	1	1	25°C
		$\infty$	$\infty$	$\infty$	17	9	7	6	2	2	1	20°C
	5	$\infty$	$\infty$	7	3	2	2	1	1	0.5	0.5	35°C
		$\infty$	$\infty$	13	5	3	2	2	1	1	1	30°C
		$\infty$	$\infty$	18	6	4	3	3	2	1	1	25°C
		$\infty$	$\infty$	26	8	6	5	4	2	2	1	20°C
	5a	$\infty$	7	2	1	1	1	1	1	0.5	0.5	35°C
		$\infty$	10	3	2	1	1	1	1	1	0.5	30°C
		$\infty$	13	5	3	2	2	2	1	1	1	25°C
		$\infty$	18	6	4	3	2	2	2	2	1	20°C

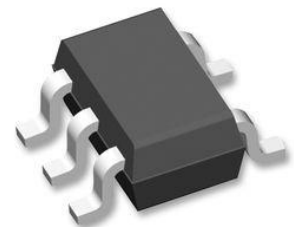
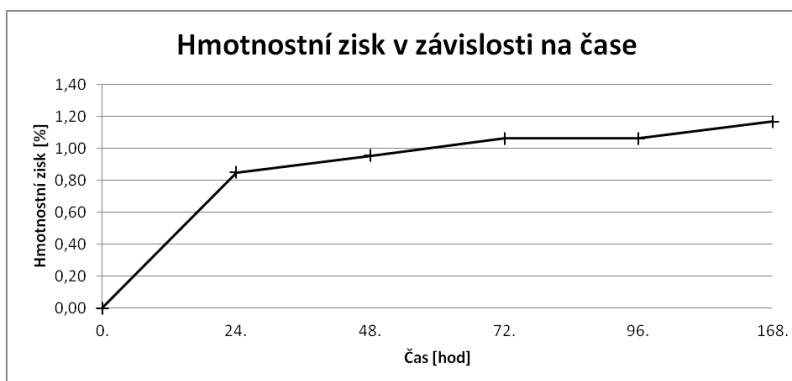
## Příloha 2: Součástky použité při měření

### 1. Výkonová LED LXML-PWC2, výrobce LUMILEDS



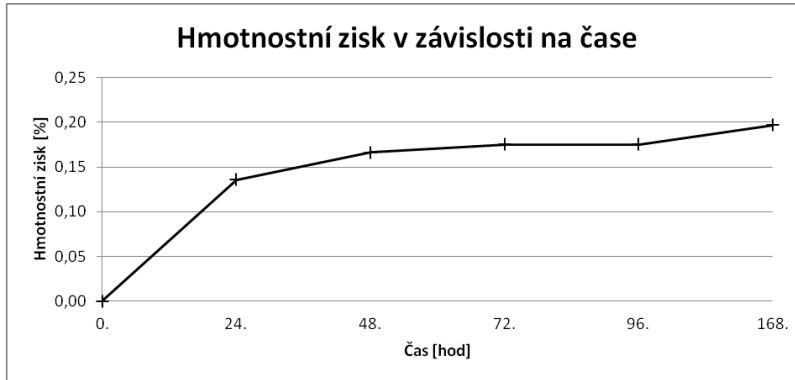
Čas [hod]	0.	9	24	33	48	57	72	81	96
Hmotnost 1 [g]	0,1751	0,1754	0,1753	0,1755	0,1755	0,1755	0,1757	0,1756	0,1757
Hmotnost 2 [g]	0,1751	0,1748	0,1752	0,1752	0,1756	0,1756	0,1755	0,1757	0,1756
Hmotnost 3 [g]	0,175	0,1753	0,1752	0,1756	0,1755	0,1757	0,1757	0,1757	0,1757
Hmotnost [g]	0,17507	0,17517	0,17523	0,17543	0,17553	0,1756	0,17563	0,17567	0,17567
Zisk v %	0,000	0,057	0,095	0,209	0,267	0,305	0,324	0,343	0,343

### 2. Komparátor ADCMP370AKS, výrobce ANALOG DEVICES



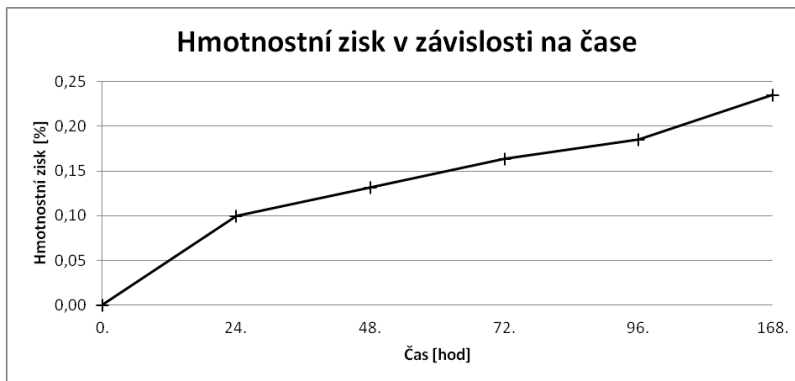
Čas [hod]	0.	24.	48.	72.	96.	168.
Hmotnost 1 [g]	0,0314	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0318
Hmotnost 2 [g]	0,0314	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0318
Hmotnost 3 [g]	0,0314	0,0316	0,0317	0,0318	0,0318	0,0317
Hmotnost [g]	0,0314	0,0317	0,0317	0,0317	0,0317	0,0318
Zisk v %	0,00	0,85	0,96	1,06	1,06	1,17

### 3. 2IN Multiplexor CD74ACT258M, výrobce TEXAS INSTRUMENTS



Čas [hod]	0.	24.	48.	72.	96.	168.
Hmotnost 1 [g]	0,7618	0,7628	0,7630	0,7631	0,7631	0,7632
Hmotnost 2 [g]	0,7618	0,7628	0,7630	0,7631	0,7631	0,7633
Hmotnost 3 [g]	0,7617	0,7628	0,7631	0,7631	0,7631	0,7633
Hmotnost [g]	0,7618	0,7628	0,7630	0,7631	0,7631	0,7633
Zisk v %	0,00	0,14	0,17	0,18	0,18	0,20

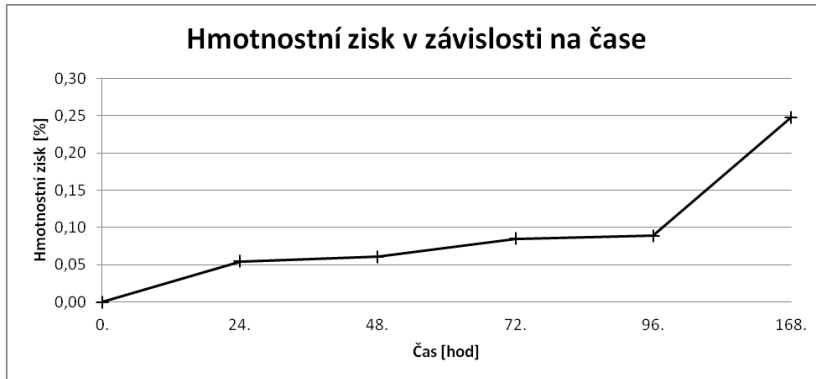
### 4. Transceiver 74LVT162245MTD, výrobce FAIRCHILD SEMICONDUCTOR



Čas [hod]	0.	24.	48.	72.	96.	168.
Hmotnost 1 [g]	0,9372	0,9382	0,9384	0,9388	0,9389	0,9395
Hmotnost 2 [g]	0,9372	0,9382	0,9385	0,9388	0,9390	0,9394
Hmotnost 3 [g]	0,9373	0,9381	0,9385	0,9387	0,9390	0,9394
Hmotnost [g]	0,9372	0,9382	0,9385	0,9388	0,9390	0,9394
Zisk v %	0,00	0,10	0,13	0,16	0,18	0,23

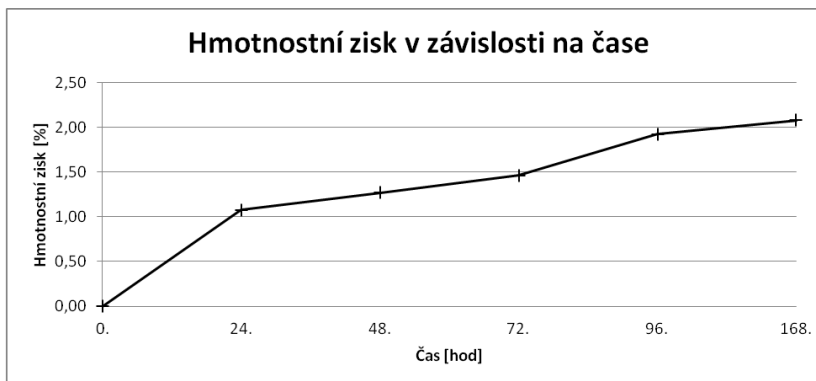


## 5. Transceiver DS14185WM, výrobce NATIONAL SEMICONDUCTOR



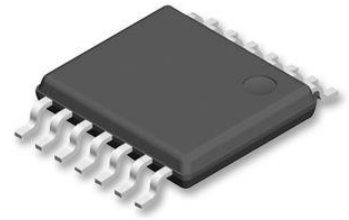
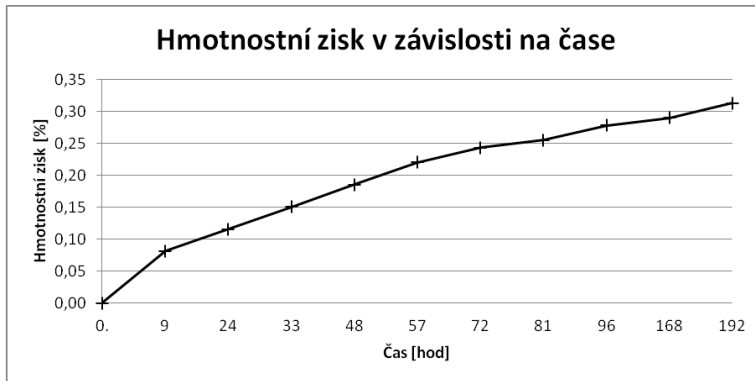
Čas [hod]	0.	24.	48.	72.	96.	168.
Hmotnost 1 [g]	2,7388	2,7404	2,7405	2,7411	2,7413	2,7456
Hmotnost 2 [g]	2,7388	2,7403	2,7405	2,7412	2,7413	2,7457
Hmotnost 3 [g]	2,7389	2,7403	2,7405	2,7412	2,7412	2,7456
Hmotnost [g]	2,7388	2,7403	2,7405	2,7412	2,7413	2,7456
Zisk v %	0,00	0,05	0,06	0,09	0,09	0,25

## 6. Fototranzistor VEMT2500X01, výrobce VISHAY



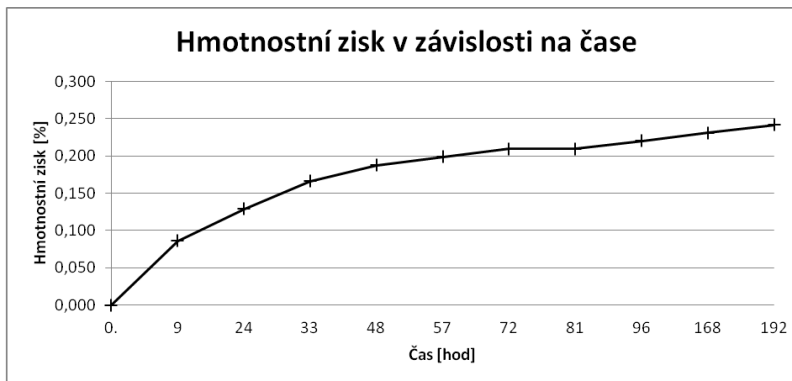
Čas [hod]	0.	24.	48.	72.	96.	168.
Hmotnost 1 [g]	0,0865	0,0875	0,0876	0,0879	0,0883	0,0884
Hmotnost 2 [g]	0,0866	0,0876	0,0877	0,0878	0,0882	0,0883
Hmotnost 3 [g]	0,0866	0,0874	0,0877	0,0878	0,0882	0,0884
Hmotnost [g]	0,0866	0,0875	0,0877	0,0878	0,0882	0,0884
Zisk v %	0,00	1,08	1,27	1,46	1,93	2,08

## 7. Operační zesilovač APX324TSG-13, výrobce DIODES Inc.



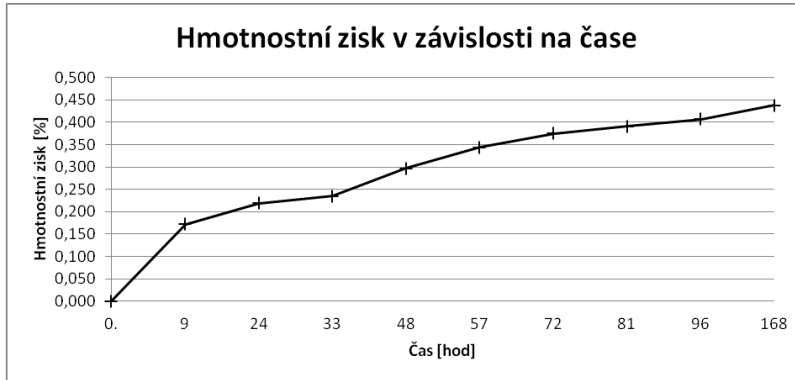
Čas [hod]	0.	9	24	33	48	57	72	81	96	168	192
Hmotnost 1 [g]	0,2875	0,2876	0,2878	0,2877	0,2879	0,2882	0,2881	0,2882	0,2882	0,2883	0,2883
Hmotnost 2 [g]	0,2873	0,2877	0,2877	0,2880	0,2880	0,2877	0,2881	0,2882	0,2882	0,2882	0,2883
Hmotnost 3 [g]	0,2875	0,2877	0,2878	0,2879	0,2880	0,2883	0,2882	0,2881	0,2883	0,2883	0,2884
Hmotnost [g]	0,2874	0,2877	0,2878	0,2879	0,2880	0,2881	0,2881	0,2882	0,2882	0,2883	0,2883
Zisk v %	0,00	0,08	0,12	0,15	0,19	0,22	0,24	0,26	0,28	0,29	0,31

## 8. Kondenzátor 6SXB47M, výrobce RUBYCON



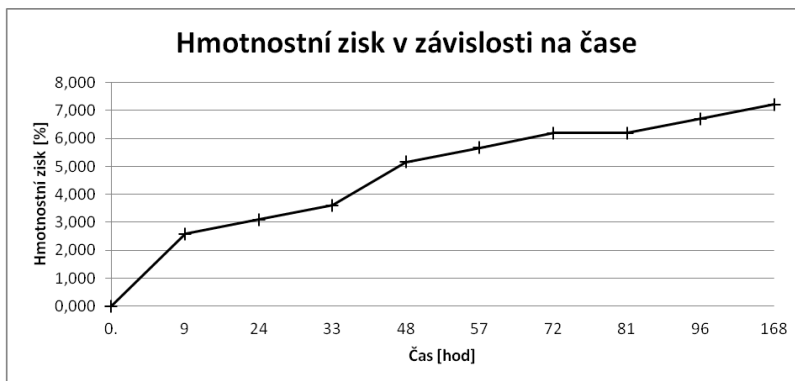
Čas [hod]	0.	9	24	33	48	57	72	81	96	168	192
Hmotnost 1 [g]	0,6207	0,6213	0,6215	0,6219	0,6218	0,6220	0,6222	0,6220	0,6220	0,6223	0,6222
Hmotnost 2 [g]	0,6210	0,6214	0,6216	0,6218	0,6220	0,6220	0,6219	0,6222	0,6221	0,6220	0,6223
Hmotnost 3 [g]	0,6206	0,6212	0,6216	0,6217	0,6220	0,6220	0,6221	0,6220	0,6223	0,6223	0,6223
Hmotnost [g]	0,6208	0,6213	0,6216	0,6218	0,6219	0,6220	0,6221	0,6221	0,6221	0,6222	0,6223
Zisk v %	0,000	0,086	0,129	0,166	0,188	0,199	0,209	0,209	0,220	0,231	0,242

## 9. Fotodioda BPW34S, výrobce OSRAM



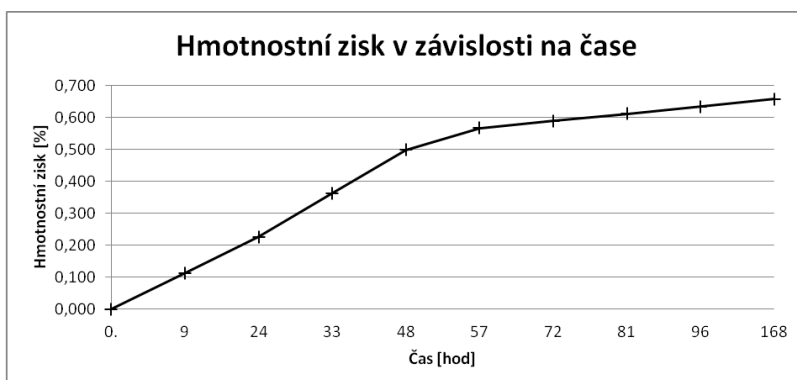
Čas [hod]	0.	9	24	33	48	57	72	81	96	168
Hmotnost 1 [g]	0,2135	0,2137	0,2137	0,2137	0,2138	0,2140	0,2141	0,2141	0,2141	0,2142
Hmotnost 2 [g]	0,2131	0,2136	0,2139	0,2139	0,2140	0,2141	0,2140	0,2141	0,2142	0,2142
Hmotnost 3 [g]	0,2132	0,2136	0,2136	0,2137	0,2139	0,2139	0,2141	0,2141	0,2141	0,2142
Hmotnost [g]	0,2133	0,2136	0,2137	0,2138	0,2139	0,2140	0,2141	0,2141	0,2141	0,2142
Zisk v %	0,000	0,172	0,219	0,234	0,297	0,344	0,375	0,391	0,406	0,438

## 10. LED dioda SML-LX0603IW-TR, výrobce LUMEX



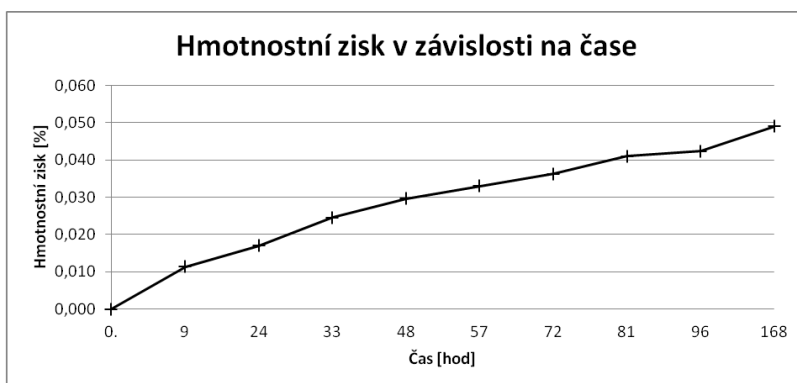
Čas [hod]	0.	9	24	33	48	57	72	81	96	168
Hmotnost 1 [g]	0,0065	0,0066	0,0067	0,0067	0,0067	0,0067	0,0069	0,0068	0,0069	0,0069
Hmotnost 2 [g]	0,0065	0,0066	0,0067	0,0066	0,0069	0,007	0,0068	0,0069	0,0069	0,0069
Hmotnost 3 [g]	0,0064	0,0067	0,0066	0,0068	0,0068	0,0068	0,0069	0,0069	0,0069	0,007
Hmotnost [g]	0,00646	0,00663	0,00666	0,0067	0,0068	0,00683	0,00686	0,00686	0,0069	0,00693
Zisk v %	0,000	2,577	3,093	3,608	5,155	5,670	6,186	6,186	6,701	7,216

## 11. Kondenzátor 50ST684MB33225, výrobce RUBYCON



Čas [hod]	0.	9	24	33	48	57	72	81	96	168
Hmotnost 1 [g]	0,1476	0,1473	0,1474	0,1479	0,1478	0,1482	0,1478	0,1479	0,1482	0,1481
Hmotnost 2 [g]	0,1469	0,1472	0,1474	0,1476	0,1479	0,1479	0,1481	0,1479	0,148	0,148
Hmotnost 3 [g]	0,1468	0,1473	0,1475	0,1474	0,1478	0,1477	0,148	0,1482	0,1479	0,1481
Hmotnost [g]	0,14710	0,14727	0,14743	0,14763	0,14783	0,14793	0,14797	0,14800	0,14803	0,14807
Zisk v %	0,000	0,113	0,227	0,363	0,499	0,567	0,589	0,612	0,634	0,657

## 12. SRAM IS62C1024AL-35QLI, výrobce Integrated Silicon Solution



Čas [hod]	0.	9	24	33	48	57	72	81	96	168
Hmotnost 1 [g]	7,0727	7,0738	7,0739	7,0745	7,0748	7,0751	7,0754	7,0758	7,0758	7,0763
Hmotnost 2 [g]	7,0728	7,0736	7,0741	7,0746	7,0749	7,075	7,0753	7,0757	7,0757	7,0763
Hmotnost 3 [g]	7,0729	7,0734	7,074	7,0745	7,075	7,0753	7,0754	7,0756	7,0759	7,0762
Hmotnost [g]	7,07280	7,07360	7,07400	7,07453	7,07490	7,07513	7,07537	7,07570	7,07580	7,07627
Zisk v %	0,000	0,011	0,017	0,025	0,030	0,033	0,036	0,041	0,042	0,049

## Příloha 3: Doplnění pracovní instrukce o manipulaci s MSD součástkami ve výrobě

### 6 Příjem

#### Příjem MSD komponentu

- Kontrola data výroby, pokud není nebo je > 1 rok - NEAKCEPTUJEME (řídíme se instrukcí pro nakládání s neshodnými výrobky)
- Štítek s čárovým kódem ze systému BaaN je označen příslušným razítkem dle Tabulky 1.
- Komponent je naskladněn na pozici danou systémem BaaN a musí být skladován v originálním neporušeném balení

Tabulka 1:

MSL třída komponentu	Razítko MSD komponent Floor life 12	Razítko MSD komponent Floor life 8
2, 2a, 3	X	
4, 5, 5a		X



### 7 Skladování a manipulace

MSD součástky jsou skladovány v originálních neporušených obalech popř. v nových obalech po vysoušecím cyklu (viz kapitola 8.) ve vyznačeném prostoru skladu nebo výroby.

Přípustná doba skladování v originálním ochranném balení je, pokud není na obalu uvedeno jinak (např. štítkem s ukazatelem vnitřní vlhkosti), 1 rok (od data výroby nebo po přebalení).

#### Kontrola expirace MSD komponentu

Jednou měsíčně provede skladník inventuru MSD komponentů a zapíše ji do seznamu "MSL komponenty".

Při inventuře MSD komponentů se musí provést kontrola trvanlivosti balení:

- Trvanlivost balení – pokud není uvedeno jinak tak datum zabalení musí být < 1 rok

- Jestliže > 1 rok nebo expirovala doba uvedená výrobcem, poté musí být komponent přesunut do skladu 901. Napiš "out of date MSD" do "zpracování neshod"
- Oddělení kvality může tyto komponenty uvolnit a ty poté musí být vysušeny dle kapitoly 8.

### **Značení MSD součástek**

Jak již bylo zmíněno v kapitole 6., všechny MSD komponenty jsou při příjmu označeny příslušným razítkem dle Tabulky 1. Toto značení je důležité pro další řízení MSD komponentů ve výrobě. Pokud operátorka při přípravě výrobní objednávky nebo při zakládání součástky do stroje nalezne takto označené balení pak má povinnost na toto balení nalepit níže uvedený štítek. Zároveň výrazné odlišení MSD součástky v pracovním postupu a v žádance na materiál usnadňuje operátorovi identifikování citlivého komponentu při přípravě výrobní objednávky.

### **Štítek pro řízení MSD ve výrobě**

Pokud se balení s MSD součástkami otevře, je třeba sledovat dobu, po kterou jsou tyto součástky vystaveny běžným podmínkám (max 30°C a 60%RH) před reflow procesem. K tomuto účelu slouží MSD štítek.

Operátor postupuje následujícím způsobem:

1. Rozbalení MSD komponentu z originálního balení
2. Nalepení štítku na kolo
3. Vyplnění štítku – Datum a čas otevření, MSD8 nebo MSD12 podle barevného razítka na obalu

Datum a čas otevření balení	MSD
Datum a čas uložení do skříně	
<input type="text"/> 1 <input type="text"/> 2 <input type="text"/> 3 <input type="text"/> 4 <input type="text"/> 5 <input type="text"/> 6	
<input type="text"/> 7 <input type="text"/> 8 <input type="text"/> 9 <input type="text"/> 10 <input type="text"/> 11 <input type="text"/> 12	
Opětovné zpracování	

4. Založení komponentu do stroje
5. Součástka může být vystavena okolní atmosféře před zpracováním reflow procesem jen po určitou dobu – dle MSL úrovně – viz. Tabulka 2.

Příklad 1. Součástka 430017601 pro produkt Z1639541 má MSL úroveň 3, což dle

Tabulky 2. znamená, že se tato součástka musí zpracovat do 168 hodin od rozbalení (tento čas se může pozastavit nebo resetovat udržovací skříň popř. vysoušecí pecí). Výše uvedený postup pro vyplnění štítku je třeba opakovat při každém doplnění součástky. Při skončení výroby je třeba se zbytkem otevřeného balení MSD komponentu postupovat následovně:

1. Zjistí se doba, po kterou bylo balení otevřeno (čas po který byl komponent vystaven okolnímu prostředí – od aktuálního času odečteme čas otevření)
2. Podle doby se rozhodne, zda se komponent umístí do udržovací skříně ve výrobě nebo do pece ve skladu (Tabulka 3.)
  - a. pokud byl komponent MSD 12 vystaven méně než 12 hodin, zaškrtneme na štítku skutečnou dobu vystavení – celé číslo zaokrouhlené nahoru, a komponent umístíme do udržovací skříně ve výrobě
  - b. pokud byl komponent MSD 8 vystaven méně než 8 hodin, zaškrtneme na štítku skutečnou dobu vystavení – celé číslo zaokrouhlené nahoru, a komponent umístíme do udržovací skříně ve výrobě
  - c. pokud byla doba vystavení ve výrobě vyšší než a) popř. b) poté komponent předáme na vysušení do skladu
3. pokud jsme splnili 2a) popř. 2b) doplníme údaje na štítku – Datum a čas uložení do skříně

#### **Sledování MSD materiálu umístěného v udržovací skříni**

Na udržovací skříni je umístěn seznam s BAAN kódy MSD komponentů. Operátor při vkládání MSD komponentu do skříně zaškrtně políčku u příslušného BAAN kódu a zapíše datum a čas vložení.

#### **Opětovné použití MSD komponentů umístěných v udržovací skříni**

Komponent může být vyndán z udržovací skříně za následujících podmínek:

1. Komponent byl v udržovací skříni déle jak 5xdoba vystavení pro MSD 12 popř. 10xdoba vystavení pro MSD 8. Pokud je splněna tato podmínka Floor life je vyresetován a komponent se chová jako by byl poprvé otevřen (tyto hodnoty jsou dle Tabulky 3.) tzn. nalepíme na něj čistý štítek a do data a času otevření zapíšeme datum a čas vyndání ze skříně. Pro tento komponent platí stejná pravidla jako pro nově rozbalený – viz výše.
2. Pokud není splněna podmínka 1) může být komponent zpracován (projít procesem reflow) za předpokladu že nebude překročen jeho celkový floor life (tzn. od floor life odečteme dobu vystavení před uložením do udržovací skříně (doba zaškrtnutá operátorkou na štítku), a tuto dobu spolu s časem a datem vyndání z udržovací pece zapíšeme do poznámky (pro případ že by při výrobě opět nebylo zpracováno celé balení)).

Příklad 2. Součástka 430017671 pro produkt Z1639542 má MSL úroveň 3, což dle Tabulky 2. znamená floor life 168 hodin. Součástka byla rozbalena v 8.00, celé balení nebylo zpracováno, a proto bylo vloženo do udržovací skříně po 9 hodinách (v 17.00). Pro resetování floor life bychom potřebovali, aby byla součástka v udržovací skříně 9x5=45 hodin. Součástka musí být vyndána ze skříně druhý den v 10.00 kvůli dodělení výrobní objednávky. Tzn., že součástka byla v udržovací skříně jen 17 hodin což k resetování floor life nestačí. Floor life byl pouze pozastaven a nám zbývá na zpracování součástky 168-9=159hodin.

Pokud balení s MSD součástkou není zpracováno ani napodruhé, balení se předá oddělení kvality a ta rozhodne, zda se znovu umístí do udržovací skříně nebo rovnou do vysoušecí pece.

Tabulka 2. „Floor life“

<b>MSL</b>	<b>Floor Life IO pouzder po vyjmutí ze sáčku s bariérou proti vlhkosti</b>
1	Není specifikována v podmínkách do 30°C a 85% RH
2	1 rok v podmínkách do 30°C a 60% RH
2a	4 týdny v podmínkách do 30°C a 60% RH
3	168 hodin v podmínkách do 30°C a 60% RH
4	72 hodin v podmínkách do 30°C a 60% RH
5	48 hodin v podmínkách do 30°C a 60% RH
5a	24 hodin v podmínkách do 30°C a 60% RH
6	Specifikováno na štítku

Tabulka 3. Obnovení „Floor life“

<b>MSL</b>	<b>Doba vystavení Teplota / Relativní vlhkost</b>	<b>Doba vysoušení Relativní vlhkost</b>
2, 2a, 3	≤12 hod	5x doba vystavení
	≤30°C/60% RH	≤10% RH
4, 5, 5a	≤8 hod	10x doba vystavení
	≤30°C/60% RH	≤5% RH



#### Příloha 4: Příklad vyplněného štítku MSD

Datum a čas otevření balení	MSD				
<b>1.1.2012 / 8:30</b>	<b>12</b>				
Datum a čas uložení do skříně					
<b>1.1.2012 / 17:30</b>					
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6
<input type="checkbox"/> 7	<input type="checkbox"/> 8	<input checked="" type="checkbox"/> 9	<input type="checkbox"/> 10	<input type="checkbox"/> 11	<input type="checkbox"/> 12
Opětovné zpracování					
<b>Po vyjmutí ze skříně nutno zpracovat do 159 hodin. Vyjmuto 4.1.2012 v 10:50 hod.</b>					

