

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2022

Bc. Ivo Němec



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

IOT PÁJECÍ STANICE A TECHNOLOGICKÁ HLEDISKA

IOT MANUAL SOLDERING STATION AND TECHNOLOGY ASPECTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ivo Němec

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Starý, Ph.D.

BRNO 2022

Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektrotechnická výroba a management**

Ústav elektrotechnologie

Student: Bc. Ivo Němec

ID: 186543

Ročník: 2

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

IoT pájecí stanice a technologická hlediska

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte vlastnosti IoT pájecích stanic pro ruční pájení. Zpracujte možné přínosy použití IoT u manuálního pájení. Navrhněte metodiku měření ohřevu definované tepelné kapacity pájeného spoje u IoT pájecí stanice. Navrhněte metodiku hodnocení kvality pájení z vyhodnocení údajů reprodukovatelnosti pájecího procesu u operátora. Dosažené výsledky zpracujte a vyhodnoťte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 25.5.2022

Vedoucí práce: Ing. Jiří Starý, Ph.D.

doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá zkoumáním internetu věcí, jeho využitelností v pájecích stanicích a možných přínosech z hlediska kontroly kvality procesu ručního pájení. V práci je shrnut základní popis internetu věcí, jeho historický vývoj, možné hrozby a dnešní implementace do různorodých zařízení. Dále je popsán princip pájecí stanice a funkce internetu věcí v nich implementovaných. V neposlední řadě jsou uvedeny možné výhody využitelnosti internetu věcí v pájecích stanicích, jako služby zpřehledňující sledovatelnost a kontrolovatelnost procesu ručního pájení.

Klíčová slova

Internet věcí, IoT, Průmysl 4.0, pájecí stanice, Hakko FN-1010, sledovatelnost procesu, ruční pájení

Abstract

This diploma thesis explores the Internet of Things, its applicability in soldering stations and its possible benefits in terms of quality control of the manual soldering process. The thesis summarizes the basic description of IoT, its historical development, possible threats and today's implementation in various devices. Furthermore, the principle of soldering stations and the IoT features implemented in them are described. Last but not least, possible benefits of IoT applicability in soldering stations are presented, such as services to make the manual soldering process more traceable and controllable.

Keywords

Internet of Things, IoT, Industry 4.0, soldering station, Hakko FN-1010, process traceability, manual soldering

Bibliografická citace

NĚMEC, I. *IoT pájecí stanice a technologická hlediska*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie, 2022. 90 s. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Jiří Starý, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	<i>Ivo Němec</i>
VUT ID studenta:	<i>186543</i>
Typ práce:	<i>Diplomová práce</i>
Akademický rok:	<i>2021/22</i>
Téma závěrečné práce:	<i>IoT pájecí stanice a technologická hlediska</i>

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 25. května 2022

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Starému, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále bych taktéž rád poděkoval panu Martinu Abelovi a Karlovi Štefkovi za velmi cenné rady a poskytnutou pomoc.

V Brně dne: 25. května 2022

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	10
ÚVOD	14
1. CO JE TO INTERNET VĚCÍ.....	15
1.1 HISTORIE INTERNETU VĚCÍ	15
1.2 PRINCIP INTERNETU VĚCÍ	17
1.3 HROZBY INTERNETU VĚCÍ	18
2. PÁJECÍ STANICE A INTERNET VĚCÍ	20
2.1 PÁJECÍ STANICE	21
2.2 RUČNÍ PÁJEDLO	23
2.3 PÁJEDLO S ODPOROVÝM VÝHŘEVNÝM ELEMENTEM.....	24
2.4 PÁJEDLO S VYSOKOU OBNOVOU TEPLA	25
2.5 VYSOKOFREKVENČNÍ PÁJEDLO	27
2.6 INTERNET VĚCÍ VYUŽITÝ V PÁJECÍ STANICI	29
2.6.1 Využitelnost v procesu.....	31
3. PÁJECÍ STANICE HAKKO FN-1010	32
3.1 PARAMETRY PÁJECÍ STANICE HAKKO FN-1010	34
3.1.1 Informace o aktuální stavu stanice	35
3.1.2 Informace o pájecí ručce a hrotu	36
3.1.3 Nastavení podmínek pro vypnutí napájení pájedla	36
3.1.4 Kalibrace	37
3.1.5 Podrobnější nastavení stanice	38
3.1.6 Podrobnější nastavení pro pájecí hrot	41
3.1.7 Monitorovací okno	42
4. OVĚŘOVÁNÍ TEPLOTNÍ STABILITY PÁJECÍCH HROTŮ	44
4.1 PŘÍPRAVA PÁJECÍCH HROTŮ	44
4.2 PROCES UCHYCENÍ TERMOČLÁNKŮ	45
4.3 PROCES OVĚŘOVÁNÍ TEPLOTNÍ STABILITY PRO VÝVODOVÉ SOUČÁSTKY	48
4.4 PROCES OVĚŘOVÁNÍ TEPLOTNÍ STABILITY SOUČÁSTEK PRO POVRCHOVOU MONTÁŽ	53
5. REPRODUKOVATELNOST PÁJECÍHO PROCESU	60
5.1 PROCES OVĚŘOVÁNÍ REPRODUKOVATELNOSTI PÁJENÝCH SPOJŮ.....	62
6. MĚŘENÍ OHŘEVU DEFINOVANÉ TEPELNÉ KAPACITY.....	67
6.1 PŘÍPRAVA TRUBIČKOVÉ PÁJKY A DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ.....	67
6.2 PROCES OVĚŘOVÁNÍ OHŘEVU TEPELNÉ KAPACITY	69
6.3 SHRUTÍ DOSAŽENÝCH DAT	78
7. TEST OCHLAZENÍ PÁJECÍHO HROTU PŘI ČIŠTĚNÍ	79
7.1 PROCES OVĚŘOVÁNÍ.....	80
LITERATURA.....	88

Seznam symbolů a zkratek

Zkratky:

IoT	Internet věcí
SAC305	Bezolovnatá pájka (Sn96,5, Ag3, Cu0,5)
Sn63/Pb37	Olovnatá pájka
RFID	Identifikace pomocí radiové frekvence
DPS	Deska plošných spojů

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Počet zařízení připojených k internetu v přepočtu na jednoho člověka (převzato z [7])	16
Obr. 1.2: Topologie internetu věcí (převzato z [9])	17
Obr. 1.3: Šest klíčových pravidel pro bezpečnost internetu věcí (převzato z [12])	19
Obr. 2.1: Pájecí stanice HAKKO FN-1010 s funkcí IoT (převzato z [14])	20
Obr. 2.2: Pájecí stanice a její příslušenství (převzato z [16]).....	21
Obr. 2.3: Schéma řídicí elektroniky pájecí stanice Weller PU-81 (převzato z [19]).....	22
Obr. 2.4: Jednotlivé komponenty dílenského pájedla (převzato z [20])	23
Obr. 2.5: Součásti pájecího pera (převzato z [21]).....	24
Obr. 2.6: Pájecí hrot s rychlou obnovou tepla (převzato z [22]).....	25
Obr. 2.7: a) Průběh teploty v čase pájecího hrotu bez rychlé obnovy tepla; b) průběh teploty v čase pájecího hrotu s rychlou obnovou tepla (převzato z [16])	26
Obr. 2.8: Vznik vířivých proudů v systému indukčního pájedla (převzato z [23]).....	28
Obr. 2.9: Průběh teploty a změny dodávané energie na čase v plochém pájecím hrotu stanice FN-1010 (převzato z [18])	30
Obr. 2.10: Pájecí hrot s rychlou obnovou tepla a unikátním sériovým číslem (převzato z [24])	31
Obr. 3.1: Pájecí stanice Hakko FN-1010 s funkcí IoT (převzato z [26])	32
Obr. 3.2: Základní náhledové okno pro pájecí stanici Hakko FN-1010	34
Obr. 3.3: Informační přehled údajů stanice v první sekci	35
Obr. 3.4: Informace o pájecí ručce a hrotu	36
Obr. 3.5: Nastavení podmínek pájecí stanice.....	36
Obr. 3.6: Informace o teplotní kalibraci.....	37
Obr. 3.7: Podrobnější možnosti nastavení pájecí stanice	38
Obr. 3.8: Průběh kalibrace pájecího hrotu pomocí úpravy offsetové teploty (nastaveno 300 °C, reálná teplota 314 °C).....	39
Obr. 3.9: Specifikace teplot pájecího hrotu, typ využívané pájky a citlivosti snímání dat z pájecího hrotu	41
Obr. 3.10: Monitorovací okno pro záznam hodnot z pájecího pera	42
Obr. 3.11: Zpracovaná data ze záznamu v programu Microsoft Excel.....	43
Obr. 4.1: Připravené pájecí hroty před vrtáním (z leva: T36-B2, T36-D24, T36-D52).....	44

Obr. 4.2: Navrtný hrot T36-B2 2 mm vrtákem a zafixovaný termočlánek pro připevnění stříbrnou pájkou.....	45
Obr. 4.3: Výsledný vzhled pájecího hrotu T36-B2 s připevněným termočlánekem za pomoci bodové sváru.....	46
Obr. 4.4: Detail pájecího hrotu T36-B2 s připevněným termočlánekem za pomoci bodové sváru	47
Obr. 4.5: Pájecí hrot T36-D52 (z leva: připravené vrtání pro termočlánek, připevněný termočlánek za pomoci stříbrné pájky).....	47
Obr. 4.6: Deska plošných spojů využitá pro ověřování teplotní stability pájecích hrotů.....	48
Obr. 4.7: IPC-A-610 norma definující maximální přesah vývodových součástek	49
Obr. 4.8: Připravená deska plošných spojů pro pájení vývodů.....	50
Obr. 4.9: Graficky zpracovaná data z teplotního ověřování pro pájecí hrot T36-B2.....	51
Obr. 4.10: Záznam z profilometru SlimKIC2000 pro hrot T36-B2	52
Obr. 4.11: Deska plošných spojů využitá pro ověřování teplotní stability pájených SMD součástek.....	53
Obr. 4.12: Zapájené čipové součástky na testovací desce plošných spojů	54
Obr. 4.13: Výstupní data z pájecí stanice Hakko FN-1010 pro pájené čipové pouzdro 0603	55
Obr. 4.14: Údaje z termočlánu pro pájené čipové pouzdro 0603.....	55
Obr. 4.15: Výstupní data z pájecí stanice Hakko FN-1010 pro pájené čipové pouzdro 0805	56
Obr. 4.16: Údaje z termočlánu pro pájené čipové pouzdro 0805.....	57
Obr. 4.17: Výstupní data z pájecí stanice Hakko FN-1010 pro pájené čipové pouzdro 1206	58
Obr. 4.18: Údaje z termočlánu pro pájené čipové pouzdro 1206.....	58
Obr. 5.1: Testovací desky plošných spojů	60
Obr. 5.2: Připravená deska plošných spojů pro měření reprodukovatelnosti pájených spojů	61
Obr. 5.3: Záznam pájecího procesu vývodových kontaktů ze stanice Hakko FN-1010 s dodržáním pájecí procedury	62
Obr. 5.4: Záznam pájecího procesu vývodových kontaktů ze stanice Hakko FN-1010 s nedodržáním pájecí procedury	63
Obr. 5.5: Detail pájených spojů s defekty	64
Obr. 5.6: Návrh vyhodnocování procesu ručního pájení	66
Obr. 6.1: Připravená deska plošných spojů na ověřování tepelné kapacity s vyznačenými pájecími ploškami.....	69
Obr. 6.2: Ověřování tepelné kapacity pro pájecí plošky pouzdra 0805 s 15 mg trubičkové pájky, průběh č.1	70

Obr. 6.3: Ověřování tepelné kapacity pro pájecí plošky pouzdra 0805 s 15 mg trubičkové pájky, průběh č.2	70
Obr. 6.4: Ověřování tepelné kapacity pro pájecí plošky pouzdra 0805 s 15 mg trubičkové pájky, průběh č.3	71
Obr. 6.5: Ověřování tepelné kapacity pro pájecí plošky pouzdra 0805 s 15 mg trubičkové pájky, průběh č.4	71
Obr. 6.6: Ověřování tepelné kapacity pro pájecí plošky pouzdra 0805 s 15 mg trubičkové pájky, průběh č.5	72
Obr. 6.7: Ověřování tepelné kapacity pro pájecí plošky tantalového kondenzátoru s 50 mg trubičkové pájky	74
Obr. 6.8: Ověřování tepelné kapacity pro pájecí plošky tantalového kondenzátoru s kondenzátorem, 15 mg trubičkové pájky	75
Obr. 6.9: Ověřování tepelné kapacity pro vývodové pájecí plošky s vývody, 50 mg trubičkové pájky	76
Obr. 6.10: Ověřování tepelné kapacity pro pájecí plochu pouzdra D2PAK, 50 mg trubičkové	77
Obr. 6.11: Zkušební deska plošných spojů pro ověřování ohřevu definované tepelné kapacity	78
Obr. 7.1: Průběh dat při provádění běžného pájecího úkonu	79
Obr. 7.2: Test ochlazení při čištění hrotu T36-B2 o navlhčenou houbičku	80
Obr. 7.3: Záznam dat z termočlánku pro čištění hrotu T36-B2 o navlhčenou houbičku	81
Obr. 7.4: Test ochlazení při čištění hrotu T36-D52 o navlhčenou houbičku	81
Obr. 7.5: Záznam dat z termočlánku pro čištění hrotu T36-D52 o navlhčenou houbičku	82
Obr. 7.6: Test ochlazení při čištění hrotu T36-B2 o mosazné špony	83
Obr. 7.7: Záznam dat z termočlánku pro čištění hrotu T36-B2 mosazné špony	83
Obr. 7.8: Test ochlazení při čištění hrotu T36-D52 o mosazné špony	84
Obr. 7.9: Záznam dat z termočlánku pro čištění hrotu T36-D52 mosazné špony	84
Obr. 7.10: Porovnání čistících metod (zleva: navlhčená houbička, motorový čistič, mosazné špony) (převzato z [29])	85

Seznam tabulek

Tab. 3.1: Základní požadavky na IoT pájecí stanici (převzato z [27]).....	33
Tab. 3.2: Získaná statistická data z pájecího procesu za využití programu Microsoft Excel..	43
Tab. 4.1: Porovnání poklesů teplot při pájecím procesu	51
Tab. 4.2: Souhrn výsledků teplotních rozdílů získaných pomocí pájecí stanice Hakko FN-1010 a profilometru SlimKIC2000	59
Tab. 5.1: Přehled dat z pájecího procesu reprodukovatelnosti.....	63
Tab. 5.2: Porovnání dosažených dat z experimentálního měření.....	65
Tab. 6.1: Aplikované množství trubičkové pájky na jednotlivé pájecí plošky	68
Tab. 6.2: Zaznamenaná data z měření ohřevu definované tepelné kapacity pro 0805.....	72
Tab. 6.3: Průměr dosažených dat pro pouzdro 0805.....	73
Tab. 6.4: Průměr dosažených dat pro plošky tantalového kondenzátoru.....	74
Tab. 6.5: Průměr dosažených dat pro plošky tantalového kondenzátoru s kapacitorem.....	75
Tab. 6.6: Průměr dosažených dat pro vývodové pájecí plošky s vývody	76
Tab. 6.7: Průměr dosažených dat pro pájecí plochu pouzdra D2PAK.....	77

ÚVOD

Internet věcí je fenoménem dnešní doby. S jeho nástupem můžeme registrovat jeho využití v různých oborech, zejména pak v oblasti komunikačních a informačních technologií. Koncept internetu věcí (taktéž označovaný jako IoT, z anglického Internet of Things) pochází z myšlenky propojení věcí a jeho původ se datuje do 19. století. V dnešní době je služba internetu věcí na vzestupu a je čím dál více implementována do různorodých zařízení, která nám díky této službě poskytují data. Podle různých předpovědí je tato služba budoucnost, což do jisté míry zažíváme. Nyní existuje více věcí připojených k internetu, než kolik čítá lidská populace na světě.

Implementace internetu věcí je přítomná i v pájecích stanicích. Ačkoliv se jedná o průkopnickou metodu, tato funkce slibuje obrovský potenciál z hlediska kontroly kvality. Umožňuje nám shromažďovat data z pájecího procesu od jednotlivých operátorů a následně je vyhodnocovat. Pomocí těchto dat můžeme stanovit kvalitu pájecího procesu, případně navrhnout úpravu procesu. Lze tak efektivněji korigovat lidskou chybu, která je součástí procesu. Díky síťové konektivitě pájecí stanice můžeme tato data shromažďovat bez ohledu na to, zda se nacházíme v místě výkonu procesu nebo na opačné straně světa. Můžeme tak jednodušeji sdílet data mezi výrobními závody a postupně zlepšovat technologický proces se zárukou neměnnosti vstupních parametrů.

V rámci experimentální části bylo provedeno několik sérií testovacích měření. Nejprve byla ověřována teplotní stabilita pájecích hrotů a její vliv na proces ručního pájení. K tomu byly využity termočlánky typu K, které byly připevněny na povrch pájecího hrotu. Dále bylo provedeno ověřování reprodukovatelnosti pájeného spoje, kde je dbána zvýšená pozornost důležitosti této metody ve výrobním procesu. V šesté kapitole je popsána metoda měření ohřevu definované tepelné kapacity a jejího vlivu na záznam dat pájecí stanice Hakko FN-1010. V poslední kapitole je popsána důležitost volby vhodných čistících procedur pájecího hrotu, tak abychom mohli získat relevantní data ze záznamu pájecího procesu.

1. CO JE TO INTERNET VĚCÍ

Internet věcí (označovaný jako IoT, z anglického Internet of Things) je definice pro zařízení, které jsou vybavena elektronikou, softwarem, senzory/čidly. Především ale obsahují prvek, který obstarává síťovou konektivitu. Ten za pomoci standardizovaných komunikačních protokolů zařízení umožňuje dále komunikovat ať už s ostatními prvky v okolí nebo pomocí internetu i s počítačem na druhé straně světa. V dnešní době, kdy je vyvíjen tlak na rozšiřování konektivity a rychlosti internetu po celém světě, je možné pomocí internetu věcí například provést operaci na člověku, i když je operující doktor stovky kilometrů daleko od operačního sálu. Dá se do určité míry říct, že využití internetu věcí jako služby každodenního světa je velmi blízká budoucnost. Podle průzkumů přesáhl počet zařízení, které funkcí IoT disponují v roce 2020 hodnotu 8,7 bilionu. V roce 2030 se očekává počet zařízení přesahující hodnotu až 25 bilionu. [1,2,3]

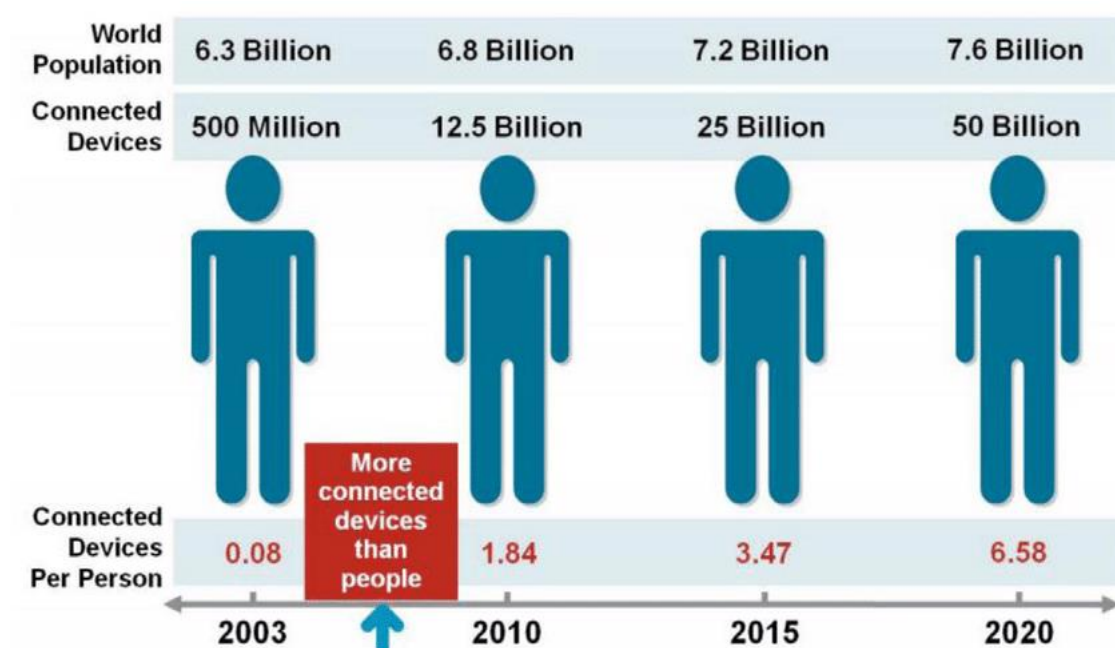
1.1 Historie internetu věcí

Pokud budeme uvažovat koncept internetu věcí, tak ten sahá až do 19. století. Roku 1832 Baron Pavel Lvovitch Schilling sestrojil elektromagnetický telegraf a krátce po té roku 1833 Friedrich Gauss a Wilhelm Weber vynalezli vlastní kód pro komunikaci až na vzdálenost 1200 m. Dále je také potřeba zmínit samotného Nikola Teslu, který sám předpověděl bezdrátovou společnost, nebo také Alana Turinga a jeho přenosný šifrovací stroj nazývaný Enigma. [4]

První náznaky internetu věcí (v této době služba jako taká ještě neexistovala) sahají do roku 1980, kdy společnost Coca-Cola ve spolupráci s Carnegie Mellon University instalovala první automat na nápoje, který byl schopný pomocí internetu zasílat data o stavu chlazení nápojů uvnitř automatu a také o počtu dostupných plechovek. Místní programátoři z univerzity instalovali do automatu mikropínače, které zajišťovaly informace o stavu zařízení. [5]

Pojem internet věcí jako takový vznikl v roce 1999, kdy Britský technologický průkopník a spoluzakladatel Auto-ID Centra Kevin Ashton vytvářel prezentaci pro společnost Procter & Gamble (P&G), která nesla právě zmiňovaný název "Internet of Things". Prezentace se týkala implementování RFID v dodavatelském řetězci. Základní myšlenka internetu věcí je taková, že určité množství vstupních dat dostupných na internetu, je zachyceno a vytvořeno lidmi, kdy někdo musel vykonat nějaký úkon k pořízení těchto dat. Nikdo zřejmě netušil, že za pár let bude toto označení využíváno v takovém masovém měřítku, jak jej známe dnes. [6]

Vznik internetu věcí, tak jak je prezentován dnes, se datuje přibližně mezi roky 2008 a 2009. Toto období uvedla společnost Cisco IBSG, která na základě výzkumů stanovila, že právě před zmiňovaným obdobím neexistovalo dostatečné množství připojených věcí k internetu. K určení začátků internetu věcí byla využita studie čínských výzkumníků, kteří trasovali data internetu v intervalu po šesti měsících od roku 2001 až po rok 2006. Bylo zjištěno, že podobně jako Moorův zákon, každého 5,32 roku internet zdvojnásobí svou velikost přibližně dvakrát. S využitím této skutečnosti, počtem připojených zařízení k internetu a populaci lidí (data získána z vládní agentury pro sčítání lidí) se určil počet připojených zařízení na osobu. Časová osa s počtem zařízení na jednoho člověka je znázorněna na obr. 1.1. [7]

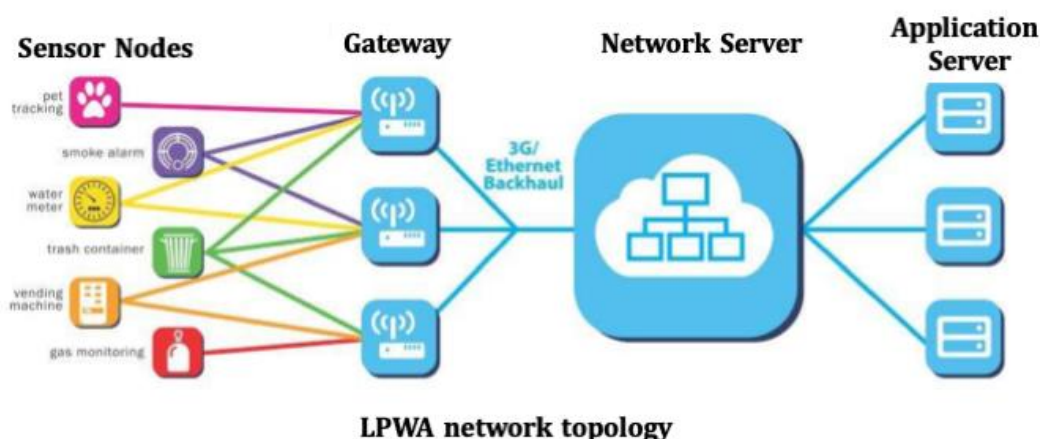


Obr. 1.1: Počet zařízení připojených k internetu v přepočtu na jednoho člověka (převzato z [7])

V dnešní době je internet věcí tak rozšířená služba, že ji sami lidé ani nevnímají. Jedná se o jakékoliv identifikovatelné zařízení s přístupem k internetu, které může skrze něj uskutečnit dálkový přenos dat, kontrolní úkony, monitoring a spoustu další příkazů. Internet věcí nám poskytuje propojení mezi reálným (fyzická zařízení) a virtuálním (software, síť) světem. Nejčastěji se můžeme setkat s různými ovladači zařízení například v domácnosti, různorodá čidla nebo snímače v průmyslovém využití.

1.2 Princip internetu věcí

Abychom mohli správně komunikovat s našim zařízením využívající internet věcí, je potřeba být připojen k internetu. Základní topologie je přehledně znázorněna na obr. 1.2. má buď obvykle. Každé zařízení vestavěný bezdrátový vysílač (WiFi, Bluetooth, ZigBee apod.) nebo jej lze připojit k bráně pomocí ethernetového kabelu. Prostřednictvím této konektivity může zařízení komunikovat s bránou či routerem. Tyto prvky jsou připojeny k internetu a je umožněn přístup k serveru vyhrazenému zařízení. Na tomto serveru běží inteligence aplikace a shromažďuje data ze zařízení. Uživatel se může pomocí zařízení připojeného k internetu spojit s tímto serverem a může provádět monitoring, komunikovat se serverem, analyzovat data nebo ho ovládat. Nejběžněji se k ovládání využívá mobilní telefon, ale je rovněž možné využít počítače, tablety nebo i chytré hodinky. [8]



Obr. 1.2: Topologie internetu věcí (převzato z [9])

Komunikace, kterou lidé provádí se zařízením skrze server, jsou ukládána a jsou z nich vytvářeny záznamy tzv. Big data. Tato technologie je pro internet věcí stěžejní. Je pomocí ní možné vyhodnotit velké množství dat, protože analýza běžnými způsoby není pro tak obrovské množství dat možná. Pro efektivní vyhodnocení výsledků z těchto dat je za potřebí speciálních serverů nebo cloudů s vysokou výpočetní kapacitou. Big data jsou nejčastěji charakterizovány čtyřmi charakteristikami, tzv 4V – volume (velikost), velocity (rychlost), variety (různorodost) a veracity (důvěryhodnost). V některých případech se tyto charakteristiky mohou být ještě více přesné. V tomto případě mluvíme o 7V, kde se k předchozímu 4V přidává ještě – value (hodnota), variability (proměnlivost) a visualization (vizualizace). [10]

1.3 Hrozby internetu věcí

V dnešní době je kladen velký tlak na rozvoj technologií, systémů a celkového vývoje. S narůstajícím počtem využívaných zařízení, která jsou připojena do veřejného internetu, dramaticky stoupá potřeba tato data nějakým způsobem chránit. Ačkoliv nemusí jít vždy o kritická data pro dané uživatele, je potřeba vždy nějakým způsobem chránit datový přenos. V nejhorších případech se může stát, že uniknou velice citlivá data uživatelů (např. data narození, přihlašovací údaje nebo jiné unikátní informace), která mohou případnému útočníkovi poskytnou značnou výhodu.

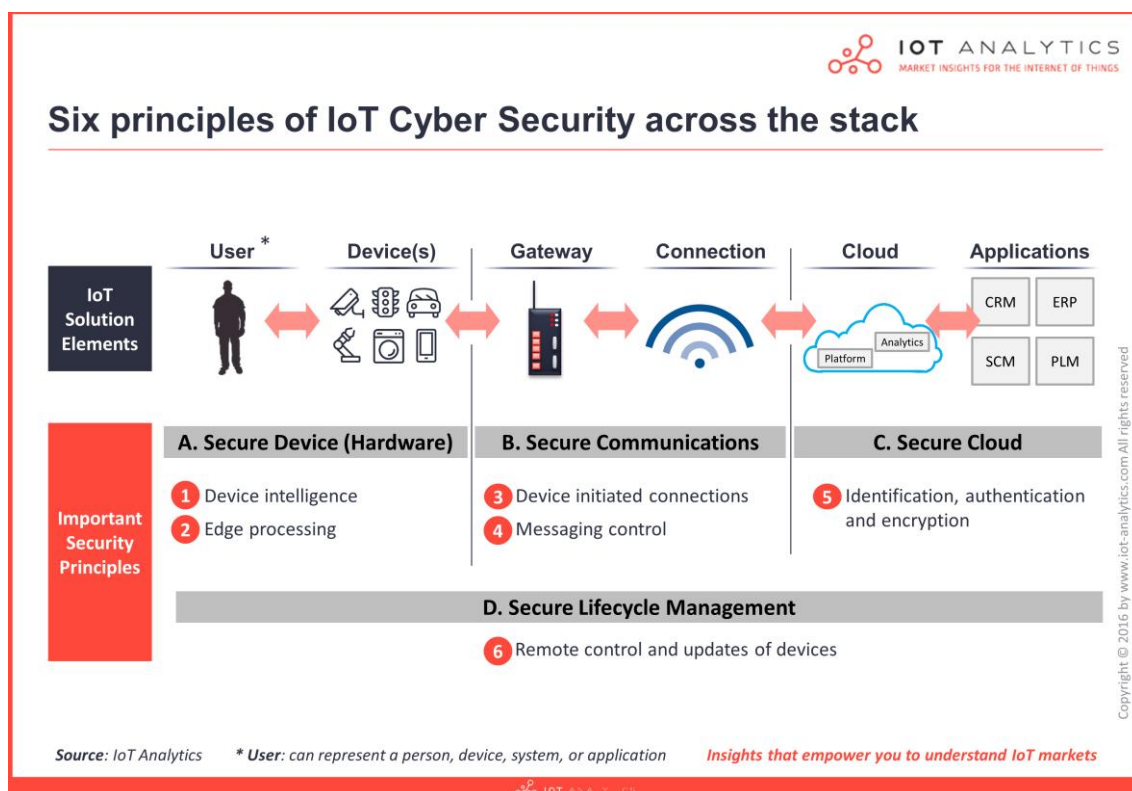
Základní ochrana, kterou by mělo mít každé zařízení připojené k internetu a provádí skrze něj komunikaci, činí zabezpečení dat. Tato data jsou nějakým způsobem dopravována a shromažďována v našem zařízení. Druhá základní ochrana tvoří samotnou ochranu zařízení, které je připojené k internetu. Tato ochrana je více prioritní než ochrana dat, neboť pokud útočník získá kontrolu na našem zařízení, může to mít horší následky než únik citlivých dat.

Bohužel, když si uvědomíme, jaké všechny zařízení využíváme ke každodennímu životu a zároveň jsou připojena k internetu, můžeme se dostat k vysokým číslům. U všech těchto zařízení je důležité dbát na zabezpečení, neboť dnešní doba je plná důmyslných počítačových virů či útočníků. Například pokud využíváme solární panely na střeše našeho rodinného domu, budou pravděpodobně připojena přes dedikovanou aplikaci, která poskytuje majiteli okamžitý přehled využití. Tyto aplikace většinou obsahují různé nastavovací parametry, které mohou ve zlomku vteřiny způsobit nestabilitu systému. Pokud je ovládací aplikace připojena k internetu, je vystavena riziku napadení. Útočník tak může získat moc nad hlavní ovládací aplikací a může způsobit určité potíže uživateli, který nemusí vědět, o jakou chybu je se jedná. [11]

Pro komplexnější ochranu uživatelů, kteří jakýmkoliv způsobem pracují či manipulují se zařízeními připojených k internetu věcí, bylo vytvořeno šest pokynů pro jejich zabezpečení. Tato zabezpečení jsou přehledně znázorněna na obr. 1.3. Hlavní myšlenkou je implementovat jednotlivé prvky zabezpečení do každé úrovně hardwaru, softwaru pracujícího jak v zařízení, tak i v cloudovém úložišti a firmwaru samotného zařízení. Navíc je vše navrhováno takovým způsobem, aby již od samotného počátku bylo zařízení těžko napadnutelné. [12] George Cora, generální ředitel společnosti Adrexa, která se zabývá bezpečností v oboru IoT, stanovil šest klíčových pravidel:

- Upřednostňovat systémy vytvořené na mikrokontrolerech než využívat systémy běžící na operačním systému.
- Porty pro komunikaci by se měly otevírat pouze v případě jejich využití. Každý otevřený a nevyužitý port představuje potencionální riziko. Je doporučeno každý port a protokol zajistit separátní ochranou, která bude spuštěna na výkonnějším systému.
- Veškerá komunikace mezi zařízením a cloudovým úložištěm musí být zašifrována. Tak lze dosáhnout důvěrnosti, integrity a autenticity dat.

- Je žádoucí sledovat veškeré chyby či jejich souvislosti, které vznikají na samotném zařízení, tak i v cloudových službách.
- Cloudové služby by měly mít vyhrazené sítě a neměnnou infrastrukturu, která v případě potřeby dokáže rychle nahradit podezřelé servery.
- Lidé figurují v zabezpečení často jako nejslabší článek, proto je vhodné pro jakékoliv úkony na zařízení IoT vyžadovat vícefázové ověření.



Obr. 1.3: Šest klíčových pravidel pro bezpečnost internetu věcí (převzato z [12])

Výše zmíněná pravidla se dělí nadále do čtyř skupin:

- A. Zabezpečení na úrovni zařízení.** Toto zabezpečení je již integrováno přímo od výrobce, aby se zvýšila úroveň zabezpečení.
- B. Zabezpečení komunikace.** Zde je kladen důraz na komunikační kanály ať už bezdrátové (WiFi, norma IEEE 802.15.4 nebo ethernet), síťové (IPv6, Modbus nebo OPC-UA) nebo fyzické (MQTT, CoAP).
- C. Zabezpečení cloudu a cloudových aplikací.**
- D. Zabezpečení managementu životního cyklu IoT.**

2. PÁJECÍ STANICE A INTERNET VĚCÍ

S rychlým vývojem internetu věcí se tato technologie postupně začala implementovat do stále obvyklejších věcí. Můžeme se tedy setkat například s dětskými hračkami, obuví, oblečením nebo například kuchyňským vybavením, kde je již v dnešní době internet věcí implementován. V oboru elektrotechniky tomu není jinak. Velice rozšířené jsou různorodé domácí doplňky, chytré domácnosti nebo právě přítomnost v různém dílenském vybavení. Nástup internetu věcí do průmyslu otevírá nové možnosti v rámci monitorování procesů v reálném čase. V oblasti pájecích stanic je tato funkce vítaná novinka. Provozovatel může mít tímto způsobem pod kontrolou veškeré procesy ručního pájení. Ovšem pro kvalitní proces pájení je zapotřebí dostatečně proškolený personál. Právě zmiňovaná funkce internetu věcí implementovaná do pájecí stanice umožňuje provozovateli získat záznamy a data o každém pájeném spoji. Navíc je tu ta možnost, že se data mohou bezproblémově sdílet ať už v rámci podniku nebo poboček napříč celým světem. [13]

Co se týče zastoupení pájecích stanic s internetem věcí, tak na komerčním máme dostupné prozatím pouze několik modelů. První model pochází od japonské společnosti HAKKO Corporation a nese označení FN-1010 (obr. 2.1). Další dostupné stanice můžeme nalézt od čínského výrobce BAKON nebo amerického výrobce Metcal. V této práci bude popisována pájecí stanice FN-1010 od společnosti HAKKO.

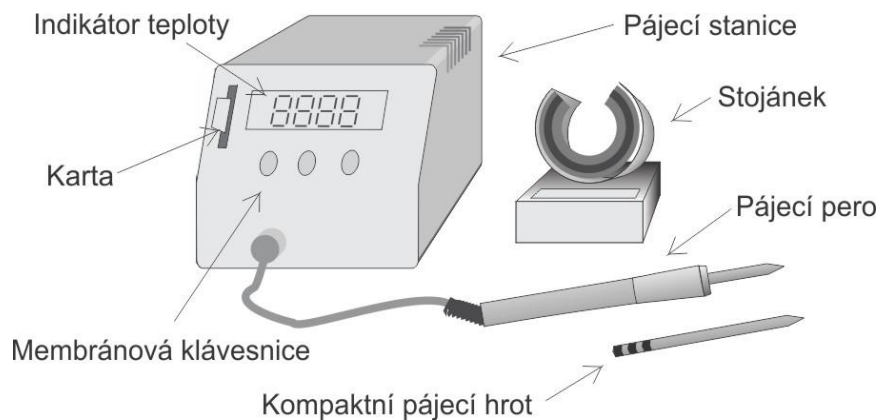


Obr. 2.1: Pájecí stanice HAKKO FN-1010 s funkcí IoT (převzato z [14])

2.1 Pájecí stanice

Dnešní pájecí stanice prošly již značným vývojem. Na komerčním trhu máme k dispozici nepřeberné množství různých typů stanic od předních renomovaných výrobců jako jsou například Hakko, Weller, JBC, Pace, Metcal, Erska aj. Taktéž můžeme narazit na méně známé výrobce, kteří vyvíjí svá vlastní pájedla nebo pájecí stanice a jsou spíše zaměřeni na hobby produkci. Například čínský výrobce Miniware a jejich série kompaktních pájedel Mini TS. Nejvíce jsou ale rozšířené klasické pájecí stanice, které kromě základního zdroje napájení a ručního pájedla obsahují mnohdy i jiné nástroje, či disponují různými „chytrými“ funkcemi nebo internetem věcí. Zejména je kladen důraz na ochranu elektrostatických součástek, které by se mohli případně poškodit procesem pájení. [15]

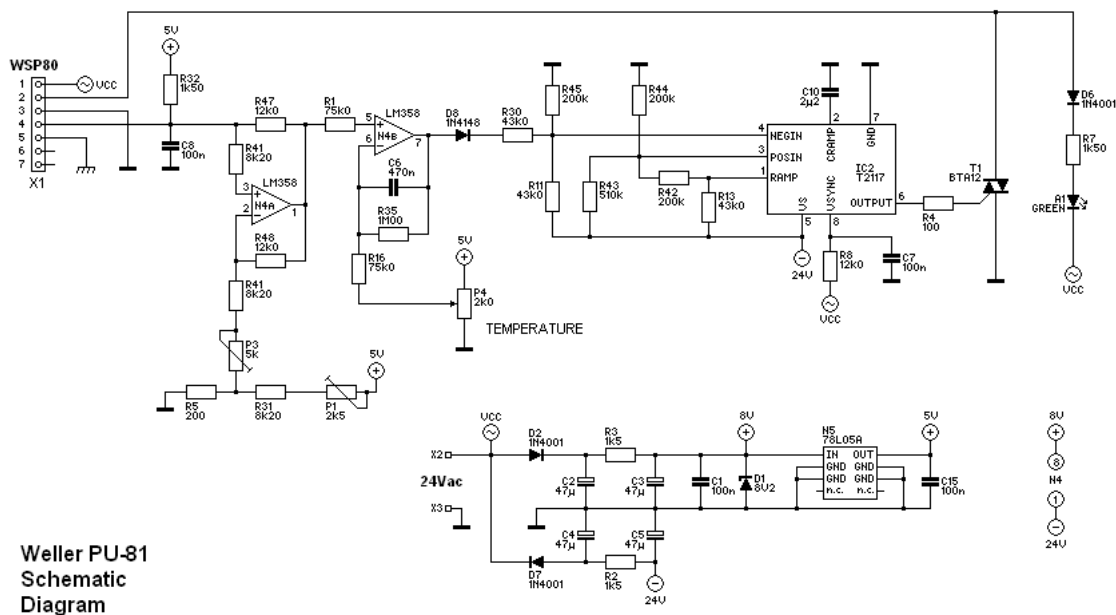
Na obr. 2.2 je znázorněna standardní pájecí stanice s jejím příslušenstvím. Nedílnou součástí každé pájecí stanice tvoří ruční pájedlo a jeho napájecí zdroj. Dále máme k dispozici různá vybavení, která jsou v některých případech nezbytná, např. odkládací stojánek pro pájedlo. V těch bývá zpravidla vytvořen speciální prostor pro čisticí houbičku nebo mosazné špony. Ty slouží především k očištění od nečistot, oxidů a jiných nežádoucích těles na povrchu pájecího hrotu. K určitým typům pájecích stanic můžeme využít různé speciální klíče, které zabráňují manipulaci s již nastavenými hodnotami. [16]



Obr. 2.2: Pájecí stanice a její příslušenství (převzato z [16])

Součástí většiny pájecích stanic je napájecí zdroj. Ten především slouží pro napájení pájecího pera, popřípadě meziobvodové logiky. V dnešní době se na trhu vyskytují pájecí stanice, které se připojují na síťové napětí. Ovšem lze najít i určité výjimky, které nepotřebují ke svému provozu rozměrný napájecí zdroj. Jejich napájecí vstup je přizpůsoben na stejnosměrné napětí a veškerá řídicí elektronika je umístěna v těle pájecího pera.

U konvenčních pájecích stanic je zdroj tvořen transformátorem, případně toroidním transformátorem. Síťové napětí je zde transformováno, obvyklé hodnoty jsou 24 Vac nebo 12 Vac. Napětí o vyšších hodnotách se nejčastěji využívá pro vyhřívání odporového členu v pájecím peru, a proto není třeba provádět jeho usměrnění na stejnosměrné napětí. Menší napěťový výstup z transformátoru slouží jako napájecí větev pro pomocnou logiku a řídicí obvody uvnitř pájecí stanice. To je usměrněno a dále podle potřeby zpracováno vnitřní elektronikou.

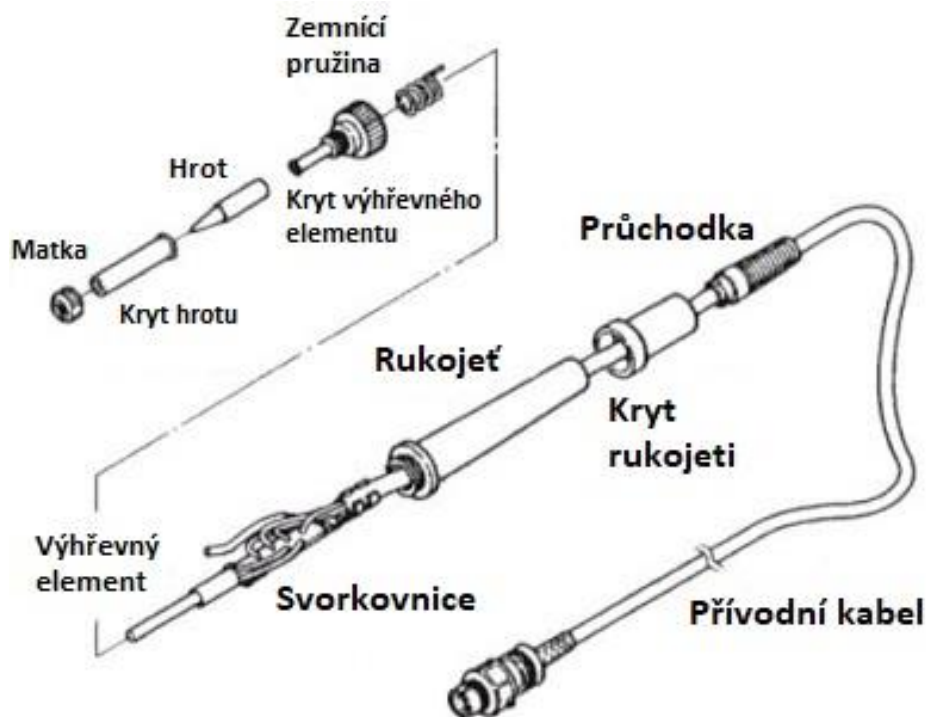


Obr. 2.3: Schéma řídicí elektroniky pájecí stanice Weller PU-81 (převzato z [19])

Na obr. 2.3 je znázorněno schéma vnitřního řídicího a regulačního obvodu pájecí stanice Weller PU-81. Vstupní střídavé napětí o amplitudě 24 V je přivedeno na dvoucestný usměrňovač a zároveň je vedeno na kontakty, které jsou spojeny s výhřevným elementem v pájecím peru. Dále se zde nachází lineární stabilizátor napětí, pomocí kterého jsou napájeny ostatní regulační části obvodu. Samotná regulace výkonu výhřevného elementu je zajištěna pomocí výkonového triaku, řízeného speciálním spínačem. Ten využívá zpětné vazby z termočlánku umístěného v pájecím peru. Podle odpovídající hodnoty napětí spínač reguluje otevření triaku a tím dodávaný výkon do výhřevného elementu. V případě, že chce uživatel změnit nominální teplotu hrotu, je pomocí potenciometru změněna úroveň napětí, která vstupuje do spínače.

2.2 Ruční pájedlo

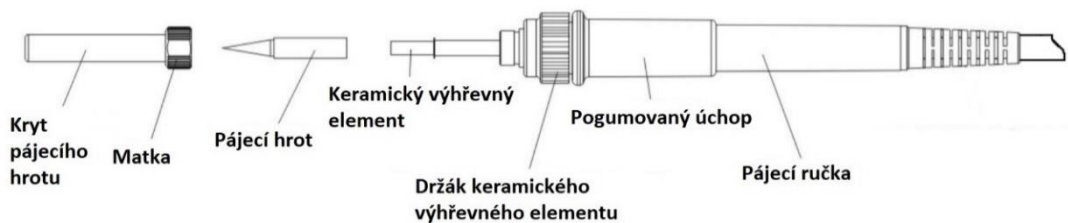
Funkčnost a vzhled ručního pájedla ušla za poslední dekádu výrazných změn. S příchodem přísnějších požadavků na kvalitu pájených spojů s bezolovnatou pájkou nebo dodržování přísnějších kritérií na antistatiku jsou výrobci nuceni implementovat nejnovější trendy do pájecích stanic. V dnešní době je téměř nepředstavitelné využívat k sériovým výrobám transformátorové páječky, neboť s tímto typem pájedla nejsme schopni dodržet základní bezpečnostní kritéria pro pájenou součástku. Nynější typické ruční pájedlo je zobrazeno na obr. 2.4 a je tvořeno z několika částí. Přívodním kabelem je pájedlo spojeno s centrální jednotkou, která je většinou implementovaná v samotné stanici. Je nutné podotknout, že pevné a neměnné spojení mezi pájedlem a stanicí je velmi důležité pro korektní fungování pájedla. Často je přívodní kabel vybaven speciálním konektorem s aretací, který zamezí případně nechtěnému odpojení od stanice a tím ztráty dodávky elektrické energie do pájedla. Samotné pájedlo je sestaveno z několika částí a je pevně spojeno s přívodním kabelem. Materiál, ze kterého je vyrobena rukojeť pájedla, by měl obsahovat vodivé příměsi tak, aby byl zaručen standard ESD. [16] V rukojeti je umístěn samotný výhřevný element. Ten se opět dělí do několika kategorií.



Obr. 2.4: Jednotlivé komponenty dílenského pájedla (převzato z [20])

2.3 Pájedlo s odporovým výhřevným elementem

Nejrozšířenější systém využívaný k vyhřívání ručního pájedla je tvořen soustavou odporového topného tělíska nebo keramicko-tepelného tělíska. Vinutí je nejčastěji tvořeno odporovým drátkem z materiálu Ni-Cr. Tím prochází buď stejnosměrný nebo střídavý proud, který drátek zahřívá. Teplo vzniklé průchodem proudu je přenášeno přímo na samotný pájecí hrot. Ve většině případů je dodávaný výkon regulován pomocí termočlánku, který je umístěn v těsné blízkosti výhřevného elementu. Bohužel i v dnešní době jsou na trhu dostupné „pájecí stanice“, které postrádají jakýkoliv zpětnovazební regulační prvek. Můžeme si tedy pouze nastavit dodávaný výkon do výhřevného elementu ale nikoliv teplotu, která je pro korektní operaci ručního pájení klíčová.

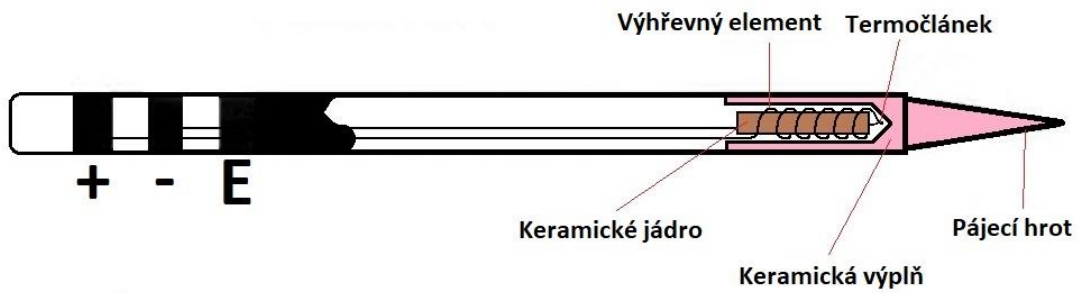


Obr. 2.5: Součásti pájecího pera (převzato z [21])

Jak již bylo zmíněno, regulace teploty v pájecím hrotu je zajištěna pomocí integrovaného termočlánku. Ten je umístěn v těsné blízkosti výhřevného elementu tak, aby nevznikal příliš velký tepelný přechodový odpor. Zároveň je žádoucí, aby celková poloha termočlánku s výhřevným elementem byla co neblíže k samotnému pájecímu hrotu. Jen tak je možné dosáhnout co možná nejlepší zpětné vazby. Když je termočlánek zahříván, vzniká na jeho galvanickém spojení proud vlivem rozdílných teplot na každém materiálu, ze kterého je vytvořen (např. chromel – almel). Výstupní proud z termočlánku je dále zpracováván elektronikou uvnitř pájecí stanice. Ta proud vyhodnotí a podle toho upraví výstupní výkon změnou regulačního signálu. Ten nám následně ovládá regulační prvek, který může být přítomen v podobě triaku pro střídavé napětí nebo v podobě tranzistoru pro stejnosměrné napětí.

2.4 Pájedlo s vysokou obnovou tepla

S příchodem směrnice (2002/96/EC), která byla pro evropský trh zavedena v roce 2003, se zakazuje využívání nebezpečných látek v elektrotechnických výrobcích, a proto byli výrobci nuceni ukončit využívání olovnatých pájek. To sebou přineslo i jisté komplikace. Nejčastěji využívaná náhrada za olovnatou pájku je v dnešní době slitina cínu, stříbra a mědi, označována jako SAC. Podle studií v společnostech Nokia a Multicore jsou shledávány vlastnosti bezolovnaté pájky SAC nejméně na stejné úrovni jako u olovnaté a v některých ohledech převyšují spolehlivost. Studie Brite-Euram poté doporučuje využívání této bezolovnaté pájecí slitiny jako přímou náhradu za olovnaté pájecí slitiny pro všeobecné použití. [15]

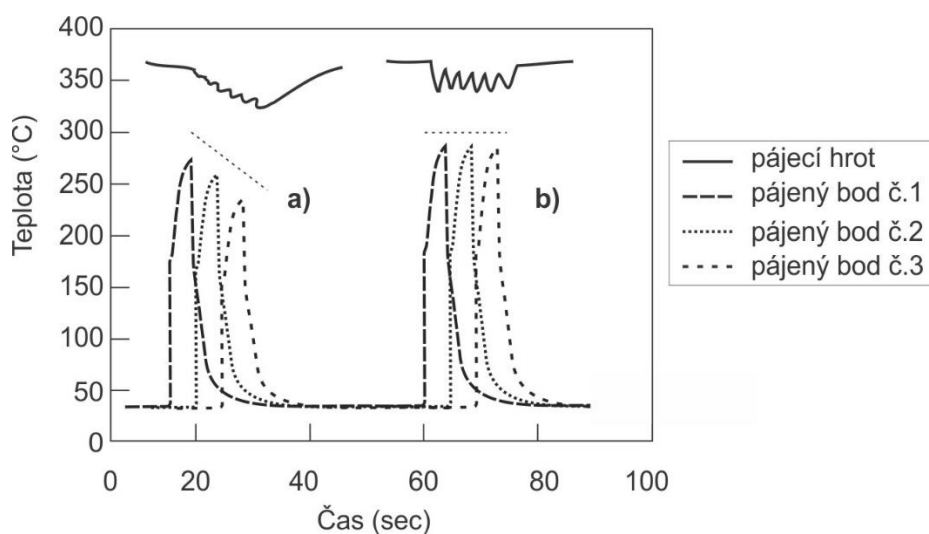


Obr. 2.6: Pájecí hrot s rychlou obnovou tepla (převzato z [22])

Zmiňovaný přechod z olovnatých pájecích slitin na bezolovnaté měl za následek i jistou transformaci pájecí techniky. Olovnaté eutektické pájky disponují bodem tavení 183–189 °C. Zatímco slitina SAC má bod tavení při teplotě 217 °C. [28] Tento patrný teplotní rozdíl způsobil, že pracovní teplota pájecích hrotů, která je vhodná pro olovnaté pájení, musí být přizpůsobena vyšším teplotám. Správné nastavení teploty na hrotu a jeho konzistentnost vede ke vhodným předpokladům vzniku kvalitního pájeného spoje. S vyšší pracovní teplotou jsou kladeny i vyšší nároky na výrobce pájecích stanic, kteří přispěli k řešení v podobě pájecích hrotů s vysokou obnovou tepla. Na první pohled můžeme tyto hroty rozeznat jednoduše. Běžný konvekční pájecí hrot je složen pouze ze samotné „pájecí špičky“, která je následně vsunuta do pájedla, kde je umístěno topné tělísko. U pájedel s rychlou obnovou tepla je tomu jinak.

Vlastní pájecí hrot s rychlou obnovou tepla (obr. 2.6) je vyroben jako kompaktní celek, který v sobě ukrývá jak topné tělísko, tak i termočlánek. Veliká výhoda tohoto systému spočívá v absenci přechodového tepelného odporu, který je běžný pro pájedla bez rychlé obnovy tepla.

Skutečnost, že máme tepelné tělísko s termočlánkem co možná nejbližší k samotnému pájecímu hrotu, je výhodná v tom, že jsme schopni rychleji detekovat pokles teploty v hrotu a tím rychleji regulovat dodávaný výkon z pájecí stanice do pájedla. To má pozitivní následek na životnost pájecího hrotu. Jelikož je zamezeno přebytku přehřívání, povrchová úprava pájecího hrotu si déle uchovává své ideální vlastnosti. Samozřejmostí je také to, že pájecí hrot s vysokou obnovou tepla je výrazně dražší v porovnání s obyčejnými hroty. Tato skutečnost je ale efektivně kompenzována delší životností. Samotné spojení s pájecí stanicí je realizováno přes speciální konektor, který obsahuje několik kontaktů. Přes ně je realizována dodávka elektrické energie do tepelného tělíska, zpětná vazba z termočlánku, elektrické uzemnění pro ochranu elektrostaticky citlivých součástek a případně jiné signály, které slouží pro monitorování stavu pájecího pera.



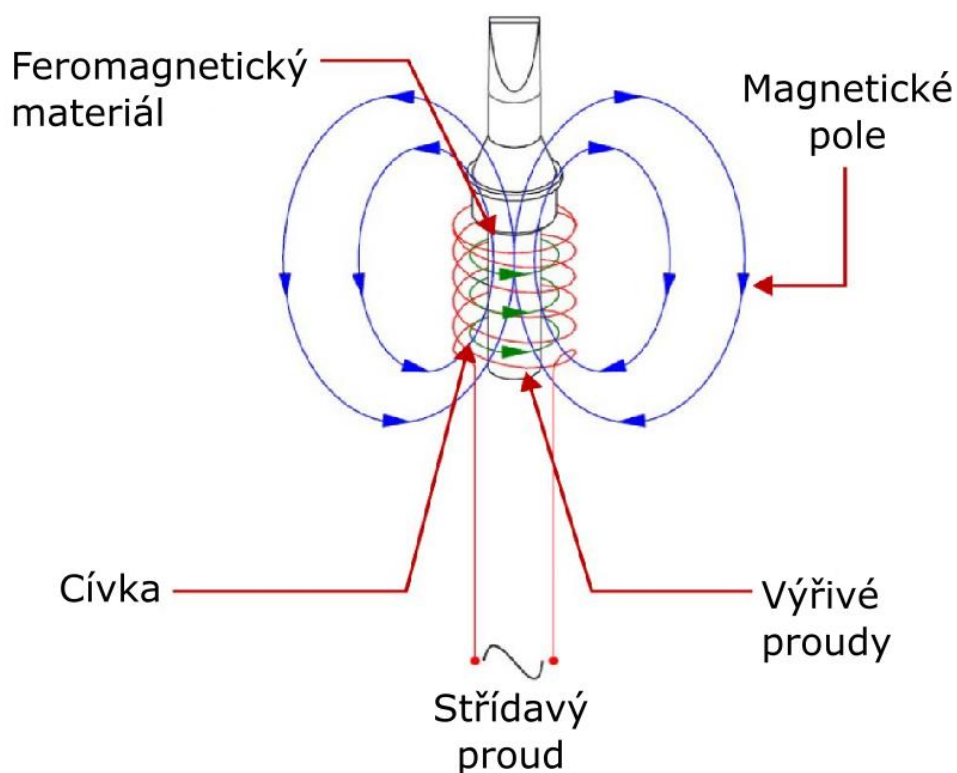
Obr. 2.7: a) Průběh teploty v čase pájecího hrotu bez rychlé obnovy tepla; b) průběh teploty v čase pájecího hrotu s rychlou obnovou tepla (převzato z [16])

2.5 Vysokofrekvenční pájedlo

Zavedením ručních pájedel s indukčním vyhříváním do jisté míry transformovalo trh s pájecí technikou. Prvopočátky tohoto systému zavedla německá společnost Weller. Ta nabídla klasická pájedla pro ruční pájení s odporovým vyhříváním, ale regulace teploty byla tvořena magnetickým tělískem, které nahrazovalo funkci termočlánu. Tento magnetický materiál byl v pájecím hrotu zabudován tak, aby po dosažení určité teploty v hrotu přerušil dodávku energie z pájecí stanice a tím nebyla dále zvyšována teplota. Po dostatečném ochlazení byl kontakt opět sepnut a do výhřevného tělíska mohla být dále dodávána energie. [16,23]

Základním principem vysokofrekvenčního pájení je schopnost některých magnetických materiálů měnit své magnetické vlastnosti vlivem měnící se teploty. Základním stavebním materiálem je měděný materiál s kruhovým průřezem. Na něj je vhodnou metodou nanесena vrstva feromagnetického materiálu, okolo kterého je omotan vodič. Tímto vodičem prochází vysokofrekvenční proud, který interaguje s atomy feromagnetického pláště a způsobuje ztráty vířivými proudy a hysterezí. Proud je generován samotnou pájecí stanicí o frekvenci 13,56 MHz nebo 470 kHz (odpovídá výkonu 40 W a 35 W). [16] Ztráty vířivými proudy vznikají v důsledku přítomnosti střídavého magnetického pole. Jejich přítomnost na povrchu feromagnetického materiálu vytváří tepelné ztráty, které je úměrné odporu feromagnetického materiálu a aplikovanému proudu procházejícího systémem. [23] Tepelné ztráty v systému jsou hlavním zdrojem tepla pro samotný pájecí hrot. Aby bylo možné pracovat v určitém tepelném rozmezí, je nutné vhodně zvolit kompozici materiálu feromagnetického pláště. Důvodem je Curieova teplota. Feromagnetické materiály ztrácí své magnetické vlastnosti a stávají se paramagnetickými, když je právě překročena tato teplota. Tímto způsobem lze velmi přesně regulovat teplotu v pájecím hrotu $\pm 1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. [23] Značnou předností tohoto systému je také fakt, že je zde malá míra akumulace tepelné energie v pájecím hrotu. Naopak jako nevýhodu lze shledat jistou omezenost variability výběru pracovních teplot pájecích hrotů. Obvykle si zákazník vybírá takový pájecí hrot, ve kterém má feromagnetický plášť definovanou Curieovu teplotu, tedy pracovní teplotu.

Dnešní přední dodavatelé indukčních pájecích stanic tvoří firmy jako americký Metcal nebo japonské Hakko Corporation. Společnost Metcal v roce 2021 představila nový systém indukčního vyhřívání, kdy se za specifických podmínek podařilo dosáhnout regulačních vlastností.



Obr. 2.8: Vznik vířivých proudů v systému indukčního pájedla (převzato z [23])

Princip regulace indukčního vyhřívání spočívá ve využití speciální slitiny, která má extrémně vysokou Curieovu teplotu. Střídavý proud o vysokých frekvencích (465 kHz) je regulován pomocí proporcionálně – integračního – derivačního (tj. PID) regulátoru. Působením proudu na takto vysoké frekvenci způsobuje skin efekt, který má hloubku vniku pouze okolo 50 μm . Díky takto extrémně malé hloubce vniku může tepelná energie velmi efektivně proudit po povrchu speciální slitiny. Kontrola teploty probíhá pomocí termočlánku umístěného v těsné blízkosti výhřevného elementu. [16]

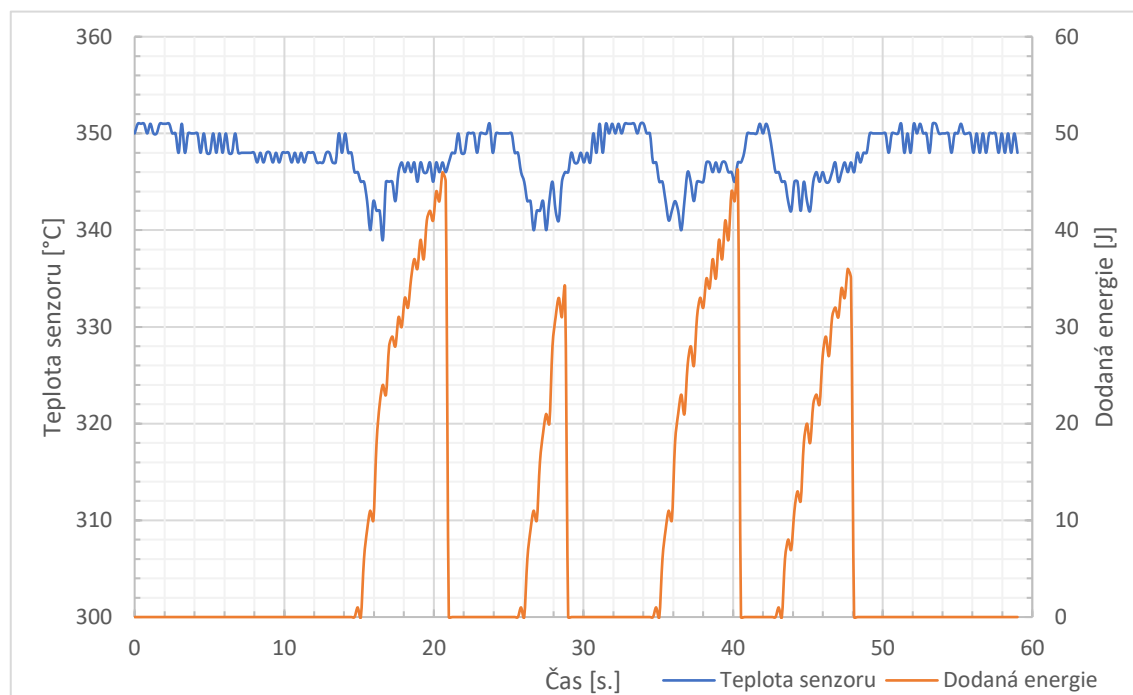
2.6 Internet věcí využitý v pájecí stanici

Jak již bylo výše zmíněno, v dnešní době je možné zakoupit ruční pájecí stanice s podporou internetu věcí. Tyto funkce výrazně pomáhají ke zlepšení a udržitelnosti pájecího procesu. Pro demonstraci funkcí internetu věcí implementované v pájecí stanici bude tato práce dále popisovat funkce stanice Hakko FN-1010.

Mezi hlavní výhody pájecí stanice s internetem věcí patří bezesporu přehled během pájecího procesu. Kromě datového výstupu, kde nám pájecí stanice zaznamenává teplotu hrotu a dodávanou energii do pájecího pera v čase, můžeme taktéž měnit různé konfigurační nastavení samotné stanice. Tato výstupní data nám mohou významně přispět k trasování vzniklých problémů během procesu ručního pájení nebo nám v reálném čase poskytnou datový pohled na techniku pájení operátora. Výstupní data z pájecí stanice jsou charakterizována několika veličinami. energii dodanou do pájecího hrotu, snímané teploty na termočlánek umístěného v pájecím hrotu nebo identifikační kód pájecího hrotu. Na obr. 2.9 jsou zobrazena zaznamenávaná data nám během pájení vytváří průběh sledovaných veličin v závislosti na čase. Můžeme si zde povšimnout klesající teploty (modrá křivka) a zároveň zvýšenou dodávanou energii (oranžová křivka) v pájecím hrotu. Tyto body indikují samotný pájecí proces a lze z něj odečíst, jestli operátor provedl úkon pájení korektně či naopak. Množství spotřebované energie úměrně odpovídá tepelné energii, která je dodávána přímo do pájeného spoje. Při zapnutí pájecí stanice se nám pájecí hrot stabilizuje na námi zadané teplotě. Tato stabilizace je doprovázena mírným zakmitáním reálné teploty, neboť je zde patrná vnitřní regulace teploty. Jakmile se operátor dotkne pájeného spoje, tepelná energie nashromážděná v pájecím hrotu se může přesunout do pájeného bodu a tím se způsobí jeho skokové ochlazení. Na toto ochlazení reaguje zpětnovazební člen pájecí stanice, a proto začne dodávat zvýšené množství energie do pájecího hrotu, aby mohla neustále udržovat námi zadanou teplotu. Tento stav je charakterizován opět stoupající teplotou v pájecím hrotu. [16]

Tato metoda monitorování nám tedy může přispět v udržitelnosti kvality pájených spojů, neboť z výstupních dat jsme schopni rozpoznat netypické průběhy pájení. Těmi mohou být například nedostatečně prohřáté spoje nebo naopak příliš prohřáté spoje, krátkou dobu přetavení či jiné abnormální úkony operátora během pájení. Tato odhalení nám mohou v budoucnu ušetřit velké množství času, který by jinak byl vynaložen na optickou kontrolou pájených spojů. Kromě záznamu dat z pájecí stanice máme k dispozici širokou nabídku možností z hlediska ovládání. Tyto funkce nám umožňují v reálném čase nastavovat parametry takovým způsobem, aniž bychom museli přímo za operátorem. Lze tedy měnit určité parametry nebo sledovat výstupní data dálkově. Změnou parametrů pájecí stanice můžeme přímo reagovat na výstupní data a za průběhu upravovat jednotlivé parametry.

Mezi nejdůležitější možné konfigurovatelné parametry můžeme zařadit teplotu pájecího hrotu, míru citlivosti dodávané energie nebo přednastavené profily pro různé pájecí operace. Zároveň můžeme okamžitě zjistit, jaký pájecí hrot je právě využíván, neboť obsahuje speciální identifikátor kompatibilní se stanicí FN-1010.



Obr. 2.9: Průběh teploty a změny dodávané energie na čase v plochém pájecím hrotu stanice FN-1010 (převzato z [18])

V rámci kalibrace teploty pájecího hrotu je doporučeno provést kontrolní měření na externím zařízení a poté porovnat nastavenou a reálnou hodnotu, která byla na pájecím hrotu naměřena. Pro tyto účely slouží speciální automatický teploměr Hakko FG-100B, který v použití s pájecí stanicí dokáže nastavit teplotu s přesností $\pm 1^\circ\text{C}$. Naměřená teplota na teploměru se automaticky odešle do pájecí stanice, kde je porovnána s aktuální nastavenou teplotou. Rozdílem těchto teplot stanice nastaví příslušný offset. Takto lze zajistit přesnou teplotu pájecích hrotů během jejich využívání. V rámci kontroly pájecí stanice shromažďuje veškeré pokusy o provedení kalibrace, které mohou být později využity pro kontrolu kvality pájecích hrotů.

2.6.1 Využitelnost v procesu

V dnešní době jsou určité procesy ve výroбах přesně dané a nelze s nimi moc hýbat. Tyto procesy nám dopomáhají k tomu, aby náš výrobní proces mohl bez komplikací pokračovat i přes vyskytující se problémy. V rámci ručního pájení je vyžadována po operátorovi přesná mechanická práce s pájecím perem, která umožní vznik korektně zapájeného spoje. Z pohledu operátora není tedy vůbec potřeba jakkoliv interagovat s pájecí stanicí, resp. nastavování její teploty, měnit její nastavení a podobně. Většinou jsou tyto možnosti pro operátory na pájecí stanici zablokované a pouze technik může toto nastavení měnit za pomoci bezpečnostního kódu nebo speciální karty. Neměnností vstupních parametrů do pájecího procesu jsme schopni do určité míry zajistit opakovatelnost procesu.

Právě přítomnost technika, který by musel zajišťovat jednotlivá pájecí stanoviště, není za využití pájecí stanice s IoT až tolik potřebná. Veškerý nezbytný přehled informací z pájecí stanice jsme schopni zajistit dálkově. Ty disponují buď LAN přípojkou, standardem USB nebo RS-232. Pomocí této konektivity jsme schopni připojit více pájecích stanic na společný server, ze kterého můžeme sledovat data nebo ovládat parametry stanice kdekoliv po světě. Právě sledovatelnost procesu je klíčová pro správné řízení kvality. Datové výstupy můžeme vhodnou formou upravit tak, abychom byli schopni rozpoznat, jak daný operátor provedl úkon ručního pájení. Tato data jsou dále podložena ostatními informacemi nezbytnými pro jejich zpětné řešení, jako je například přesně nastavená teplota, kalibrace, čas, datum nebo i unikátní sériové číslo pájecího hrotu (obr. 2.10). [16,24,25]



Obr. 2.10: Pájecí hrot s rychlou obnovou tepla a unikátním sériovým číslem (převzato z [24])

Správná prezentace výstupních dat je klíčová pro sledování výrobních kroků, umožňuje rychleji identifikovat a odstraňovat problémy spojené s pájecím procesem. Dokonce jsme schopni porovnávat data z různých poboček po celé zemi. To nám mimo jiné může pomoci s nastavováním procesů v různých závodech.

3. PÁJECÍ STANICE HAKKO FN-1010

Tato pájecí stanice (obr. 3.1) od japonského výrobce Hakko byla na světovém trhu představena v roce 2019 [25] jako první ruční pájecí stanice s využitelnou funkcí internetu věcí pro kontrolování a verifikaci pájecího procesu. Tato funkce je zejména vhodná pro střední či velké závodní podniky, které musí vynakládat čas a personál, který bude mít na starosti kalibraci, kontrolu a jiné úkony spojené s bezproblémovým chodem pájecích stanic obsluhované operátory. Jedná se o vítaný způsob automatizace, který jde se současným trendem chytrých věcí (Smart Things). Cílem této technologie obsažené v pájecích stanicích je minimalizovat lidskou chybu ve výrobcích. Je přirozené, že operátoři během montáže dělají větší či menší chyby. Jejich včasné odhalení dokáže uspořit podniku výdaje na případnou opravu výrobku či snížit počet reklamací zákazníka. Zařazením výrobních strojů s podporou internetu věcí může znamenat také postupné zdokonalování výrobních procesů. Jejich špatná optimalizace může způsobit až 40% časové ztráty [27], což je pro konkurenceschopný podnik téměř nemyslitelné.



Obr. 3.1: Pájecí stanice Hakko FN-1010 s funkcí IoT (převzato z [26])

Z hlediska ručního pájení nám do procesu vstupuje ve velkém procentu lidská chyba. Pájecí stanice vhodné pro širokou škálu aplikací ve výrobním prostředí jsou dnes již běžně dostupné, ale nemají tak podstatný vliv na výslednou kvalitu práce. Ta především závisí na operátorovi a jeho řádném zaškolení do vybrané problematiky. Je důležité, aby byl schopen zvládnout mechanickou práci s ručním pájedlem, tj. přiložit správně pájecí hrot, správně vzájemně umístit pájené součásti a dodržet správný čas pájení. [27] Ostatní parametry jako je teplota nebo tvar pájecího hrotu obstarává technik údržby. Současné pájecí stanice určené do výroby obsahují buď číselný zámek nebo slot pro čipovou kartu. Toto umožní zamčení nastavených hodnot a operátor nemůže svévolně měnit nastavení pájecí stanice. To je velice důležité, neboť jsme schopni tímto krokem dosáhnout jisté opakovatelnosti procesu pájení. Důležitost těchto kroků je navíc zdůrazněna přechodem na bezolovnaté pájecí slitiny, se kterými nastaly určité změny v pájecím procesu. Nezbytnost řádného proškolení personálu je tedy více než nezbytná, neboť správné pochopení pro vlastností bezolovnatých pájecích slitin, procesů a údržby je základem ke vzniku spolehlivých spojů.

Tab. 3.1: Základní požadavky na IoT pájecí stanici (převzato z [27])

Jaké faktory ovlivňují proces ručního pájení?	Do procesu ručního pájení vstupuje mnoho činitelů jako: • Použité materiály: pájecí slitina, tavidlo • Pracovní teplota ručního pájedla • Čas pracovního cyklu pájení • Životnost pájecího hrotu
Jaká data potřebujete, abyste docílili bezchybného procesu pájení?	Aktuální on-line data: • ID pájecí stanice a pájecího hrotu • Pracovní teplota pájecího hrotu • Údaje o pracovním cyklu pájecího hrotu
Jaké rozhraní musí mít IoT stanice, aby data byla využitelná?	I/O rozhraní: • USB • LAN • RS232
Komu data z IoT stanice potřebujeme zpřístupnit?	• Management kvality, denní kontrola • Údržba • Směnový mistr, vedoucí mistr, technik výroby, průmyslový inženýr, procesní inženýr • Product Quality Monitoring, Profile Planning

V tab. 3.1 jsou uvedeny základní požadavky na pájecí stanice vybavené internetem věcí. Tyto požadavky tvoří ucelený základ pro správnou funkci jednoduše pochopitelnou interpretaci výstupních dat. Je nutné si uvědomit, že na základě těchto výstupních dat jsme schopni velice přesně a rychle identifikovat problém v pájecím procesu, který po zásahu technika můžeme odstranit. Tento včasný zásah nám může ušetřit spoustu výdajů na případné opravy.

3.1 Parametry pájecí stanice Hakko FN-1010

Jak již bylo výše zmíněno, reprodukovatelnost pájecího procesu je klíčová pro vytvoření kvalitního spoje s uspokojivou kvalitou. Právě pro hlídání reprodukovatelnosti můžeme využít funkce internetu věcí implementované v pájecí stanici Hakko FN-1010. Ty nám umožňují v reálném čase sledovat stav pájecího pera, resp. jeho aktuální teplotu a dodávaný výkon. Dále nám pájecí stanice poskytuje informace ohledně nastavené teploty, údaje o využívaném pájecím hrotu, data o kalibraci nebo samotné identifikační číslo stanice, které je unikátní. Základní náhledové okno je zobrazeno na obr. 3.2.

The screenshot displays the main control interface of the Hakko FN-1010 soldering station. It is organized into several panels:

- Station Info:** Displays station details including Station (FN1010), Station ID (SN05961218000029), Status (RUN), Channel Status (RUNNING), Error Status (-), Set Temp (0350C), and Offset Temp (037C).
- Tip Info:** Displays tip details including Grip (FN1101), Shape (T36-D24), SerialNo. (853346800028), Load Count (0000000294), and PWR Time (0000008500).
- Calibration:** Displays calibration data including Calibration Date (2018/10/19 12:28:41), Calibration Result (PASS), Temperature (0358C), and Offset (037C). A 'Refer' button is present.
- Heater Off Setting:** Displays heater settings including Tip Shape (ON, T36-D24) and Set Temp (ON, 350). A 'Change' button is present.
- Bottom Controls:** Includes a 'Setting' button, a 'Monitor' button, and a 'Com Port' section showing 'Connecting' status and a 'Port' button.

Obr. 3.2: Základní náhledové okno pro pájecí stanici Hakko FN-1010

Tato ovládací aplikace je vytvořena pro operační systém Windows 7 a novější verze. Po stažení aplikačního balíku máme k dispozici celkem tři verze aplikací, které se odlišují systémem připojení pájecí stanice k počítači. První verze komunikuje se stanicí pomocí protokolu USB (Universal Serial Bus) nebo RS232C (Serial Port). V ovládacím okně je nutné vybrat správný COM, na kterém je stanice připojena. Poté je plně zpřístupněna komunikace se stanicí. Druhá a třetí verze programu je přizpůsobena pro komunikaci přes ethernetový kabel. Stanici lze připojit buď přímo k počítači nebo se lze ke stanicím připojovat za pomoci vzdáleného přístupu skrze servery, ke kterým jsou stanice připojeny. Právě využití LAN konektivity nám umožňuje monitorování více pájecích stanic zároveň na jednom počítači. Implementování funkce přenosu dat představuje významnou inovaci v procesu hlídání lidských chyb během ručního pájení, kterou můžeme efektivně využít pro zdokonalování technické přípravy výroby.

Eliminace lidské chyby při výrobním procesu se stává čím dál tím více důležitá. V procesu ručního pájení neexistuje příliš mnoho metod, jak zamezit operátorovi ve vytvoření neuspokojivého pájeného spoje. Firmy investují čas a finance na řádné zaškolení zaměstnanců, které je má za úkol seznámit s problematikou dnes již v drtivé většině bezolovnatého pájení. V případě implantace funkce IoT do pájecích stanic se pro nás stává proces ručního pájení v drtivé většině sledovatelným. Na obr. 3.2 je zobrazeno základní náhledové okno pájecí stanice Hakko FN-1010, které nám poskytuje nezbytné informace o nynějším stavu stanice. Nejenže můžeme vzdáleně měnit nastavené parametry stanice, ale taktéž lze nastavit blokaci stanice s následným vypnutím napájení v případě zásahu operátora do aktuálního nastavení stanice. To nám umožňuje zavést určitou reprodukovatelnost procesu při relativně neměnných podmínkách.

V rámci monitoringu pájecí stanice pomocí ovládacího programu (obr. 3.2) máme k dispozici několik částí, které můžeme využít k velice přesnému přehledu aktuálního stavu. V první části nalezneme šest sekcí, které si dále podrobně popíšeme.

3.1.1 Informace o aktuální stavu stanice

1. Název zařízení (zde se jedná o výrobní název pájecí stanice FN-1010)
2. Sériové/identifikační číslo stanice (unikátní identifikátor stanice pro snazší rozlišení)
3. Aktuální stav (informace o tom, zda je stanice zapnutá či nikoliv)
4. Aktuální stav komunikačního kanálu (v provozu nebo zakázáno)
5. Chybový status (informace o tom, zda je stanice v chybovém stavu)
6. Nastavená teplota (požadovaná teplota)
7. Nastavený tepelný offset (nastavená odchylka teploty k dosažení reálné teploty pomocí kalibračního zařízení)

Station Info			
1. Station	FN1010		
2. Station ID	SN05961218000029		
3. Status	RUN		
4. Channel Status	RUNNING		
5. Error Status	-		
6. Set Temp	0350C	7. Offset Temp	037C

Obr. 3.3: Informační přehled údajů stanice v první sekci

3.1.2 Informace o pájecí ručce a hrotu

1. Verze připojené pájecí ručky (pro stanici Hakko FN-1010 jsou dostupné verze FN1101 a FN1102 která disponuje funkcí dusíkovým zákrytem)
2. Typ nasazeného pájecího hrotu
3. Sériové číslo pájecího hrotu (unikátní číslo pro snazší sledovatelnost procesu)
4. Počet pájených cyklů daného pájecího hrotu
5. Doba provozu pájecího hrotu

Tip Info	
1. Grip	FN1101
2. Shape	T36-D24
3. SerialNo.	853346800028
4. Load Count	0000000294
5. PWR Time	0000008500

Obr. 3.4: Informace o pájecí ručce a hrotu

3.1.3 Nastavení podmínek pro vypnutí napájení pájedla

1. Nastavení podmínky přítomnosti pájecího hrotu
2. Nastavení podmínky teploty pájecího hrotu
3. Možnost změny podmínek pájecí teploty a hrotu

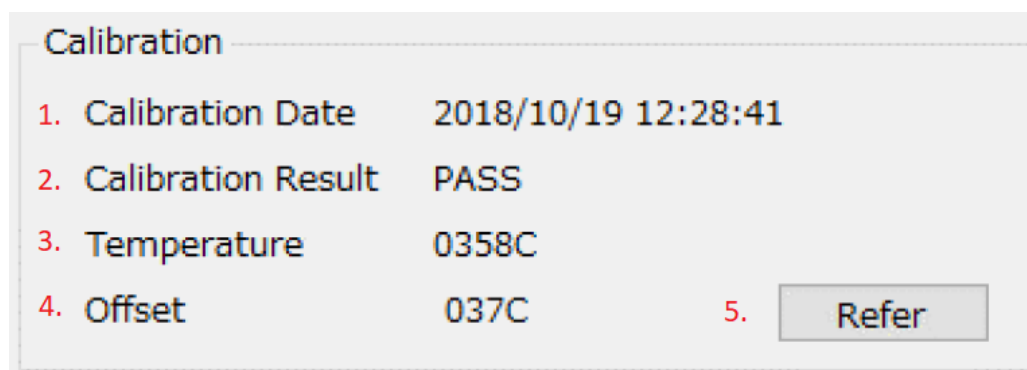
Heater Off Setting		
1. Tip Shape	ON	T36-D24
2. Set Temp	ON	350
3.	Change	

Obr. 3.5: Nastavení podmínek pájecí stanice

Tyto podmínky jsou uzpůsobeny tak, aby v případě jakéhokoliv zásahu do tohoto nastavení došlo k okamžitému vypnutí napájení pájedla a tím znemožnění vykonání pájecího úkonu. Pokud na stanici není nastaven číselný zámek, má operátor možnost manipulovat s nastavenou teplotou. Taktéž si může zaměnit pájecí hroty, které nemusí být vhodné pro aktuální pájecí proces. V případě této skutečnosti, stanice zobrazí chybovou hlášku a je nutné nastavit správné údaje teploty a vložit požadovaný pájecí hrot.

3.1.4 Kalibrace

1. Datum a čas kalibrace
2. Výsledek kalibrace
3. Naměřená teplota pájecího hrotu během kalibrace
4. Teplotní offset pájecího hrotu
5. Zobrazení všech kalibrací provedené na pájecí stanici



Calibration	
1. Calibration Date	2018/10/19 12:28:41
2. Calibration Result	PASS
3. Temperature	0358C
4. Offset	037C
5.	Refer

Obr. 3.6: Informace o teplotní kalibraci

Kalibrace teploty pájecího hrotu nám umožňuje udržovat stálost technologického procesu a zároveň si můžeme vést velmi podrobnou historii využití pájecího hrotu. Samotný proces kalibrace se provádí v určitých časových intervalech za pomoci specifikovaného kalibrovaného měřiče teploty. V případě využití pájecí stanice Hakko FN-1010 se teplota pájecího hrotu kalibruje pomocí speciálního měřiče FG-100B. Toto zařízení disponuje infračerveným přenosem dat přímo do stanice FN-1010. Vyhrazená osoba pouze přiloží nahřátý pájecí hrot na termočlánek umístěný na měřicím zařízení a stiskem jednoho tlačítka se provede měření aktuální teploty a následné zaslání dat do stanice. Ta naměřený údaj vyhodnotí a pokud je třeba, upraví teplotu změnou hodnoty offsetu. Pokud se kontrola pracovní teploty provádí denně nebo na začátku směny, nemusíme opětovně nastavovat hodnotu offsetu, ale stejným způsobem si pouze ověříme, zda teplota pájecího hrotu je v dovolených mezích, které si opět můžeme taktéž nastavit.

3.1.5 Podrobnější nastavení stanice

1. Nastavení času a teploty usnutí (nastavení po jaké době neaktivity se stanice přepne do režimu spánku. Snížením teploty hroty je prodloužena jeho životnost)
2. Nastavení vypnutí stanice (doba za kterou stanice přejde do režimu vypnutí, vyhřívání pájecího hrotu je plně zastaveno)
3. Povolení alarmu (povolení integrovaného zvukového a vibračního zařízení indikujícího problém s pájecí stanicí)
4. Kalibrační nastavení (možnost nastavení horní a spodní hodnoty offsetové teploty, počet a druh kalibrací)
5. Nastavení zámku (možnost nastavení číselného zámku přímo na stanici k zamezení neoprávněné manipulace)
6. Nastavení uzamčení funkcí (omezené funkce, které lze provádět na uzamčené pájecí stanici)
7. Doplnující nastavení (nastavení alarmu spodní hodnoty teploty pájecího hrotu, detekce pádu pájecí ručky, definice využívané pájky, systém notifikací a změna názvu pájecí stanice)

System Parameter		Setting Parameter		Current Value		Set Value	
1. Sleep Menu							
ON/OFF	-		ON				
Activate Time(Min)	-		1	(1-29)			
Sleep Temp	-		200	(200-300) C			
2. ShutOff Menu							
ON/OFF	-		ON				
Activate Time(Min)	-		30	(30-60)			
3. Alarm Menu							
Error Alarm	-		ON				
Ready Alarm	-		Buzzer&Vibration				
4. Calibration Menu							
Temp Upper Limit	-		20	(1-20) C			
Temp Lower Limit	-		-1	(-1-20) C			
Maximum Retry	-		3	(0-3)			
Auto Cal Temp	-		ON				
Auto Cal Leak Volt	-		ON				
Auto Cal Tip Ground	-		ON				
Auto Cal Fail Lock	-		ON				
7. Low Temp Alm							
	-		150	(30-150) C			
Free Fall Det							
	-		ON				
Station Solder Type							
	-		Lead				
Solder Type Lock							
	-		Notification ONLY				
Station ID							
	-		12345678ABCDEFGH				
5. Pass. Lock Menu							
Password Lock	-		Unlock				
Password	-		---				
6. Partial Lock Menu							
Offset Lock	-		Unlock				
Preset Select Lock	-		Unlock				
Temp Set Lock	-		Unlock				
Auto Cal Lock	-		Unlock				
Read Set Load Save End							

Obr. 3.7: Podrobnější možnosti nastavení pájecí stanice

V podrobnějším nastavení máme možnost velice přesně specifikovat chování pájecí stanice za provozních podmínek. Funkce spánku a vypnutí napájení pájedla výrazně napomáhá prodloužit aktivní živostnost pájecího hrotu. V případě, že pájecí stanice zaregistruje delší časový úsek, kdy není pájecí hrot ochlazován, je jeho prozní teplota snížena na námi zvolenou teplotu (např. 200 °C). Vyšší teplota je záměrně zvolena tak, aby poté bylo možné co nejrychleji přejít do aktivního režimu. Po uplynutí dalšího časového úseku, který si lze opět ručně upravit, pájecí stanice vypne napájení pájedla kompletně, což má za následek, že pájecí hrot se ochlazuje na teplotu okolí.

Velice důležitou roli v úkolu celkové spolehlivosti pájecího procesu je kalibrace teploty pájecího hrotu. Teplota, která je zobrazena na LCD displeji stanice, představuje aktuální změřenou hodnotu termočlánku, který se nachází v těsné blízkosti výhřevného elementu uvnitř hrotu.



Obr. 3.8: Průběh kalibrace pájecího hrotu pomocí úpravy offsetové teploty (nastaveno 300 °C, reálná teplota 314 °C)

Oproti skutečné hodnotě na povrchu pájecího hrotu se může teplota lišit v řádech jednotek, v horších případech i desítek jednotek stupňů. Pokud je takovýto rozdíl teplot přítomen, má značný vliv na kvalitu pájecího procesu. Tyto rozdíly teplot mohou být například způsobeny rozdílným typem pájecího hrotu, jeho opotřebením a manipulací. Zařízení po určitou dobu zaznamenává teplotu a po jejím ustálení je připraveno danou hodnotu odeslat do pájecí stanice. Obsluha poté pouhým jedním stisknutím na kalibračním zařízení odešle data do pájecí stanice a zde se upraví hodnota offsetu teploty. Tímto způsobem lze efektivně verifikovat kondici pájecího hrotu a přispívat tím ke zkvalitnění procesu. V rámci dovolených mezí lze nastavovat horní a dolní limit upravené hodnoty offsetu tak, že po jeho překročení nám již pájecí stanice nedovolí provést kalibraci a pájecí hrot by měl být vyměněn za nový.

Notifikační oznámení je u pájecí stanice Hakko FN-1010 zajištěno dvěma způsoby. V první řadě má obsluha číst upozornění na LCD displeji samotné stanice. V případě, že si obsluha nevšimne upozornění na displeji, jsou doprovázeny vibračním a zvukovým upozorněním. V pájedlu je umístěn malý vibrační motorek, který svým pohybem udává najevo obsluze, že je potřeba zvýšit pozornost. Tato funkce může být spojena s funkcí hlídání využití trubičkové pájky na určitý typ hrotu, pokud se ve výrobních prostorech vyskytuje smíšené využití bezolovnaté a olovnaté pájky. Při počátku životního cyklu pájecího hrotu se v ovládacím programu nastaví příslušný typ trubičkové pájky, který bude využíván s příslušným typem hrotu. Pakliže by chtěl operátor změnit typ trubičkové pájky, nastaví se v ovládacím programu nový příslušný typ pájky. Pokud vznikne rozpor ve využití bezolovnaté a olovnaté pájky, stanice buď zablokuje napájení pájecího hrotu nebo zobrazí upozornění, že se na hrotu mohou nacházet zbytky z předchozí využívané pájky. Tak lze zajistit pájené spoje bez příměsí nežádoucích zbytků z předchozího úkonu.

V neposlední řadě máme k dispozici možnost nastavení číselného zámku, pomocí kterého lze provádět úpravy parametrů na pájecí stanici. Tímto uzamčením můžeme předejít nechtěnému nebo i neoprávněnému přístupu k těmto parametrům.

3.1.6 Podrobnější nastavení pro pájecí hrot

1. Nastavení teploty
2. Nastavení počítadla pájených spojů hrotu
3. Míra citlivosti snímání výstupních veličin pájecího hrotu
4. Typ využívané pájky (olovnatá, bezolovnatá)
5. Povolení počítadla pájených spojů
6. Přednastavené teploty pro rychlou volbu
7. Definice dovoleného rozmezí offsetové teploty

	Current Value	Set Value
Temp Set	0000C	350 (50-450) C
Count Alarm Setting	999900	ON (1-9999)
Load Sensitivity	-	5 (1-5)
Tip Solder Type	-	Lead
Load Detection	-	ON
Preset Temp 1	-	☐ 150 (50-450) C
2	-	☐ 200 (50-450) C
3	-	☐ 250 (50-450) C
4	-	☐ 300 (50-450) C
5	-	☐ 350 (50-450) C
Offset Temp	-	-15 (-50-50) C

Read Set Load Save End

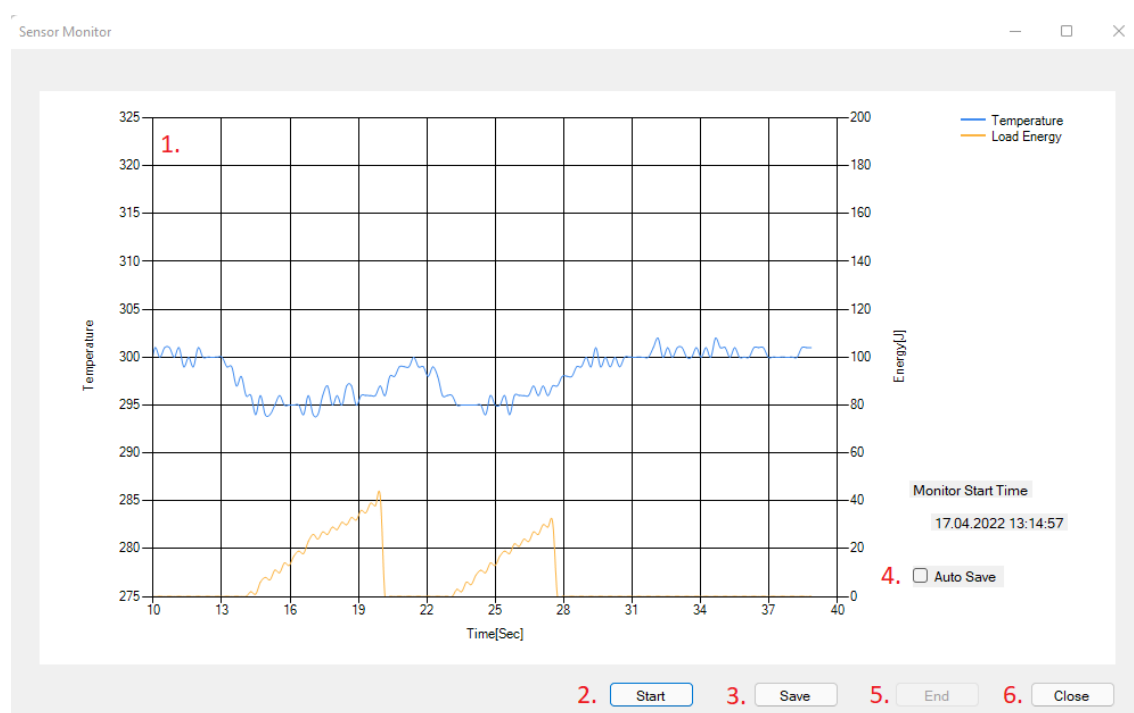
Obr. 3.9: Specifikace teplot pájecího hrotu, typ využívané pájky a citlivosti snímání dat z pájecího hrotu

V poslední sekci nastavení (obr. 3.9) máme možnost definovat přednastavené teploty pro funkci rychlé volby, které nám usnadní v přepínání potřebných teplot během změny pájecího procesu. Paměť je tvořena pěti uloženými teplotami, které se mohou libovolně upravovat. Dále se zde nachází diagnostická funkce počítadla provedených pájecích úkonů jednotlivé pájecího hrotu. Z hlediska životnosti a spolehlivosti pájených spojů lze přesně definovat, kolik spojů může každý pájecí hrot absolvovat, než dojde k jeho výměně.

Takto lze eliminovat tvorbu nedokonalých pájených spojů v důsledku poškozeného hrotu vlivem úbytku povrchového pokovení. Počet cyklů může být nastaven podle dlouhodobých zkušeností, kdy je pájecí hrot, resp. jeho povrchová úprava průběžně kontrolována.

3.1.7 Monitorovací okno

1. Okno pro snímání teploty na termočlánek a dodané energie pájecího pera
 - a. Spuštění záznamu
 - b. Uložení záznamu ve formě CSV
 - c. Možnost automatického ukládání každého záznamu
 - d. Zastavení snímání záznamu
 - e. Ukončení monitorovacího okna

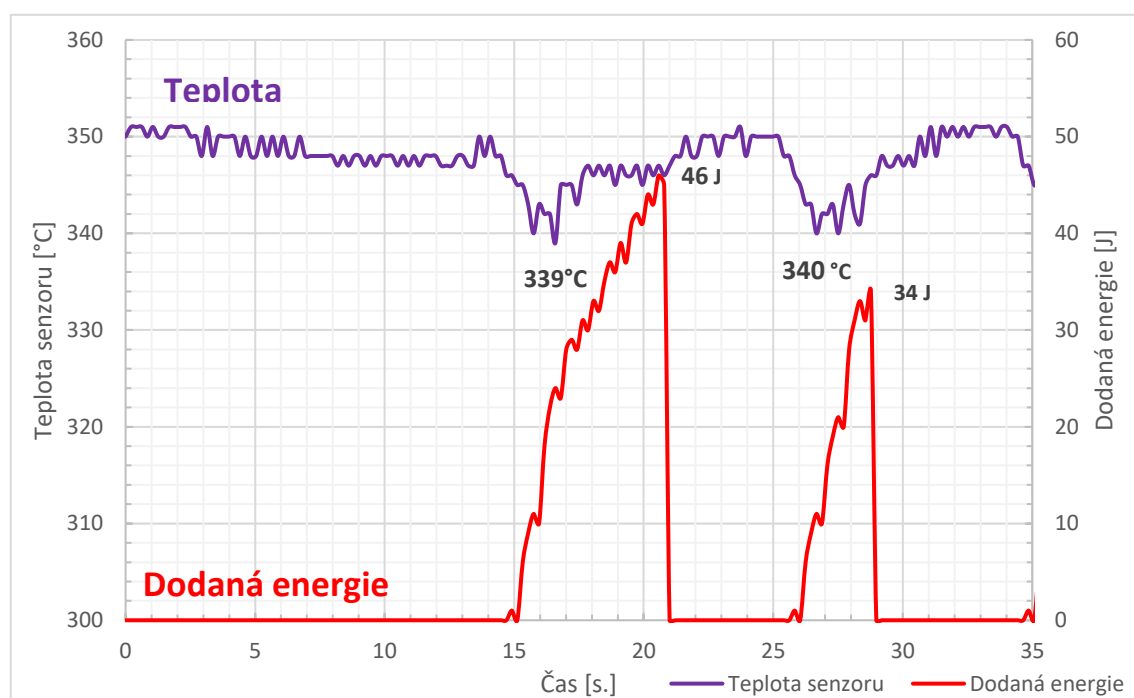


Obr. 3.10: Monitorovací okno pro záznam hodnot z pájecího pera

Hlavní monitorovací funkcí programu pro stanici Hakko FN-1010, patří bezesporu záznamové okno (obr. 3.10), kde jsme schopni snímat aktuální teplotu na termočlánek pájecího hrotu a jeho dodanou energii v jednotkách joule. Okno pro záznam se skládá z několika částí. Jako první zde máme samotné okno pro snímání. Data se kontinuálně nahrávají do grafu s časovou základnou tří vteřin, přičemž vzorkovací frekvence dat je

každých 210 milisekund. Graf je postupně zaplňován dvěma křivkami, kdy v případě snímané teploty je reprezentována oranžovou barvou a dodaná energie do pájecího hrotu barvou modrou. Dále monitorovací okno obsahuje tlačítko pro spouštění monitorovacího procesu, možnost uložení zaznamenaných dat do formy .CSV, povolení automatického ukládání každého záznamu rovněž do formy .CSV a ukončení monitorovacího okna.

Velkou výhodou lze shledat v možnosti uložení zaznamenaných dat do formátu, který lze dále zpracovávat pro různé formy vyhodnocení technického procesu ručního pájení. Taktéž lze tímto způsobem snáze provádět případný přenos technických dat mezi různými pobočkami nebo výrobními podniky za účel přesné optimalizace procesu. Dodatečná úprava dat (obr. 3.11) nám pomůže do výsledků vnést jistou upravenost a můžeme s daty taktéž lépe pracovat pro výsledné vyhodnocení (tab. 3.2).



Obr. 3.11: Zpracovaná data ze záznamu v programu Microsoft Excel

Tab. 3.2: Získaná statistická data z pájecího procesu za využití programu Microsoft Excel

Nejnižší hodnota teploty [°C]	Nejvyšší dodaný výkon [J]	Čas pájení 1 [s]	Čas pájení 2 [s]
339	46	6	3

4. OVĚŘOVÁNÍ TEPLOTNÍ STABILITY PÁJECÍCH HROTŮ

Ačkoliv nám pájecí stanice Hakko FN-1010 poskytuje údaje o reálné teplotě uvnitř pájecího hrotu, předmětem zkoumání tohoto pokusu je ověření reálné teploty na samotném povrchu hrotu, jeho chování během procesu pájení a následné porovnání s údaji, které nám poskytne pájecí stanice. Pro tyto účely byly hroty speciálně upraveny tak, aby na ně mohl být připevněn termočlánek typu K s teflonovým obalem, který byl během procesu pájení připojen k externímu profilometru. Pro ověření teplotní stability byly vybrány tři druhy pájecích hrotů (obr. 4.1), které svým tvarem a teplotní kapacitou pokrývají aplikace pro přesné pájení až po pájení s požadavkem na vysoký výkon.



Obr. 4.1: Připravené pájecí hroty před vrtáním (z leva: T36-B2, T36-D24, T36-D52)

4.1 Příprava pájecích hrotů

Pájecí hroty byly před experimentem řádně očištěny od zbývajících nečistot, tavidlových zbytků a pájky, aby byla zajištěna spolehlivost procesu připevnění termočláneků. Takto připravené pájecí hroty byly nachystány pro vrtání povrchové úpravy. Do té byl vyhlouben pomocí 2 milimetrového vrtáku důlek, který by zaručoval neměnnou pozici termočláneku během procesu pájení (obr. 4.2). Volba metody vrtání povrchové vrstvy byla zvolena záměrně, neboť při pokusech, kdy byl termočlánek pouze přiložen na povrch pájecího hrotu v malé kapce pájky se ukázal nespolehlivý. V tomto případě zde vznikala nepřesnost měření teploty, neboť se mohl konec termočláneku pohybovat a tím byla ovlivněna měřená teplota na povrchu pájecího hrotu.

Průměr vrtaného otvoru byl zvolen většího průměru, aby se konec termočlánku mohl umístit do vzniklé jamky a zároveň zde bylo dostatek prostoru pro vyplnění zbylého prostoru stříbrnou pájkou, která sloužila jako fixace termočlánku. Výhodou stříbrných pájek je ta, že mají vysokou teplotu tání. Pro tento účel byla využita stříbrná pájka se složením $\text{Ag55/Cu21/Zn25,5/Sn2,5}$ s teplotou tání v rozmezí 640 až 680 °C. Termočlánky byly umístěny do připravených otvorů a zafixovány kaptonovou páskou, aby se během procesu připevnění nehýbaly. Následně se uštípnul kousek z tyčové stříbrné pájky a opatrně přiložil na pozici jamky, kde byl již připravený termočlánek. Vzhledem k tomu, že stříbrné pájky mají vysokou teplotu tání, nemohlo zde být využito metody přetavení jako u měkkého pájení, ale nýbrž jsem se museli uchýlit k metodě přetavení plynovým hořákem, který poskytne dostatečnou teplotu pro tento proces.



Obr. 4.2: Navrtaný hrot T36-B2 2 mm vrtákem a zafixovaný termočlánek pro připevnění stříbrnou pájkou

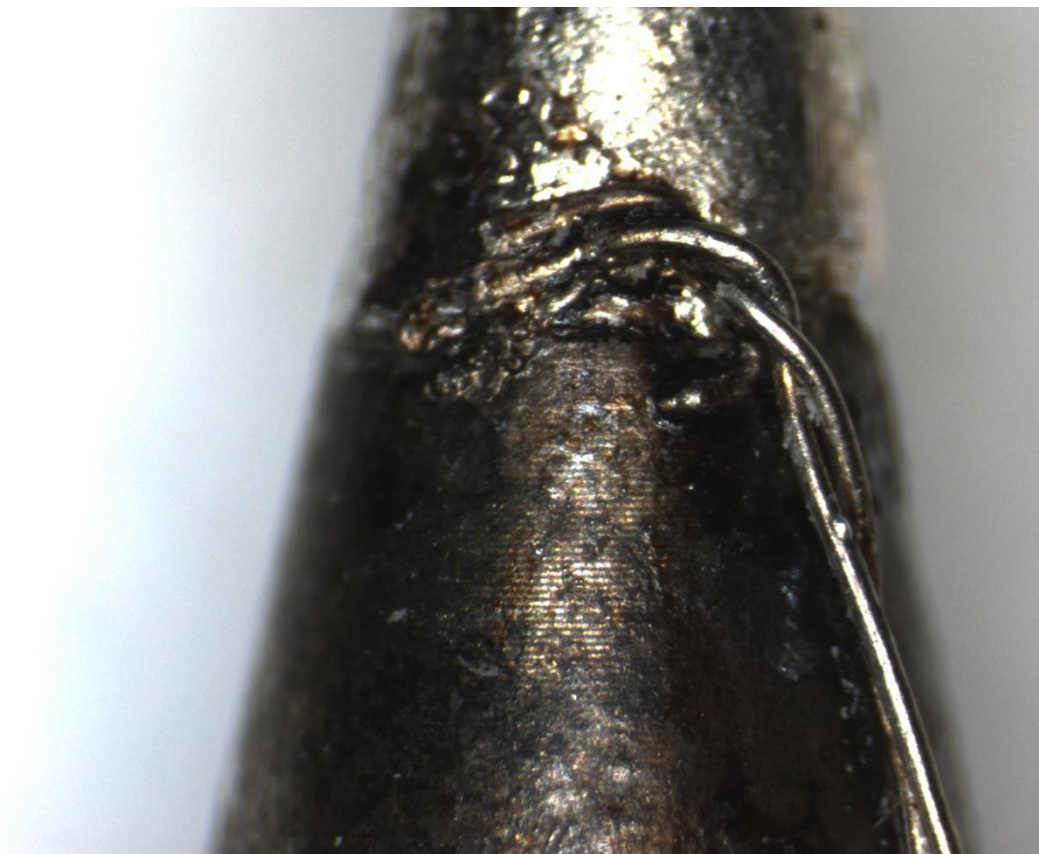
4.2 Proces uchycení termočlánků

Cílem bylo vytvořit miniaturní pájený spoj, který by poskytl dostatečnou fixaci během procesu pájení a vydržel vyšší pracovní teploty pájecího hrotu z důvodu využití bezolovnaté trubičkové pájky SAC305. To se do jisté míry v první fázi podařilo u hrotů s označením T36-D24 a T36-D52, které disponují širší kontaktní plochou. Vzhledem k materiálovému pokovení každého pájecího hrotu, začala stříbrná pájka vzlínat po jeho povrchu. Bylo tedy velmi obtížné manipulovat s plynovým hořákem tak, aby byla lokace pájeného spoje koncentrována pouze na místo vrtání. Bohužel u hrotu T36-B2 s kónickým tvarem se proces připevnění stříbrnou pájkou nedařil. Pájka vzlínala po celém povrchu hrotu a díky jeho malé velikosti se nebyla schopna dostat do předem vyvrtané díry. Výsledek byl takový, že vznikl na povrchu hrotu velký nános stříbrné pájky, který znemožňoval budoucí pájecí proces.

Proto musela být zvolena jiná metoda uchycení termočlánku. Po různých pokusech se proces přichycení uchýlil k metodě bodového svaření. Vzhledem k tomu, že u předchozí metody připevnění byly využity termočlánky typu K s průměrem jádra $0,05 \text{ mm}^2$, byl tento průměr neadekvátní vůči nově zvolené metodě. Proto byly využity termočlánky typu K s větším průměrem jádra a skleněným opletem. Volný konec termočlánku byl odizolován a z volných vodičů se vytvořil spletený spoj tak, aby šel správně přivařit na povrch pájecího hrotu. Výsledný vzhled pájecího hrotu T36-B2 s připevněným termočlánkem pomocí bodového sváru je zobrazen na obr. 4.3 a obr. 4.4. Na obr. 4.5 je zobrazen pájecí hrot T36-D52 s připevněným termočlánkem za pomoci stříbrné pájky.



Obr. 4.3: Výsledný vzhled pájecího hrotu T36-B2 s připevněným termočlánkem za pomoci bodové sváru



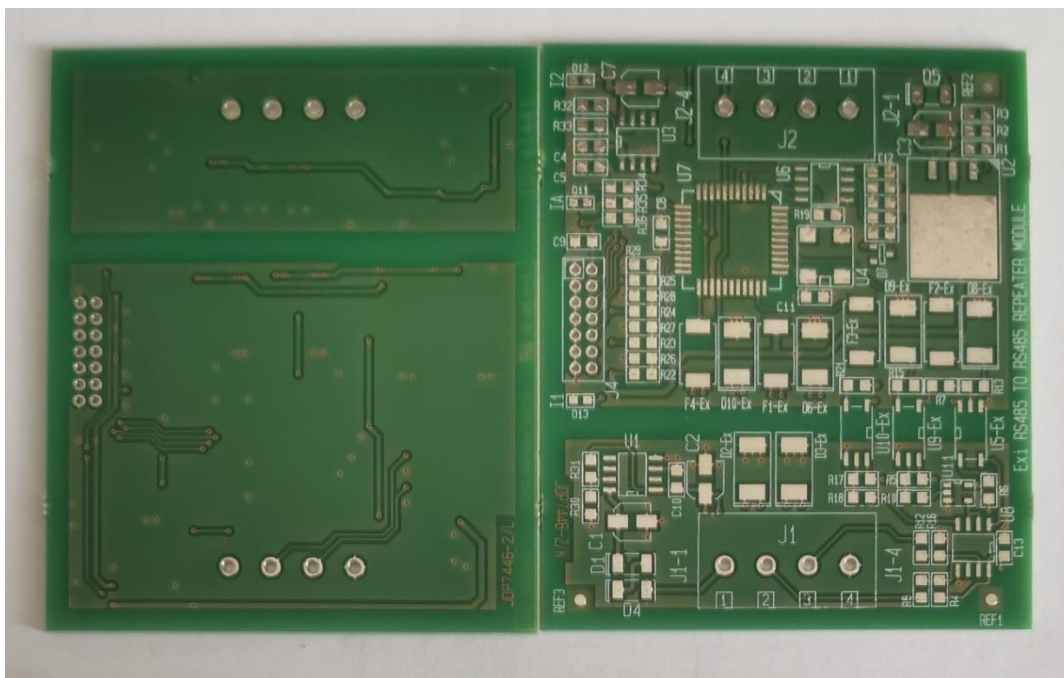
Obr. 4.4: Detail pájecího hrotu T36-B2 s připevněným termočlánkem za pomoci bodové sváru



Obr. 4.5: Pájecí hrot T36-D52 (z leva: připravené vrtání pro termočlánek, připevněný termočlánek za pomoci stříbrné pájky)

4.3 Proces ověřování teplotní stability pro vývodové součástky

Jak již bylo výše zmíněno, cílem tohoto experimentu je ověření, jak moc se liší teplota na povrchu pájecího hrotu od hodnoty, kterou nám udává samotná pájecí stanice. Pro účely ověřování byla využita dvouvrstvá deska plošných spojů (obráz. 4.6). Na ní se nachází potřebné pájecí plošky, na kterých může být provedeno experimentální měření.



Obr. 4.6: Deska plošných spojů využitá pro ověřování teplotní stability pájecích hrotů

Pro vývodové součástky byly využity pájecí plošky příslušící konektoru J1 a J2, které jsou dostatečně veliké a mohou tak simulovat reálnou aplikaci. Navíc jeden z těchto kontaktů je připojen na zemnicí plochu, konkrétně pin 4. Toto připojení na rozlitou měď má za následek větší tepelný odběr z pájeného místa a tím jeho rychlejší ochlazování. Jako pájené součástky byly zvoleny uštířené vývody z diod pro montáž skrz desku. Aby bylo docíleno stabilních podmínek během ověřování, byly tyto vývody očištěny v roztoku isopropylalkoholu, stejně tak i samotný povrch desky plošných spojů. To nám dopomůže se zbavit veškerých nečistot a mastnoty, které by mohly mít vliv na průběh měření. Samotné uštířené vývody musely být taktéž jistým způsobem upraveny tak, aby bylo dosaženo stejných vstupních parametrů pro každý testovaný pájený spoj. Jelikož je potřeba mít vývody během pájení v neměnné poloze, byly ohýbány do tvaru „L“ pomocí speciálního přípravku.

Tento přípravek byl uzpůsoben tak, abychom dosáhli normované části přesahu vývodů zespodu desky plošných spojů, a to v maximální míře 2.5 mm. Tuto délku přesahu definuje norma IPC-A-610 a to konkrétně článek 7.3.3, třída 2 (obr. 4.7).

7.3.3 Prokovené otvory – Vyčínivání vývodů/drátů

Vyčínivání drátů musí být v souladu s Tabulkou 7-3.

Poznámka: U vysokofrekvenčních aplikací může být nutná mnohem důkladnější kontrola vyčínivajících vývodů, aby se zabránilo narušení funkčnosti návrhu.

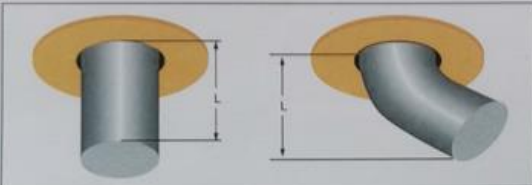
Tabulka 7-3 Vyčínivání vývodů/drátů z prokovených otvorů

	Třída 1	Třída 2	Třída 3
(L) Min.	Konec rozeznatelný v pájce, Poznámka 1, 3		
(L) Max., Pozn. 2	Není nebezpečí zkratů	2.5 mm [0.1 in]	1.5 mm [0.06 in]

Poznámka 1: U komponent, které mají výrobcem zkrácené vývody na délku menší, než je tloušťka desky, a u komponent, které mají vývody rovnoběžné s povrchem desky, nemusí být pájený spoj viditelný.

Poznámka 2: Vývody konektorů, vývody relé, tvrzené vývody a vývody silnější než 1,3 mm nemusí splňovat požadavky na maximální délku, pokud neporuší minimální elektrickou izolační vzdálenost.

Poznámka 3: Jako výjimku z minimální délky vyčínivání, viz 7.3.5.



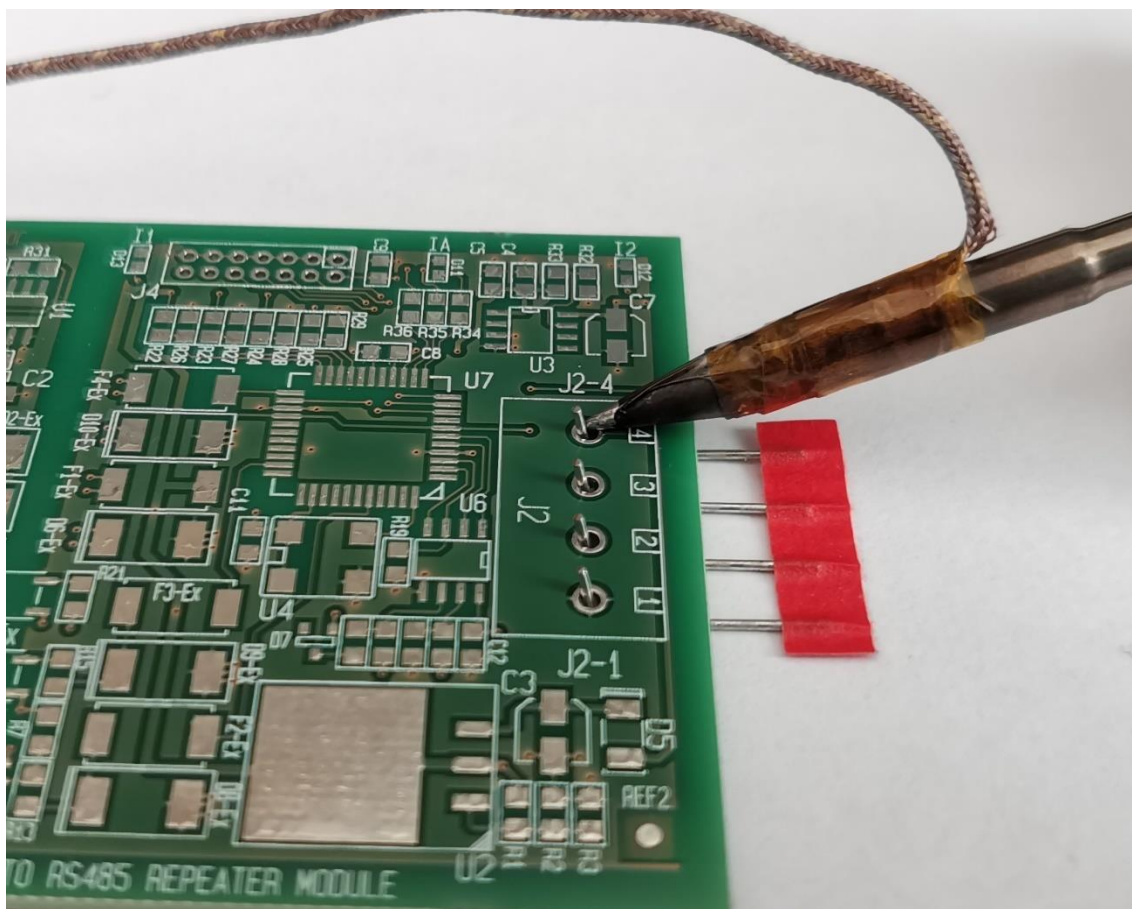
Obrázek 7-72

Přijatelné – Třída 1, 2, 3

- Vývody vyčínivají z plošky mimo rámec minima a maxima (L), uvedeného v Tabulce 7-3, není však nebezpečí porušení minimální elektrické izolační vzdálenosti.
- Vývody splňují navrženou délku (L), pokud byla specifikována.

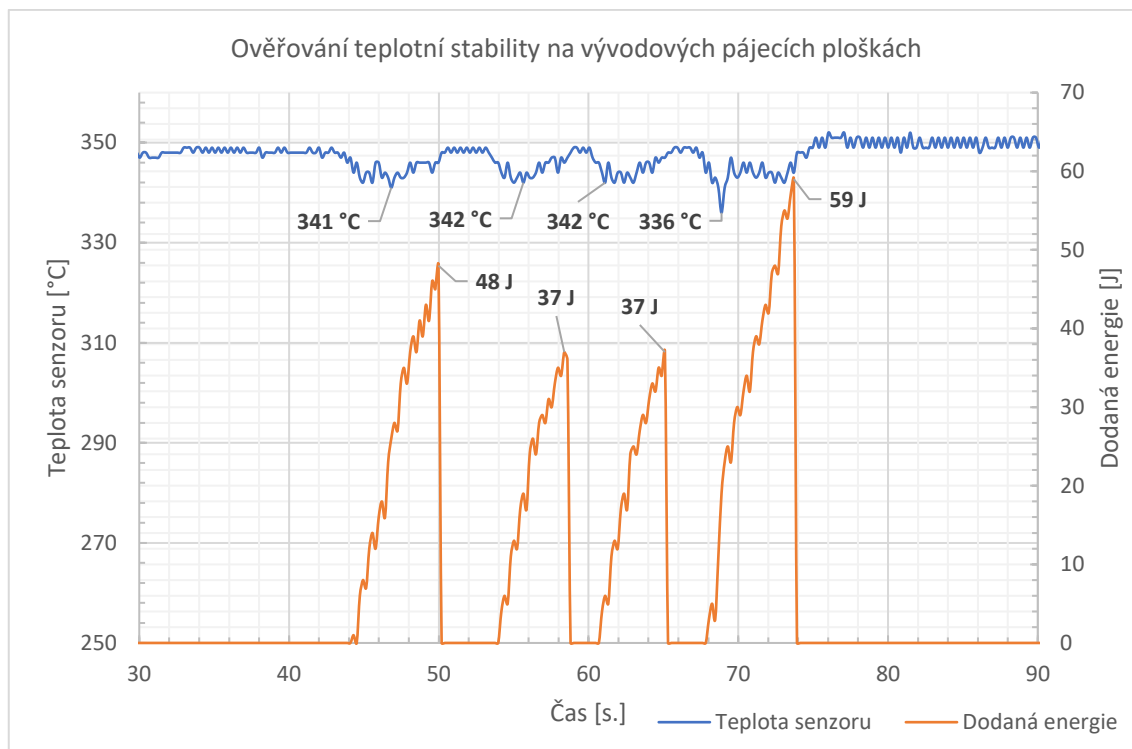
Obr. 4.7: IPC-A-610 norma definující maximální přesah vývodových součástek

Před samotným průběhem pájení bylo ještě nutné korektně zkalibrovat teplotu pájecího hrotu T36-B2 pomocí kalibrátoru FG-100B. Po definování veškerých vstupních parametrů se mohlo přistoupit k samotnému průběhu ověřování. Vývody byly nejprve umístěny do pájecích otvorů na desce plošných spojů, jak je zobrazeno na obr. 4.8 a následně se jeden po druhém zapájely bezolovnatou trubičkovou pájkou. Ačkoliv má tato pájka teplotu tání 217 °C, pracovní teplota 325 °C se ukázala být nedostatečná, a proto musela být nastavena teplota 350 °C. Aby se zajistil neměnný pájecí proces, byla definována procedura pro každý pájený spoj. Po přetavení trubičkové pájky na pájeném vývodu se s hrotem setrvalo další tři vteřiny, aby došlo k úplnému smočení vývodu a částečné výplně otvoru. Takto se postupovalo pro všechny testované pájené vývody. Během pájecího procesu se nám zaznamenávala data jak samotná pájecí stanice, tak i pomocí profilometru SlimKIC 2000, do kterého byl připojený termočlánek z pájecího hrotu.



Obr. 4.8: Připravená deska plošných spojů pro pájení vývodů

Následná interpretace dat je zobrazena na obr. 4.9, kde je již upravený grafický výstup dat z pájecí stanice Hakko FN-1010 zpracovaný v programu Microsoft excel. Zachycený průběh z termočládku, který byl na špičce pájecího hrotu je zobrazen na obr. 4.10. Vzhledem k využití pájecího hrotu T36-B2 s kónickým tvarem, který disponuje menší kontaktní plochou vůči pájené plošce, si můžeme povšimnout delších časových prodlev u každého cyklu pájení. Tyto prodlevy jsou nejpravděpodobněji způsobeny nedostatečnou tepelnou kapacitou hrotu vůči odebíranému množství tepelné energie do desky plošných spojů. Dále zde máme přítomnou informaci ohledně dodané energie a poklesů teploty během pájení. Ačkoliv bylo dbáno na dodržení pracovního postupu, nepodařilo se přesně dodržet průběh jednotlivých pájených spojů. U prvního pájeného terminálu máme maximální dodaný výkon 48 J. U dalších dvou terminálů máme shodně 37 J, kde by mohlo být vyhodnocení pájení posouzeno jako identické a u posledního terminálu máme maximální dodanou energii 59 J. Poslední terminál je ale připojen k zemní ploše s rozlitou mědí. Tam je přirozeně větší tepelný odběr, a pájený spoj se tak mohl rychleji ochlazovat.

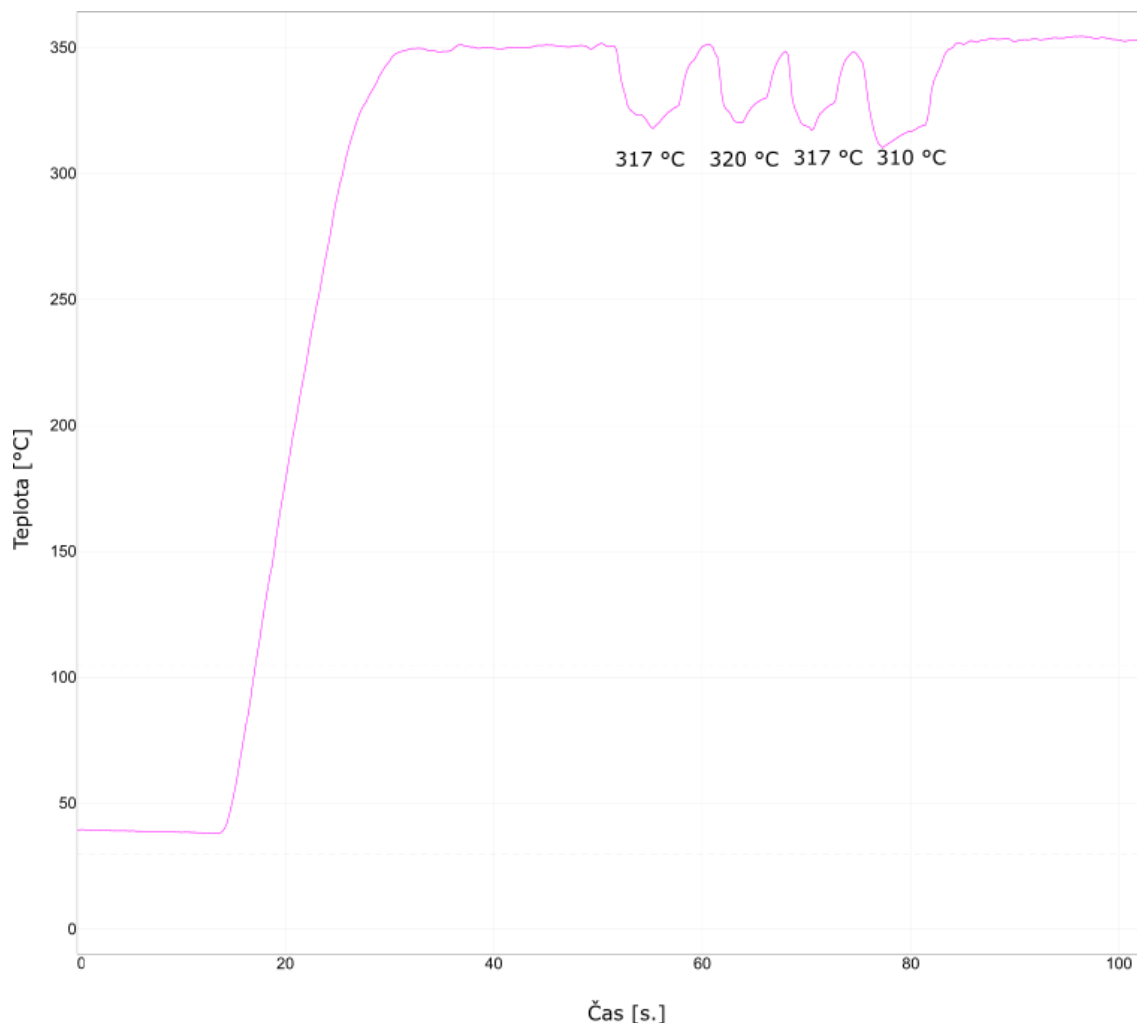


Obr. 4.9: Graficky zpracovaná data z teplotního ověřování pro pájecí hrot T36-B2

Co nás ovšem zajímá je rozdíl teplot na povrchu pájecího hrotu. Na obr. 4.9 si můžeme povšimnout, že pokles teploty během pájení nepřekročil 20 °C. Pro první tři pájené vývody máme téměř totožné hodnoty. U čtvrtého vývodu je patrný vliv ochlazení rozlitou mědí. Ovšem pokud se podíváme na průběh z profilometru SlimKIC2000, který je zobrazen na obr. 4.10, můžeme sledovat výrazně vyšší teplotní poklesy během samotného pájení. Pro úplnou představu jsou rozdíly teplot porovnány v tab. 4.1.

Tab. 4.1: Porovnání poklesů teplot při pájecím procesu

	Ploška 1	Ploška 2	Ploška 3	Ploška 4
Údaje teploty Hakko FN-1010 [°C]	341	342	342	336
Údaje teploty SlimKIC 2000 [°C]	317	320	317	310
Rozdíl teplot ΔT [°C]	24	22	25	26



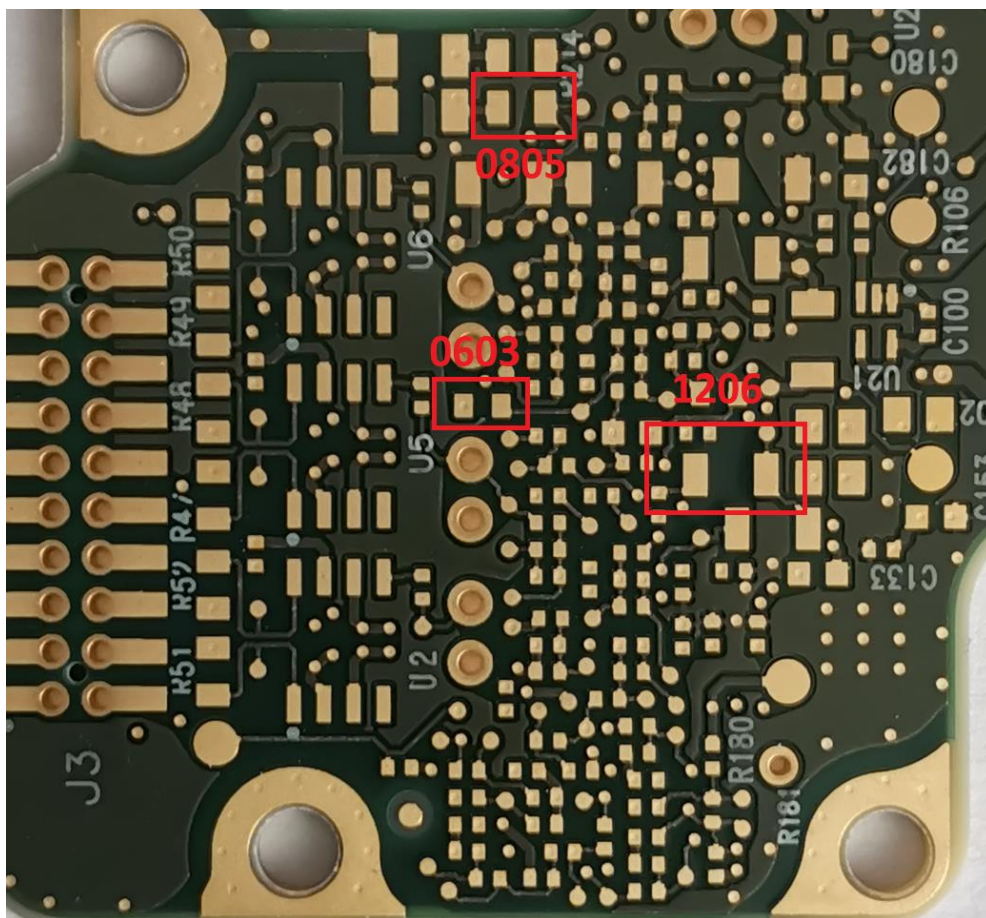
Obr. 4.10: Záznam z profilometru SlimKIC2000 pro hrot T36-B2

Z výsledků je tedy patrné, že je ochlazení na povrchu pájecího hrotu razantnější než u senzoru teploty zabudovaném v pájecím hrotu. Ovšem pokud vezmeme v úvahu jednotlivé průběhy pájených spojů, lze pozorovat, že dostatečný výkon pájecí stanice stíhá vyrovnávat teplotu mezi pájenými body. Každý z těchto čtyř pájecích úkon trval zhruba sedm vteřin, přičemž se teplota hrotu stíhala regenerovat na nastavených 350 °C. Mírné odchylky a zvlnění teploty na obr. 4.9 a obr. 4.10 mohou být způsobeny nepřesností regulačního členu pájecí stanice nebo ochlazováním okolním prostředím. Je tedy zjevné, že pro pájení vývodových součástí, je sledování teploty povrchu pájecího hrotu zbytečné, ačkoliv nám data z profilometru poskytují rozdílné údaje o teplotě. Během pájení nebyl zaznamenán problém s nedostatečnou tepelnou kapacitou hrotu. Důležitou vlastností pájecí stanice je, že stíhá regeneraci teploty pájecího hrotu mezi jednotlivými pájecími úkony což bylo tímto pokusem dosaženo.

4.4 Proces ověřování teplotní stability součástek pro povrchovou montáž

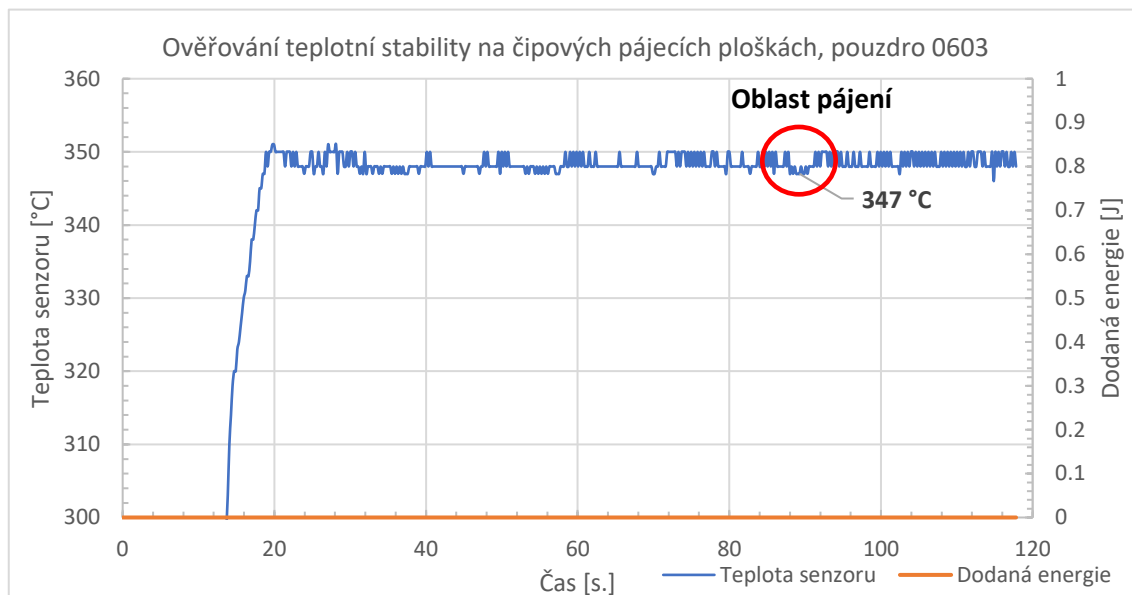
Pájecí stanice bývají v drtivé většině nasazeny ve výrobních podnicích, kde jsou primárně využívány pro pájení vývodových součástek, které nemohou z jakéhokoli důvodu využít metodu přetavení či pájení vlnou. Pájení součástek pro povrchovou montáž na výrobní lince se spíše výjimečné. Ovšem můžeme se setkat s takovýto pracovním úkonem na stanovištích, které provádějí opravu desek plošných spojů po nedokonalém přetavení pájky v pecích nebo vlnách.

Proto byl navrhnout experiment, který probíhal stejným způsobem jako u ověřování tepelné stability vývodových součástek. Zvolená pouzdra SMD součástek byla zvolena klasická 1206, 0805 a 0603. Pro tento experiment byla zvolena jiná deska plošných spojů (obr. 4.11), neboť deska z předchozího pokusu nedisponovala vhodnými pájecími ploškami pro montáž SMD součástek. Cílem experimentu je zjistit, zda rozlišovací schopnost pájecí stanice dokáže identifikovat ochlazení pájecího hrotu v takové míře, aby byla výstupní data reprezentovatelná.

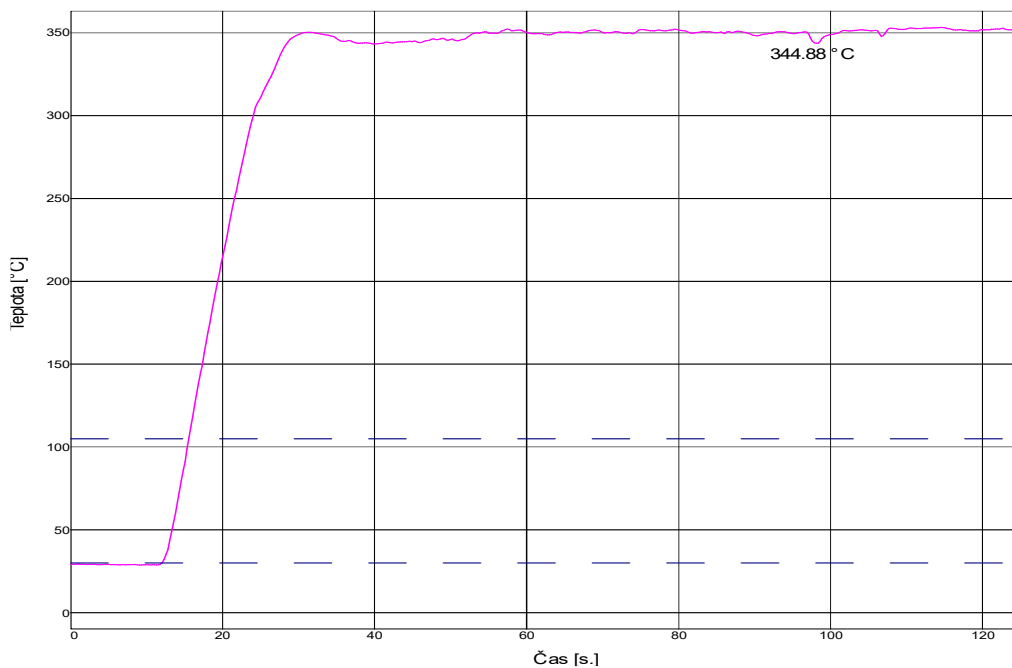


Obr. 4.11: Deska plošných spojů využitá pro ověřování teplotní stability pájených SMD součástek

Po procesu pájení byla analyzována data, která nám opět poskytla pájecí stanice Hakko FN-1010 a údaje z termočlánku, který byl po celou dobu přítomný na špičce pájecího hrotu T36-B2. Graficky zpracovaná data pro pouzdro 0603 jsou zobrazena na obr. 4.13 a obr. 4.14.

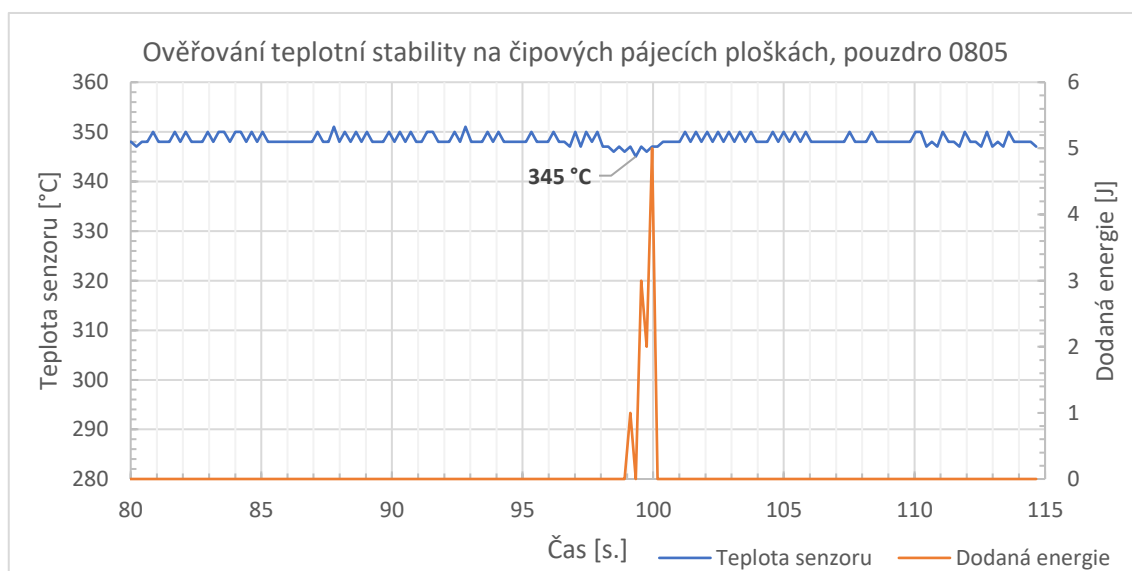


Obr. 4.13: Výstupní data z pájecí stanice Hakko FN-1010 pro pájené čipové pouzdro 0603

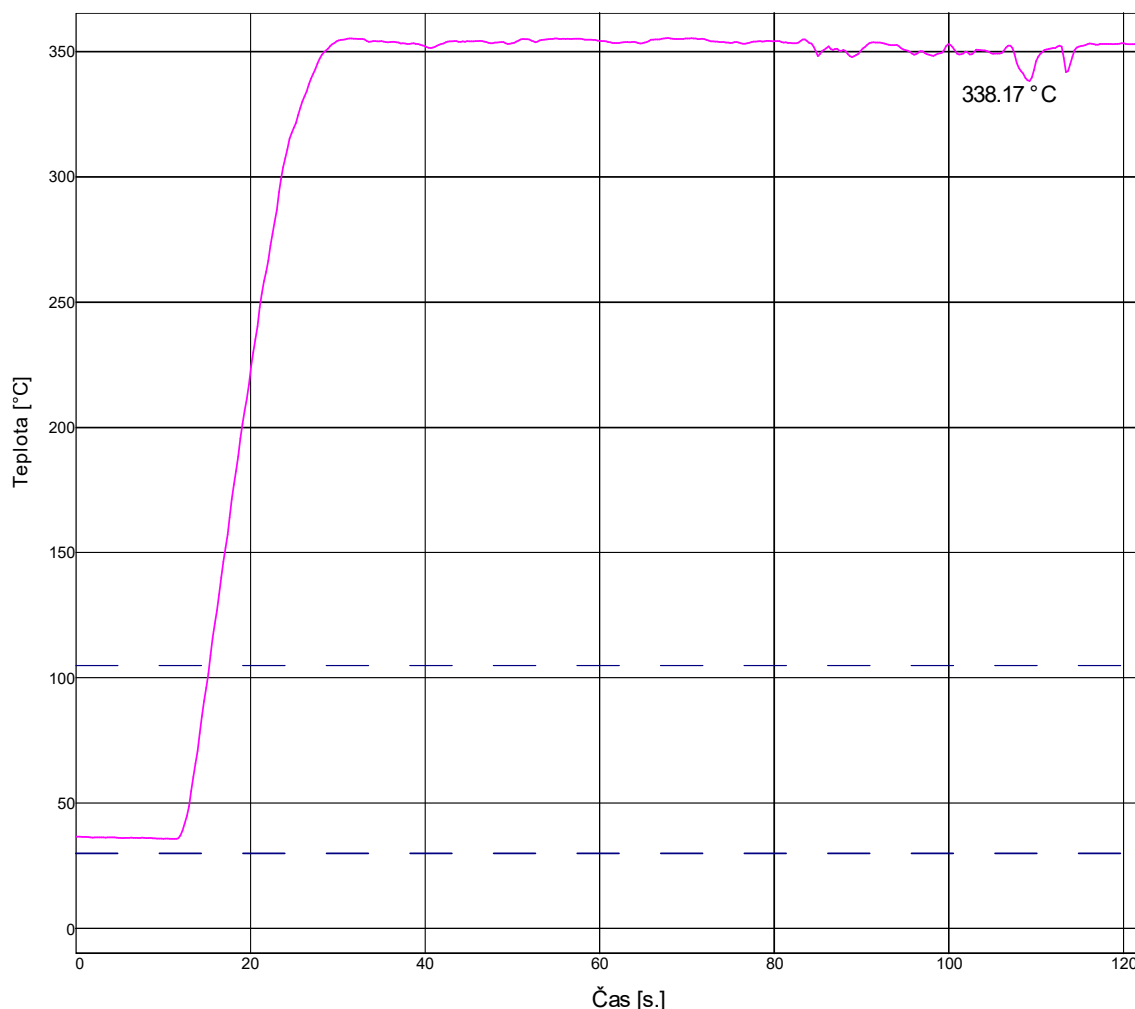


Obr. 4.14: Údaje z termočlánku pro pájené čipové pouzdro 0603

Z předchozích průběhů pro čipové pouzdro 0603 si můžeme povšimnout, že pájecí stanice téměř nezaznamenala proces pájení. Malá tepelná kapacita pájeného čipového pouzdra a plošky způsobila velice malé ochlazení pájecího hrotu. Na obr. 4.13 je reprezentován průběh dodané energie oranžovou křivkou a teploty pájecího hrotu modrou křivkou. Z těchto výsledků je patrné, že teplota při průběhu pájení téměř neklesla. Taktéž není zaznamenáno žádné dodání energie do pájeného spoje, což lze vysvětlit tím, že dostatečná tepelná kapacita hrotu stačila na prohřátí pájeného spoje. Viditelné zvlnění teploty je opět způsobeno regulačním členem pájecí stanice. Z grafického průběhu termočlánku je pokles teploty při pájení patrnější. Na rozdíl od dosažených výsledků z pájecí stanice, zde zaznamenáváme zhruba o 3 °C vyšší pokles teploty hrotu. Nicméně grafické vyjádření dat z pájecí stanice je pro pájení čipových pouzder menších jak 0805 nevhodné.

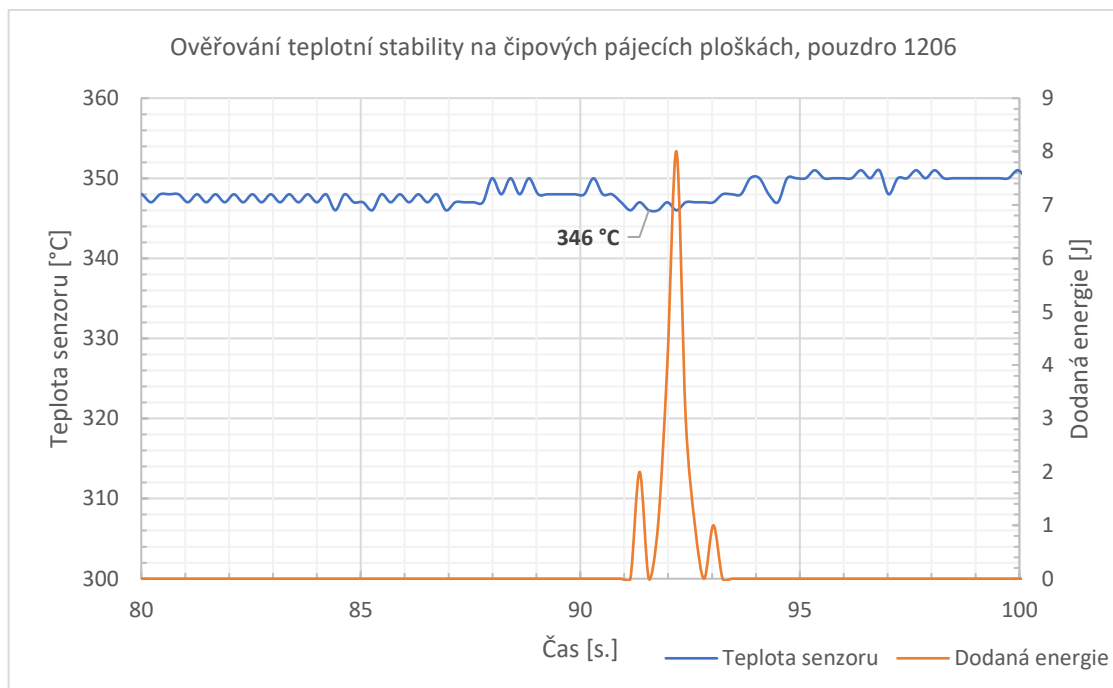


Obr. 4.15: Výstupní data z pájecí stanice Hakko FN-1010 pro pájené čipové pouzdro 0805

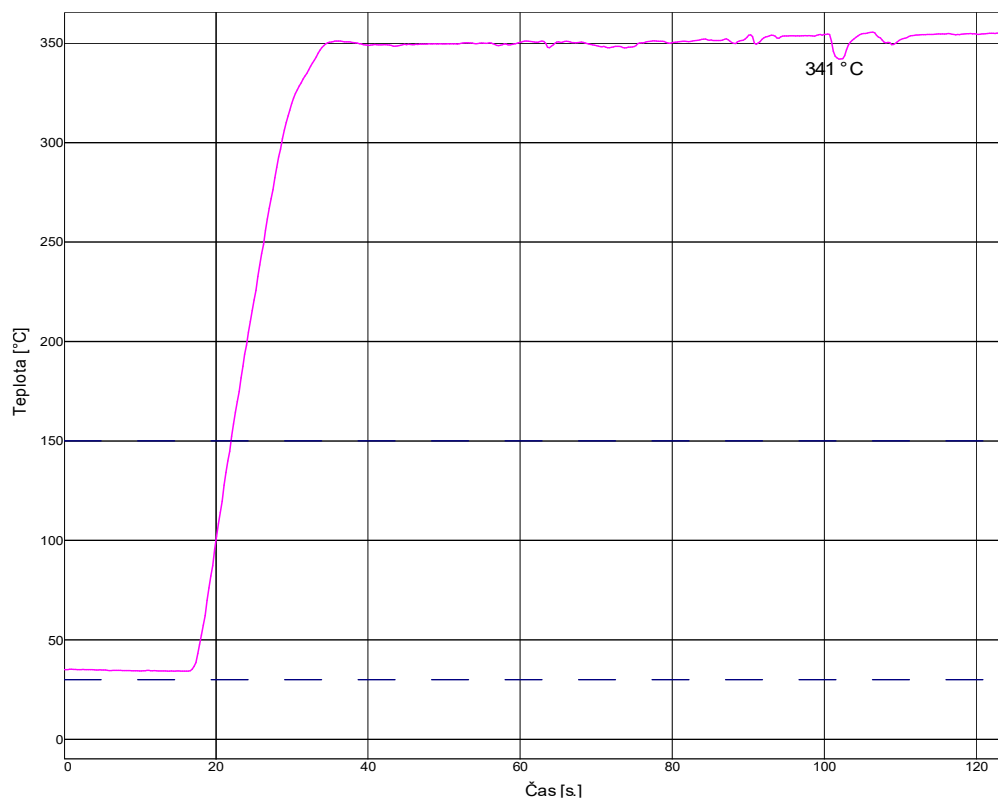


Obr. 4.16: Údaje z termočlánku pro pájené čipové pouzdro 0805

Na obr. 4.15 a obr. 4.16 jsou zobrazeny průběhy pájení čipového pouzdra 0805. Oproti předchozímu pájenému pouzdru 0603 je na výstupních datech z pájecí stanice jasně zřetelné dodání energie pájecím hrotem do pájeného spoje. Ačkoliv teplota pájecího hrotu opět moc neklesla, lze již rozeznat pájecí úkon. Rozdíl teplot nyní činil zhruba 7 °C. Z grafického průběhu termočlánku je patrné ochlazení v době pájení, kdy teplota povrchu hrotu klesla na zhruba 338 °C. Následné další ochlazení, které je taktéž zaznamenáno, je způsobené odložením pájecí ručky do stojánu. Z těchto dat pro čipové pouzdro 0805 je už tedy rozeznatelný pájecí proces, ačkoliv pokles teploty nebyl nijak zásadní.



Obr. 4.17: Výstupní data z pájecí stanice Hakko FN-1010 pro pájené čipové pouzdro 1206



Obr. 4.18: Údaje z termočlánu pro pájené čipové pouzdro 1206

Poslední ověřované čipové pouzdro bylo 1206. Grafické průběhy z procesu pájení jsou zobrazeny na obr. 4.17 a obr. 4.18. Z dat dostupných z pájecí stanice můžeme opět rozeznat pájecí úkon, který je reprezentován průběhem dodané energie do pájeného spoje a mírným poklesem teploty, který opět není nijak zásadně veliký. V porovnání s údaji z termočládku je rozdíl teplot zhruba 5 °C.

Pro všechny měřené čipové součástky byla provedena ověřovací měření, která měla za úkol odhalit schopnost pájecí stanice zaznamenávat průběh pájecího procesu při pájení malých teplotních kapacit. Z předchozích průběhů je patrné, že detekovatelné pájení můžeme pozorovat od velikosti pouzdra 0805. Je také důležité poznamenat, že využitý kónický pájecí hrot T36-B2 měl ze všech dostupných hrotů nejmenší tepelnou kapacitu. Pro porovnání výsledků měření jsou změřené teplotní rozdíly a dodané energie do pájených spojů zobrazeny v tab. 4.2.

Tab. 4.2: Souhrn výsledků teplotních rozdílů získaných pomocí pájecí stanice Hakko FN-1010 a profilometru SlimKIC2000

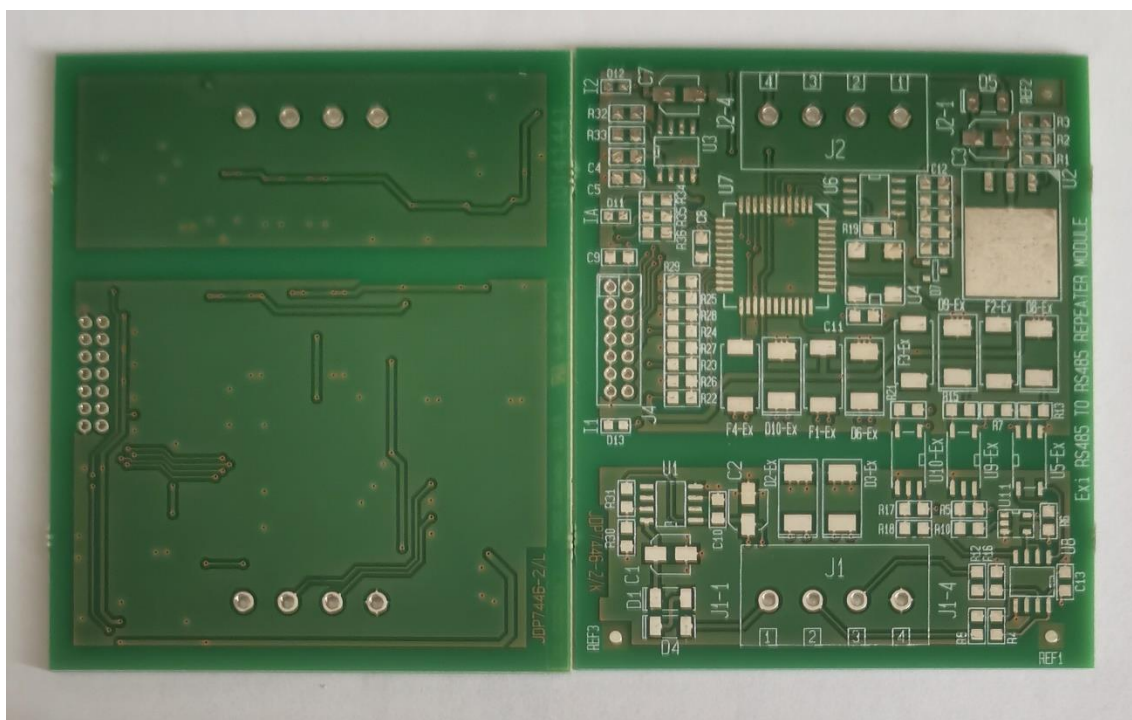
	Pouzdro 0603	Pouzdro 0805	Pouzdro 1206
Dodaná energie [J]	0	5	8
Pokles teploty zaznamenaný pájecí stanicí [°C]	3	5	4
Pokles teploty zaznamenaný termočládkem [°C]	5	12	9

Je tedy patrné, že pájecí proces je pro některé čipové součástky identifikovatelný. Ovšem vliv regulačního členu pájecí stanice, který do měřeného teplotního průběhu vnáší jistý šum, zhoršuje rozpoznatelnost pájecího procesu pro malé tepelné kapacity. Dále je také nutno poznamenat, že na výsledný průběh má značný vliv tepelná kapacita pájecího hrotu. Pokud budeme manipulovat s menší tepelnou kapacitou, lze ji snadněji ochladit, byť jen prudším pohybem nebo umístěním do stojánku. Toto ochlazení může opět mylně identifikovat pájecí proces, který ve skutečnosti neproběhl. Nicméně, ovládací program pájecí stanice Hakko FN-1010 umožňuje nastavení míry citlivosti snímání teploty, který by v tomto ohledu mohl potlačit rušivé kmitání.

5. REPRODUKOVATELNOST PÁJECÍHO PROCESU

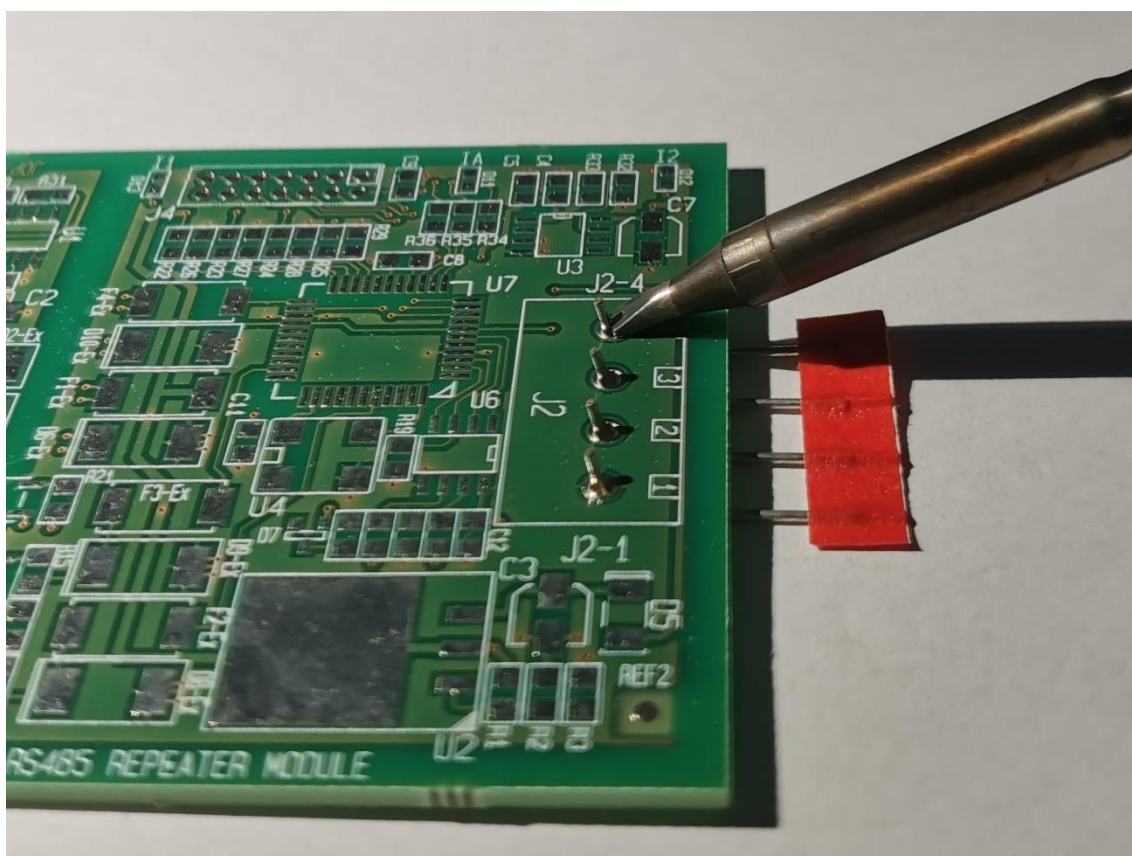
Během ručního pájecího procesu je zásadní dodržovat předepsané postupy technické přípravy výroby. V dnešní době je v drtivé většině ruční pájení využívána bezolovnatá trubičková pájka SAC305 (Sn96,5/Ag3,0/Cu0,5). Její parametry se liší od olovnaté trubičkové pájky Sn63/Pb37, zejména teplota liquidu. Ta je u bezolovnaté pájky v rozmezí 217 až 220 °C. Vyšší tepelná náročnost je bezpochyby promítnuta i do zmiňovaného ručního pájecího procesu. Operátoři proto musí dbát zvýšené pozornosti, neboť při bezolovnatém procesu hrozí větší riziko poruch, než je zvykem u olovnatých pájek. Eliminace těchto problémů se stává natolik akutní, že výrobci začínají do svých pájecích stanic implementovat různé nástroje, které nám dopomohou udržet pájecí proces v optimálních mezích.

Jak již bylo výše popsáno ve vlastnostech pájecí stanice Hakko FN-1010, tato funkce je obsažena v softwarovém vybavení a může nám velice efektivně provádět sledování pájecího procesu nebo se podílet na výzkumném testování samotného pájení. Pro účely testování reprodukovatelnosti pájení byly opět připraveny testovací desky plošných spojů (obr. 5.1), které byly využívány po celou dobu měření, aby byla zajištěna konzistentnost měřených dat.



Obr. 5.1: Testovací desky plošných spojů

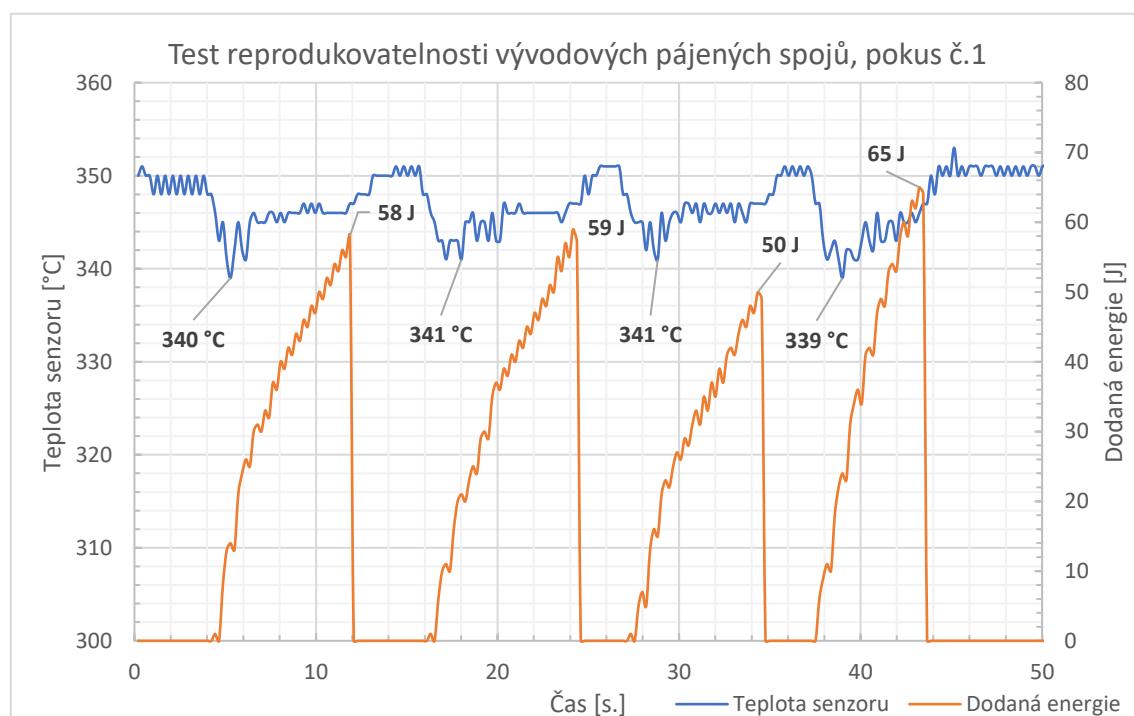
Tyto dvouvrstvé testovací desky plošných spojů obsahují takové pájecí plošky, které by se s největší pravděpodobností vyskytovaly i v reálných podmínkách. Pro pájecí proces byl zvolen hrot T36-D24 s plochým tvarem kontaktní plochy, který zajistí lepší přestup tepla do pájeného spoje. Jako pájený předmět byly zvoleny ustřižené vývodové kontakty, které měly za úkol simulovat reálnou pájenou součástku. Délka vývodů byla opět upravena tak, aby byl maximální přesah ze spodní strany desky plošných spojů 2,5mm. Výsledný vzhled připravené desky s testovacími vývodovými kontakty, je zobrazena na obr. 5.2.



Obr. 5.2: Připravená deska plošných spojů pro měření reprodukovatelnosti pájených spojů

5.1 Proces ověřování reprodukovatelnosti pájených spojů

Na připravené desce plošných spojů mohlo započít měření reprodukovatelnosti pájených spojů. Vzhledem k velikosti pájecích plošek, byla nastavena teplota pájecího pera na 350 °C a taktéž byla využita bezolovnatá trubičková pájka Kester s průměrem 0,8 mm. Testovací procedura probíhala tak, že se postupně zapájely všechny čtyři vývody, jak je zobrazeno na obr. 5.2. Během celého procesu pájení byly opět zaznamenávána data za využití monitorovacího software pájecí stanice Hakko FN-1010.



Obr. 5.3: Záznam pájecího procesu vývodových kontaktů ze stanice Hakko FN-1010

s dodržáním pájecí procedury

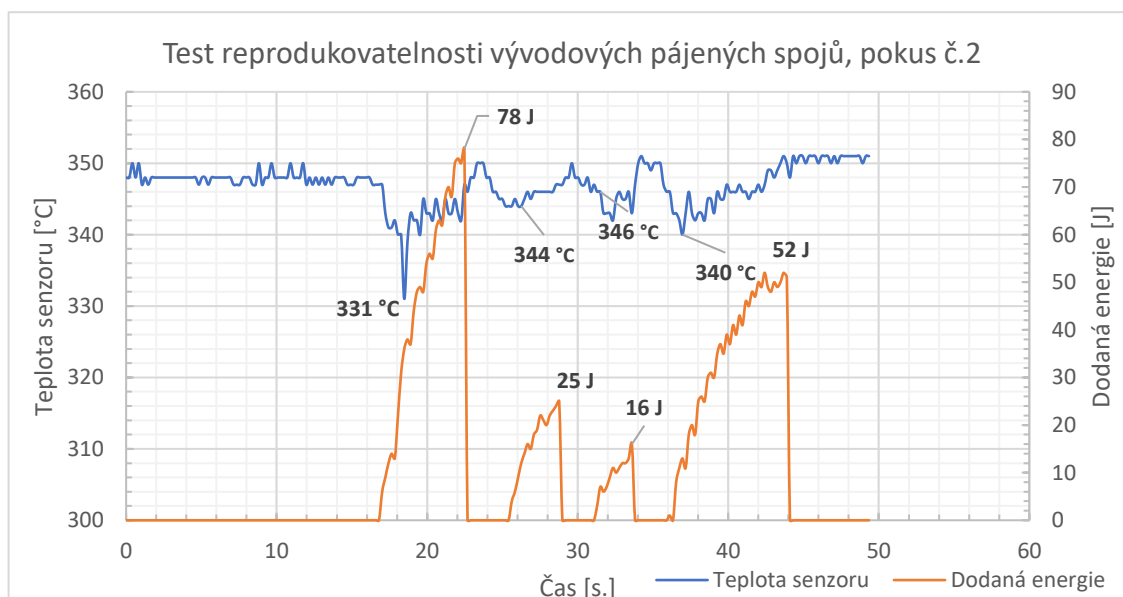
Zaznamenaná data z pájecího procesu jsou zobrazena na obr. 5.3. Jak si můžeme z dosažených výsledků povšimnout, nachází se zde čtyři zaznamenané průběhy pájení. Pomocí takovéto grafické reprezentace lze provádět analýzu procesu. Cílem bylo dosáhnout čtyř identických průběhů pájení tak, aby byly splněny veškeré předpoklady pro správně zapájený spoj. To obnášelo i částečné setrvání pájecího hrotu na spoji s časovou prodlevou zhruba tří vteřin pro zajištění optimálního smočení vývodu. Z dosažených výsledků je patrné, že se tento cíl podařilo naplnit v několika ohledech.

Nelze vždy dosáhnout identického průběhu pájení, neboť nám do každého procesu vstupují jiné okolní vlivy, které nepřiměřeně ovlivňují samotný pájecí proces. První dva pájené spoje mají takřka identický průběh. Míra ochlazení pájecího hrotu i množství dodané energie do pájeného spoje jsou velmi podobné. U třetího průběhu je menší pokles dodané energie. To může mít za příčinu několik faktorů. Kratší dobu přiloženého pájecího pera, menší množství trubičkové pájky, menší tepelný odběr z pájecí plošky nebo již zvýšená teplota pájecí plošky v důsledku předchozího pájení. Vzhledem k těsné blízkosti jednotlivých pájecích plošek lze předpokládat přehřátí plošky předchozími pájecími úkony. U čtvrtého pájeného vývodu lze jasně evidovat zvýšenou dodávku energie do spoje. To je zapříčiněné tím, že tato ploška je spojená s rozlitou měděnou vrstvou, která odebírá teplo z pájeného spoje. To je následně promítnuto do zvýšené dodávky energie. Přehled jednotlivých dat z procesu, je zobrazen v tab. 5.1.

Tab. 5.1: Přehled dat z pájecího procesu reprodukovatelnosti

	Ploška 1	Ploška 2	Ploška 3	Ploška 4
Dodaná energie [J]	58	59	50	65
Teplotní pokles [°C]	11	9	9	11
Čas pájení [s.]	7	8	7	6

Pro další demonstraci byly záměrně vytvořeny špatné pájené spoje. Doba přiložení pájecího hrotu na spoj nebyla konzistentní, stejně tak setrvání pájecího hrotu na spoji pro dostatečné smočení vývodu. Grafický výstup dat je zobrazen na obr. 5.4.

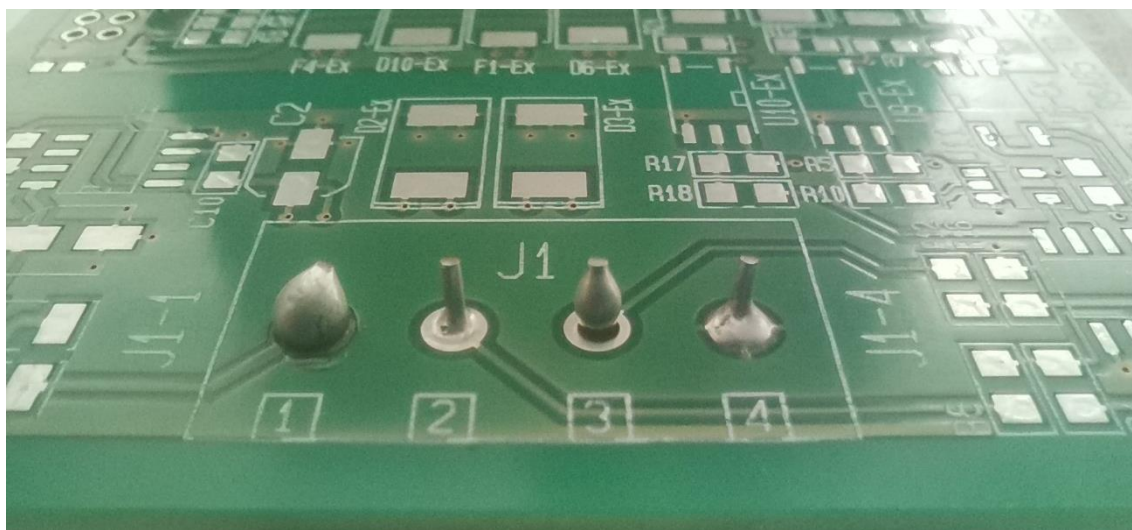


Obr. 5.4: Záznam pájecího procesu vývodových kontaktů ze stanice Hakko FN-1010 s nedodržením pájecí procedury

Jak je naznačeno ze zaznamenaného průběhu, tvary křivek nejsou vůbec identické. Pokud vezmeme v potaz, že je se jedná o čtyři téměř identické pájecí plošky, nelze tyto výsledky kvalifikovat jako uspokojivé.

Pro první pájený spoj vidíme enormní dodávku energie. Z časového hlediska je doba pájení v pořádku, tj. zhruba 6 vteřin. Tato zvýšená dodávka energie do pájeného spoje indikuje nepřiměřené množství aplikace trubičkové pájky, tak jak je vyobrazeno na obr. 5.5. To může mít za následek vzniknutí špatného pájeného spoje, který by byl podle normy IPC-A-610 posouzen jako neuspokojivý. Taktéž si lze povšimnout neadekvátního poklesu teploty pájecího hrotu až na teplotu 331 °C. V porovnání s prvním pájecím experimentem (obr. 5.2) se jedná o rozdíl téměř 10 °C.

Druhý pájený spoj v pořadí je charakteristický svou krátkou dobou pájení, která měla trvání přibližně čtyři vteřiny a nízkou dodávkou energie do spoje. Takovýto průběh indikuje nedostatečné prohřátí spoje, malé množství aplikované trubičkové pájky a celkově urychlený průběh procesu. Takto vytvořený pájený spoj nemůže být opět klasifikován jako uspokojivý, neboť i po vizuální stránce je patrné, že vývod není optimálně smočený (obr. 5.5). Z dosaženého průběhu lze opět identifikovat chybu v procesu, který lze ihned vyhodnotit jako neuspokojivý.



Obr. 5.5: Detail pájených spojů s defekty

Pro třetí pájený spoj zde máme opět netypický tvar pájecího procesu. Množství dodané energie je pouze 16 J, pokles teploty pájecího hrotu během procesu činí pouze 4 °C a doba pájení činila pouze 4 vteřiny. Taktéž si lze povšimnout celkově netypického tvaru výsledné křivky, která opět indikuje neoptimální pájecí proces, který může implikovat vícero důsledků. Především krátká doba přiložení pájecího hrotu na pájený spoj způsobí jeho nedostatečné prohřátí. Spolu s minimálním množstvím aplikované trubičkové pájky a neoptimálního přiložení pájecího hrotu nedalo vzniku uspokojivého pájeného spoje, tak jak je zobrazeno na obr. 5.5.

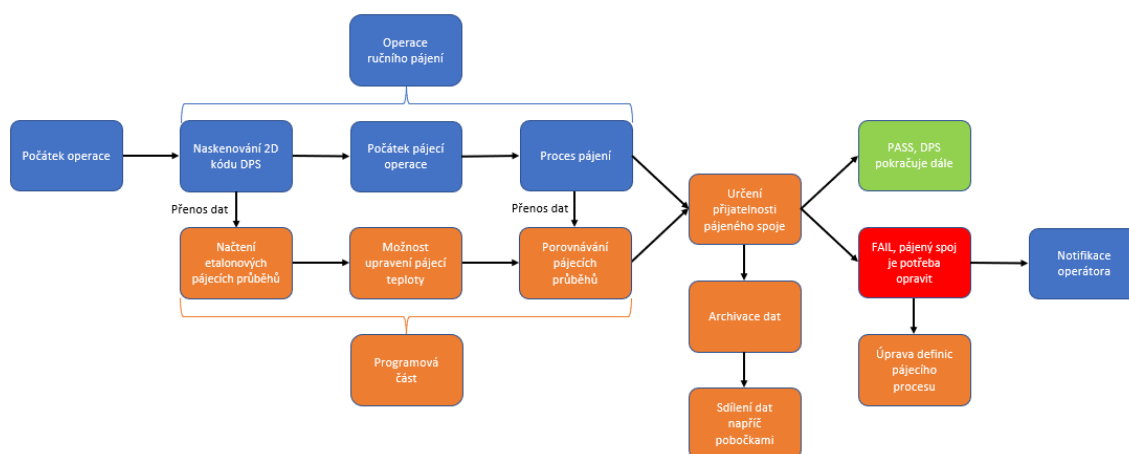
Posledním čtvrtým pájeným spojem byla ploška připojená na rozlitou zemnicí plochu. Z této skutečnosti se dá předpokládat, že by pájecí proces mohl trvat déle než u předchozích spojů. Ovšem je zde přítomna další chyba v pájení. Podle tvaru křivky si můžeme všimnout několika věcí. Zaprvé teplotní pokles pájecího hrotu zde může být vyhodnocen jako normální, ale jeho průběh není zcela optimální. Nepřiměřené zvlnění může indikovat nežádoucí pohyby během pájecího procesu. Zadruhé v době, kdy teplota pájecího pera dosáhla opětovně 350 °C, se dá předpokládat dostatečné prohřátí pájeného spoje a tím i uspokojivé smočení vývodu. Nicméně podle tvaru křivky dodané energie je patrné, že pájecí proces pokračoval dále, než je nezbytně nutné. Toto lze i podložit dobou trvání celého procesu, která činila přes 10 vteřin. Taktéž je zde patrné, že teplota pájecího hrotu již dále nijak výrazně neklesala, z čehož lze usoudit, že pájeným spoj měl dostatečné množství tepelné energie. Z tohoto výsledku můžeme usoudit, že pájený spoj byl nepřiměřeně přehříván, což může vyústit v defekt, kdy nebude mít aplikovaná trubičková pájka své optimální vlastnosti.

Z tohoto experimentálního měření vyplývá, že záznamové funkce pájecí stanice Hakko FN-1010 mohou přinést velice účinné sledování pájecího procesu. Především tvar výstupních křivek nám dává jasně najevo, jak daný operátor provedl pájecí úkon. Pro snazší srovnání provedených měření, jsou dosažené hodnoty porovnány v tab. 5.2.

Tab. 5.2: Porovnání dosažených dat z experimentálního měření

		Ploška 1	Ploška 2	Ploška 3	Ploška 4 (připojení na rozlitou měď)
Vzorové pájení	Dodaná energie [J]	58	59	50	65
	Teplotní pokles [°C]	11	9	9	11
	Doba pájení [s.]	7	8	7	6
Špatné pájení	Dodaná energie [J]	78	25	16	52
	Teplotní pokles [°C]	19	6	4	10
	Doba pájení [s.]	6	4	3.8	10

Využití těchto funkcí pájecí stanice Hakko FN-1010 ve výrobních prostorech přináší nové možnosti provádění kontroly pájecího procesu u operátorů. Pokud budeme předpokládat vytvoření etalonových pájených spojů a jejich řádnou dokumentaci osobou znalou v procesu, lze tyto předlohy využít pro porovnání. Pomocí těchto předloh se následně může hodnotit vykonaný pájecí proces a v případě potřeby, korigovat či jinak upravovat technický styl operátora. Dále se tato data mohou využít jako technická dokumentace v případě, kdyby byly později v pájeném spoji objeveny defekty. Díky archivaci získaných pájecích průběhů každého spoje by bylo snazší objevení případného defektu. Je ovšem samozřejmostí mít pájené spoje očíslované, stejně tak i desky plošných spojů, aby mohlo dojít k jejich definitivnímu rozpoznání. Díky pokročilým funkcím stanice by bylo možné při vytvoření vlastního ovládacího programu synchronizovat výstupní data tak, aby při provedeném špatném pájecím úkonu byl operátor upozorněn. Pro tento případ můžeme využít notificačních vibrací, které umí poskytnout pájecí ručka stanice Hakko FN-1010. Dále využití etalonových předloh v ovládacím programu tak, že se dosažené průběhy od operátorů budou automaticky srovnávat s aktuálně získanými a podle potřeby provádět upozornění či případnou opravu. Předpokládaný proces vyhodnocování pájených spojů je naznačen na obr. 5.6.



Obr. 5.6: Návrh vyhodnocování procesu ručního pájení

6. MĚŘENÍ OHŘEVU DEFINOVANÉ TEPELNÉ KAPACITY

Při výběru vhodné pájecí stanice se obvykle orientujeme podle věhlasu značky výrobce, výkonu pájecí stanice nebo implementace pokročilých funkcí, které nám mohou výrazně usnadnit či urychlit pájecí proces. Ovšem co při nákupu pájecí stanice nemůžeme znát je například časová odezva pájecí pera na jeho ochlazení. Při prudším ochlazení pájecího hrotu, kdy svou velkou část tepelné energie přesune do pájeného spoje je velice důležité, aby pájecí stanice tento pokles zaregistrovala co možná nejrychleji. Při rychlé reakci a dostatečnému výkonu pájecí stanice je schopná dodat potřebné množství tepelné energie zpět do pájecího hrotu. Rychlá časová odezva může tedy velice efektivně udržovat teplotu pájecího hrotu v rozumných mezích i při pájení součástek, které výrazně odebírají tepelnou energii. Pájecí proces se stává pro operátora příjemnějším a nemusí se potýkat s časovými prodlevami, kdy pájecí stanice opět nahřívá pájecí hrot. Ačkoliv můžeme tuto vlastnost do jisté míry vykompenzovat dostatečným výkonem pájecího pera není tomu vždy tak. Unikátnost pájecích hrotů, resp. jejich povrchové úpravy a řídicí programové vybavy pájecích stanic je u mnoho výrobců unikátní. Efektivní přestup tepelné energie do pájeného spoje, je taktéž ve velké míře zastoupen technikou operátora. Pokud se operátor správně neorientuje v dané problematice, nelze zde mnohdy pomoci i s kvalitní pájecí stanicí, která splňuje výše popsané požadavky.

Pro měření ohřevu definované tepelné kapacity, lze rovněž využít monitorovací program pájecí stanice Hakko FN-1010. Díky záznamu teploty a dodané energie jsme schopni ze záznamu dat rozpoznat, kdy započal pájecí proces a jak dlouhá je časová odezva pájecí stanice.

6.1 Příprava trubičkové pájky a desek plošných spojů

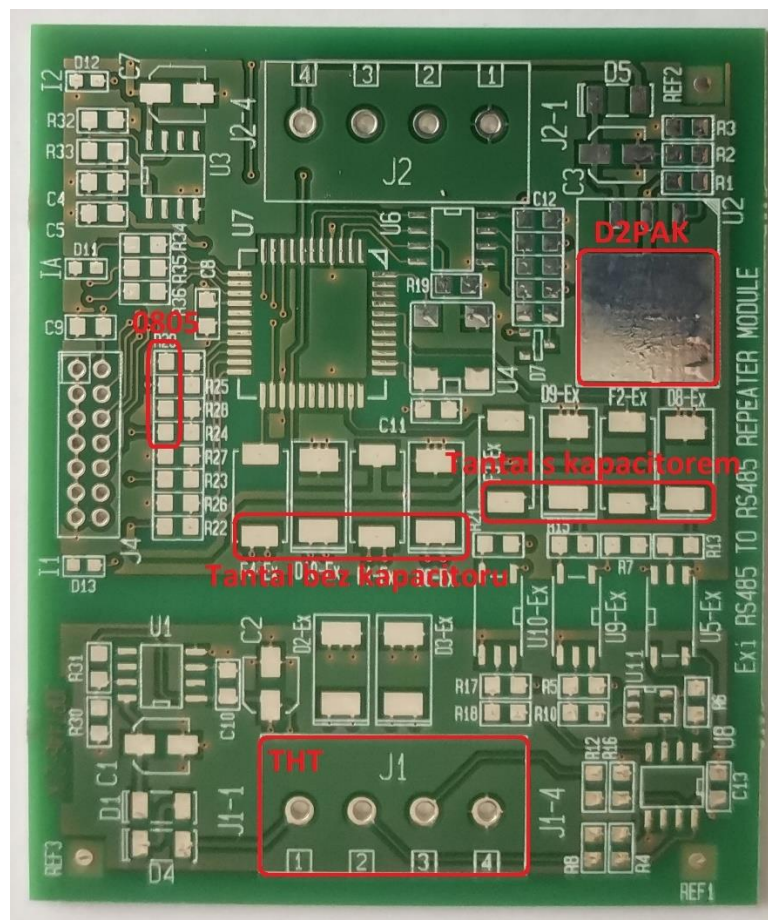
V rámci správné reprodukovatelnosti procesu musely být zvoleny pro měření stejné typy desek plošných spojů, ale především stejné množství aplikované trubičkové pájky. Její vstupující množství do pájecího procesu bude do určité míry určovat ochlazení pájecího hrotu a taktéž celkovou dobu procesu. Pro lepší relevantnost naměřených dat bylo měření prováděno na pěti identických deskách plošných spojů. Ty obsahují různé pájecí plošky, přičemž pro toto ověřování budou využity plošky pro vývodovou montáž a pro čipovou montáž (0805, D2PAK a pro tantalové kondenzátory). Během experimentálních měření bylo určeno optimální množství aplikované trubičkové pájky na jednotlivé pájecí plošky. Nejprve byla odhadem nastříhána a následně přetavena. Podle jejího výsledného množství na pájecích ploškách a tvaru pájeného spoje byla korigována výsledná hmotnost.

Ta činila 50 mg pro většinu pájecích plošek. Pro pájení tantalových kondenzátorů bylo zvoleno množství 15 mg, neboť výše zmiňovaných 50 mg, bylo již příliš velké množství. Ověřování výsledné hmotnosti každého ústřížku trubičkové pájky, byla ověřována na laboratorní váze. Hmotnostní tolerance pro hmotnost 50 mg byla zvolena $\pm 0,5$ mg a pro váhu 15 mg $\pm 0,1$ mg. Přehled množství aplikované trubičkové pájky je zobrazen v tab. 6.1.

Tab. 6.1: Aplikované množství trubičkové pájky na jednotlivé pájecí plošky

Pájecí ploška	Množství trubičkové pájky (mg)
THT	50
0805	15
D2PAK	50
Tantalový kondenzátor s kapacitorem	15
Tantalový kondenzátor bez kapacitoru	50

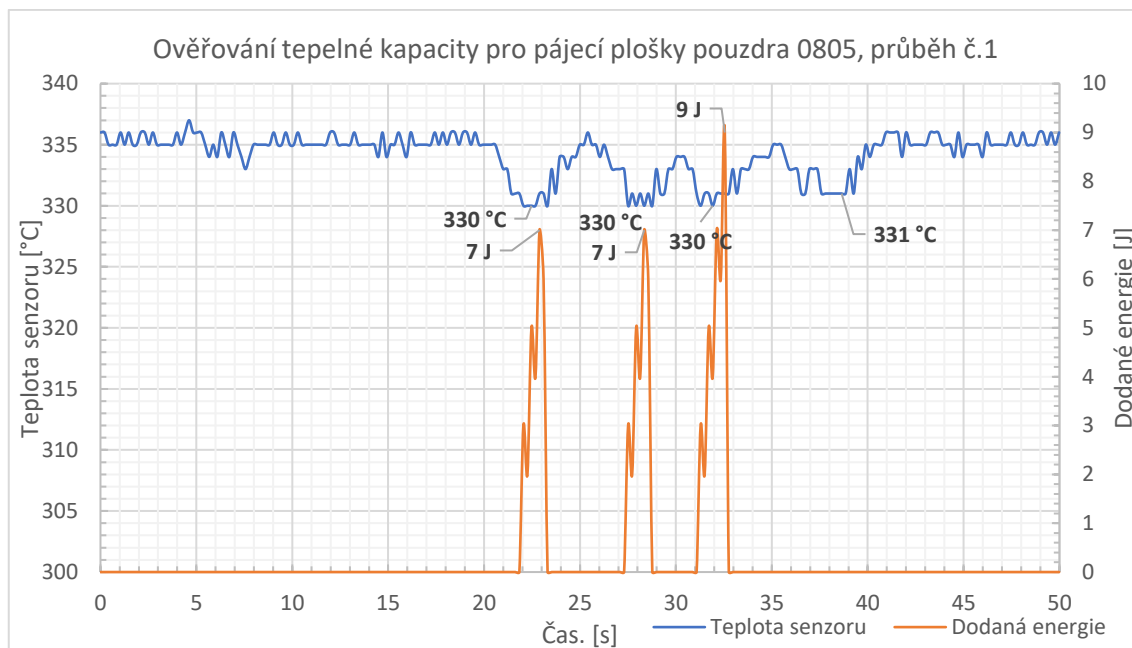
Následně byly připraveny desky plošných spojů. Veškeré pájecí plošky byly očištěny isopropylalkoholem. Pro pájení čipových tantalových kondenzátorů, musela být zvolena metoda částečného připevnění součástek k desce plošných spojů. Při situaci, kdybychom jednu stranu připájeli na desku a druhou stranu podrobili testovacímu měření, tak by první pájený spoj neúměrně odebíral tepelnou energii ze součástky. Pro tento účel byly tantalové kondenzátory podlepeny oboustrannou lepící páskou, která poskytla dostatečnou fixaci během experimentálního pájení. Opět byla využita bezolovnatá trubičková pájka od výrobce Kester SAC305 s 2,2 % hmotnostním podílem tavidlové složky. Jako vhodný pájecí hrot pro tuto operaci byl zvolen T36-B2 s kónickým tvarem. Deska plošných spojů s vyznačenými pájecími ploškami je zobrazena na obr. 6.1.



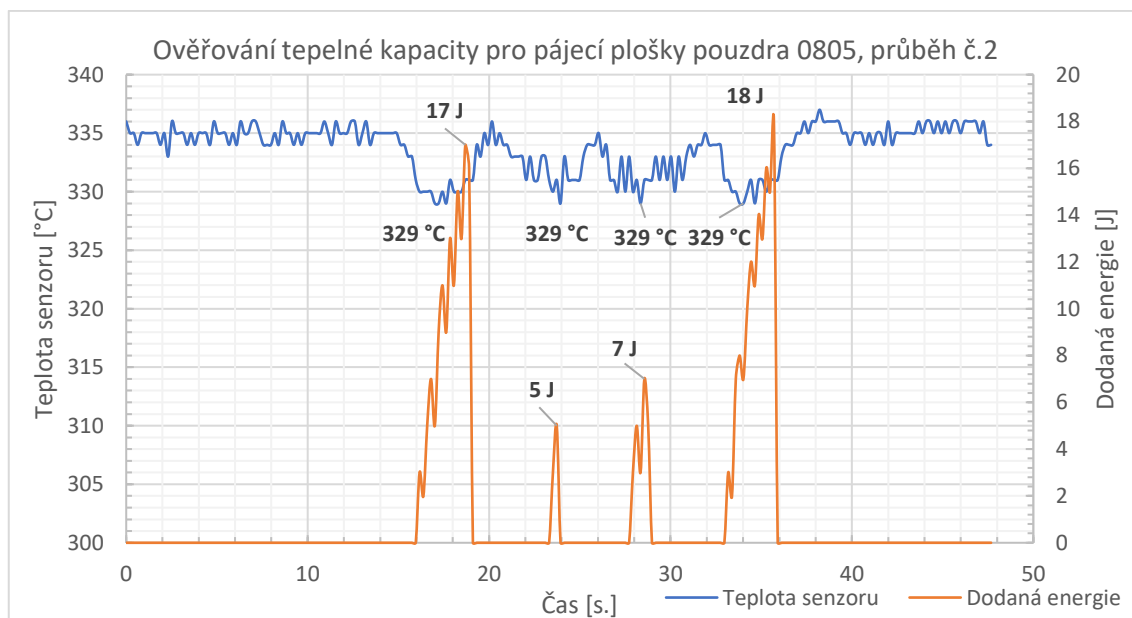
Obr. 6.1: Připravená deska plošných spojů na ověřování tepelné kapacity s vyznačenými pájecími ploškami

6.2 Proces ověřování ohřevu tepelné kapacity

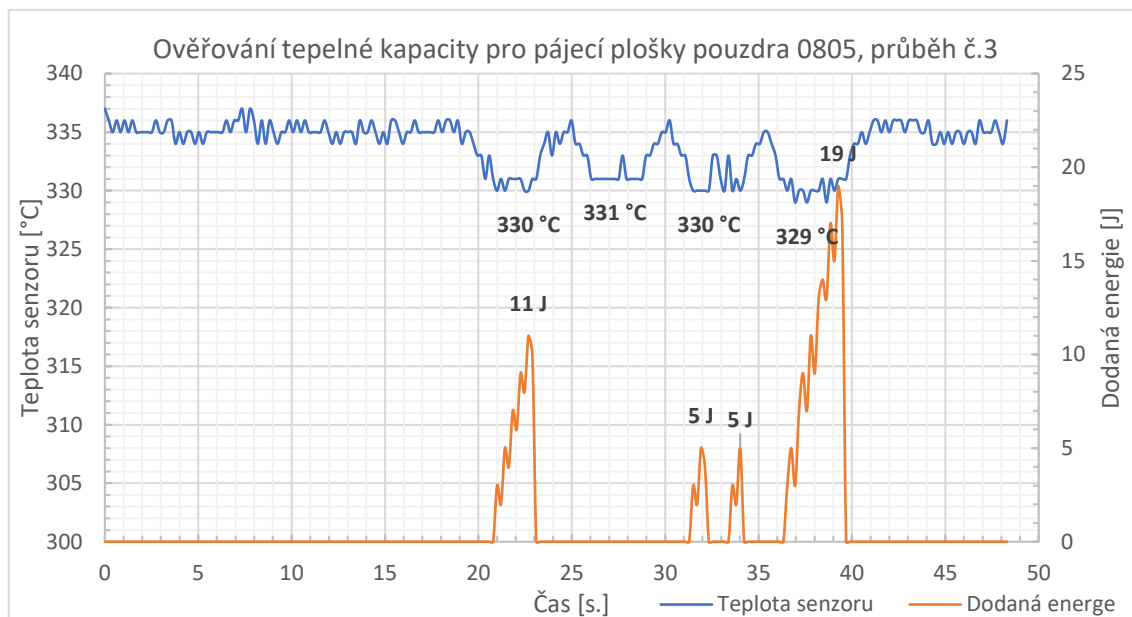
Díky bližšímu umístění jednotlivých pájecích plošek musel být proces navržen tak, aby se co nejméně tepelně ovlivňoval. Z jednotlivých velikostí pájecích plošek je patrné, že největší rozptýlení tepelné energie nastane u čipového pouzdra D2PAK, dále pro tantalové kondenzátory a pro vývodové součástky. Proto bylo pájení rozvrženo tak, aby se navzájem příliš neovlivňovalo. Jelikož je většina pájených plošek SMD charakteru, byla zvolena pracovní teplota pájecího pera 335 °C. Změřená data pro všech pět desek plošných spojů byla zprůměrována, tak aby se získala co možná nejlépe relevantní data. Na následujících obrázcích (obr. 6.1 až obr. 6.6) je zobrazeno všech pět průběhů pro čipové pouzdro 0805, které je následováno jejich průměrem.



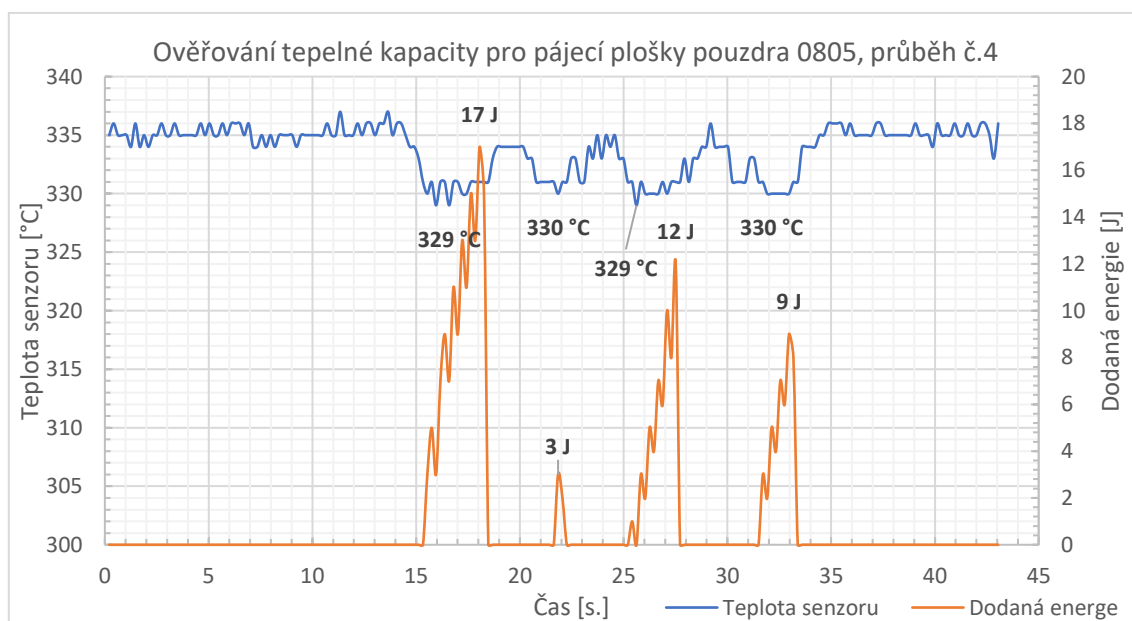
Obr. 6.2: Ověřování tepelné kapacity pro pájecí plošky pouzdra 0805 s 15 mg trubičkové pájky, průběh č.1



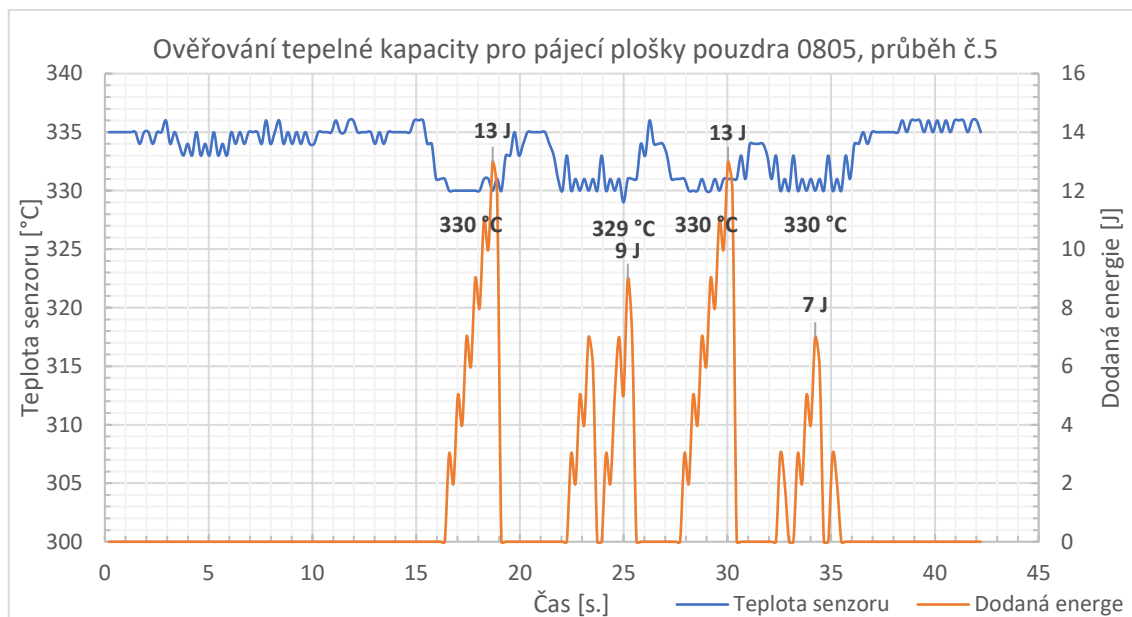
Obr. 6.3: Ověřování tepelné kapacity pro pájecí plošky pouzdra 0805 s 15 mg trubičkové pájky, průběh č.2



Obr. 6.4: Ověřování tepelné kapacity pro pájecí plošky pouzdra 0805 s 15 mg trubičkové pájky, průběh č.3



Obr. 6.5: Ověřování tepelné kapacity pro pájecí plošky pouzdra 0805 s 15 mg trubičkové pájky, průběh č.4



Obr. 6.6: Ověřování tepelné kapacity pro pájecí plošky pouzdra 0805 s 15 mg trubičkové pájky, průběh č.5

Tab. 6.2: Zaznamenaná data z měření ohřevu definované tepelné kapacity pro 0805

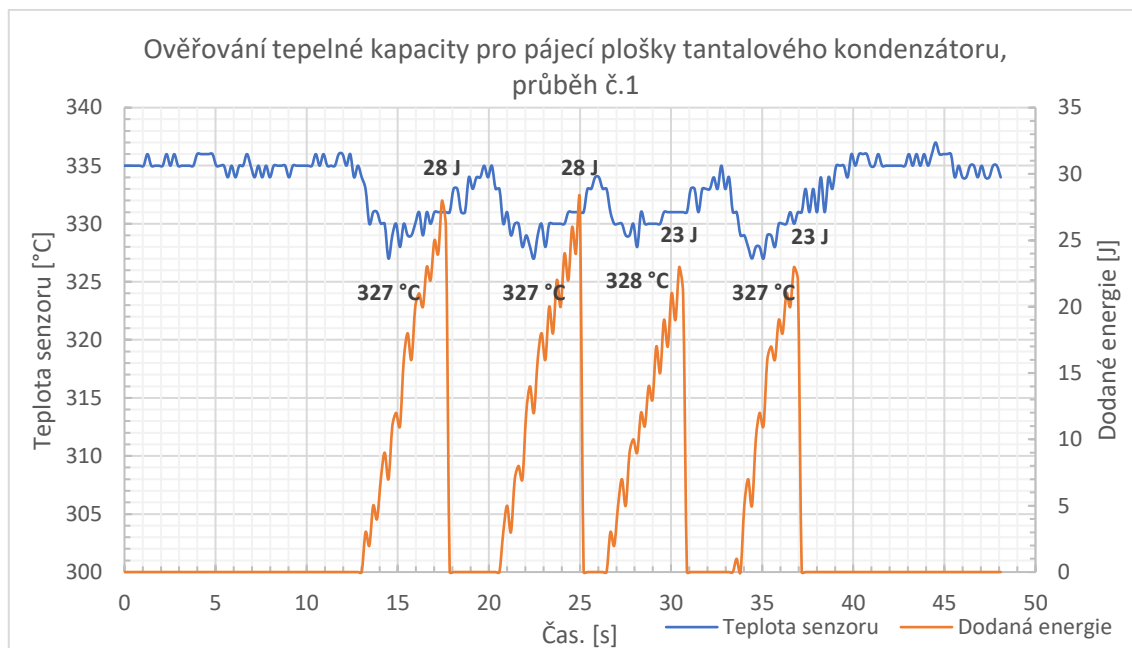
DPS 1				DPS 2			
	Teplotní pokles [°C]	Dodaná energie [J]	Čas pájení [s]		Teplotní pokles [°C]	Dodaná energie [J]	Čas pájení [s]
Ploška 1	5	7	5	Ploška 1	6	17	5
Ploška 2	5	7	5	Ploška 2	6	5	5
Ploška 3	5	9	5	Ploška 3	6	7	5
Ploška 4	4	0	5	Ploška 4	6	18	5
DPS 3				DPS 4			
	Teplotní pokles [°C]	Dodaná energie [J]	Čas pájení [s]		Teplotní pokles [°C]	Dodaná energie [J]	Čas pájení [s]
Ploška 1	5	11	5	Ploška 1	6	17	5
Ploška 2	4	5	5	Ploška 2	5	3	5
Ploška 3	5	5	5	Ploška 3	6	12	5
Ploška 4	6	19	5	Ploška 4	5	9	5
DPS 5							
	Teplotní pokles [°C]	Dodaná energie [J]	Čas pájení [s]				
Ploška 1	5	13	5				
Ploška 2	6	9	5				
Ploška 3	5	13	5				
Ploška 4	5	7	5				

Tab. 6.3: Průměr dosažených dat pro pouzdro 0805

Průměr dat			
	Teplotní pokles [°C]	Dodaná energie [J]	Čas pájení [s]
Ploška 1	5.4	13	5
Ploška 2	5.2	5.8	5
Ploška 3	5.4	10.6	5
Ploška 4	5.2	9.2	5

Z výše zobrazených průběhů si lze povšimnout jednotlivé tepelné ovlivňování samotných pájených plošek. Ačkoliv bylo dbáno na maximální přesnost procesu pájení, tepelný vliv pájených spojů nepřiměřeně ohříval sousední plošky. Na obr. 6.2 si můžeme povšimnout, že pájecí stanice nezaznamenala poslední pájený vývod. To je nejpravděpodobněji zapříčiněno již dostatečným ohřevem pájecí plošky z již proběhlých pájecích úkonů. Některé pájené spoje se vyznačují vysokým dodaným výkonem, ačkoliv teplota pájecího hrotu nijak dramaticky neklesala. Nutno ještě podotknout, že první a třetí pájený vývod je připojen na rozlitou měď, která způsobuje větší tepelný odběr. Pokud nahlédneme do zprůměrovaných dat, můžeme si povšimnout, že právě nejvyšší průměrná hodnota dodané energie do spoje je u první pájené plošky a následně u třetí. U teplotního poklesu jsme nepřekročili průměrnou hodnotu více jak 6 °C, což je u takto malých pájecích plošek pochopitelné. Stále lze ze zaznamenaných dat identifikovat pájecí proces, i když je v některých částech zkreslený z již předchozích operací. Možné řešení pro lepší čitelnost budoucích dat je využití pájecího hrotu s velmi úzkou pájecí špičkou a taktéž trubičkové pájky s menším průměrem.

Pro následující měření bude vždy zobrazen první pájený průběh následovaný jeho datovým průměrem.

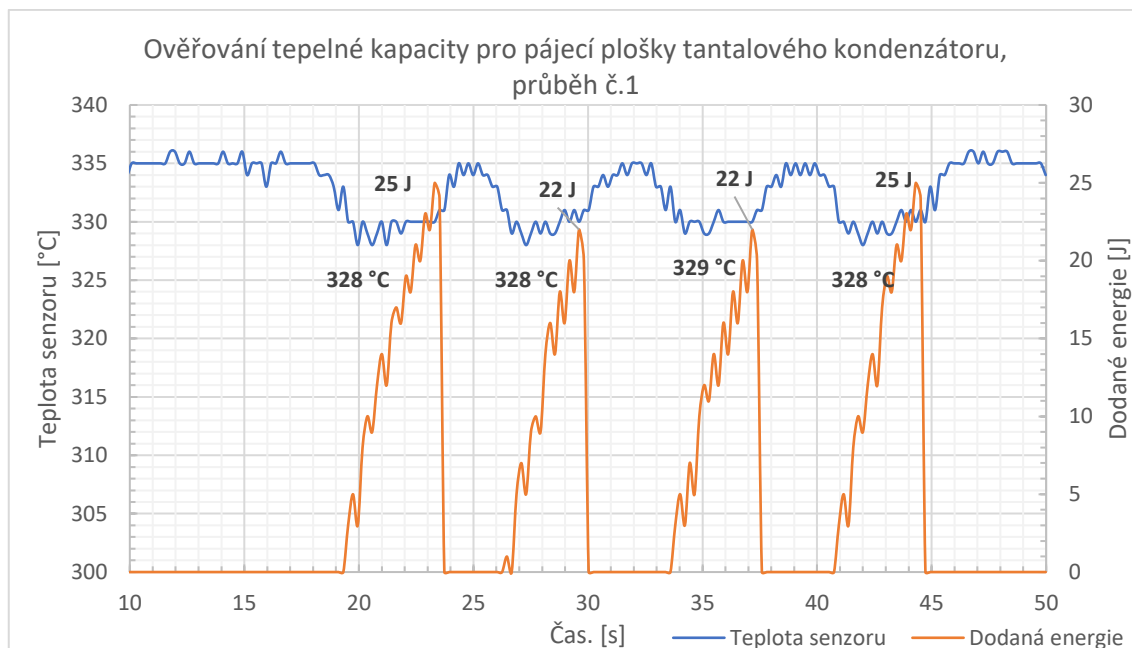


Obr. 6.7: Ověřování tepelné kapacity pro pájecí plošky tantalového kondenzátoru s 50 mg
trubičkové pájky

Tab. 6.4: Průměr dosažených dat pro plošky tantalového kondenzátoru

Průměr dat			
	Teplotní pokles [°C]	Dodaná energie [J]	Čas pájení [s]
Ploška 1	7.8	29.6	5
Ploška 2	8	25.2	5
Ploška 3	7.8	25.8	5
Ploška 4	7.8	25.9	5

Na obr. 6.7 je zobrazen průběh pro pájecí plošky tantalového kondenzátoru. Z naměřených dat je patrné, že výchylka dodané energie a teplotní pokles během pájecího procesu není příliš veliká. Dařilo se získávat rovnoměrné výsledky s dobře čitelným pájecím průběhem. Veškeré pájecí plošky nebyly připojeny na rozlitou měď, a proto zde není patrná vyšší dodávka tepelné energie. Pouze u prvního pájeného spoje si můžeme povšimnout vyšší průměrné energie (tab. 6.4), která může zapříčiněna absencí předehřátí pájených spojů z předchozích operací. Snížení průměrné dodané energie v dalších pájecích úkonech signalizuje ono předehřátí z předchozích úkonů.

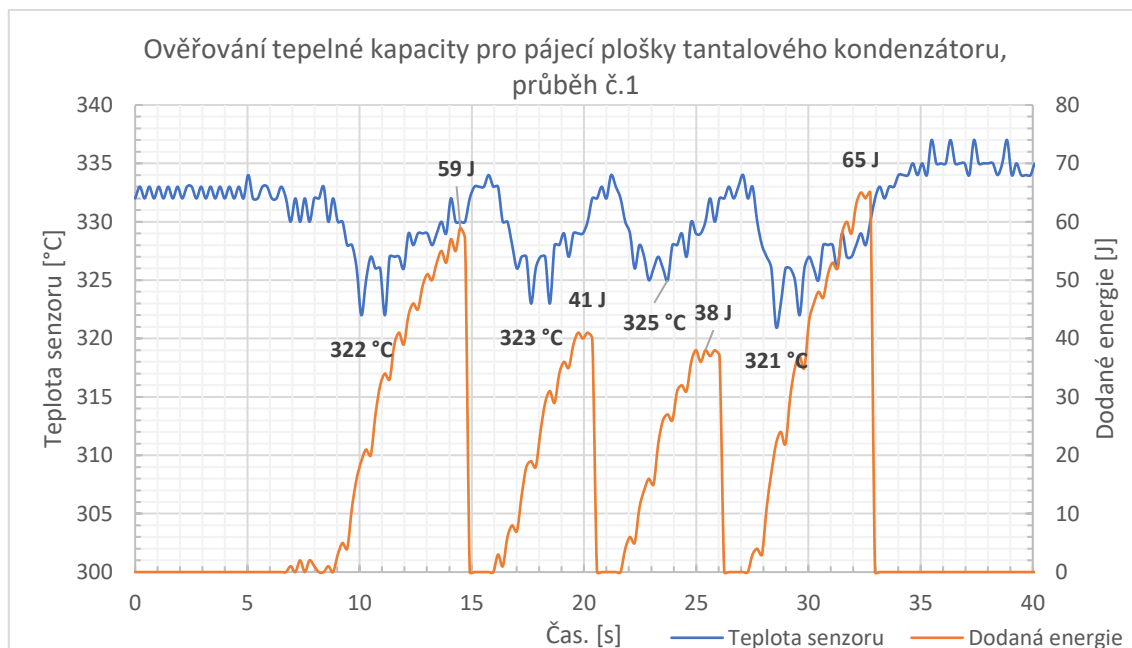


Obr. 6.8: Ověřování tepelné kapacity pro pájecí plošky tantalového kondenzátoru s kondenzátorem, 15 mg trubičkové pájky

Tab. 6.5: Průměr dosažených dat pro plošky tantalového kondenzátoru s kapacitorem

Průměr dat			
	Teplotní pokles [°C]	Dodaná energie [J]	Čas pájení [s]
Ploška 1	6.4	20.2	4
Ploška 2	6.2	17.2	5
Ploška 3	6.2	21.2	4
Ploška 4	6.6	23.8	5

Pro pájení tantalového kondenzátoru s 15 mg trubičkové pájky nám do procesu vstupuje další prvek, který odebírá tepelnou energii. Ačkoliv bylo sníženo množství aplikované pájky, dodaná tepelná energie je v porovnání s předchozím měřením nižší. To může být způsobeno jistou izolací energie v pouzdru kapacitoru. U druhého pájeného spoje si lze opět povšimnout snížené dodávky energie, která může opět signalizovat přehřátí z předchozího úkonu. Celkový výsledný vzhled pájecího procesu je velmi dobře čitelný pro tuto pájenou tepelnou kapacitu. Taktéž teplotní poklesy pájecího hrotu jsou téměř konstantní.

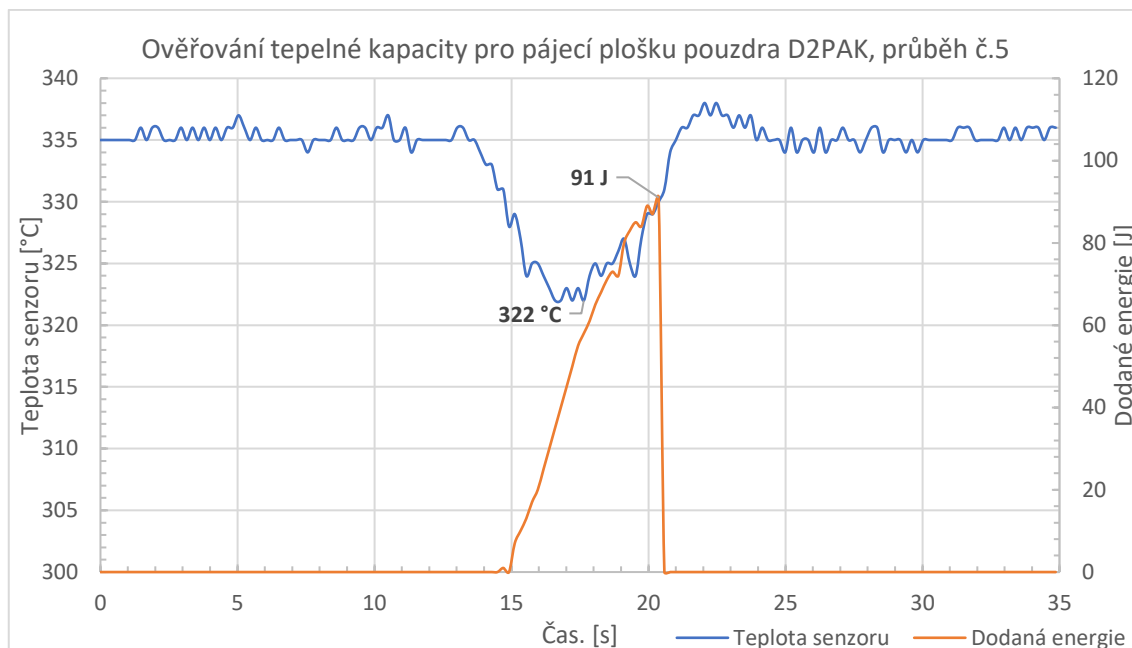


Obr. 6.9: Ověřování tepelné kapacity pro vývodové pájecí plošky s vývody, 50 mg trubičkové pájky

Tab. 6.6: Průměr dosažených dat pro vývodové pájecí plošky s vývody

Průměr dat			
	Teplotní pokles [°C]	Dodaná energie [J]	Čas pájení [s]
Ploška 1	27.6	41	6
Ploška 2	17.4	27.8	5
Ploška 3	17	31.6	6
Ploška 4	21	46.4	6

Na obr. 6.9 je zobrazen datový záznam z pájení vývodových součástek. Pájecí plošky byly pájeny spolu s uštěpenými vývody. Aplikované množství bezolovnaté trubičkové pájky činilo 50 mg pro každou pájecí plošku. Ze zaznamenaných údajů si můžeme opět povšimnout zvýšené dodávky tepelné energie u prvního a čtvrtého pájeného spoje. Tato odchylka u prvního spoje může být způsobena celkově nižší teplotou pájecí plošky oproti ostatním, které byly již ovlivněny předchozí operací. U čtvrtého pájeného spoje je opět patrná zvýšená dodávka díky připojení pájecí plošky na rozlitou měď. Z celého průběhu a zprůměrovaných dat je patrné, že vliv předchozích pájecích úkonů má vliv jak na dodanou tepelnou energii do pájeného spoje, tak i na teplotní pokles pájecího hrotu.



Obr. 6.10: Ověřování tepelné kapacity pro pájecí plochu pouzdra D2PAK, 50 mg trubičkové

Tab. 6.7: Průměr dosažených dat pro pájecí plochu pouzdra D2PAK

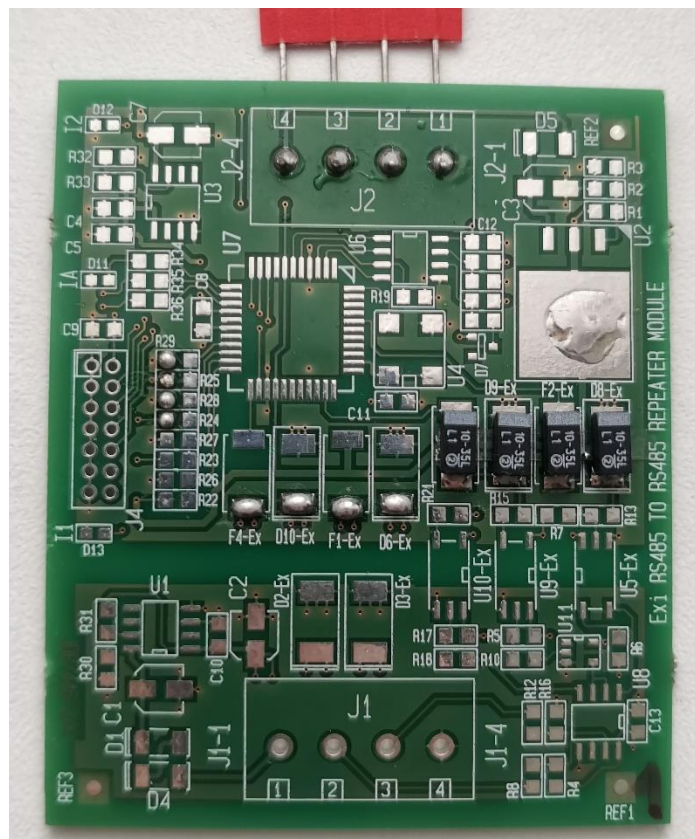
Průměr dat			
	Teplotní pokles [°C]	Dodaná energie [J]	Čas pájení [s]
Ploška 1	16.8	93.8	8

Pro pájecí plošku čipového pouzdra D2PAK je na obr. 6.10 zaznamenán průběh z procesu pájení. Vzhledem k tomu, že na desce plošných spojů se nachází pouze jedna taková pájecí ploška, byl vytvořen průměr z pěti měření. Jak si můžeme z výše vyobrazeného průběhu povšimnout, teplotní pokles není nijak závratný. To je především způsobeno tím, že tato pájecí ploška není připojena k rozlité mědi. Ovšem míra dodaného výkonu byla u všech pájených plošek přes 90 J. Velmi uspokojivá je i doba celkového pájení, neboť pájecí stanice dokázala velmi rychle vyrovnávat odběr tepelné energie z povrchu hrotu. Celkový průběh je opět velmi dobře čitelný pro pozdější analýzu dat, které mohou posloužit jako verifikace pájecího procesu.

6.3 Shrnutí dosažených dat

Měření ohřevu definovaných tepelných kapacit přineslo několik zásadních informací ohledně pájecího procesu. Především registrace pájení čipových součástek od pouzdra 0805 je dostatečně čitelné pro následnou analýzu dosažených dat. Ačkoliv je záznam dat velmi citlivý na celkový průběh a zkušenost operátora, lze z výsledků určit, zda je pájený spoj dostatečně prohřátý či nikoliv. Můžeme tedy s jistotou potvrdit, že tepelná kapacita pájecí plošky pro čipové součástky 0805 je dostatečně velká na to, aby mohl být zaznamenán pájecí proces. Veškerá pájené plošky, jsou zobrazeny na obr. 6.11.

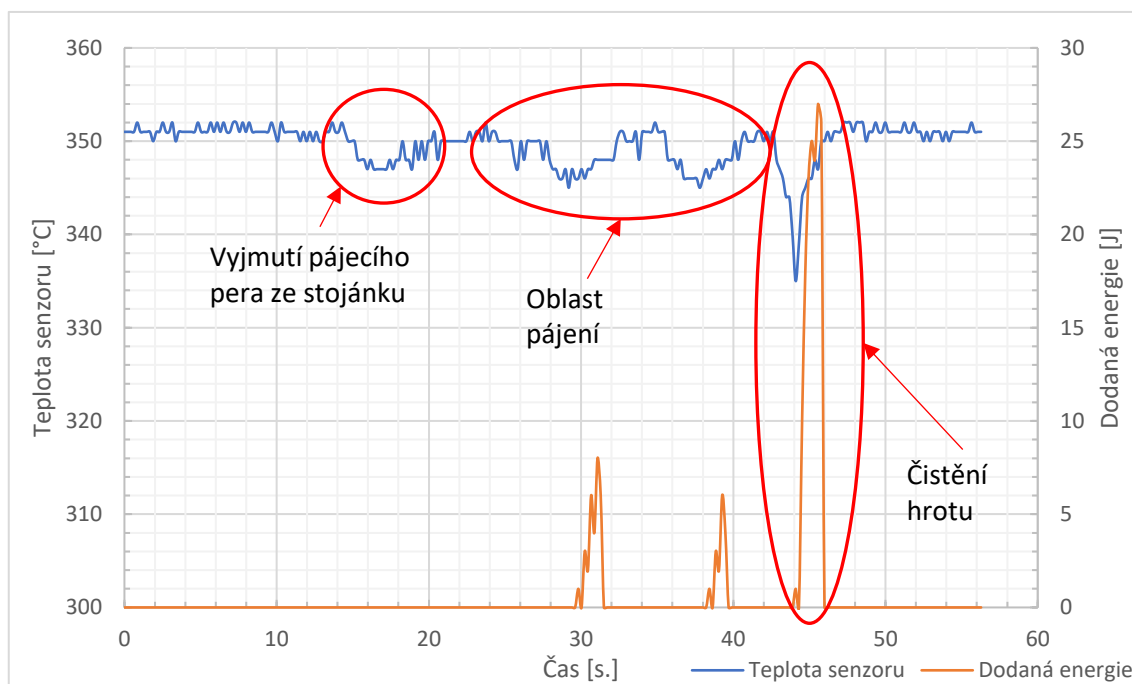
Ostatní pájené vývody nepřinesly žádné neočekávané komplikace, ve smyslu nemožnosti jasné čitelnosti výsledných dat. Veškeré ostatní pájené kapacity byly velmi dobře čitelné. Spíše se zde projevilo ovlivňování pájených spojů z předešlých pájecích operací. Je patrné, že přenos tepelné energie na desce plošných spojů působil tak, že nebylo nutné pro každý pájený spoj dodat takové množství energie jako u prvního pájeného spoje. Při analýze výstupních dat je nutné si tuto skutečnost uvědomit, neboť mylný pohled na tuto situaci může způsobit špatné vyhodnocení dat. Na druhou stranu je užitečné, že tento jev jsme schopni pozorovat.



Obr. 6.11: Zkušební deska plošných spojů pro ověřování ohřevu definované tepelné kapacity

7. TEST OCHLAZENÍ PÁJECÍHO HROTU PŘI ČIŠTĚNÍ

Pájecí stanice Hakko FN-1010 nabízí funkci sledování pájecího procesu, kterou můžeme analyzovat a podle potřeby upravovat pájecí proces. Výstupní data z pájecí stanice, kterou obsluhuje operátor, mohou být v reálném čase monitorována a tím hlídán pájecí proces. Z těchto průběhů jsme schopni rozpoznat, jak daný operátor provedl pájecí úkon a rovněž jsme schopni z těchto dat získat informaci, jak kvalitní tento pájecí úkon byl. Problém však nastává, že pájecí stanice zaznamenává veškeré ochlazení pájecího hrotu. To může být doprovázeno i zvýšenou dodávkou energie do pájecího hrotu. Pokud tato skutečnost nastane, stává se záznam dat špatně čitelným a další analýza průběhu pájení může být znehodnocena. Na obr. 7.1 je znázorněn typický průběh dat, kdy operátor vyjme pájecí pero ze stojánku, uskuteční pájecí proces a očistí pájecí hrot od zbylé trubičkové pájky a tavidlových zbytků.



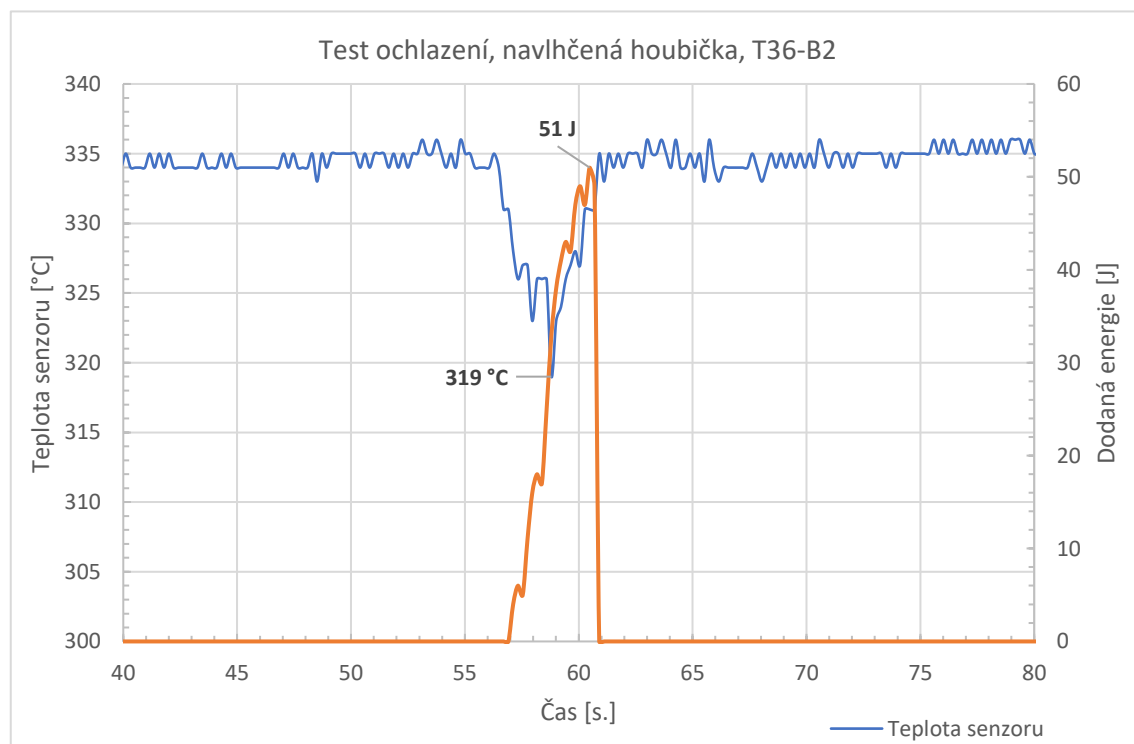
Obr. 7.1: Průběh dat při provádění běžného pájecího úkonu

Jak si můžeme z výše uvedeného průběhu povšimnout, v záznamu dat jsou patrné teplotní výkyvy, které nejsou pro analýzu pájeného spoje žádoucí. V první řadě lze identifikovat vyjmutí pájecího hrotu ze stojánku, které je doprovázeno mírným poklesem teploty v pájecím hrotu.

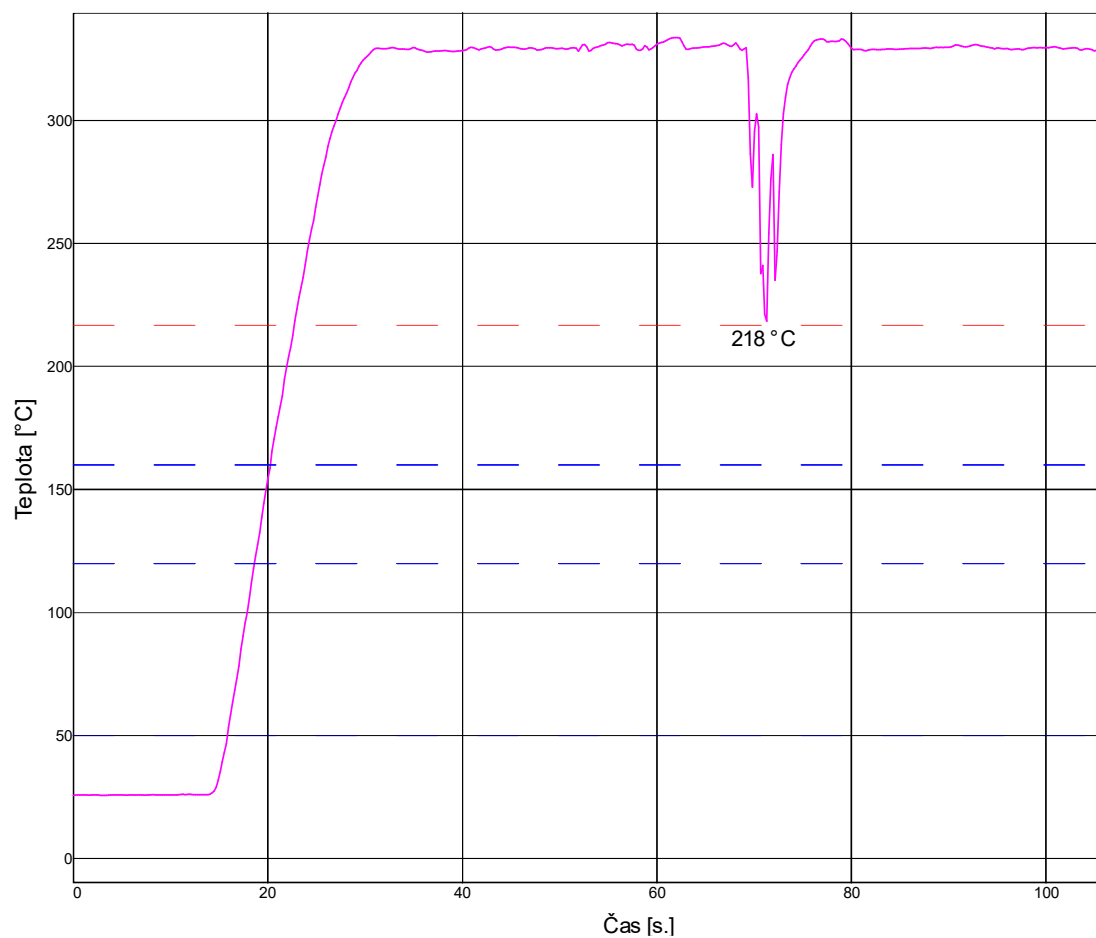
Následuje úkon ručního pájení, po které je pájecí hrot očištěn. Při čištění hrotu je tento úkon charakterizován velkou dodávkou tepelné energie do hrotu. Je očividné, že výše zmíněné operace s pájecím perem jsou neodmyslitelné k jakémukoliv jeho využití. Ovšem některé průběhy lze zmírnit správnou volbou doplňků k pájecí stanici. Pokud dosahujeme největšího ochlazení pájecího hrotu při jeho čištění, lze předpokládat, že tento průběh může mylně zobrazovat pájecí úkon. Pro zmírnění ochlazení, lze využít různých čistících metod hrotu, které nebudou mít takový vliv na teplotu hrotu.

7.1 Proces ověřování

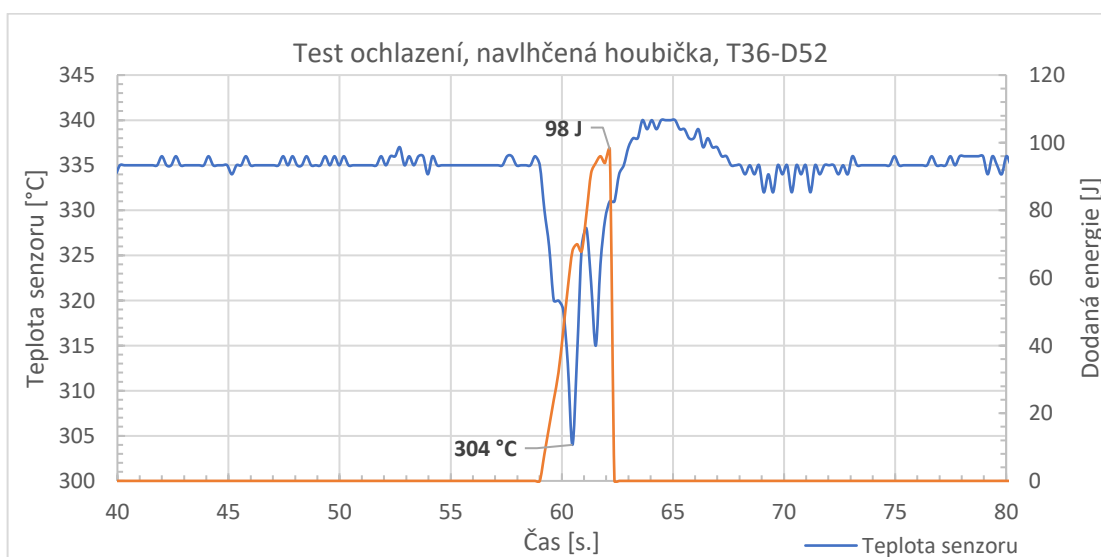
Pro ověření teplotního poklesu pájecího hrotu byly zvoleny dvě metody čištění. První zahrnovala očištění pájecího hrotu v navlhčené houbičce, která je přímo určená pro čištění pájecích hrotů. Druhá metoda využila speciálních mosazných špon, které jsou taktéž určené pro čištění hrotů. Dále byly porovnávány dva druhy pájecích hrotů, a to konkrétně T36-B2 s kónickým tvarem a T36-D52 s plochým tvarem. Tyto pájecí hroty se taktéž liší svou tepelnou kapacitou, která je pro tento experiment velmi důležitá. Pro upřesnění tohoto ochlazení, byly využity termočlánky připevněné na špičkách pájecích hrotů.



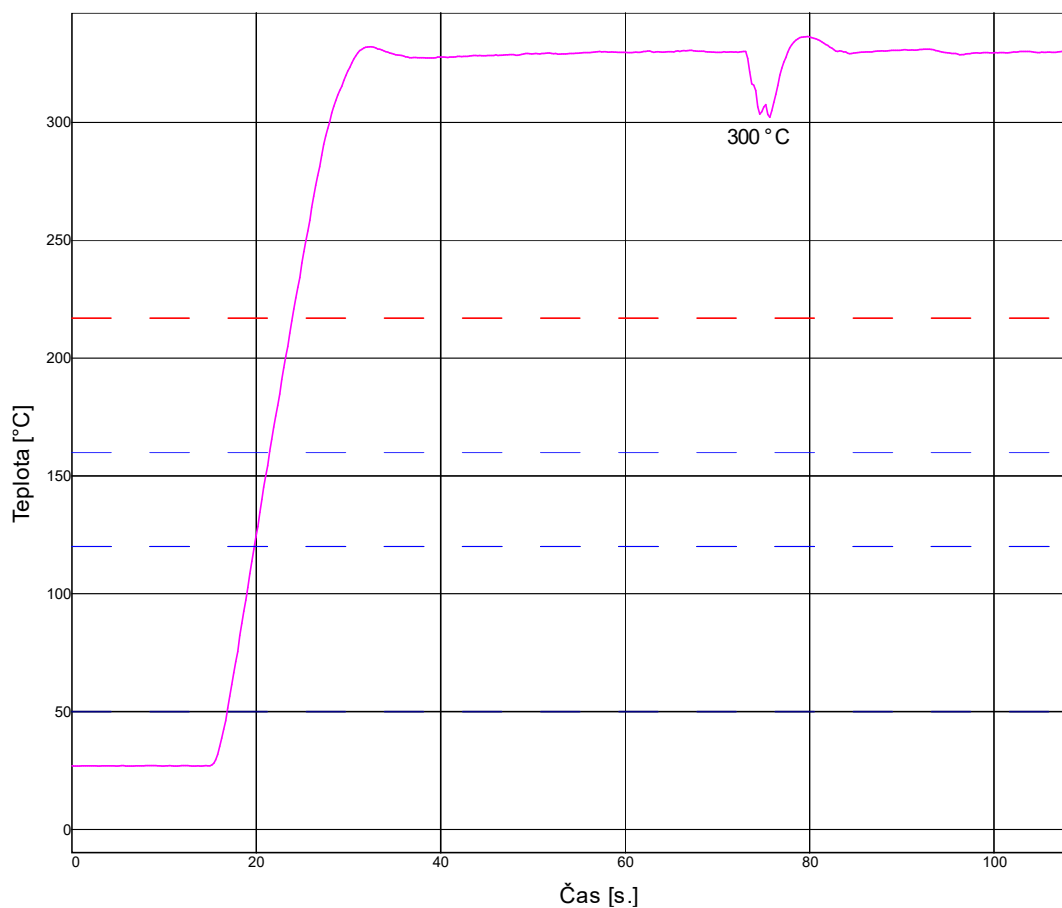
Obr. 7.2: Test ochlazení při čištění hrotu T36-B2 o navlhčenou houbičku



Obr. 7.3: Záznam dat z termočlánu pro čištění hrotu T36-B2 o navlhčenou houbičku

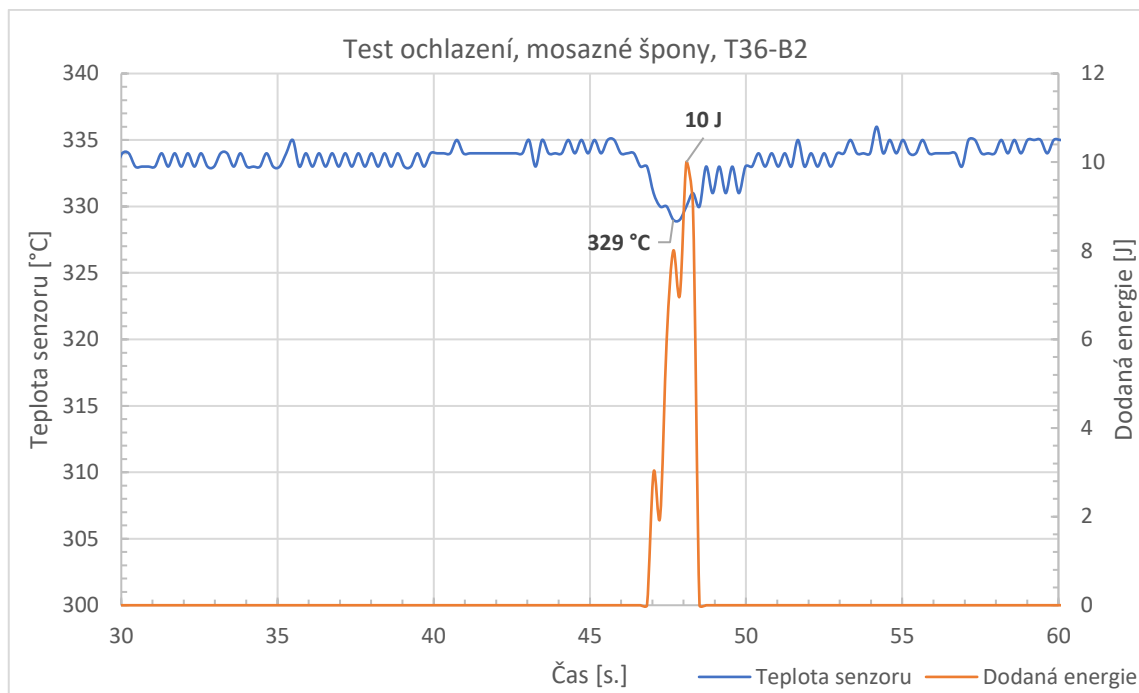


Obr. 7.4: Test ochlazení při čištění hrotu T36-D52 o navlhčenou houbičku

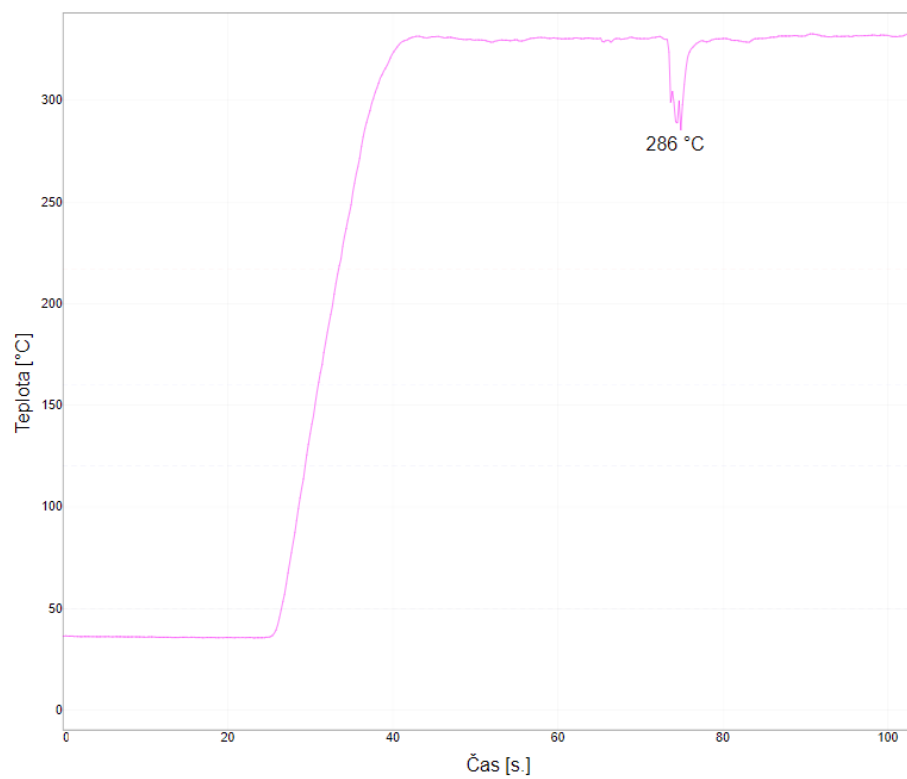


Obr. 7.5: Záznam dat z termočlánku pro čištění hrotu T36-D52 o navlhčenou houbičku

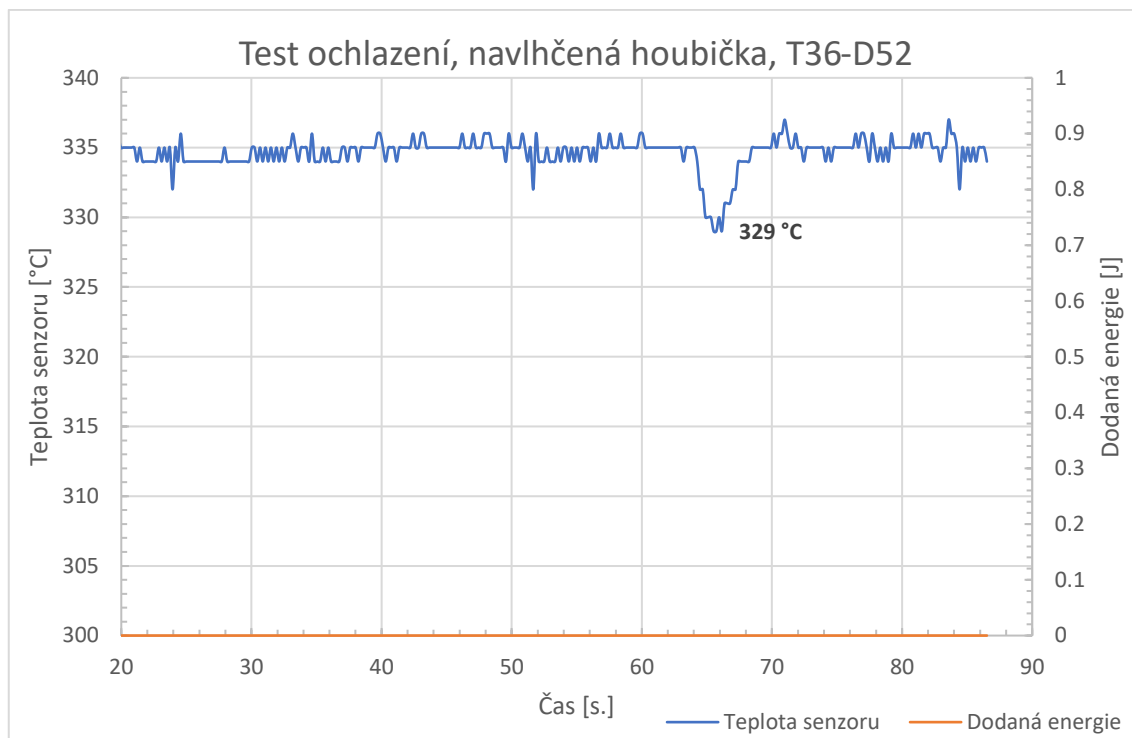
Na výše zobrazených obrázcích (obr. 7.2 až obr. 7.5) jsou znázorněny teplotní průběhy pájecích hrotů při čištění o navlhčenou houbičku. Zajímavostí je zde patrný teplotní rozdíl u pájecího hrotu T36-B2. Při porovnání dat z termočlánku a z pájecí stanice je rozdíl 100 °C. Tento veliký rozdíl je způsoben menší tepelnou kapacitou pájecího hrotu, a tak dochází k velké míře ochlazení. Pro pájecí hrot T36-D52, kde je znatelně vyšší tepelná kapacita není míra ochlazení tolik signifikantní. Rozdíl hodnoty termočlánku a dat z pájecí stanice činí pouze 4 °C. Větší tepelná kapacita zajistila stálost teploty.



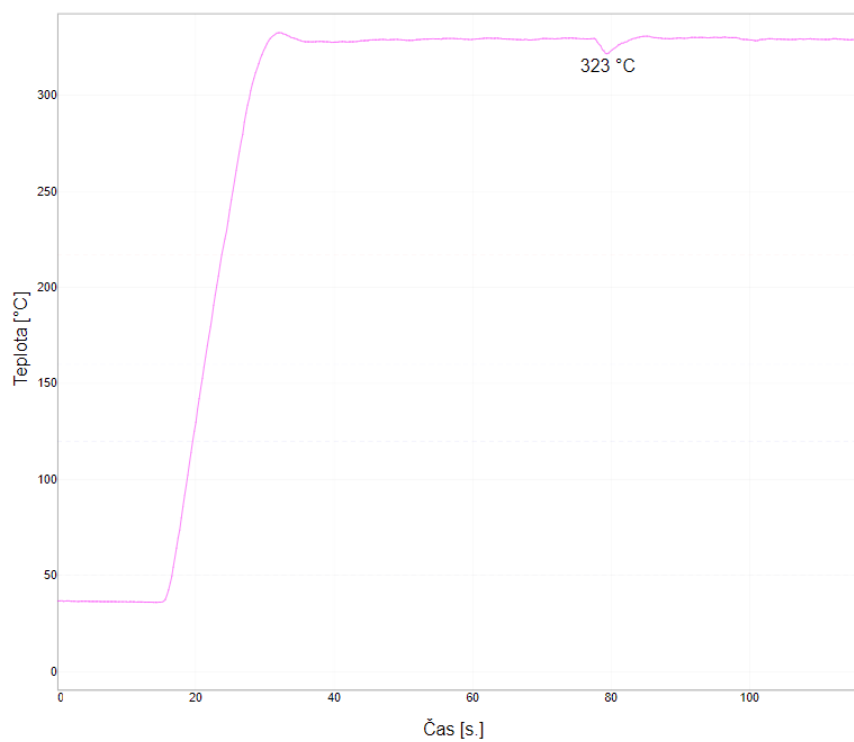
Obr. 7.6: Test ochlazení při čištění hrotu T36-B2 o mosazné špony



Obr. 7.7: Záznam dat z termočlánku pro čištění hrotu T36-B2 mosazné špony



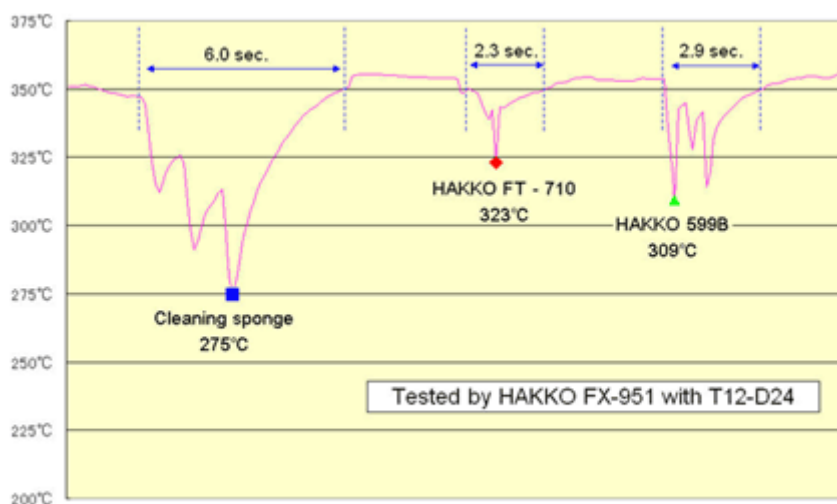
Obr. 7.8: Test ochlazení při čištění hrotu T36-D52 o mosazné špony



Obr. 7.9: Záznam dat z termočlánku pro čištění hrotu T36-D52 mosazné špony

Při využití čistících mosazných špon se ukázalo, že teplotní poklesy nejsou při porovnání s navlhčenou houbičkou tolik vysoké. Na obr. 7.6 až obr. 7.9 jsou znázorněny průběhy pro pájecí hroty T36-B2 a T36-D52. Zde je opět zajímavostí, že tepelná kapacita hrotu T36-D52 je natolik dostačující, že při čištění o mosazné špony nebyla detekována dodávka energie do pájecího hrotu. I samotný teplotní rozdíl z dat termočlánku a pájecí stanice je pouhých 6 °C. U pájecího hrotu T36-B2 je teplotní rozdíl menší než u předchozího měření s navlhčenou houbičkou, který činil 43 °C.

Z naměřených údajů lze tedy konstatovat, že využití čistících mosazných špon je daleko vhodnější pro proces záznamu dat z pájecí stanice Hakko FN-1010, ale i taktéž pro celkovou životnost pájecího hrotu. Menší teplotní pokles je při záznamu dat žádoucí a umožní nám lépe číst výsledné průběhy. Jako třetí alternativní verze čištění pájecích hrotů se nabízí motorově poháněný čistič. Jeho princip spočívá ve využití dvou rotačních kartáčů vyrobených z teplotně odolného plastu, které se otáčejí ve směru proti vloženému pájecímu hrotu. Mechanickým pohybem odstraňují zbytkové nečistoty a pájku z povrchu pájecího hrotu. Díky využití plastového materiálu jako štětín je zde malá míra ochlazení vloženého pájecího hrotu tak, jak je zobrazeno na obr. 7.10.



Obr. 7.10: Porovnání čistících metod (zleva: navlhčená houbička, motorový čistič, mosazné špony) (převzato z [29])

Závěr

V rámci diplomové práce byl popsán základní princip internetu věcí a jeho implementace do pájecí stanice. Prvopočátky internetu věcí se datují do 19. století, kdy roku 1932 Baron Pavel Lvovitch Schilling sestrojil elektromagnetický telegraf. Roku 1980 byl upraven automat na Coca-Colu, který mohl s pomocí internetu podávat informace ohledně stavu chlazení plechovek a jejich dostupném počtu. Internet věcí, jako dnes přijatý název, zpopularizoval technologický průkopník Kevin Ashton. Tento použitý výraz využil v prezentaci týkající se implementace RFID v dodavatelské řetězci. Mezi roky 2008 a 2009 společnost Cisco ISBG stanovila počátek služby internetu věcí za pomoci výzkumu čínských výzkumníků. Za pomoci trasování dat v internetu v časovém období 2001 až 2006 bylo zjištěno, že internet každého 5,32 roku zdvojnásobuje přibližně svou velikost dvakrát. Z tohoto výzkumu je stanoven počátek služby internetu věcí.

Výskyt internetu věcí v pájecích stanicích značí jistý milník v ručním pájecím procesu a jeho verifikaci. Popsané vlastnosti pájecí stanice Hakko FN-1010 měly přiblížit nové možnosti využití této technologie ve výrobním procesu. Dnes je stále důležitější dbát zvýšenou pozornost na výslednou kvalitu výrobků, stejně tak na spolehlivost pájených spojů u kritických aplikací. Implementace této technologie do běžných výrobních prostor, bude vyžadovat jistou míru úprav kontrolních stanovišť a taktéž celkovou digitalizaci procesu. Je ale více než jisté, že datové záznamy z procesu pájení dokážou velmi efektivně odhalit skryté vady v pájeném spoji.

Při hodnocení kvality pájených spojů se ukázalo, že citlivost pájecí stanice dosahuje určitých mezí při pájení čipových součástek. Pro čipová pouzdra menší velikosti než 0805, je zaznamenaný proces ručního pájení téměř nerozpoznatelný a stává se v záznamu nečitelným. Zvolená metodika ověřování zahrnovala taktéž pájení vývodových součástek, kde bylo jasně patrné, jak daný operátor provedl pájecí úkon. Z těchto dat lze dále vyhodnocovat určité změny v procesu nebo úpravu parametrů pájecí stanice. Dále byl porovnáván tepelný úbytek na povrchu a v jádře pájecího hrotu. Ačkoliv teplotní rozdíly byly v určitých situacích markantní, ukázalo se, že tato skutečnost nemá vliv na proces ručního pájení. Taktéž bylo zjištěno, že velmi záleží na volbě velikosti pájecího hrotu vůči pájené plošce. Pokud byl zvolen hrot s neodpovídající tepelnou kapacitou vůči pájené součástce, záznam dat se stával nečitelným pro pozdější analýzu.

Pro měření definovaných tepelných kapacit byly využity speciální testovací desky plošných spojů, na kterých byl proveden test pájení s definovaným množstvím trubičkové pájky. Zde se ukázalo, že byl patrný vliv přehřevu z předchozích pájecích operací, které ovlivňovaly výsledky následujících pájecích úkonů. Pro různé tepelné kapacity byla pájecí stanice schopna rozpoznat pájecí proces, a to i u čipových součástek. Zde se opět potvrdil fakt, že velmi záleží na volbě pájecího hrotu, neboť může nepřiměřeně ovlivnit výsledný vzhled křivek z procesu pájení.

Ochlazování pájecího hrotu během jeho čištění má také značný vliv na výslednou podobu křivky pájecího procesu. Bylo provedeno několik různých měření, které zahrnovaly čištění o navlhčenou houbičku a mosazné špony. Pro tento test byly využity pájecí hroty T36-B2 s kónickým tvarem a T36-D52 s plochým tvarem. Při čištění o navlhčenou houbičku se ukázalo, že míra ochlazení obou hrotů je enormně velká. V případě hrotu T36-B2 se jeho povrch ochladil až o 100 °C. Při využití mosazných špon byla míra ochlazení povrchu pájecího hrotu celkově menší. To je žádoucí jak pro delší životnost pájecího hrotu ale také pro datový záznam. Menší ochlazení znamená menší míru chybné detekce pájecího procesu.

Navázáním této diplomové práce se doporučuje vyvinout automatizovaný systém hodnocení pájecího procesu. Získaná data z pájecího procesu by se porovnávala s etalonovým průběhem a následně došlo k okamžitému vyhodnocení pájecího úkonu. Tento systém by mohl velmi efektivně doplnit práci operátora, který by měl jistotu, že jeho ruční pájení bylo provedeno korektně.

LITERATURA

- [1] Co to je IoT? <https://www.iotport.cz/> [online]. iotport, 2020, 27.1.2020 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://www.iotport.cz/iot-novinky/ostatni-clanky-o-iot/co-to-je-iot>
- [2] POHANKA, Pavel. Internet věcí. <https://pavelpohanka.cz/> [online]. Pavel Pohanka, 2021 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://pavelpohanka.cz/internet-of-things/>
- [3] Number of Internet of Things (IoT) connected devices worldwide from 2019 to 2030. <https://www.statista.com/> [online]. statista, 2021 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/>
- [4] HARDWOOD, Trevor. Internet of Things (IoT) History. www.postscapes.com [online]. postscapes, 2019, 11.12.2019 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: www.postscapes.com/iot-history/
- [5] IoT Started with a Vending Machine. www.machinedesign.com [online]. machinedesign, 2021 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://www.machinedesign.com/automation-iiot/article/21836968/iot-started-with-a-vending-machine>
- [6] ASTHON, Kevin. That ‘Internet of Things’ Thing. www.rfidjournal.com [online]. rfidjournal, 2009 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing>
- [7] EVANS, Dave. The Internet of Things How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything. www.cisco.com [online]. San Jose: Cisci, 2011 [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf
- [8] FRENZEL, Lou. The Connected World Awaits. www.electronicdesign.com [online]. electronicdesign, 2014 [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.electronicdesign.com/technologies/iot/article/21799479/the-connected-world-awaits>
- [9] Importance of Low power and Long range network infrastructure for sharing sensor and controller data sharing tech for the Internet of Things. www.nayeen.info [online]. nayeen [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://nayeen.info/importance-of-low-power-and-long-range-network-for-data-sharing-of-the-internet-of-things/>

- [10] MUČKA, Jan. Big data jsou víc než jen petabajty. Jejich zpracovávání je příležitost i hrozba. Www.master.cz [online]. master, 2020, 16.12.2020 [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.master.cz/blog/big-data-vysvetleni-a-zpracovani/>
- [11] CROCKETT, Zachary. Six principles to secure the IoT. Techradar [online]. techradar, 2018, 1.9.2018 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.techradar.com/news/six-principles-to-secure-the-iot>
- [12] Understanding IoT Security of“ Part 1 of 3: IoT Security Architecture on the Device and Communication Layers. Econnect-net [online]. econnect-net, 2018 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://econnect-net.com/understanding-iot-security-part-1-of-3-iot-security-architecture-on-the-device-and-communication-layers/>
- [13] ABEL, Martin. IoT pájecí stanice HAKKO. DPS Elektronika od A do Z [online]. Liberec: DPS Elektronika od A do Z, 3/2019n. 1., 3/2019 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/vyroba/id:64347/iot-pajeci-stanice-hakko>
- [14] WOLLSTADT, Harald. Das ist Löttechnologie für die Industrie 4.0. ALL ELECTRONICS [online]. ALL ELECTRONICS, 2019, 6.5.2019 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.all-electronics.de/elektronik-fertigung/das-ist-loettechnologie-fuer-die-industrie-4-0.html>
- [15] ABEL, Martin. IoT pájecí stanice HAKKO. DPS Elektronika od A do Z [online]. 2019, 3/2019n. 1. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/vyroba/id:64347/iot-pajeci-stanice-hakko>
- [16] ABEL, Martin a Vladimír CIMBUREK. Bezolovnaté pájení v legislativě i praxi. 1. Pardubice: Abel, Cimburek, 2005. ISBN 80-903597-0-1.
- [17] STUBER, Chris. What are the different optimal soldering temperatures for soldering with tin/lead solder and lead-free solder? In: HakkoUSA Knowledge Base [online]. Osaka: Hakko USA, 2010 [cit.2021-4-26]. Dostupné z: <http://kb.hakkousa.com/KnowledgebaseArticle10297.aspx>
- [18] NĚMEC, Ivo. Hodnocení vybraných parametrů pájecí stanice [online]. Brno, 2020 [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/190524>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav elektrotechnologie. Vedoucí práce Jiří Starý.
- [19] Weller Wecp 20. Remotesmart [online]. Toruń: Wikidot, 2014 [cit. 2021-12-27]. Dostupné z: <http://remotesmart.wikidot.com/weller-wecp-20>
- [20] Productos weller. *Herramienta eléctrica* [online]. 2017 [cit. 2021-12-27]. Dostupné z: <http://electricaherramienta.blogspot.com/2017/03/productos-weller.html>

- [21] Instruction manual for LF-399D & LF-389D. In: Elfadistelec [online]. Aarhus: XYtronic [cit.2021-12-21]. Dostupné z: https://www.elfadistelec.dk/Web/Downloads/_m/an/LF-389D-99D_eng_man.pdf
- [22] Hakko t12 thermocouple is not Type K! In: Hackaday [online]. hackaday, 2018 [cit. 2019-12-21]. Dostupné z: <https://hackaday.io/project/94905-hakko-revenge/log/144548-hakko-t12-thermocouple-is-not-type-k>
- [23] NGUYEN, Hoa. How it Works: Inductive vs. Resistive Hand Soldering Systems. Wwww.metcal.com/ [online]. Cypress: Metcal, 2021 [cit. 2021-12-27]. Dostupné z: <https://www.metcal.com/wp-content/uploads/2021/11/how-it-works-inductive-vs-hand-soldering-systems-whitepaper-by-metcal.pdf>
- [24] ABEL, Martin. IoT pájecí stanice HAKKO. Wwww.dps-az.cz [online]. Liberec: DPS, 2019 [cit. 2021-12-27]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/vyroba/id:64347/iot-pajeci-stanice-hakko>
- [25] Hakko FN-1010. Wwww.hakko.com [online]. Tokyo: Hakko Corporation, 2019 [cit. 2021-12-27]. Dostupné z: https://www.hakko.com/english/products/hakko_fn1010.html
- [26] IoT Lötstation HAKKO FN-1010. Wwww.kullik.com [online]. Großmaischeid: kullik [cit. 2021-12-27]. Dostupné z: <https://www.kullik.com/produkt/fn-1010-iot-loetstation/>
- [27] ABEL, Martin. IoT pájecí stanice HAKKO. Wwww.abetec.cz [online]. Ostřešany: Abetec, 2019 [cit. 2021-12-27]. Dostupné z: https://www.abetec.cz/data/File/abetec/staticke_stranky/iot-pajeci-stanice-1.pdf
- [28] Alloy Temperature Chart. Wwww.kester.com [online]. South Plainfield: Kester [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.kester.com/Portals/0/Documents/Knowledge%20Base/Alloy%20Temperature%20Chart.pdf>
- [29] FT-710. In: Wwww.hakko.com [online]. Tokyo: Hakko Corporation [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://www.hakko.com/english/products/hakko_ft710.html