

Konstrukce zařízení pro recyklaci PC desek

Device construction for computer motherboard recycling

Miroslav Mynarčík

**Bakalářská práce
2009**



**Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická**

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Miroslav MYNARČÍK**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Konstrukce zařízení pro recyklaci PC desek**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární studie na dané téma
2. Zhotovení výkresové dokumentace
3. Zadání do výroby a zprovoznění přípravku
4. Provedení testů a vyhodnocení řezných sil

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Milan Žaludek, Ph.D.
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

20. února 2009

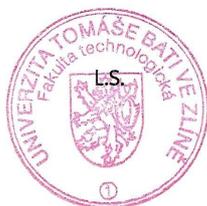
Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2009

Ve Zlíně dne 16. února 2009



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je seznámit se se základy DPS (desky plošných spojů), tj. druhy DPS, jejich výroba a recyklace. Hlavním cílem je návrh a konstrukce zařízení pro recyklaci PC desek ve druhém kroku zpracování, kdy dochází k odstranění tenké vrstvy měděné fólie. Tímto odstraněním zůstane základní materiál, který se dále může recyklovat.

Klíčová slova: Plošné spoje, deska s plošnými spoji, recyklace, odstranění měděné fólie, řezání DPS.

ABSTRACT

Objective of my bachelor work is to get to know the principles of the PCB (printed circuit board), that means sorts of PCB, produce and recycling. The main objective is suggestion and construction of device for recycling PC boards at the second step of process, where we can peel off thin layer of cooper foil. After this peeling, base material will stay on and we can reclaim it.

Keywords: Printed circuit, printed circuit board, recycling, peel of cooper foil, cutting PCB.

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D. za odbornou pomoc při tvorbě mé bakalářské práce, vstřícné jednání, cenné rady a ochotu.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně 28. května 2009

.....
Miroslav Mynarčík

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 DESKY S PLOŠNÝMI SPOJI	10
1.1 ZÁKLADNÍ MATERIÁLY PRO VÝROBU DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ	10
1.1.1 Organické základní materiály	10
1.1.2 Anorganické základní materiály	15
1.2 VLASTNOSTI PLÁTOVANÝCH ZÁKLADNÍCH MATERIÁLŮ	16
1.3 METODY VÝROBY PROPOJOVACÍCH STRUKTUR	17
1.3.1 Subtraktivní technologie	17
1.3.2 Aditivní technologie	18
1.3.3 Semiaditivní technologie	19
2 PÁJENÍ DPS	24
2.1 TEORIE PÁJENÍ	24
2.1.1 Pájitelnost	24
2.1.2 Spolehlivost pájeného spoje	25
3 RECYKLACE PLOŠNÝCH SPOJŮ	29
3.1 PLS JAKO NEBEZPEČNÝ VÝROBEK	30
3.2 ZÁVĚR	30
II PRAKTICKÁ ČÁST	31
4 ZAŘÍZENÍ PRO RECYKLACI PC DESEK	32
4.1 UPNUTÍ	33
4.2 NŮŽ	35
4.3 NOSNÍK NOŽE	36
4.4 STOJINA	37
4.5 ČEP	39
5 ELASTICKÉ A TERMOMECHANICKÉ KONSTANTY MAT. DPS	40
5.1 HNĚDÁ DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ	41
5.2 ŠEDÁ DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ	42
5.3 BÍLÁ DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ	42
6 ZJIŠTĚNÍ MAXIMÁLNÍHO DOVOLENÉHO NAPĚTÍ	45
6.1 MĚŘENÍ	46
6.1.1 Šedá DPS	46
6.1.2 Hnědá DPS	48
6.1.3 Zelená DPS	50

7 ODŘEZÁVÁNÍ VRSTVY DPS	51
ZÁVĚR	55
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	56
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	57
SEZNAM OBRÁZKŮ	59
SEZNAM TABULEK	61
SEZNAM GRAFŮ	62
SEZNAM PŘÍLOH	63

ÚVOD

Vývoj vzájemného spojování elektronických součástek jde v celé historii elektroniky souběžně s jejich modernizací. V začátcích radiotechniky byly vývody součástek řešeny jako připojovací šroubky s maticemi, pod které se přitahoval propojovací drát. To si vyžadovalo značnou rozměrnost součástek. Později se přecházelo na pájecí očka pod šroubky, což záhy vedlo ke drátovým, pájením spojovaným vývodům. Tím se mohly začít zmenšovat rozměry součástek. Vzájemné propojování sice ještě zůstalo drátové, ale již ve třicátých letech se objevují první pokusy o jiné způsoby propojování na pevné podložce. Vznikají první vodivé laky, kterými se na izolační podložce vytvářejí spoje, různí výrobci se začínají pokoušet o galvanické pokovování či lepení ražených fólií. Začátkem čtyřicátých let se objevují první praktické pokusy realizace amerického patentu z r.1925 na odleptávání spojů. Výrobní technologie je však drahá, takže vše upadá na několik let v zapomnění. Teprve vývoj nových materiálů a výrobních postupů umožnil koncem téhož desetiletí techniku odleptávání plošných spojů znovu oživit. V padesátých letech se začíná již úspěšně probíhat na první místo ve spojování elektronických prvků. Nové výrobní technologie materiálů pro součástky umožnily jejich další miniaturizaci a integraci. Vznikají první hybridní obvody, kde již vývody a jejich upevnění nejen na součástce, ale i na desce s plošnými spoji začíná činit potíže. Koncem šedesátých let přichází firma Philips s prvními součástkami s bezdrátovými vývody. Zahajuje tak novou éru - technologii povrchové montáže součástek (SMT), u které již vývody tvoří jen boční stěny součástky, která se pak vpájí na desku ze strany spojů. V počátcích rozvoje desek s plošnými spoji se měděná fólie lepila na tvrzený papír nebo textil. Později, s rozvojem umělých pryskyřic se pozvolna začalo přecházet na sklolamináty se zalaminovanou měděnou fólií. Dnes se vyrábí pro různá použití značné množství různých podkladových materiálů, které se od sebe liší hlavně v použití pro kmitočtové závislé obvody, kde významnou roli hraje kapacitní vodivost této podložky...

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DESKY S PLOŠNÝMI SPOJI

1.1 ZÁKLADNÍ MATERIÁLY PRO VÝROBU DPS

Základní materiály jsou elektroizolační nosné podložky, tvořené buď dielektrickým nosným materiálem, nebo izolovaným kovovým jádrem. Základní materiály se používají na zhotovení vodivého motivu a slouží k montáži elektronických součástí a mechanických prvků.

Základní materiály jsou buď na organické, anorganické, popř. kombinované bázi (organický substrát s kovovým výstužným jádrem).

1.1.1 ORGANICKÉ ZÁKLADNÍ MATERIÁLY

Materiály dělíme podle tuhosti na neohebné a ohebné (flexibilní). Neohebné materiály používají jako pojivo termosety, tj. vysoce zesíťené polymerní řetězce (zejména epoxidy). Ohebnost se vyskytuje u materiálů, které používají jako pojivo termoplasty, tj. materiály s velmi dlouhými lineárními molekulami bez mezimolekulárních vazeb. Právě nepřítomnost těchto mezimolekulárních vazeb umožňuje velkým lineárním molekulám se po sobě pohybovat. Materiál s tímto typem pojiva tak získává pružnost i odolnost vůči ohybové únavě.

Výztuž:

Určuje mechanické vlastnosti DPS (pevnost v tlaku, tahu, ohybu), rozměrovou stálost v daném teplotním rozsahu, výrazně ovlivňuje elektrické, chemické i teplotní charakteristiky. Výztuž tvoří „kostru“ laminátu a ovlivňuje vyrobitelnost a výslednou spolehlivost DPS.

Druhy výztuže:

- Skleněné vlákno – skleněná tkanina, skleněná rohož
- Tvrzený papír
- Aramidové vlákno
- Křemenné vlákno
- Uhlíkové vlákno [1]

Pojivo:

Pojivo chrání výztuž před mechanickým poškozením a účinky chemikálií a je na polymerní bázi. Je nutné, aby disponovalo výbornými dielektrickými vlastnostmi. Mít dobré tepelné mechanické i chemické charakteristiky. Některé typy pojiv jsou ale hydrofilní (absorbují vlhkost), a tím zhoršují dielektrické vlastnosti.

Termoplasty:

- Polyetyléntereftalát (PET)
- Polyetylénnaftalát (PEN)
- Polytetrafluoretylen (PTFE)
- Polyimidové pryskyřice
- Polyétersulfon

Termosety:

- Fenolformaldehydové pryskyřice
- Epoxidové pryskyřice
- Polyesterové pryskyřice
- Polyimidové pryskyřice
- Kyanáttestery (CE) [1]

NEOHEBNÉ ZÁKLADNÍ MATERIÁLY**Fenolformaldehydové pryskyřice**

Používá se pro méně náročné aplikace (spotřební elektronika):

- Zejména jednovrstvé DPS, dvouvrstvé DPS s pokovením otvorů na bázi stříbrných past
- Dobře se vrtá a opracovává
- Nevýhodou je velká navlhavost, malá pevnost Cu fólie v odtrhu, horší teplotní odolnost, horší mechanické vlastnosti

Modifikace: FR-2 – nehořlavý (Flame Retardant)

Epoxidová pryskyřice

Používá se pro lepší elektrické, mechanické, chemické a teplotní charakteristiky.

- TVRZENÝ PAPÍR A EPOXIDOVÁ PRYSKYŘICE
 - Značen jako **FR-3**
 - Nahrazuje materiál FR-2 v náročnějších aplikacích
 - Oproti FR-2 má lepší mechanické, elektrické i tepelné vlastnosti, vyšší pevnost v odtrhu Cu fólie, menší navlhavost
- SKLOEPOXIDOVÝ LAMINÁT
 - Skleněná tkanina (označení EV-elektroizolační) + epoxidová pryskyřice
 - Výhodami jsou výborné mechanické, elektrické vlastnosti. Dále vyšší teplotní odolnost a malá nasákavost
 - Nevýhodou je horší mechanické opracování a vyšší pořizovací cena

FR-4 – nehořlavý

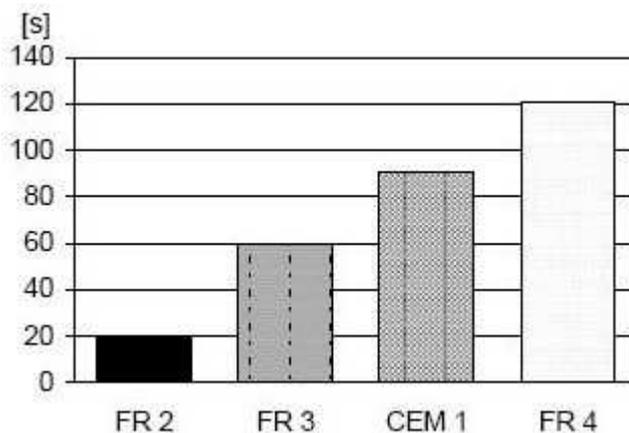
FR-5 – nehořlavý; má větší teplotní odolnost než FR-4

- KOMPOZITNÍ MATERIÁLY
 - Obsahují nejméně dva materiály výztuže, pojivem je epoxidová pryskyřice
- CEM-1** – výztuž: jádro – papír ; krycí vrstva: skelná tkanina

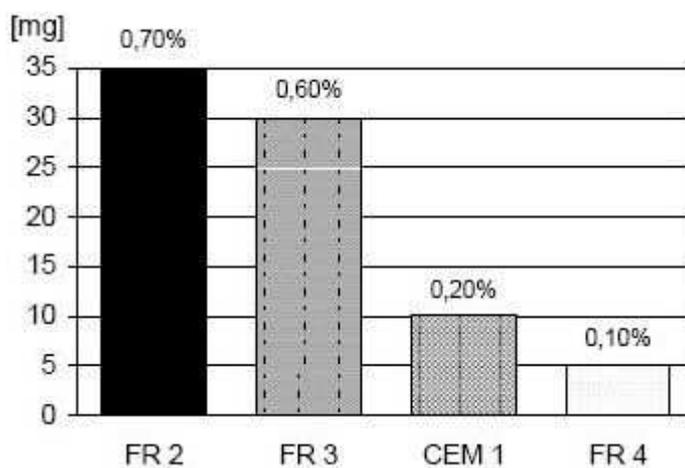
POROVNÁNÍ RŮZNÝCH MATERIÁLŮ

MATERIÁL Vlastnosti		FR-2	FR-3	CEM-1	FR-4
Povrchový izolační odpor	ohm	$1 \cdot 10^{10}$	$3 \cdot 10^{11}$	$3 \cdot 10^{11}$	$4 \cdot 10^{12}$
Vnitřní izolační odpor	ohm.cm	$2 \cdot 10^{12}$	$4 \cdot 10^{12}$	$2 \cdot 10^{13}$	$8 \cdot 10^{14}$
Permitivita (1 MHz)	-	4,7	4,9	4,7	4,7
Ztrátový činitel (1 MHz)	-	0,047	0,041	0,031	0,019
Teplota skel. přechodu T _g	°C	105	110	130	130
TCE xy/z (pro T menší T _g)	ppm K ⁻¹	18/300	18/300	13/230	13/60
Cenový faktor (FR4=1)		0,5	0,65	0,85	1

Tab. 1. Vlastnosti nejpoužívanějších organických základních materiálů.



Obr. 1. Odolnost materiálů v pájecí lázni.



Obr. 2. Navlhavost materiálů.

OHEBNÉ ZÁKLADNÍ MATERIÁLY

Nejrozšířenější jsou materiály na bázi polyesterů a polyimidů. V menší míře se také používají kompozitní substráty na bázi epoxidů, aramidového papíru i fluoropolymerů. Ohebné základní materiály se používají nejčastěji bez výztuže.

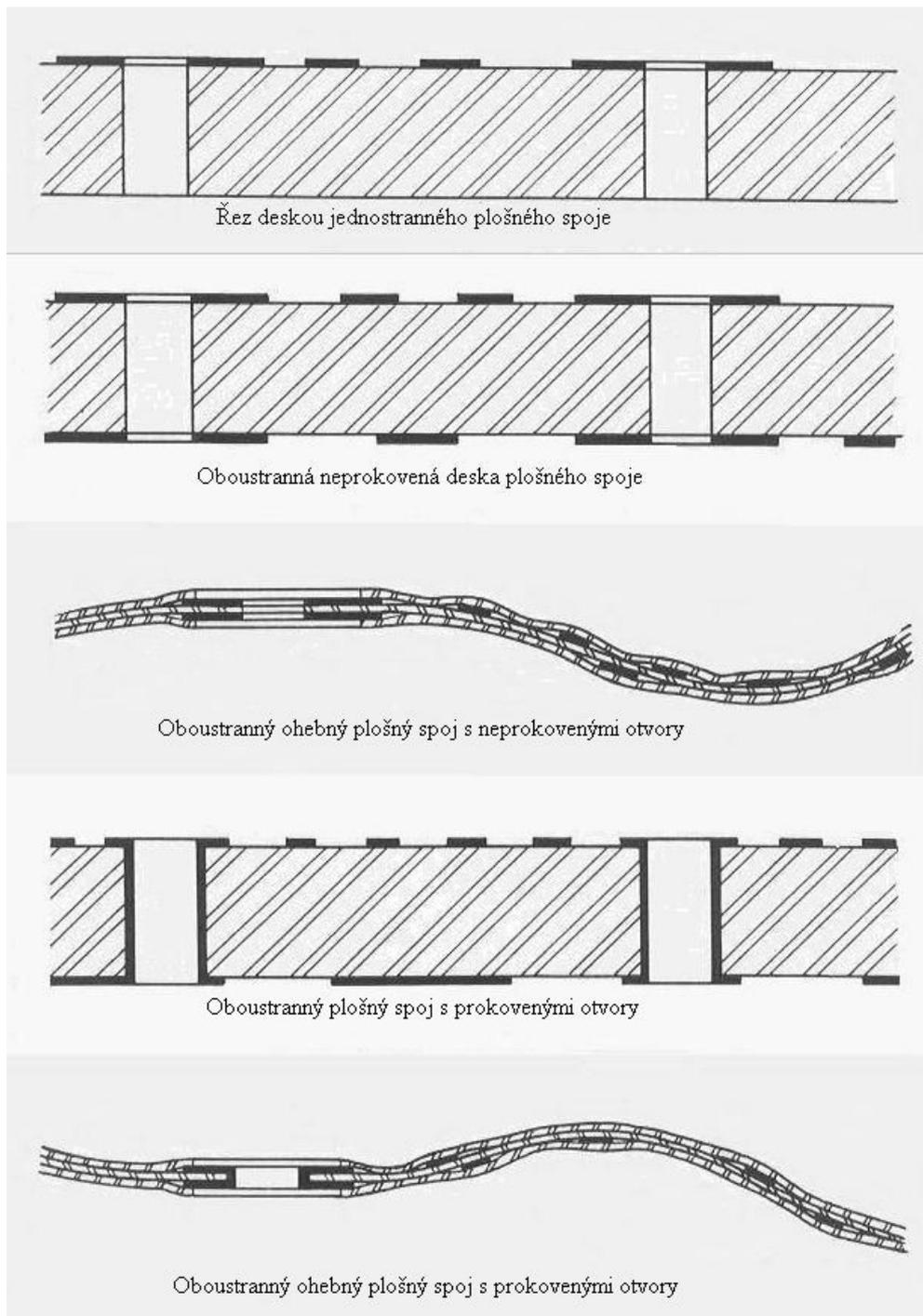
Polyetyléntereftalát (PET)

Základní materiál je na bázi polyetyléntereftalátové biaxiálně orientované fólie ovrstvené nevytvrzeným polyesterem, na který se nalaminuje měděná fólie.

Polyetylénaftalát (PEN)

Základní materiál je na bázi polyetylénaftalátové fólie ovrstvené nevytvrzeným polyesterem, na který se nalaminuje měděná fólie.

Měděná fólie se standartně používá pro běžné aplikace o tloušťce 35 μm [2]



Obr. 3. Stručný přehled ohebných/neohebných plošných spojů.

ANORGANICKÉ ZÁKLADNÍ MATERIÁLY

Anorganické základní materiály, častěji anorganické substráty, jsou elektroizolační keramické materiály (nejčastěji korundová a beryliová keramika). Tyto substráty mají ve srovnání s organickými mnohé přednosti:

- velmi dobrou tepelnou vodivost
- dobrou chemickou odolnost
- malou hodnotu TCE

Mezi nevýhody patří:

- vyšší hmotnost
- vyšší cena
- křehkost
- rozměrová limitace
- toxicita některých typů [1]

Mezi anorganické základní materiály patří např. **korundový substrát**:

- Skládá se z polykrystalického oxidu hlinitého a malého množství kovových oxidů pro dosažení požadovaných fyzikálních vlastností.

MATERIÁL		KORUNDOVA KERAMIKA	BERYLIOVA KERAMIKA	KOVOVÉ JADRO	KREMIK
Permitivita (1 MHz)	-	9 - 10	6,5	5,4	3,8
Ztrát.činitel (1 MHz)	-	0,08	0,04	---	x
TCE xy/z (pro T menší Tg)	ppmK ⁻¹	7,5 - 8	8,5	5,5 - 6,5	8,0
Tepelná vodivost	Js ⁻¹ m ⁻¹ K ⁻¹	34 - 38	250	2,1	1,9
Ekologičnost materiálu	-	vyhovuje	toxicita	vyhovuje	vyhovuje
Mechanická stabilita	-	křehkost	křehkost	náraz.odolnost	křehkost

Tab. 2. Srovnání anorganických substrátů.

1.2 VLASTNOSTI PLÁTOVANÝCH ZÁKLADNÍCH MATERIÁLŮ

ELEKTRICKÉ

- Ztrátový činitel – charakterizuje míru dielektrických ztrát v základním materiálu
- Průrazné napětí – charakterizuje míru schopnosti základního materiálu zachovávat svůj elektroizolační stav

TEPELNÉ

- Tepelná roztažnost TCE – charakterizuje teplotní změny rozměrů plošného spoje
- Teplota skelného přechodu T_g – charakterizuje teplotu, při které dochází k výrazným změnám TCE, plošný spoj přechází z oblasti elastického do oblasti plastického stavu.
- Tepelná vodivost
- Hořlavost

MECHANICKÉ

- Mez pevnosti v ohybu – charakterizuje mechanickou pevnost desek
- Pevnost v loupání měděné fólie – charakterizuje odolnost loupání vodiče od povrchu základního materiálu
- Rovinnost, prohnutí, zkroucení
- Rozměrová stabilita v materiálu v osách x,y,z

CHEMICKÉ

- Navlhavost

1.3 METODY VÝROBY PROPOJOVACÍCH STRUKTŮR

1.3.1 SUBTRAKTIVNÍ TECHNOLOGIE

Typy subtraktivních postupů:

- **Pattern plating**

Leptuodolná vrstva slouží Sn, Sn/Pb, Au aj. -nejrozšířenější technologie.

- **Pattern plating s diferenčním leptáním**

- **Panel plating, tenting**

Otvory a vodivé cesty maskovány (kryty) fotorezistem, který slouží jako leptuodolná vrstva (leptací rezist).

Postup subtraktivní technologie s pokovenými otvory je následující:

Nastříhají se desky na požadovaný rozměr, tzn. o 15-20 mm větší, než je výsledný rozměr desky.

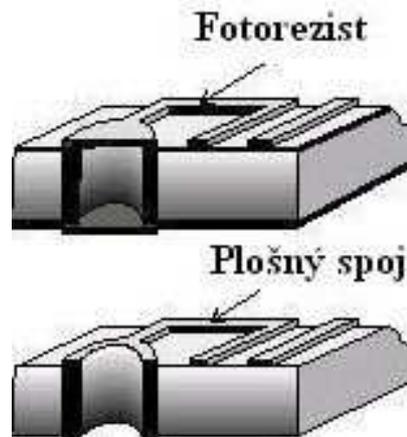
Vyvrtají se otvory na souřadnicové vrtačce pomocí tvrdokovových vrtáků.

Čištění a obroušení desek. Speciální brousící zařízení s kotouči z polyesterových vláken. Kartáče vykonávají radiální a axiální pohyb.

Pokovení otvorů se provádí bezproudově. Využívá se zárodků paladia a vyredukování mědi. Vrstva je silná 0,5 – 1 μ m. Protože tato vrstva je mechanicky neodolná, je nutno ji galvanicky zesílit. Provádí se to pokovením mědi celé desky a otvorů na tloušťku min.15 μ m. Pokovení na hraně musí být minimálně 1 μ m.

Vytvoření obrazce plošných spojů se provede nanesením fotocitlivé vrstvy. Vrstva může být kapalná nebo tzv. suchý rezist. Poté následuje vyvolání a leptání.

Celou výrobu ukončují závěrečné operace, jako je čištění, tvorba nepájivé masky, popisky a elektrická kontrola.



Obr. 3. Subtraktivní metoda.

1.3.2 ADITIVNÍ TECHNOLOGIE

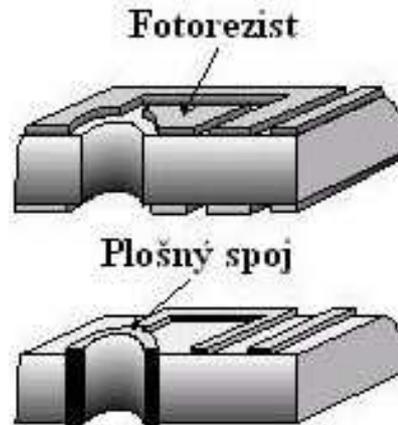
- Obrazec plošného spoje je vytvořen jen chemickou mědí bez procesu leptání
- Používá se jak tvrzený papír, tak i sklolaminát
- Materiál je impregnovaný Pd nebo CuO/Cu₂O
- Zvodivení požadovaného propojovacího motivu, pájecích plošek, otvorů aj. dojde působením redukčního činidla
- Negativ požadovaného motivu vytvoříme technikou sítotisku nebo fotoprocsem

Výhody aditivní technologie:

- Nižší výrobní náklady
- Menší počet výrobních operací (redukce z 28 na 19)
- 50% ceny základního materiálu
- 25% úspora nákladů
- Ekologický přínos – úspory Polachových vod, rozpouštědel, úspory z recyklace základních materiálů
- Nedochozí k podleptání spojů, výroba náročnějších motivů
- Zvýšení spolehlivosti snížením vnitřního pnutí

Nevýhody aditivní technologie:

- Nedořešené materiálové a technologické otázky
- Proces dosud málo rozšířen (zejména v Evropě) [4]



Obr. 4. Aditivní technologie.

1.3.3 SEMIADITIVNÍ TECHNOLOGIE

Semiaditivní metodou lze vyrábět jednostranné, dvoustranné, ale také vícevrstvé desky plošných spojů.

PŘÍKLAD VÝROBY DVOUSTRANNÉ DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ

Prvním krokem je tzv. formátování základního materiálu. Základní materiál pro semiaditivní postup je nosná deska, plátovaná z obou stran vodivou fólií mědi. Formátování spočívá v nastřížení plátované desky na určitý rozměr, vyvrtání montážních otvorů pro uchycení desky při některých výrobních operacích a obroušení hran po ostříhu.

- **Nosná deska** - může být tvořena např. z tvrzeného papíru, teflonu apod. nejčastěji však ze skelného laminátu plněného epoxidovou pryskyřicí (FR-4)
- **Měděná fólie** – standardně se používá elektronicky vyloučená měděná fólie o čistotě 99,8% a tloušťce 18 μm . Na nosnou desku se plátuje vysokým tlakem a teplotou.

Po formátování nastupuje **vrtání otvorů** na souřadnicové vrtačce - obr. 6a) a následné odstranění ořepů po vrtání kartáčováním a dále také je nutné zajistit, aby se na povrchu mědi nevyskytovala žádná mastnota a další nečistoty. Při vrtání se deska plošného spoje podloží dřevěnou podložkou a shora se na ni položí hliníková fólie. Hliníková fólie plní funkci jednak jako odvaděč tepla při vrtání a jednak eliminuje jev odchýlení vrtáku při vnoření do vrtaného materiálu. Vychýlení nastává v této hliníkové fólii a nikoliv v desce plošného spoje.

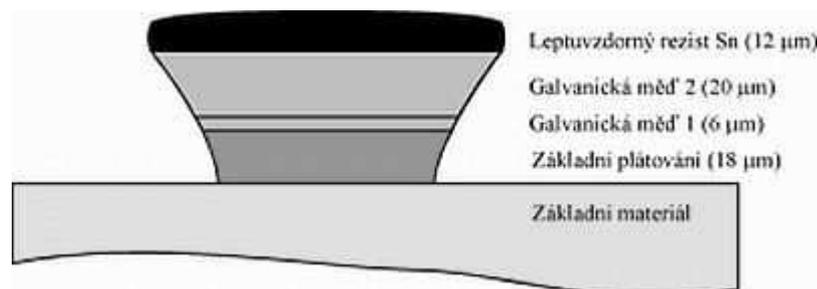
Prokovení otvorů se skládá z několika kroků. Prvním z nich je chemické čištění otvorů a dále je třeba zaručit, aby došlo k narušení povrchu základního materiálu, čímž se ob-

naží skelná výztuha laminátu. Jakmile je takovýto otvor vytvořen, nanese se v katalyzační lázni elektrostaticky vrstvička $0,1\ \mu\text{m}$ Palladia. Tím se vodivě propojí obě strany plošného spoje ve všech vyvrtaných otvorech. Nakonec se galvanicky nanese 6 až $8\ \mu\text{m}$ mědi – obr. 6b)

Dalším krokem je **laminace fotorezistu, osvit motivu a vyvolání negativního motivu** – obr. 6c) a 6d). Jako fotorezist se používá $38\ \mu\text{m}$ silná fólie fotocitlivého polymeru, která se v laminátoru naválcuje na prokovenou desku. Při velkosériové výrobě se ovšem používají tekuté rezisty. Na takto připravenou desku se přiloží film s motivem spojů a provede se osvit pomocí 5kW výbojky. Tato operace je citlivá na čistotu prostředí (částice $10\ \mu\text{m}$ se již jeví jako nečistota). Proto se musí provádět v čistých prostorách, které nesmí obsahovat více než 200.000 částic větších než $1\ \mu\text{m}$ na metr krychlový. [3]

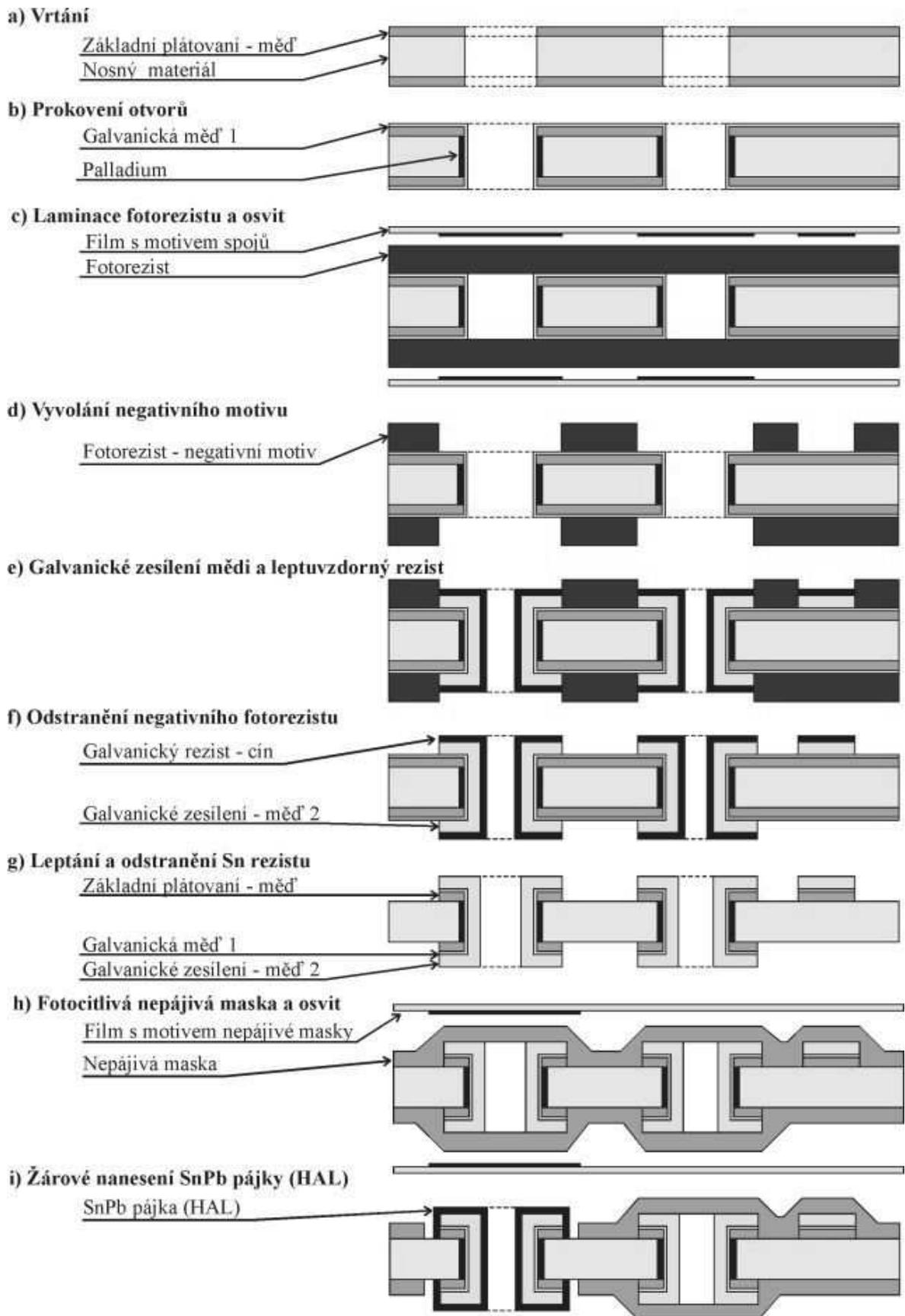
Na místech, které jsou odkryté fotorezistem se provede **galvanické zesílení mědi** a také se nanese leptuvzdorný rezist – obr. 6e). Jako leptuvzdorný rezist se používá cín, který se nanáší galvanicky. Poté se odstraní fotorezist.

Deska je připravená pro leptání – obr. 6f). Na tomto obrázku nejlépe vynikne výhoda semiaditivní metody výroby plošných spojů. Výsledná tloušťka spojů je větší než odleptávaná hloubka!!! Galvanické zesílení mědi se totiž provádí pouze na odkrytých místech, tedy v místech spojů, pájecích plošek a prokovu. Při leptání dochází samozřejmě k podleptání – obr. 5. a tedy čím menší tloušťku mědi leptáme, tím menšího podleptání dosáhneme. [3]



Obr. 5. Reálný profil leptaného spoje.

Výsledek **leptání** a následného **odstranění cínového rezistu** je znázorněno na obr. 6g). Jakmile je dosaženo tohoto bodu, je deska plošných spojů připravena na testování, které sou dvojího druhu a to optické a elektrické. Optický tester zkoumá (scanuje) povrch desky a zjišťuje odchylky testované desky od referenčních dat, zatímco elektrický tester měří odpor mezi zadanými místy na desce.



Obr. 6. Semiaditivní postup výroby dvoustranných plošných spojů.

Jakmile je testování dokončeno, nanese se na desku **fotocitlivá nepájivá maska**, přiloží se film s danými motivy a následuje osvit – *obr. 6h*). Neexponovaná místa jsou vymyta ve vyvolávacím zařízení a maska je tepelně vytvrzena. Nepájivá maska slouží jako ochrana měděného spoje před vnějšími vlivy, nežádoucím zkratováním a hlavně chrání místa, kam se nesmí dostat pájka.

Po vytvrzení nepájivé masky následuje **žárové nanesení SnPb pájky**. Uvedená operace se též nazývá **HAL (Hot Air Levelling)**. Provádí se ponořením desky do tavidla a poté na čtyři sekundy do vany s roztavenou pájkou. Při vynořování se odfouknou přebytky pájky horkým vzduchem (vzduchovým nožem). Síla nanesené vrstvy se pohybuje okolo 10 μm . Pájka zaručuje snadnou pájitelnost a klimatickou odolnost pájecích plošek. Výsledek je zřejmý z *obr. 6i*). Výroba běžných dvoustranných spojů touto operací končí. Následovalo by pouze **formátování na výsledný rozměr**. [3]

PŘÍKLAD VÝROBY VÍCEVRSTVÉ DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ

Výroba vícevrstevných desek plošných spojů je v podstatě obdoba výroby dvoustranných desek plošných spojů. Vícevrstvé spoje je možné vyrábět buď další postupným vrstvením izolačního materiálu a měděného plátu na základní jádro nebo laminací dílčích tenkých dvoustranných desek.

Nejdříve se vytvoří vodivé obrazce na základním jádru – *obr. 7a*).

Na jádro se postupně navrství hrubší a jemnější fólie ze skelné tkaniny s pryskyřicí, která není zcela vytvrzená a na ně měděné fólie – *obr. 7b*). Hrubší fólie se pokládá kvůli tomu, aby vyrovnala nerovnosti na základním jádru (mezi měděnými spoji). K jemnější fólii potom dobře přilne měděná fólie. Ve výkonném laminátoru (lis s vysokou teplotou a tlakem) se provede vytvrzení celé sestavy – *obr. 7c*).

Na oko, tato vícevrstvá deska vypadá jako dvoustranná deska, a proto další výrobní postup bude stejný jako na *obr. 6* tzn. vrtání, prokovy, fotorezist, zesílení mědi, leptuvzdorný rezist atd.

Po tomto postupu bude vícevrstvá deska vypadat jako na *obr. 7d*)

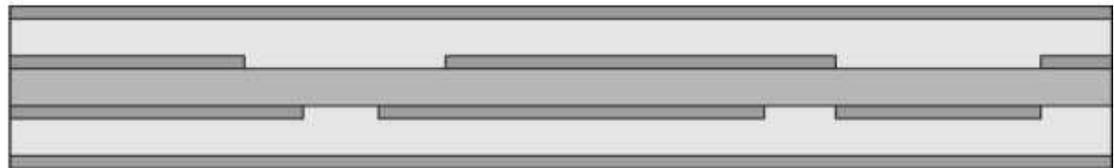
a) Oboustranně vyleptané jádro



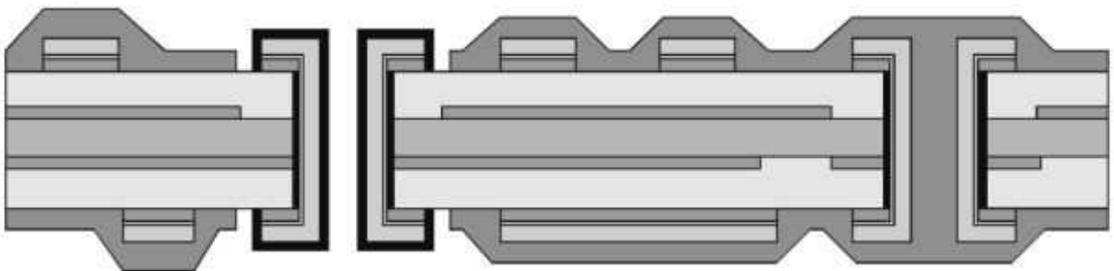
b) Vrstvení fólií nevytvrzených laminátů a mědi



c) Laminace



d) Finální výrobek



Obr. 7. Semiaditivní postup výroby čtyřvrstvé desky plošných spojů.

2 PÁJENÍ DPS

2.1 TEORIE PÁJENÍ

Po osazení desky plošného spoje součástkami, se tyto součástky pájí. Pájení jako takové, je proces metalurgického spojování kovových částí roztavenou pájkou, zpravidla za přítomnosti tavidel. Pájení součástek patří do tzv. měkkého pájení tzn. s pracovními teplotami do 450 °C. Při tomto fyzikálně chemickém procesu dochází k velmi malé vzdálenosti mezi atomy spojovaných kovů a pájky, přičemž dochází k účinkům adhezním (přilnavost) a kohezním (soudržnost) sil. Při pájení se uplatňuje proces difúze a probíhá rozpouštění některých prvků pájky i spojovaných materiálů. Aby k takové situaci došlo, je podmínkou dostatečná čistota spojovaných povrchů a atomy kovů umístěné na rozhraní musí mít dobrou adhezi.

Je nutné vytvořit kvalitní a spolehlivý spoj a to vytvoříme dobrým metalurgickým spojením vývodů součástky s pájecími ploškami substrátu.

2.1.1 PÁJITELNOST

Je to soubor vlastností při pájení. Pájitelnost je v úzkém vztahu ke schopnosti materiálu být smáčen roztavenou pájkou. Pájitelnost obsahuje 3 hlediska:

- **Smáčivost:** Povrch musí umožnit smočení materiálu roztavenou pájkou během doby vhodné pro vytvoření pájeného spoje a bez odsmáčení.
- **Teplotní požadavek:** Pájené součástky musí umožnit ohřev plochy určené k pájení na požadovanou teplotu po požadovanou dobu.
- **Odolnost vůči teple při pájení:** Teplu a s tím související teplotní namáhání pájených dílů nesmí ovlivnit funkci součástek. [1]

Během procesu pájení se roztavená pájka roztéká po povrchu a zmenšuje volný povrch a přitom nabírá tvaru, který odpovídá minimální energii v daném systému.

Smáčivost je první fází vzájemného fyzikálněchemického působení atomů roztavené pájky na povrch spojovaného materiálu. Při smáčení začínají působit meziatomární síly. Na místech mezifázového rozhraní tak postupně vznikají vazby, které se rozšiřují po celé ploše styku. Dochází přitom ke snižování volné povrchové energie systému. Během procesu smáčení se dva volné povrchy – roztavená pájka a tuhý kov mění v jedno mezifázové roz-

hraní. Na tomto mezifázovém rozhraní přechází atomy roztaveného kovu do mřížky tuhého kovu. Dochází ke spojování valenčních elektronů jednotlivých kovů a vytvoření kovové vazby. Nevytvoří-li se na spojovaném kovu společná fáze, nedojde ani k odpovídající úrovni smáčení. V další fázi pokračuje difúze spojovaných kovů, která je úměrná teplotě. Většinou dochází i k rozpouštění spojovaných kovů. Ve třetí fázi dochází k chladnutí vytvořeného spoje a ke krystalizaci pájky. Začínají se vytvářet první krystalizační zárodky a začíná růst zrn pájky. Velikost těchto zrn závisí na rychlosti chlazení, přičemž při pomalém chlazení se vytváří větší zrna, které snižují spolehlivost spoje. [1]

Až 70% všech defektů má na svědomí špatná pájitelnost povrchů. Pokud se použijí DPS nebo součástky se špatnou smáčivostí nebo se použije málo aktivní tavidlo, má to za následek vznik nespolehlivého spoje a tím vytvoření spoje s malou mechanickou pevností, a také nepřilíh hezkého vzhledu. Důležitým faktorem je také kompatibilita. Materiálová kompatibilita zaručuje neporuchovost spoje a jeho spolehlivost. Spoj je zpravidla tím pevnější, čím je lepší smáčivost.

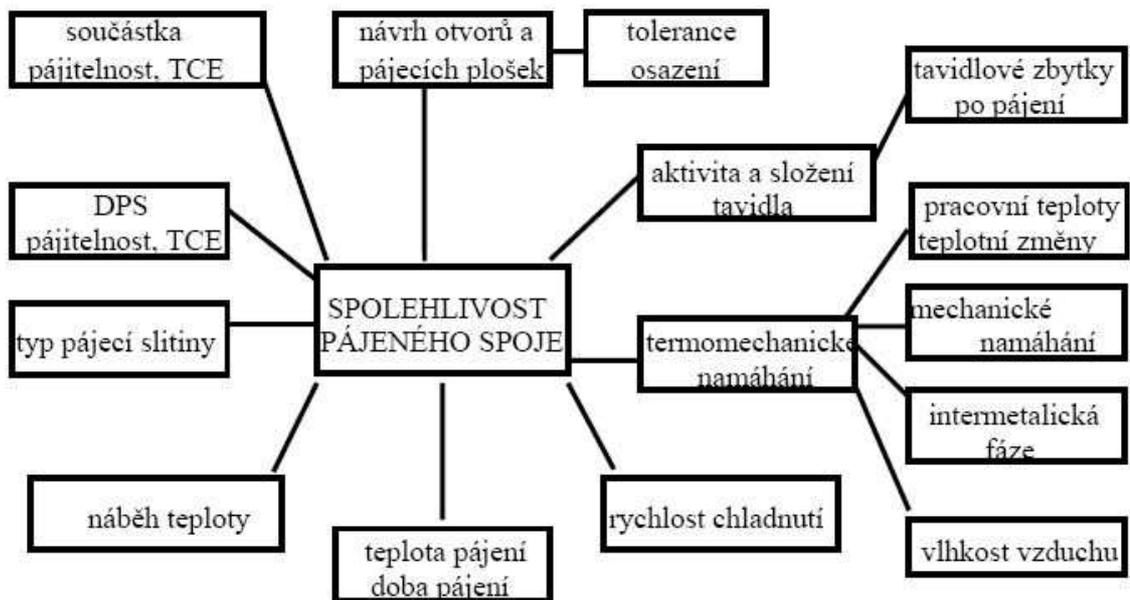
RÚZNÉ ÚROVNĚ SMÁČIVOSTI

- **Smáčivý povrch:** Pájka pokrývá povrch. Čím je povrch hladší a rovnoměrnější a je menší tloušťka pájky, tím je proces smáčení kvalitnější
- **Částečně smáčivý:** V tomto případě se vyskytují plošky, kde je povrch smáčivý i nespolečivý
- **Nespolečivý povrch:** Zde se vyskytuje poměrně velké množství oxidů a málo pájky, což má za následek, že pájka nepokrývá povrch.
- **Odsmáčivý povrch:** Pájka smočila povrch, ale vytvořila kapky pájky (nepřípustné)

2.1.2 SPOLEHLIVOST PÁJENÉHO SPOJE

Spolehlivý pájený spoj je základním požadavkem v elektronické výrobě. Správně pájené spoje: mají konkávní tvar a výška kužele dosahuje asi do dvou třetin pájené plochy součástky. Pájené plochy jsou dokonale smáčeny.

Spolehlivost je dána kompatibilitou pájených i pájecích materiálů i pájecím procesem. Záleží na mnoha faktorech – viz. *Obr. 9*.



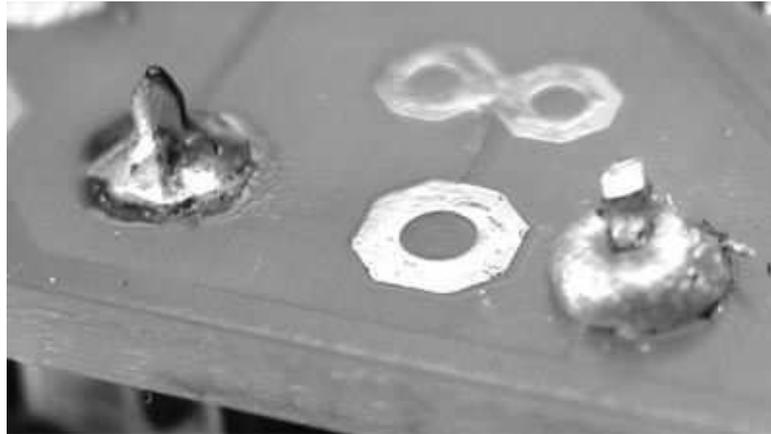
Obr. 9. Faktory ovlivňující spolehlivost pájeného spoje.

STUDENÉ SPOJE

Při špatné smáčivosti způsobené nedostatkem smáčidla (kalafuny nebo jiného přípravku) nebo při přepalování cínu nadměrně vysokou teplotou se součásti spájí špatně, vytvoří se tzv. studený spoj. Takovýto spoj nemusí být ani elektricky vodivý a při mechanickém namáhání se součásti snadno uvolní nebo se spoj celý rozpadne. Studený spoj je zobrazen na obr. 10. – vpravo. Jeho povrch bývá hrubý a matný, pájka nesmáčí součásti, nepřiléhá k nim a tvoří někdy i zaoblené tvary, které se součástí jen dotýkají malou plochou podobně jako kapičky vody na mastném povrchu. Správný spoj by měl vypadat přibližně jako na levé části obr. 10. (Ještě by bylo vhodné chemicky očistit přebytečné smáčidlo). Pájka při kontaktu s pájenými součástmi tyto součásti dobře smáčí a přilehne k nim. Naopak je „odpuzována“ od nepájitelných částí. Spoj je lesklý a hladký.

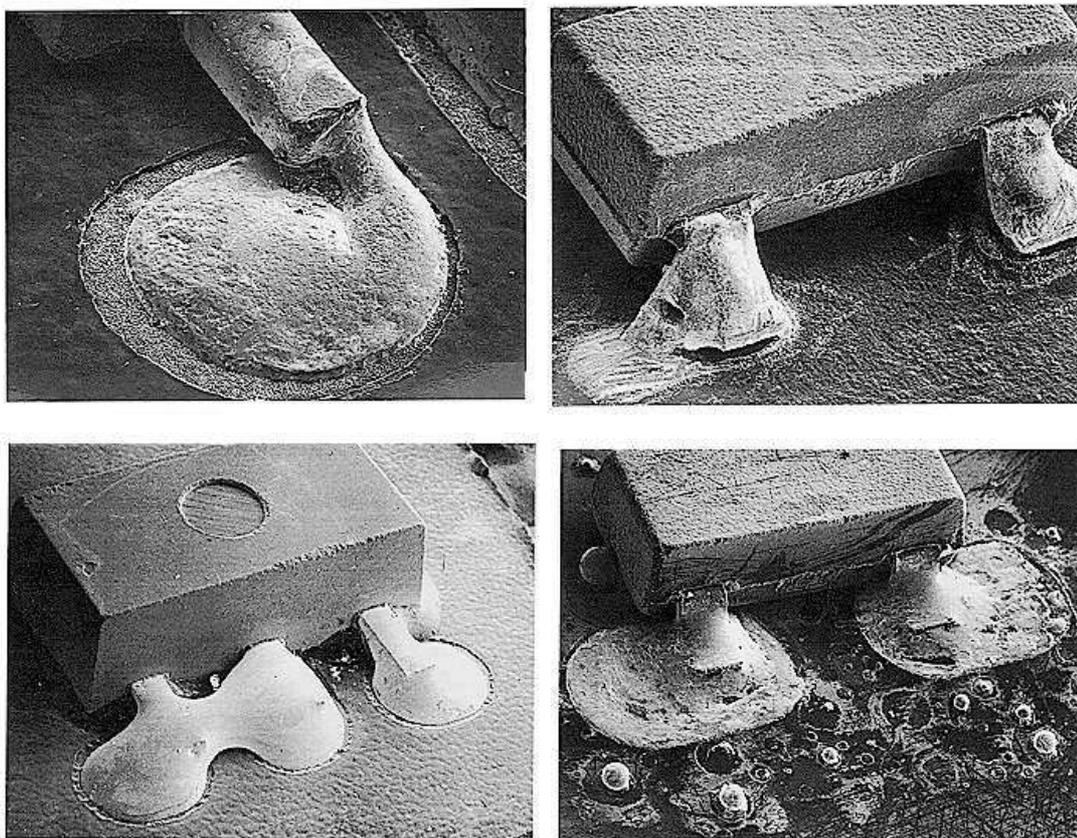
Možné důvody vzniku studeného spoje:

- Je přítomna vrstva oxidů mezi spojovanými materiály
- Je přítomna intermetalická fáze na povrchu spojovaných materiálů
- Pájka nebo spojovaný kov byly při pájecím procesu na nízké teplotě
- Doba pájení není optimální



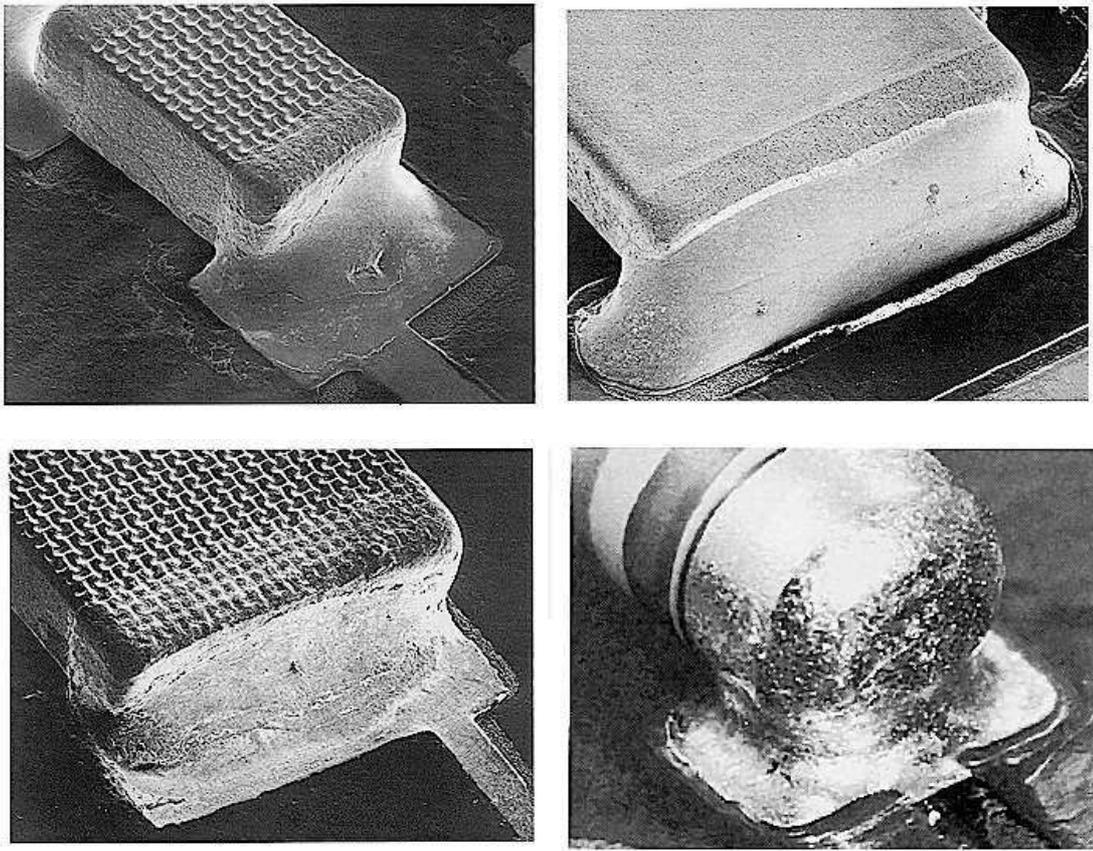
Obr. 10. V levé části je správný spoj, v části prvé se nachází studený spoj.

Další ukázky vadných pájených spojů SMD, lze vidět na obr.11:



Obr. 11. Vadné pájené spoje.

Ukázky správně zapájených spojů jsou vidět na *obr. 12.*:



Obr. 12. Správně zapájené spoje.

3 RECYKLACE PLOŠNÝCH SPOJŮ

Desky PLS obsahují vedle nosného plastu především měď, cín, hliník, nikl, zinek, olovo, drahé a další kovy. Tato přítomnost velkého množství prvků ztěžuje možnosti recyklace. Zvláště desky PLS z historických zařízení obsahují velký podíl olova, proto v těchto případech desky PLS spadají do kategorie nebezpečného odpadu. Pokud PLS obsahují elektronické součásti, je třeba všechny odstranit ještě před samotnou recyklací. Nejznámější metody pro separaci elektrických součástek jsou mechanické odstranění, tavení a řezání. Při mechanickém odstranění dochází mechanickým odstranění pinů k oddělení diod, tranzistorů, rezistorů apod. od desek PLS (jedná se o vrstvený laminát - izolant na bázi pryskyřic a papíru, u počítačové techniky se jako základní materiál používají desky na bázi skleněných tkanin). Metoda tavení spočívá ve vystavení PLS teplotám 350 – 400 °C, při kterých dochází k postupnému roztavení cínových spojů a uvolnění pinů součástek, jež se dále odstraní mechanickou cestou. Při řezání se desky PLS uchytí do speciálního rámu, ve kterém dojde k odřezání pinů pilkou na kov. Nevýhoda této metody spočívá ve vzniku odpadu při ořezávání (směs laminátových a kovových pilin). Pokud jsou už všechny elektronické komponenty odstraněny, v druhé fázi se PLS rozdrťí podle požadavku na zrnitost drceného materiálu. K drcení se používají břitové drtící stroje, granulační mlýny, řezací zařízení nebo brousky a tzv. kryogenní drcení, při kterém je odpad nejprve zchlazen na teplotu minus (100 – 170) °C a poté teprve drcen. Tento způsob, zatím finančně náročný, využívá rozdílných účinků nízkých teplot na fyzikální vlastnosti materiálů. Podchlazené materiály potřebují k dokonalé fragmentaci drtiče s přibližně polovičním příkonem oproti klasickému drcení. Další fází recyklace je třídění feromagnetických materiálů z drti PLS pomocí magnetické separace, vibračního třídění, elektrostatické separace nebo gravitační úpravy.[6,7]

Pro zpracovatele PLS je nejzajímavější získávání drahých kovů, ke kterému používají extrakci v tavenině olova, kyanidové loužení, sulfáto-nitrátovou cestu a elektrolýzu. Při extrakci v tavenině olova putuje drť PLS do tavicího zařízení, kde se mísí s roztaveným olovem. Plast shoří, železo společně s částí barevných kovů vyplave na hladinu taveniny, kde je vyloveno. V roztaveném olovu zůstane většina ušlechtilých kovů, proto se tavenina prožene vzduchem, kde část obecných kovů a olova zoxiduje a odstraní se jako struska. Zbylá část taveniny se podrobí rafinaci, při které se získá měď, selen, nikl, tellur, olovo, cín a rtuť. Tento způsob není ale příliš ekologicky šetrný. Při kyanidovém loužení se získává

zlato za podmínky, že pozlacený materiál je obnažen a že celý jeho povrch je v kontaktu s loužícím roztokem. Tento postup je znám svou vysokou účinností a jeho výhodou je fakt, že ostatní kovy nejsou dotčeny, tedy nejčastěji používané slitiny na bázi mědi, zinku a niklu mohou být dále metalurgicky rafinovány, aniž by se tyto prvky dostávaly do roztoků, ze kterých by musely být obtížně extrahovány. Nevýhodou jsou provozní rizika a potenciální možnost havárie spojená s používáním toxického kyanidu. Sulfáto-nitrátová cesta se používá pro separaci palladia. Elektrolyticky se zpracovávají frakce barevných kovů nebo výluh z některého odpadu. Roztok obsahuje velké množství kovů (měď, zinek, nikl, kadmi-um, stříbro atd.), přičemž izolace všech složek ze směsi není ekonomicky a ekologicky možná. Při elektrolýze se většinou získá podíl mědi, drahé kovy zůstávají v anodických katech. [6]

3.1 PLS JAKO NEBEZPEČNÝ VÝROBEK

EU se v rámci směrnic WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) - směrnice 2002/96/EC o odpadech elektronického průmyslu a RoHS (Restriction on Hazardous Substances) se snaží omezit používání olova v elektrotechnickém průmyslu. WEEE se dotklo hlavně používáním olovnatých pájek, jež jsou po dlouhá desetiletí neodmyslitelným a masově používaným materiálem při výrobě elektronických a elektrotechnických zařízení. Proto většina výrobců elektroniky, např. Panasonic, Nokia, NEC, Sony, Hitachi nebo Toshiba používá při výrobě PLS již bezolovnaté pájení, i přes fakt, že bezolovnaté slitiny jsou všeobecně dražší. Olovo bývá nejčastěji nahrazeno slitinami na bázi cín – vizmut s legurami stříbra, mědi a zinku. [5,6,7]

3.2 ZÁVĚR

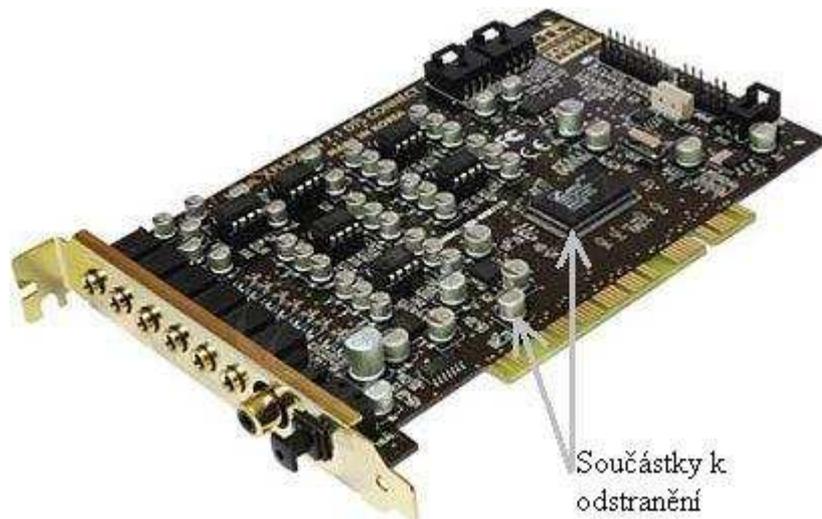
Elektroodpad je nedílnou částí našeho života, je proto potřeba dbát nejen na kvalitní výrobu, ale v neposlední řadě i na správnou recyklaci, která zohlední ekologický stav planety.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 ZAŘÍZENÍ PRO RECYKLACI PC DESEK

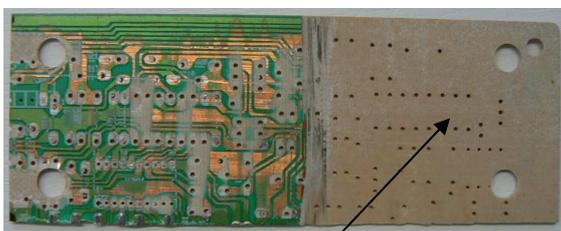
Tato kapitola se bude zabývat konstrukcí zařízení pro recyklaci PC desek ve druhém kroku zpracování.

- V prvním kroku zpracování DPS se jedná o odstranění všech součástí – *Obr. 13*, které jsou do této desky připájeny. Tuto činnost lze provést několika způsoby. Nejčastější způsoby jsou mechanicky, dále tavení a řezání (blíže jsou metody popsány v prvním odstavci kapitoly 3 – Recyklace plošných spojů).

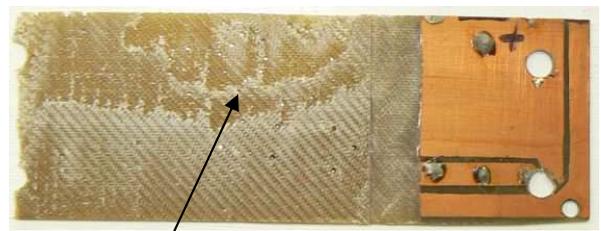


Obr. 13. První krok zpracování - Odstranění součástek.

- Ve druhém kroku zpracování se odstraňuje tenká vodivá vrstva DPS a tím zůstane pouze základní materiál bez nežádoucích prvků – *Obr. 14*. Dále se může DPS recyklovat.



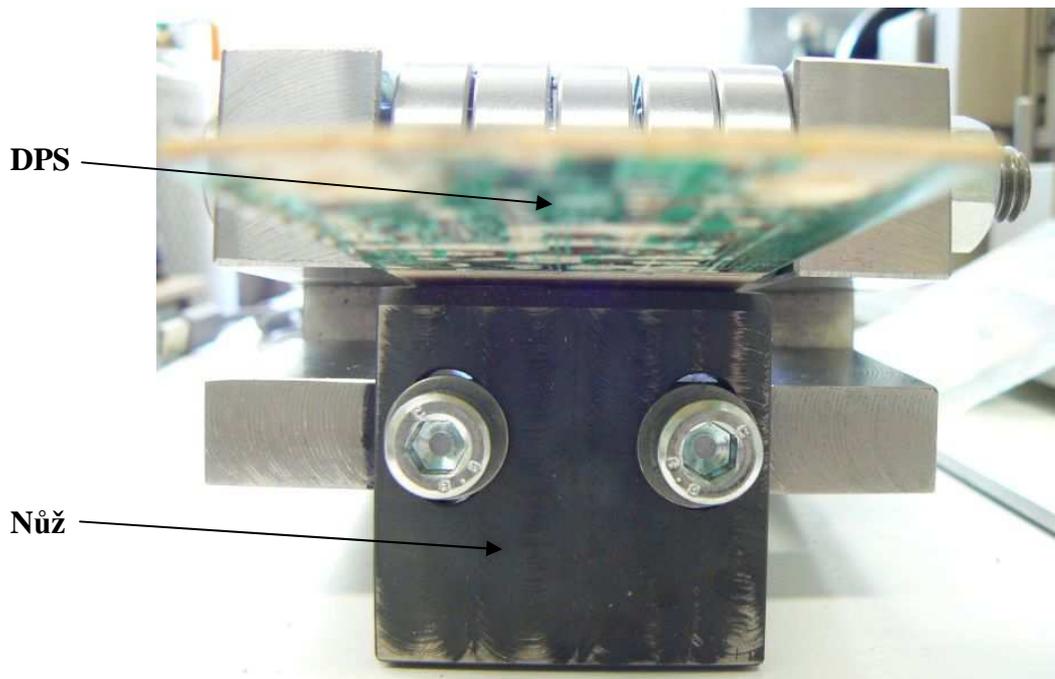
Základní materiál (odřezaná vrstva)



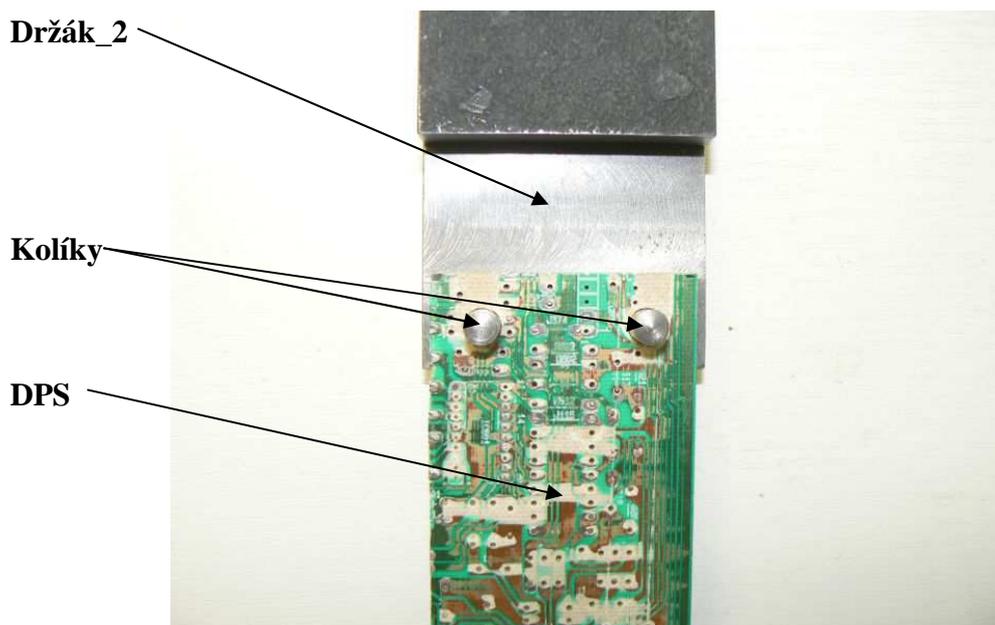
Základní materiál (odřezaná vrstva)

Obr. 14. Odřezaná vrstva DPS.

Dále je nutné DPS vhodně upravit tak, aby se dala bezproblémově upnout do přípravku. Toho se dosáhne tak, že se deska nastříhá (nařeže) na plátky určitých rozměrů tak, aby šířka desky nebyla větší jak samotná šířka nože, kterým se realizuje odřezávání měděné vrstvy DPS – *Obr. 15*. Vyvrtají se otvory, kde rozteč těchto otvorů odpovídá rozteči kolíků na které se nasadí – *Obr. 16*.



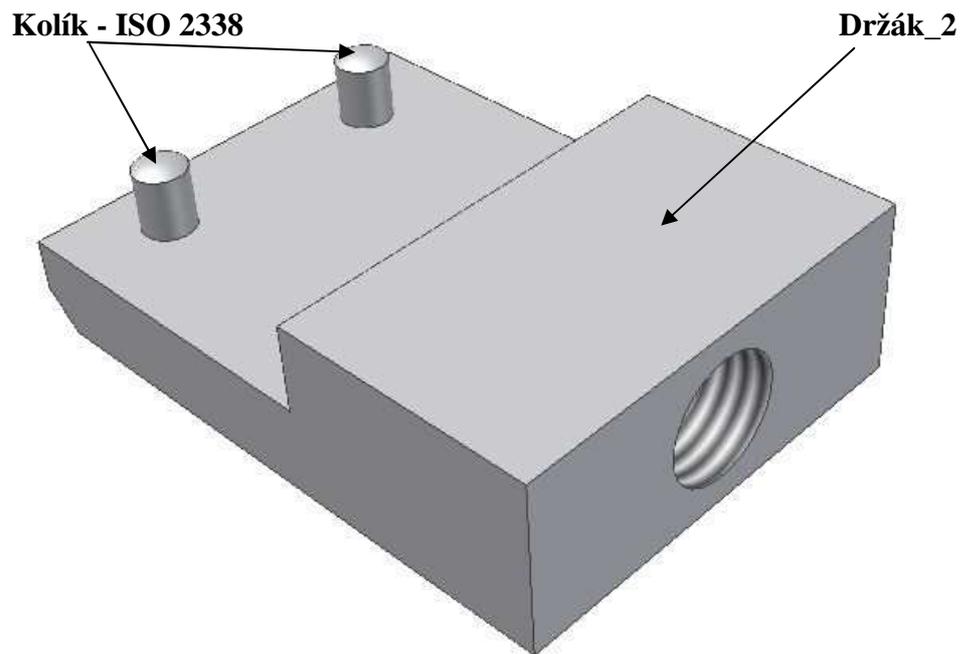
Obr. 15. Ukázka šířky DPS a nože.



Obr. 16. Rozteč kolíků a DPS.

4.1 UPNUTÍ

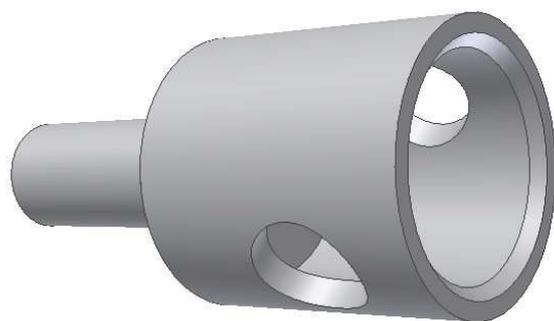
Nejdříve se součásti držák_2 – Obr. 17, kolík M14 – Obr. 18. a držák_1 – Obr. 19. smontují dohromady a zajistí se na pohyblivé části stroje čepem_2 – Obr. 20. Upnutí DPS na trhací stroj se realizuje nasazením DPS na kolíky držáku_2 – Obr. 16.



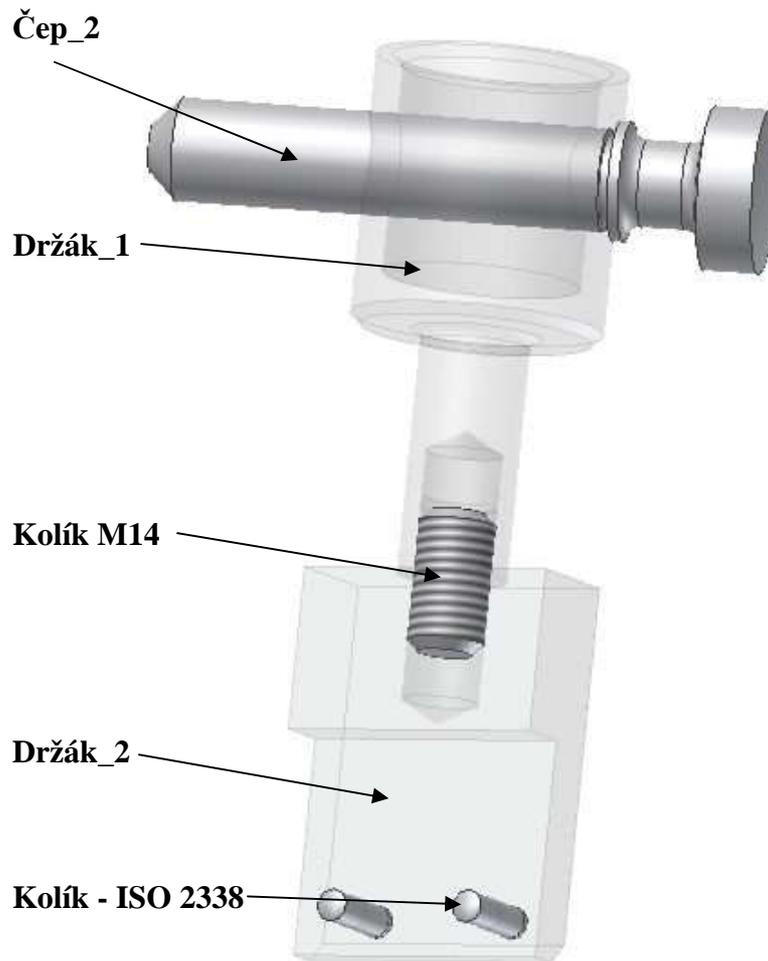
Obr. 17. Držák_2.



Obr. 18. Kolík M14.



Obr. 19. Držák_1.

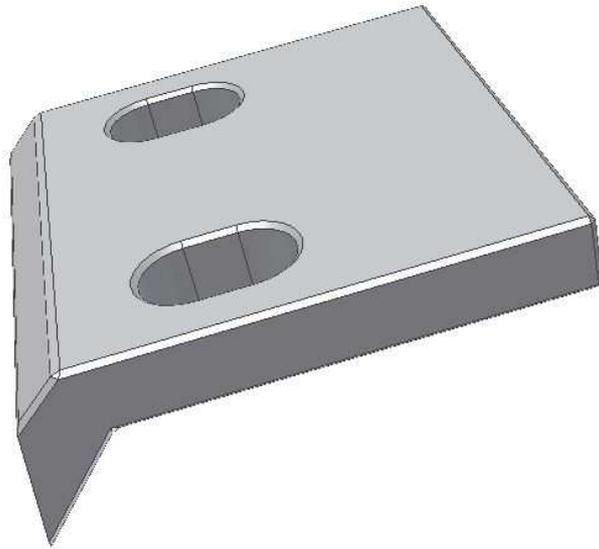


Obr. 20. Čep_2.

4.2 NŮŽ

Nůž slouží jako aktivní část přípravku, která se podílí na odebrání a tvorbě třísky z DPS. Je upevněn pomocí dvou šroubů na nosník nože. Tyto šrouby prochází dvěma vyfrézovanými drážkami, které umožňují podélný posuv nože po nosníku a tím je umožněno nastavení tloušťky třísky a vsazení, vyjmutí DPS. Nůž je tepelně zpracován kalením a následně popuštěn na $HRC\ 60\pm 1^\circ$, aby nedocházelo k nechtěnému odlamování části břitu. Plocha čela a hřbetu jsou obrobena na $Ra\ 0,8$, aby se snížil odpor při odchodu třísky po hřbetu nástroje a ke snížení odporu při tření DPS po čele nože.

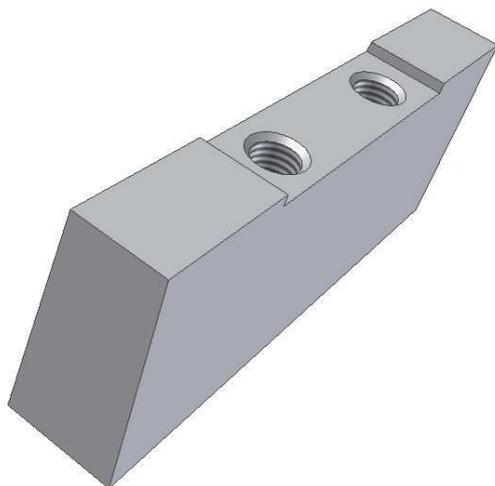
Je vhodné ještě před začátkem odřezávání vodivé vrstvy DPS, vybrousit do DPS tenkou drážku, do které se umístí ostří nože, aby byla zaručena tvorba plynulé třísky, bez vyjždění ostří z DPS. Docházelo by tím k neúplnému odřezání vrstvy.



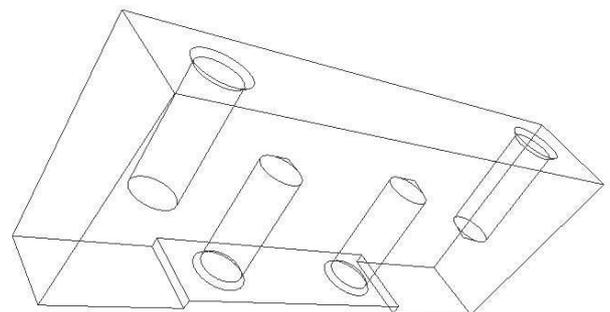
Obr. 21. Nůž.

4.3 NOSNÍK NOŽE

Na tuto součást se upevňuje nůž. Rozteč otvorů pro šrouby je potřeba vyrobit s určitou přesností, aby byla zaručena souosost a tím schopnost montáže a aby byla umožněna snadná montáž a demontáž nože. Nosník nože se upevňuje šrouby na stojinu.



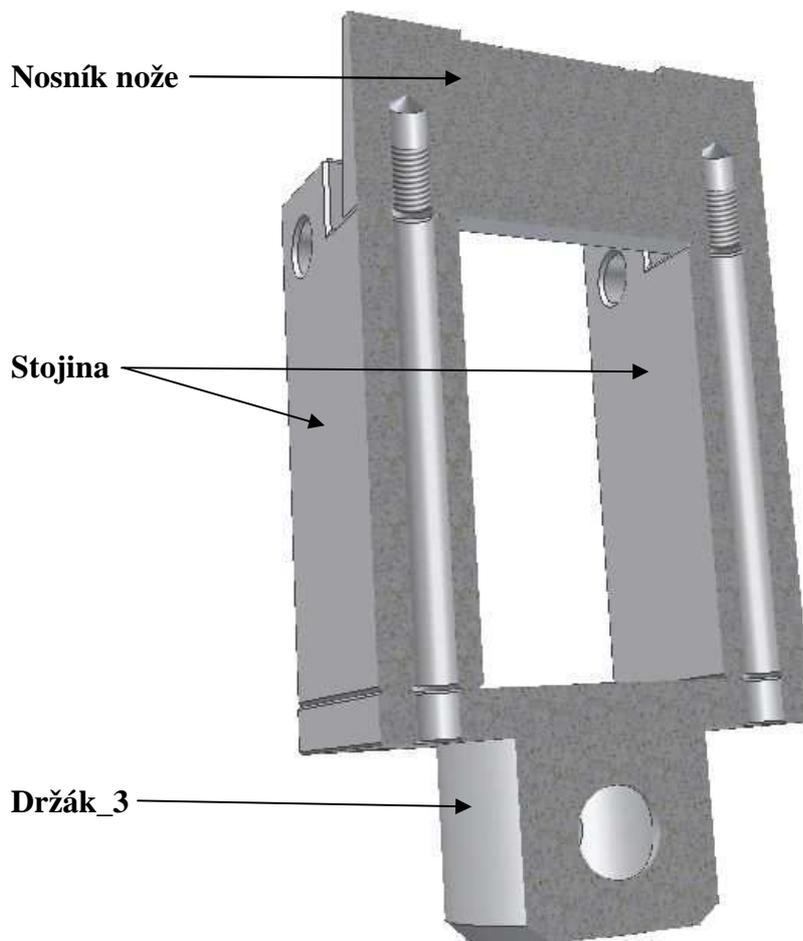
Obr. 22. Nosník nože-pohled shora.



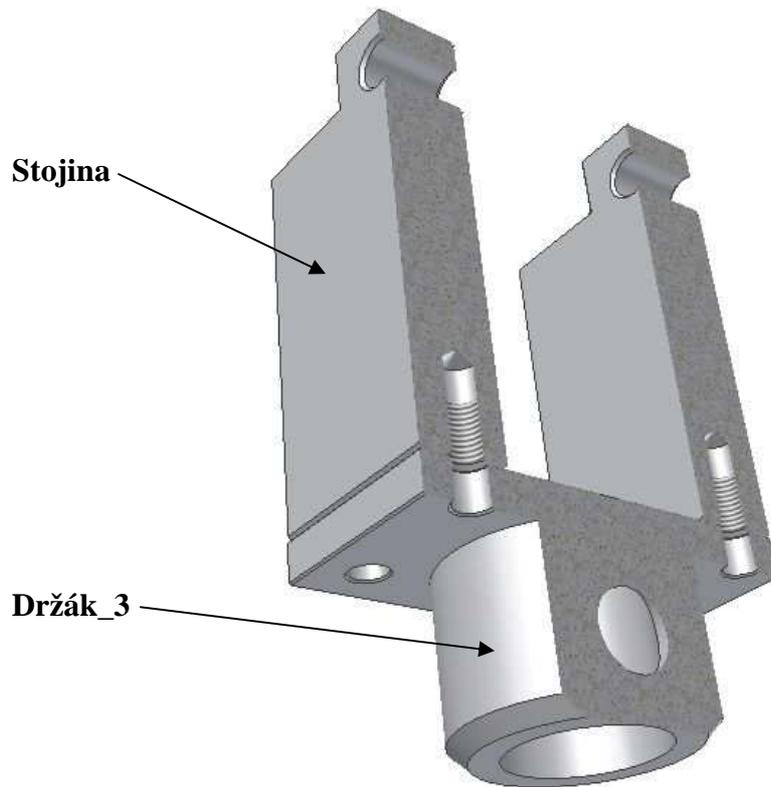
Obr. 23. Nosník nože-pohled ze spodu

4.4 STOJINA

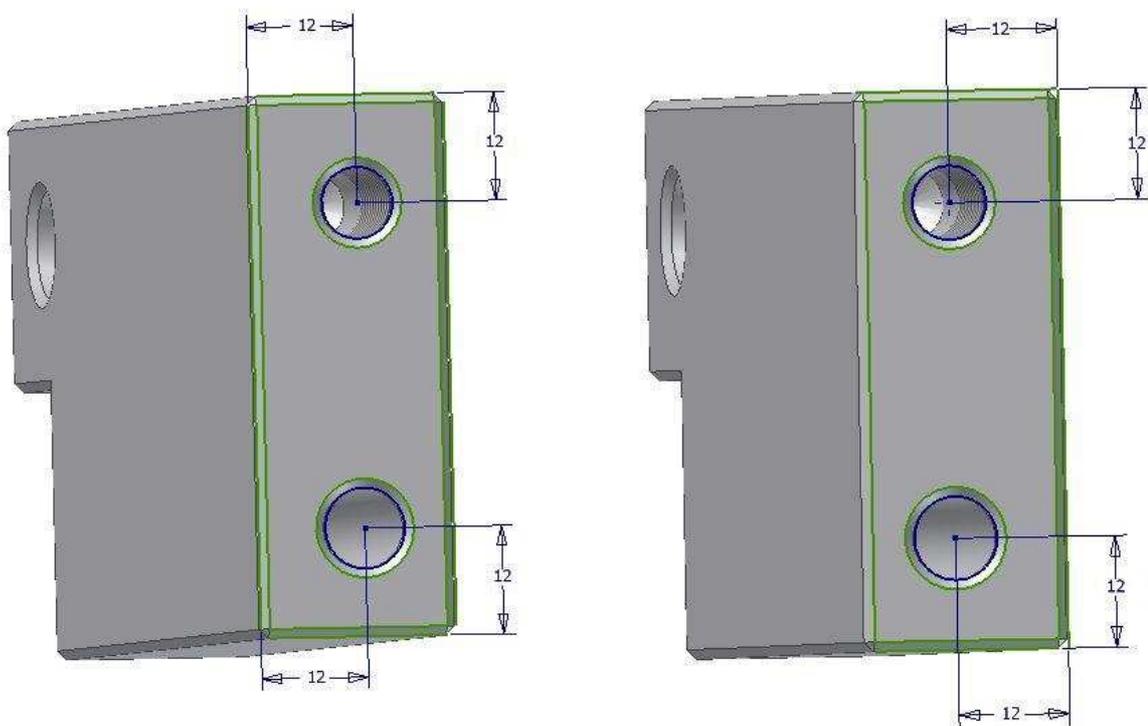
Tato součást se v přípravku vyskytuje dvakrát a upevňuje se na ně nosník nože, který se ze spodu přišroubuje skrz celou stojinu – *Obr. 24*. Dále je vyvrtána neprůchozí díra se závitem k samotnému uchycení stojiny k držáku_3 – *Obr. 25*. Rozdíl mezi těmito stojinami je „zrcadlové“ umístění obou otvorů – *Obr. 26*. Ostatní rozměry jsou identické.



Obr. 24. Stojina-pohled na průchozí díru k upevnění nosníku nože.



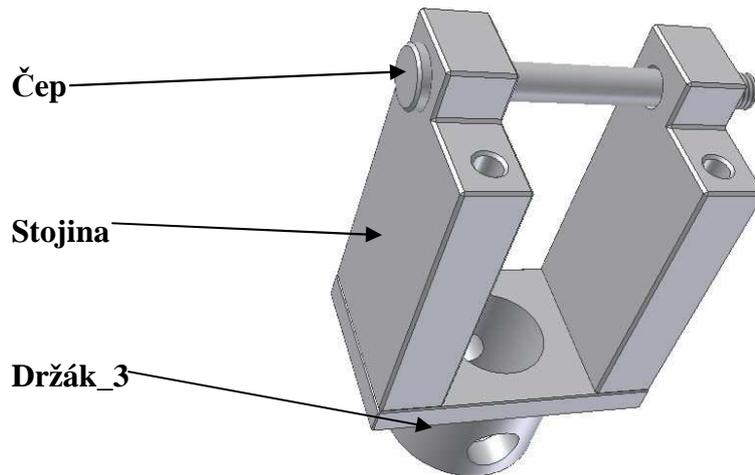
Obr. 25. Stojina-pohled na neprůchozí díru k upevnění na držák_3



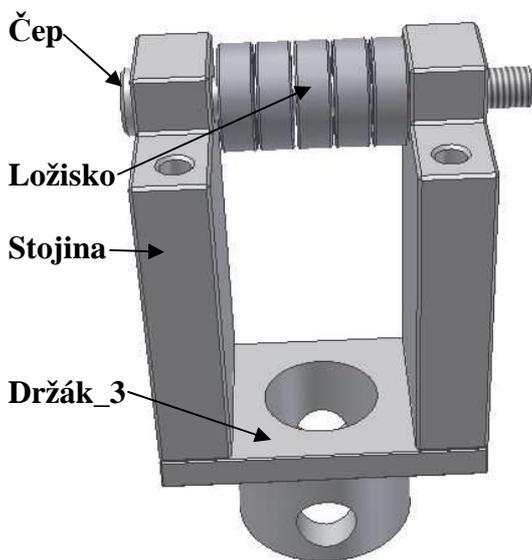
Obr. 26. Zrcadlové umístění otvorů na stojinách

4.5 ČEP

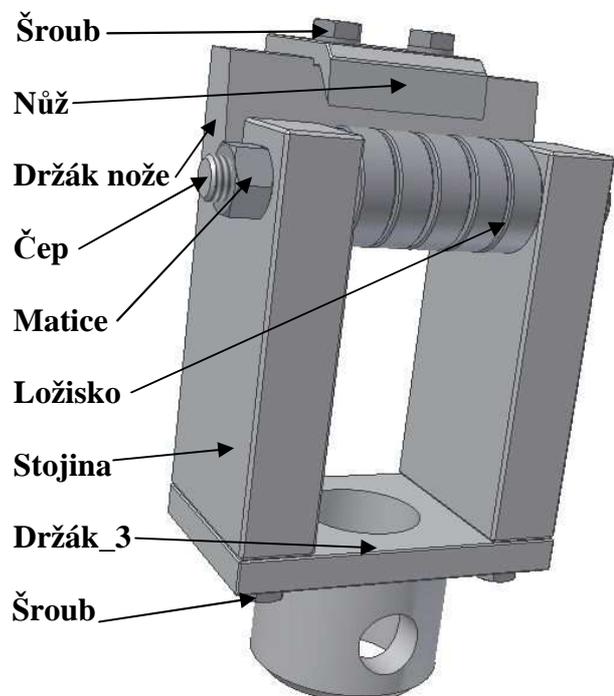
Čep funguje jako nosná část ložisek na který se tyto ložiska nasadí. Tolerance průměru dřívku je přechodná. Čep prochází oběma stojinami a na konci je zajištěn maticí. Ložiska slouží jako odvalovací část přípravku, po kterém se odvaluje DPS, při realizaci procesu odřezávání třísky. Zajišťují plynulý pohyb desky.



Obr. 27. Čep bez ložisek



Obr. 28. Čep s ložisky



Obr. 29. Sestava

5 ELASTICKÉ A TERMOMECHANICKÉ KONSTANTY MATERIÁLŮ DPS

U Vybraných vzorků mat. PC desek jsou sledovány některé mechanické a termomechanické konstanty z důvodu potřeby těchto dat pro modelovou konečněprvkovou analýzu. Vněkterých případech i v závislosti na teplotě okolí. Měření bylo provedeno na zkušebních těliscích připravených obráběním (frézování na požadovanou šířku (10mm) či délku (80mm), broušení- odstraňování povrchové měděné vrstvy).

Měření mechanických konstant bylo provedeno na zařízení Zwick 1456 s teplotní komorou (-70-+290C). Byla provedena zkouška tahem a sledován modul pružnosti v podélném směru E_L a mez pevnosti σ_{PL} v závislosti na teplotě (T=23C, T=100C, T=175C, T=250C).

Zkoušky byly provedeny dle normy ČSN EN ISO 527-2



Obr. 30. Universální zkušební stroj s teplotní komorou

Měření termomechanických konstant (koef. lineární teplotní roztažnosti α) bylo provedeno na přístroji TMA podle normy ČSN 64 0528

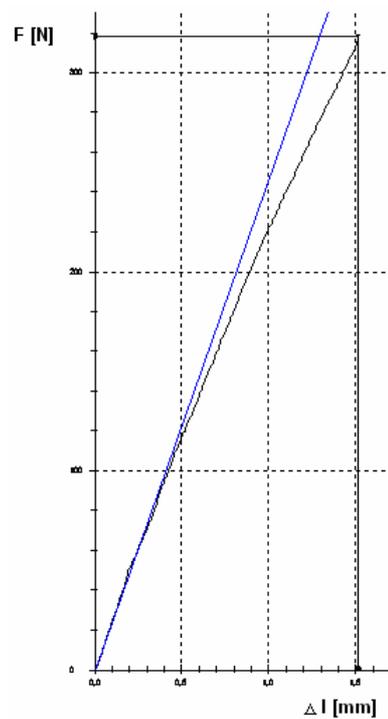
Stanovení druhu, typu a objemového zastoupení výztuže bylo provedeno termickou analýzou.

5.1 HNĚDÁ DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ

Zkouška provedena při teplotě 20 °C

hnědá	a_0	b_0	σ_{fm}	σ_{fB}	E-Modul	Nominální def-Rm	ε_{fm}	ε_{fB}	Δl_{fm}	Δl_{fB}	F_{fm}
n = 5	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
x	1,478	9,87	289,08	289,08	23340,84	2,84	1,40	1,40	0,14	0,14	4205,41
s	0,01924	0,2147	47,39	47,39	1796,43	0,18	0,20	0,20	0,02	0,02	610,46
v	1,30	2,18	16,39	16,39	7,70	6,27	14,37	14,37	14,22	14,22	14,52

Tab. 3. Tahová zkouška hnědé DPS.



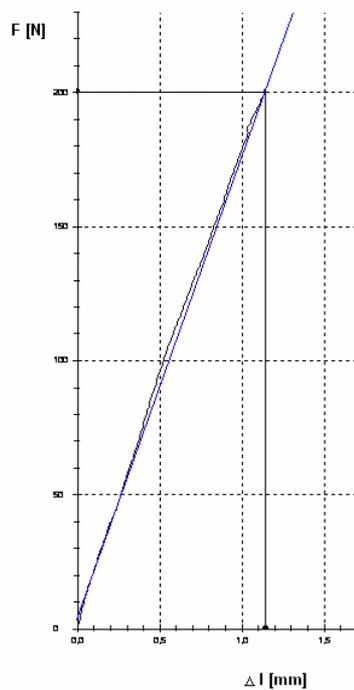
Graf 1. Závislosti síly [N] na prodloužení [mm]. Hnědá matrice.

5.2 ŠEDÁ DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ

Zkouška provedena při teplotě 20 °C

šedá	a_0	b_0	σ_{fm}	σ_{fB}	E-Modul	Nom.def-Rm	ε_{fm}	ε_{fB}	Δl_{fm}	Δl_{fB}	F_{fm}
n=2	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
x	1,475	10,02	200,82	200,82	16306,80	2,85	1,17	1,17	0,12	0,12	2969,45
s	0,007071	0,007071	0,60	0,60	1205,86	0,01	0,04	0,04	0,00	0,00	21,00
v	0,48	0,07	0,30	0,30	7,39	0,21	3,79	3,79	2,63	2,63	0,71

Tab. 4. Tahová zkouška šedé DPS.



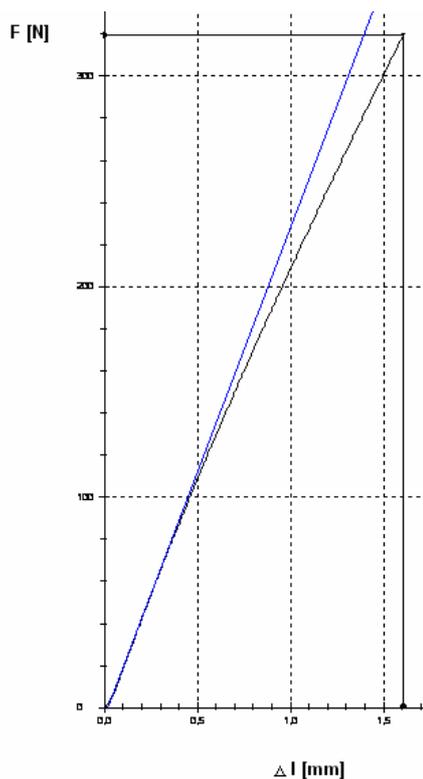
Graf 2. Závislosti síly [N] na prodloužení [mm]. Šedá matrice.

5.3 BÍLÁ DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ

Zkouška provedena při teplotě 20 °C

bílá	a_0	b_0	σ_{fm}	σ_{fB}	E-Modul	Nom.def-Rm	ε_{fm}	ε_{fB}	Δl_{fm}	Δl_{fB}	F_{fm}
n=2	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
x	1,35	10,03	317,07	317,07	23253,56	3,07	1,58	1,58	0,31	0,31	4293,26
s	0,000	0,01	12,56	12,56	228,48	0,27	0,10	0,10	0,02	0,02	167,41
v	0,00	0,10	3,96	3,96	0,98	8,63	6,51	6,51	6,59	6,59	3,90

Tab 5. Tahová zkouška bílé DPS (T=20 °C).

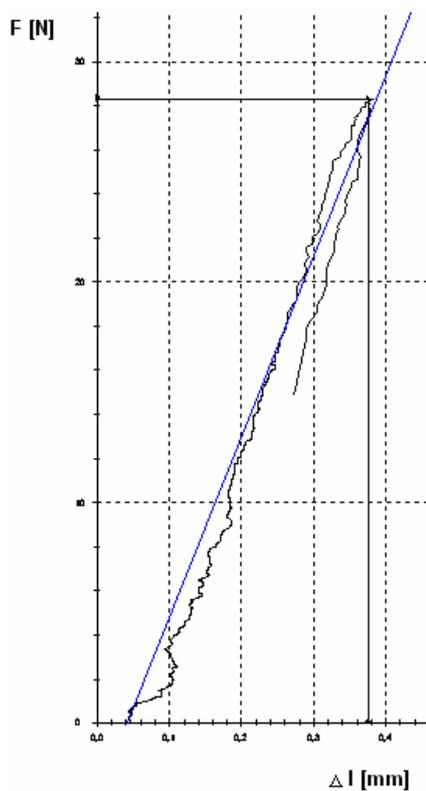


Graf 3. Závislosti síly[N] na prodloužení [mm]. Bílá matrice.

Zkouška provedena při teplotě 175 °C

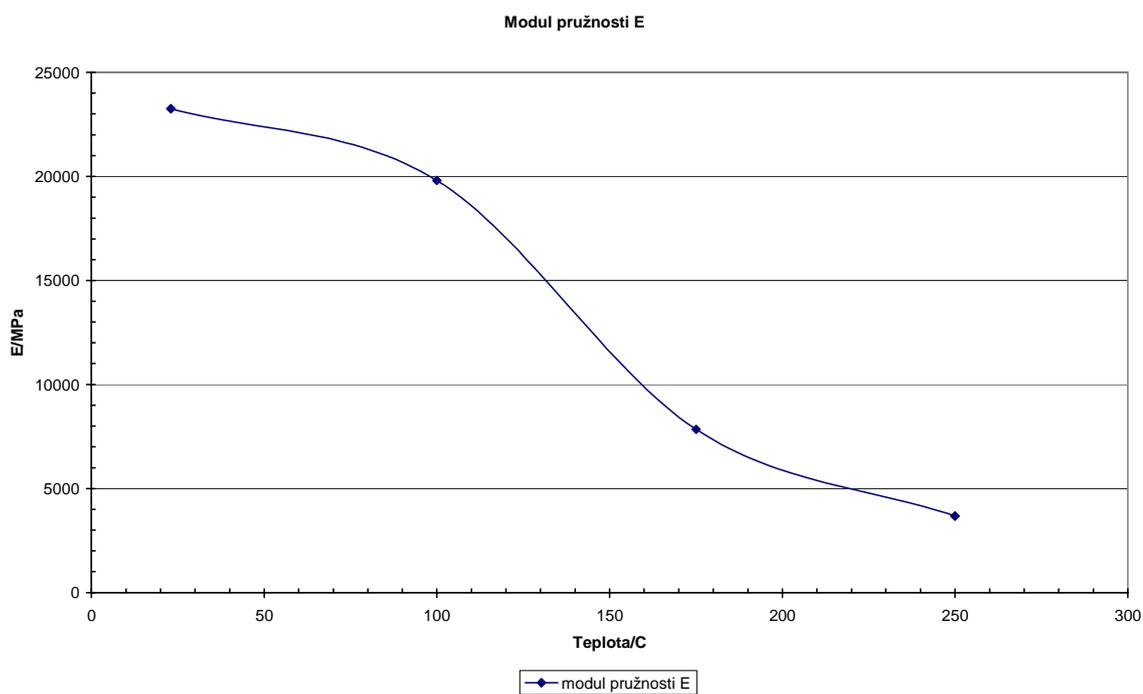
bílá	a_0	b_0	σ_{fm}	σ_{fB}	E-Modul	Nom.def-Rm	ε_{fm}	ε_{fB}	Δl_{fm}	Δl_{fB}	F_{fm}
n=2	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
x	1,34	10,03	30,63	-	7841,42	2,40	0,40	-	0,07	-	411,70
s	0,000	0,000	3,26	-	459,87	0,16	0,03	-	0,01	-	43,78
v	0,00	0,00	10,63	-	5,86	6,85	7,61	-	10,16	-	10,63

Tab. 6. Tahová zkouška bílé DPS ($T=175\text{ }^{\circ}\text{C}$).



Graf 4. Závislosti síly [N] na prodloužení [mm]. Bílá matrice.

ZÁVISLOST MODULU PRUŽNOSTI NA TEPLITĚ (BÍLÁ MATRICE)



Graf 5. Závislost modulu pružnosti na teplotě bílé matrice.

Ozn. matrice-teplota	E- modul pružnosti	σ_p - mez pevnosti
Bílá- 23 °C	23253,56	317,07
Bílá- 175 °C	7841,42	-
Šedá- 23 °C	16306,00	200,82
Hnědá- 23 °C	23340,84	289,08

Tab. 7. Závislost modulu pružnosti a meze pevnosti na teplotě a typu matrice.

6 ZJIŠTĚNÍ MAXIMÁLNÍHO DOVOLENÉHO NAPĚTÍ

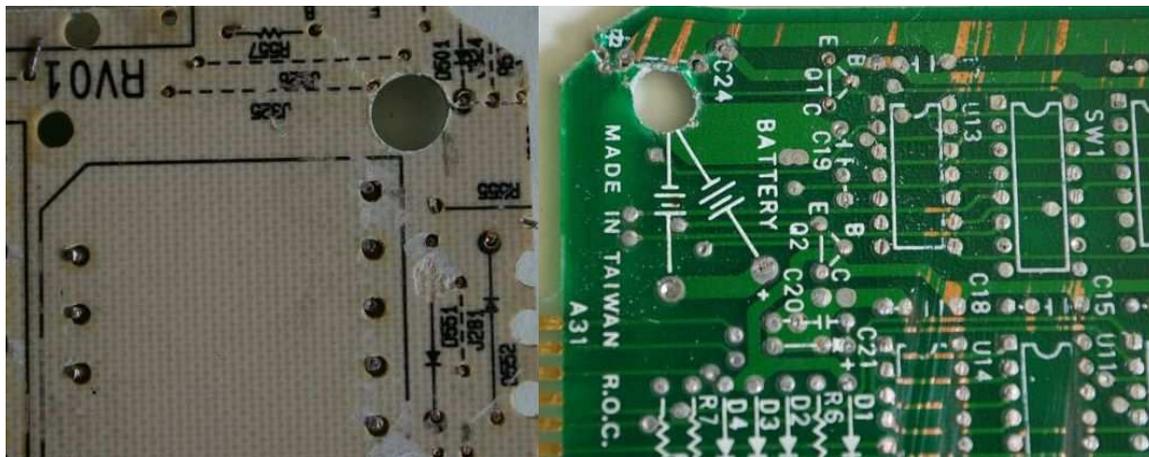
Aby bylo zaručeno, že nedojde k porušení DPS ještě před odřezáním potřebné vrstvy, nesmí být překročeno maximální dovolené napětí. Proto je vhodné provést tahovou zkoušku daného materiálu, ke zjištění maximálního dovolené napětí, pro dané rozmístění otvorů v DPS k upnutí do stroje.

Zkouška byla provedena se třemi vzorky – hnědou, šedou a zelenou. Do těchto vzorků byly vyvrtány otvory v protilehlých rozích a upnuty do pohyblivé a nepohyblivé části stroje. Umístění těchto otvorů bylo vždy identické.



Obr. 31. Upnutí vzorku do stroje.

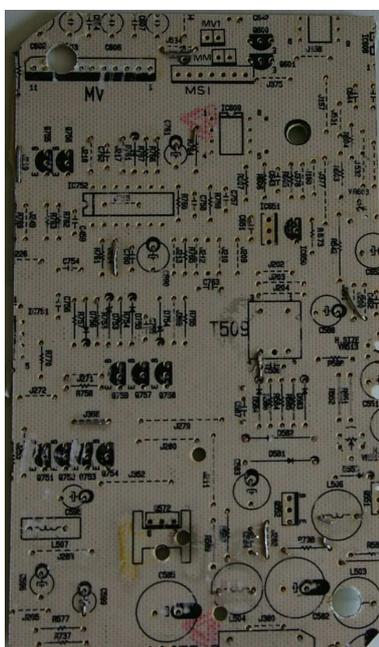
Jakmile se dosáhne maximálního dovoleného napětí, dojde k porušení DPS. Toto porušení zapříčiňují zpravidla vruby v podobě otvorů pro součástky, které jsou určené pro osazení na danou DPS, jak je zřejmé z *obr. 32*.



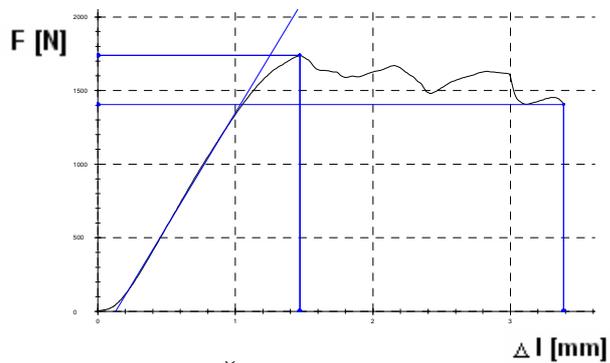
Obr. 32. Porušení v místech otvorů pro součástky.

6.1 MĚŘENÍ

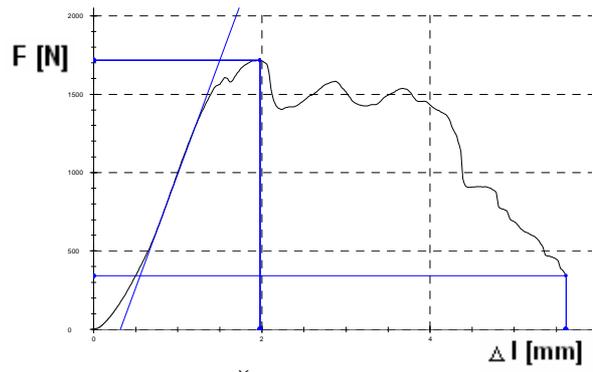
6.1.1 ŠEDÁ DPS



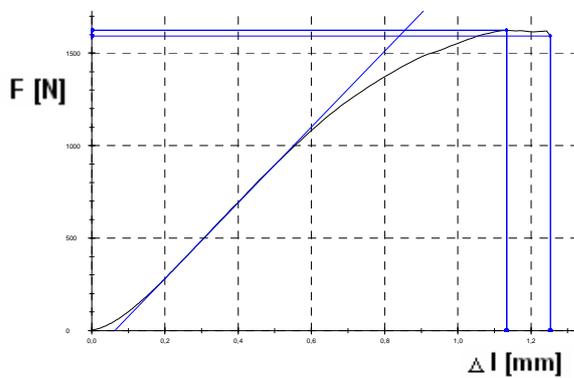
Obr. 33. Šedá DPS



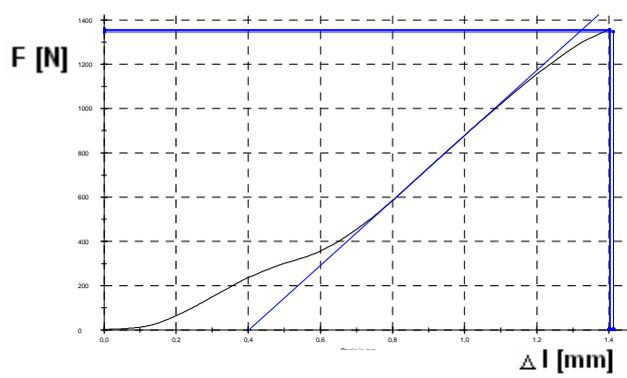
Graf 6. Šedá DPS – vzorek n=1.



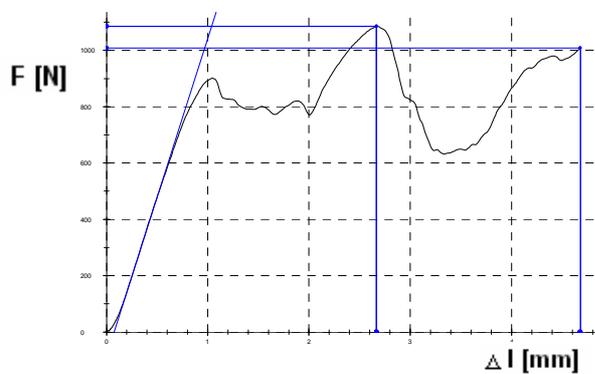
Graf 7. Šedá DPS – vzorek n=2.



Graf 8. Šedá DPS – vzorek n=3.



Graf 9. Šedá DPS – vzorek n=4.

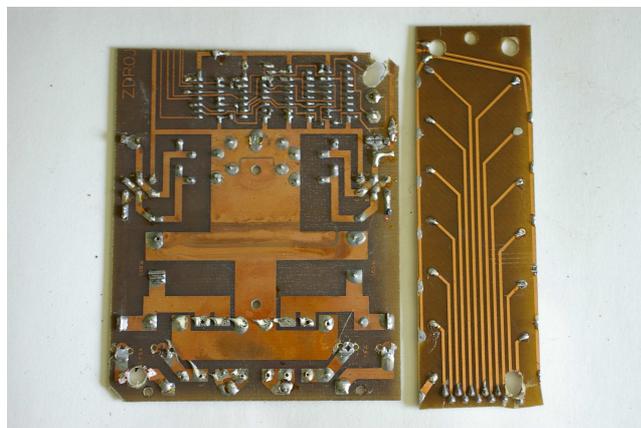


Graf 10. Šedá DPS – vzorek n=5.

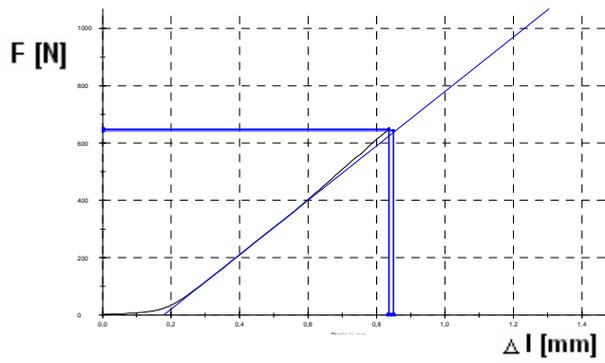
šedá	a_0	b_0	σ_{fm}	σ_{fB}	E-Modul	Nominální def-Rm	ε_{fm}	ε_{fB}	Δl_{fm}	Δl_{fB}	F_{fm}
n	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
1	1,44	45	26,83	21,68	2459,8	1,47	1,43	3,29	1,34	3,26	1738,82
2	1,44	45	26,49	5,28	2546,82	1,98	1,74	4,95	1,66	5,29	1716,34
3	1,44	45	25,06	24,58	3587,32	1,13	1	1,1	1,07	1,19	1623,78
4	1,44	45	20,92	20,79	2146,49	1,4	1,33	1,34	1,07	1,08	1355,36
5	1,44	45	16,75	15,56	1793,95	2,67	2,59	4,54	2,59	4,6	1085,35
x	1,44	45	24,96	18,14	2720,25	1,47	1,37	2,79	1,27	2,78	1617,4
s	0	0	2,37	7,53	491,47	0,31	0,27	1,59	0,26	1,76	153,69
v	0	0	9,5	41,48	18,07	21,27	19,35	56,92	20,4	63,14	9,5

Tab. 8 . Naměřené hodnoty pro šedou DPS.

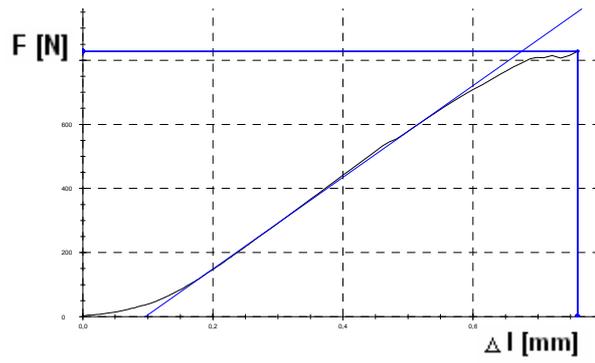
6.1.2 HNĚDÁ DPS



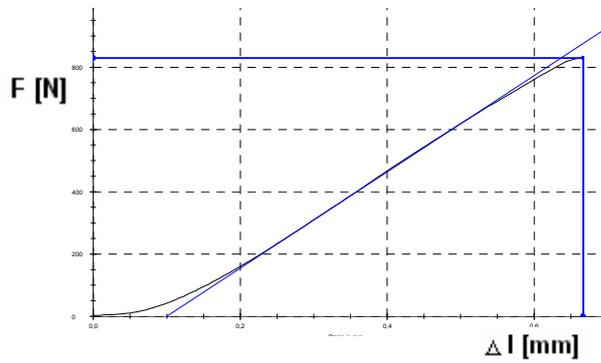
Obr. 34. Hnědá DPS



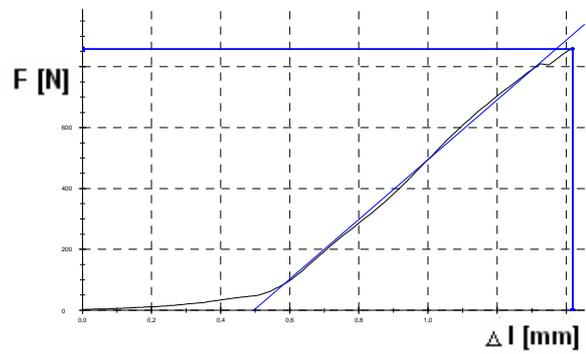
Graf 11. Hnědá DPS – vzorek n=1.



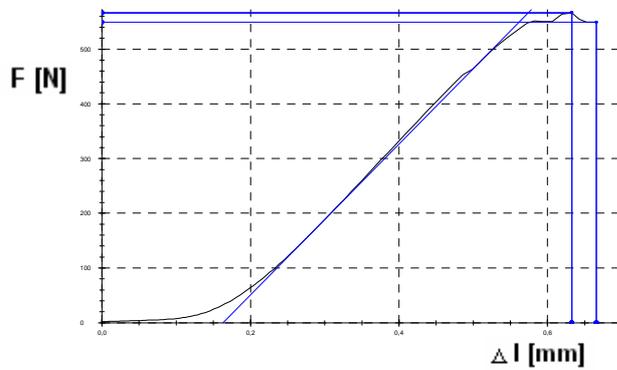
Graf 12. Hnědá DPS – vzorek n=2.



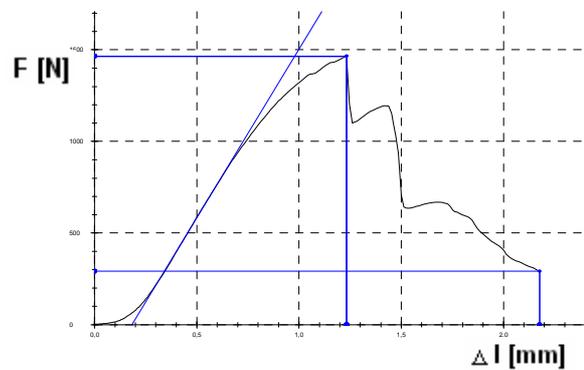
Graf 13. Hnědá DPS – vzorek n=3.



Graf 14. Hnědá DPS – vzorek n=4.



Graf 15. Hnědá DPS – vzorek n=5.



Graf 16. Hnědá DPS – vzorek n=6.

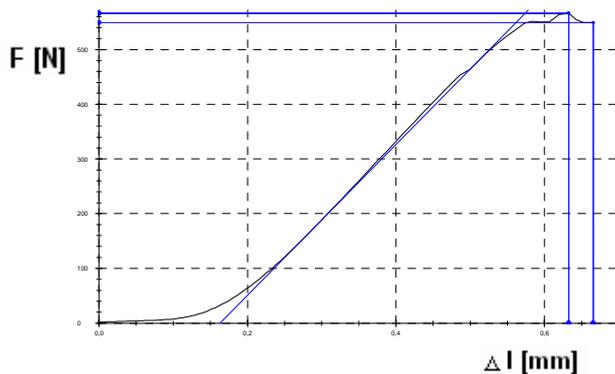
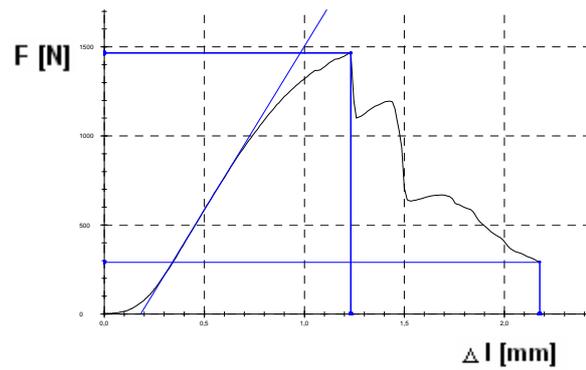
hnědá	a_0	b_0	σ_{fm}	σ_{fB}	E-Modul	Nominální def-Rm	ε_{fm}	ε_{fB}	Δl_{fm}	Δl_{fB}	F_{fm}
n	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
1	1,44	45	10,00	9,91	1495,88	0,84	0,82	0,83	0,66	0,67	648,02
2	1,44	45	12,79	12,79	2432,21	0,67	0,65	0,65	0,57	0,57	828,99
3	1,44	45	12,77	12,77	2250,6	0,76	0,75	0,75	0,67	0,67	827,38
4	1,44	45	13,25	13,25	1546,72	1,42	1,39	1,39	0,92	0,92	858,42
5	1,44	45	8,74	8,48	2170,74	0,63	0,62	0,65	0,47	0,5	566,36
6	1,44	45	22,61	4,5	2911,92	1,23	1,2	2,12	1,05	1,99	1465,15
x	1,44	45	12,38	12,13	1948,35	1,16	1,14	1,47	0,98	1,32	802,42
s	0	0	2,8	2,53	391,1	0,79	0,76	1,53	0,8	1,61	181,15
v	0	0	22,58	20,9	20,07	67,9	67,31	104,14	82,14	122,1	22,58

Tab. 9 . Naměřené hodnoty pro hnědou DPS.

6.1.3 ZELENÁ DPS



Obr. 35. Zelená DPS.


 Graf 17. Zelená DPS – vzorek $n=1$.

 Graf 18. Zelená DPS – vzorek $n=2$.

zelená	a_0	b_0	σ_{fm}	σ_{fB}	E-Modul	Nominální def-Rm	ε_{fm}	ε_{fB}	Δl_{fm}	Δl_{fB}	F_{fm}
n	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	mm	mm	N
1	1,44	45	32,96	6,57	2501,57	3,48	4,83	11,3	2,64	7,3	2135,7
2	1,44	45	25,5	18,37	2610,02	1,35	1,37	3,27	1,27	3,16	1652,59
x	1,44	45	27,78	5,53	2706,75	2,35	3,02	6,71	1,84	4,65	1800,42
s	0	0	7,32	1,46	290,16	1,59	2,56	6,49	1,12	3,75	474,15
v	0	0	26,34	26,45	10,72	67,36	85	96,68	60,88	80,73	26,34

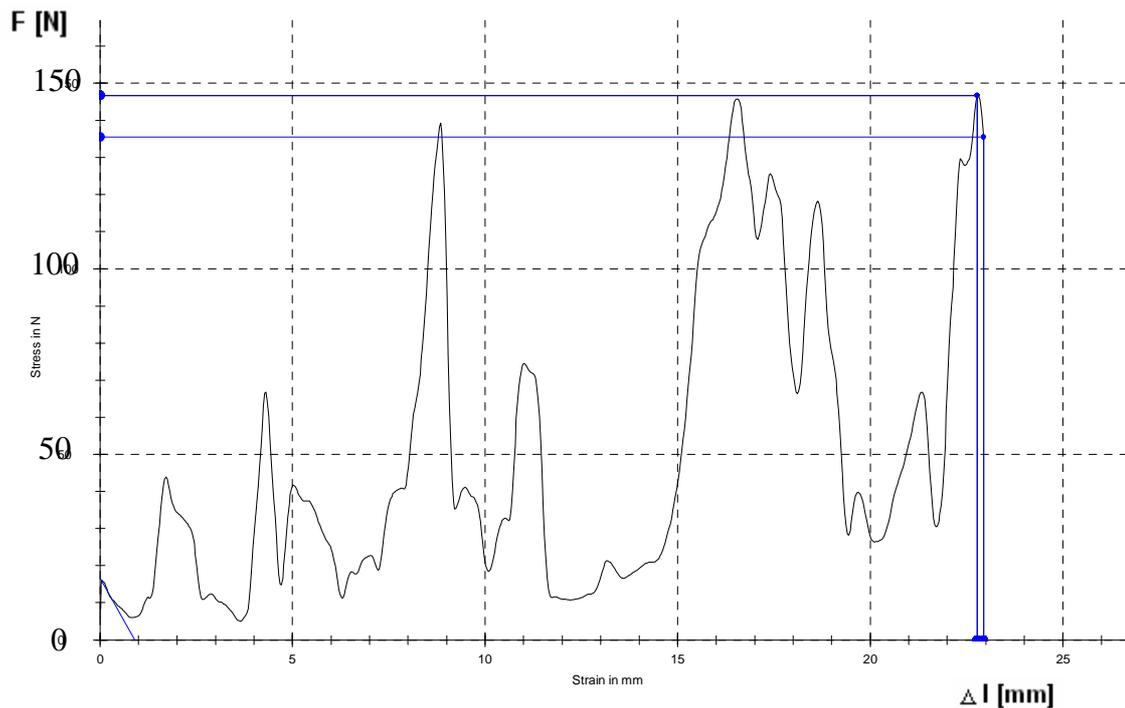
Tab. 10 . Naměřené hodnoty pro zelenou DPS.

Ze zjištěných grafů v této kapitole je zřejmé, že průměrné největší maximální dovolené napětí má zelená DPS s 1800,42 N.

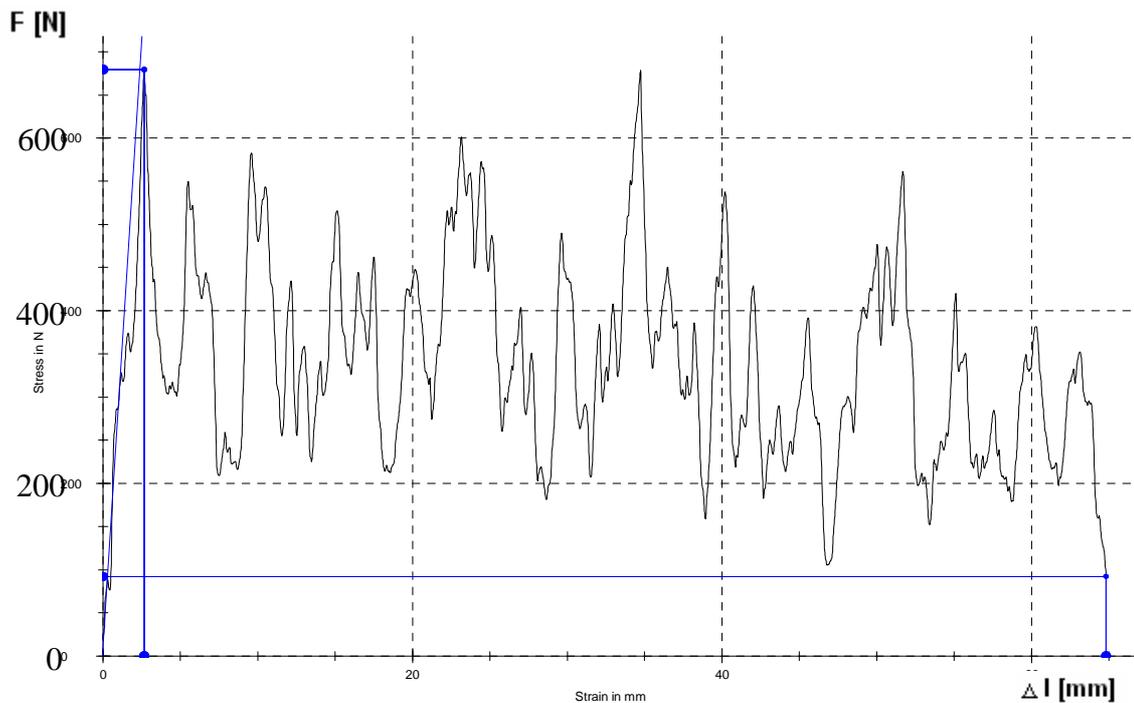
7 ODŘEZÁVÁNÍ VRSTVY DPS

Tato kapitola se zabývá samotným řezáním vrstvy DPS. Upevnění DPS apod. je blíže popsáno v kapitole 4.1.

Pro odřezávání třísky bylo vybráno 6 vzorků. U některých byly vyfrézovány v DPS drážky pro ostří nože a u posledního vzorku byla drážka broušena ručně. Průběh byl různý a tím i maximální napětí bylo různé, jak je zřejmé z následujících grafů.

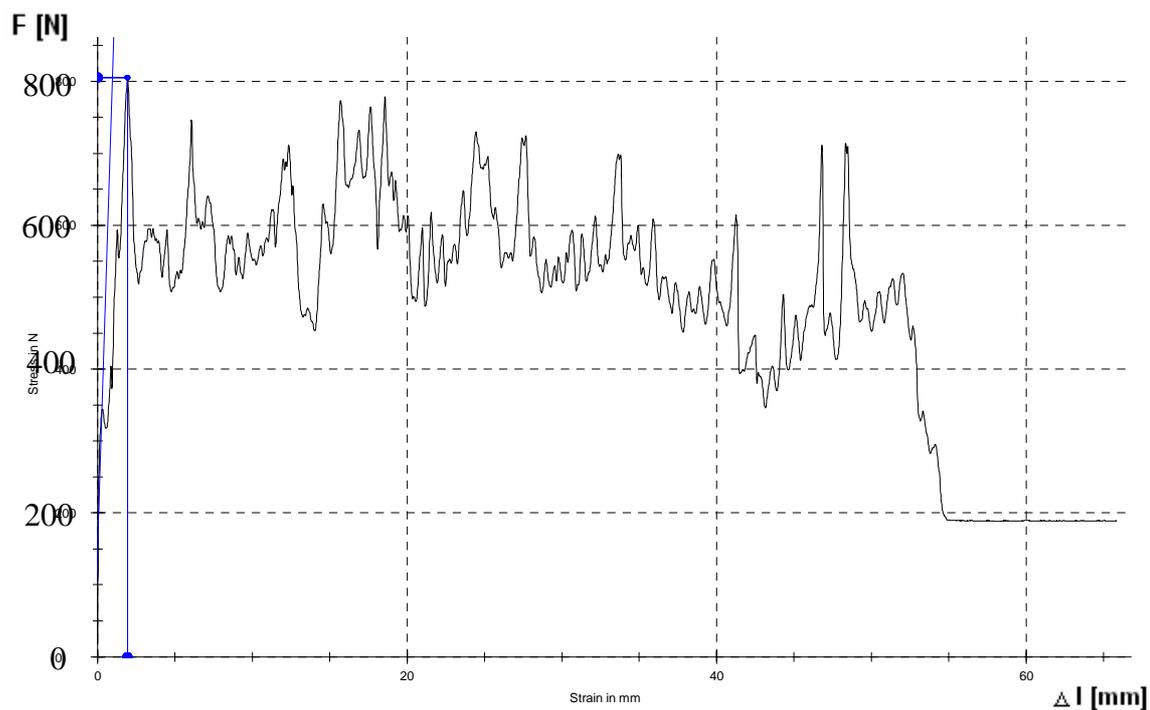
- Vzorek 1*Graf 19. Průběh napětí při řezání vzorku 1.*

Nedocházelo k odřezávání třísky, ale jenom k odstraňování cínu.

- Vzorek 2*Graf 20. Průběh napětí při řezání vzorku 2.*

Nůž byl u vzorku 2 pouze přitlačován bez drážky.

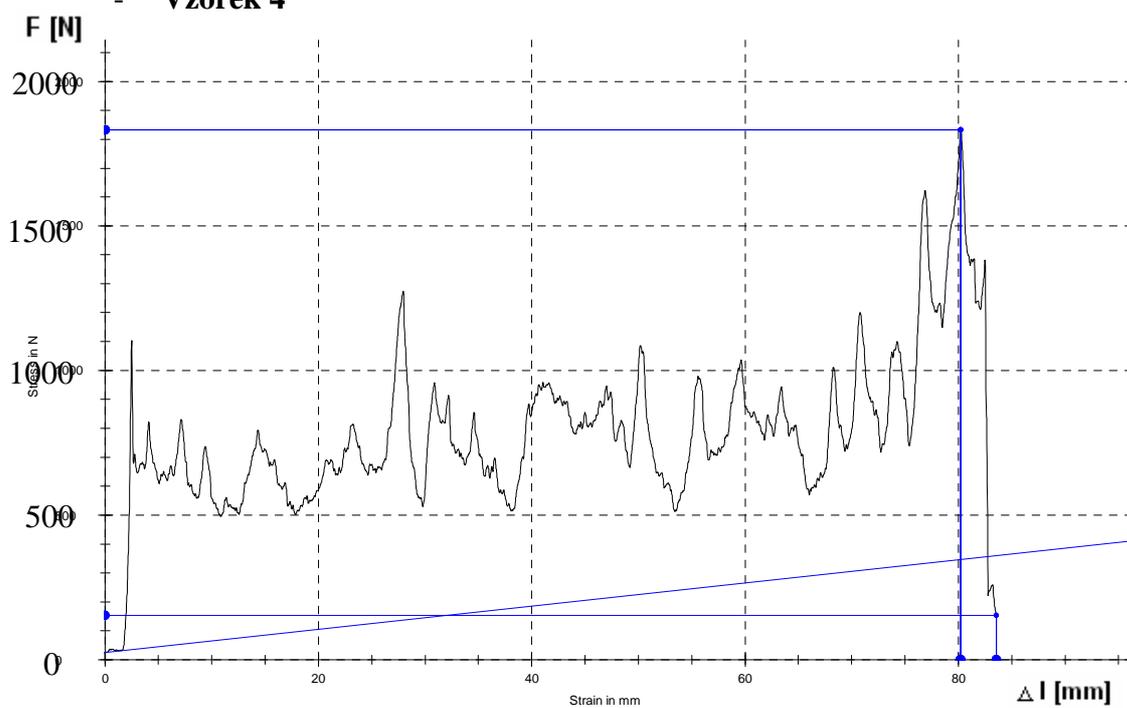
- **Vzorek 3**



Graf 21. Průběh napětí při řezání vzorku 3.

Zde je použita pilovaná drážka a tvořila se velká hloubka třísky.

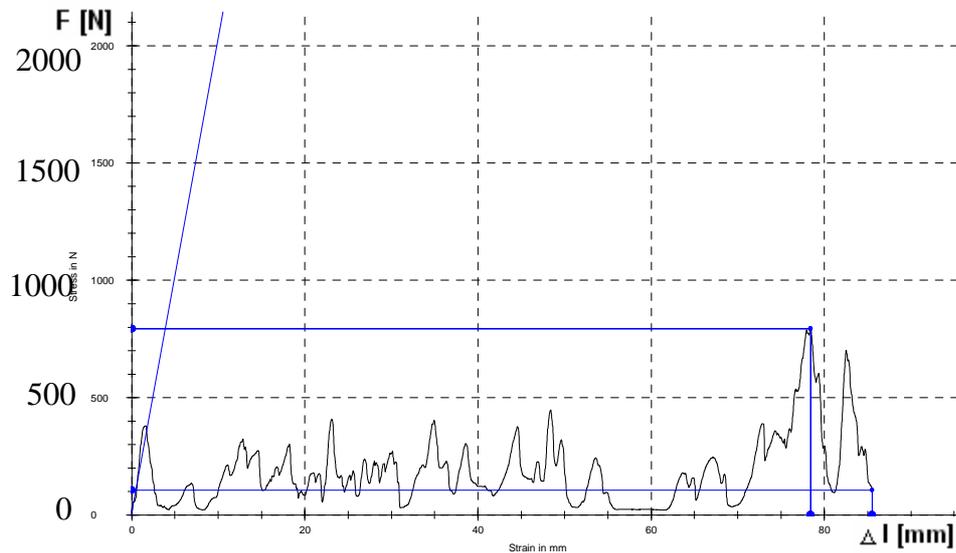
- **Vzorek 4**



Graf 22. Průběh napětí při řezání vzorku 4.

U vzorku 4 byla frézovaná drážka. Příčinou velké síly F je velká hloubka třísky, která se hromadila pod nožem a ke konci došlo k utrnutí celého tělesa.

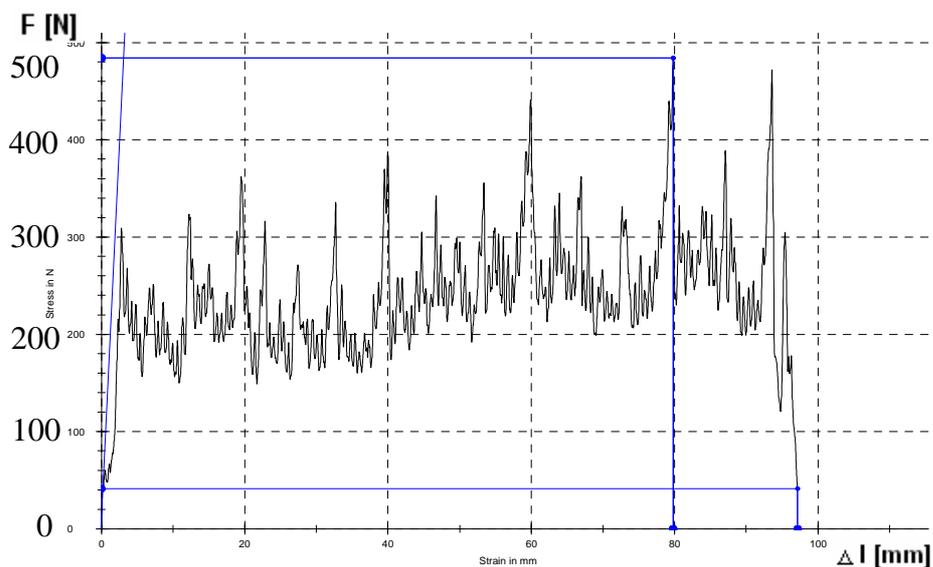
- **Vzorek 5**



Graf 23. Průběh napětí při řezání vzorku 5.

Nůž byl u vzorku pouze přitlačován bez drážky a obsahoval velké pájky.

- **Vzorek 6**



Graf 24. Průběh napětí při řezání vzorku 6.

Drážka v DPS pro ostří nože byla ručně vybroušena a to zapříčinilo tvorbu třísky, která se netvořila v celé šířce DPS.

ZÁVĚR

V bakalářské práci jsem měl za úkol navrhnout přípravek, který by sloužil k odstranění měděné fólie z desky plošných spojů (DPS).

Teoretická část má seznámit se základy DPS, jako je jejich rozdělení, výroba apod. Jako první je uvedeno rozdělení DPS na organické a anorganické, kde organické DPS lze dále dělit na ohebné či neohebné. Jako výroba je uvedena subtraktivní, aditivní a semiaditivní metoda. U semiaditivní metody je také uveden příklad výroby oboustranné DPS. Ve druhé části teorie je přiblížena teorie pájení, kam patří např. pájitelnost. Třetí a poslední část teoretické části se týká recyklace plošných spojů (PLS). Zde jsou uvedeny způsoby odstranění součástek na DPS, dále zpracování „čisté“ DPS a získávání drahých kovů z PLS.

Praktická část bakalářské práce se zabývá konstrukcí zařízení pro recyklaci PC desek ve druhém kroku zpracování, kdy dochází k samotnému odstranění měděné fólie. První kapitola praktické části se zabývá seznámením a popisem jednotlivých důležitých součástí přípravku. Dále jsou uvedeny některé mechanické konstanty z měření DPS na zařízení Zwick 1456 s teplotní komorou (-70-+290C), a také se provedlo měření, které mělo za úkol zjistit maximální dovolené napětí při řezání pro trojici vzorků – šedé, hnědé a zelené. Po tomto měření následovalo uvedení přípravku do provozu a odřezávání vrstvy DPS na několika vzorcích. Byly také vyhodnoceny síly, které při odřezávání působily.

Výhodou bylo, že piny, které zůstávaly v otvorech pro součásti, po jejich odřezání, byly odstraněny při odřezávání vrstvy.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] STARÝ, J. Plošné spoje a povrchová montáž. [online]. **2003/2004**, 11-102 Dostupný z WWW:
<http://www.utko.feec.vutbr.cz/~misurec/vyuka/ls0607/Plosne_spoje_a_povrchov_a_montaz_S_P.pdf>.
- [2] MÁČALÍK, T. *Možnosti recyklace tištěných spojů*. UTB ve Zlíně, **2007**. 42 p.
- [3] ZÁHLAVA, V. Metodika návrhu plošných spojů. [online]. **2002**, 19-24 Dostupný z WWW: <<http://www.semach.cz/pdf/metodika.pdf>>.
- [4] STARÝ, J. "Bez Nadpisu". [online]. Dostupný z WWW:
<<http://147.229.68.79/SMT/eltext/PSPM/1.pdf>>.
- [5] *Environment Protection and Heritage Council: Movement of Controlled Waste NEPM* [online]. South Australia : National Environment Protection Council Service Corporation, **2004**, 4/7/05 [cit. 2007-04-12]. Dostupný z WWW: <http://www.ephc.gov.au/nepms/waste/waste_intro.html>.
- [6] CHMELA, Tomáš. Možnosti recyklace plošných spojů. *Odpadové fórum*. **2006**, č. 11, s. 18-19.
- [7] BOUŠA, Martin. *Projekt recyklace elektronických zařízení* [online]. Praha: Vitaro, **2003** [cit. 2007-04-10]. Dostupný z WWW:
<<http://www.vitaro.cz/?pg=projektRecyklaceElektronZar&m=elektro>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SMT	Surface Mounting Technology – Technologie montáže a pájení součástek na povrch desky plošného spoje
SMD	Surface Mount Device – Zařízení pro povrchovou montáž
DPS	Deska plošných spojů
PET	Polyetyléntereftalát
PEN	Polyetylénaftalát
PTFE	Polytetrafluoretylen
CE	Kyanáttestery
FR	Flame resist (retardant) – Ohni vzdorný
CEM	Composite Epoxy Material – Označení kompozitu
TCE	Tepelná roztažnost
T _g	Teplota skelného přechodu
HAL	Hot Air Levelling - Přetavení DPS ve bezolovnaté slitině cínu a následné ofouknutí horkým vzduchem, čímž se zarovnají pájecí plošky do roviny
PLS	Plošný spoj
EU	European Union – Evropská unie
WEEE	Waste Electrical and Electronic Equipment – Evropská směrnice
RoHS	Restriction on Hazardous Substance
Cu	Měď
Sn	Cín
Pb	Olovo
Au	Zlato
Pd	Palladium
HRC	Tvrдость podle Rockwella - Tvrдость určená diamantovým kuželem (C = cone) při celkovém zatížení 1500 N.

Ra	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
ČSN	Česká technická norma
n	Počet zkoušených vzorků DPS
a ₀	Tloušťka zkoušené DPS
b ₀	Šířka zkoušené DPS
σ_{fm}	Napětí na mezi pevnosti
σ_{fB}	Napětí při přetržení
E	Modul pružnosti
ε_{fm}	Poměrná deformace na mezi pevnosti
ε_{fB}	Poměrná deformace při přetržení
Δl_{fm}	Deformace na mezi pevnosti
Δl_{fB}	Deformace při přetržení
F _{fm}	Síla na mezi pevnosti

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Odolnost materiálů v pájecí lázni	13
Obr. 2. Navlhavost materiálů	13
Obr. 3. Stručný přehled spojů	14
Obr. 4. Subtraktivní metoda	18
Obr. 5. Aditivní metoda	19
Obr. 6. Reálný profil leptaného spoje	20
Obr. 7. Semiaditivní postup výroby dvoustranných plošných spojů	21
Obr. 8. Semiaditivní postup výroby čtyřvrstvé desky plošných spojů	23
Obr. 9. Faktory ovlivňující spolehlivost pájeného spoje	26
Obr. 10. V levé části je správný spoj, v části prvé se nachází studený spoj	27
Obr. 11. Vadné pájené spoje	27
Obr. 12. Správně zapájené spoje	28
Obr. 13. První krok zpracování - Odstranění součástek	32
Obr. 14. Odřezaná vrstva DPS_1	32
Obr. 15. Ukázka šířky DPS a nože	33
Obr. 16. Rozteč kolíků a DPS	33
Obr. 17. Držák_2	34
Obr. 18. Kolík	34
Obr. 19. Držák_1	34
Obr. 20. Čep_2	35
Obr. 21. Nůž	36
Obr. 22. Nosník nože - Pohled shora	36
Obr. 23. Nosník nože - Pohled ze spodu	36
Obr. 24. Stojina-pohled na průchozí díru k upevnění nosníku nože	37

Obr. 25. Stojina-pohled na neprůchozí díru k upevnění na držák_3	38
Obr. 26. Zrcadlové umístění otvorů na stojinách	38
Obr. 27. Čep bez ložisek	39
Obr. 28. Čep s ložisky	39
Obr. 29. Sestava	39
Obr. 30. Universální zkušební stroj s teplotní komorou	40
Obr. 31. Upnutí vzorku do stroje	45
Obr. 32. Porušení v místech otvorů pro součástky	46
Obr. 33. Šedá DPS	46
Obr. 34. Hnědá DPS	48
Obr. 35. Zelená DPS	50

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Vlastnosti nejpoužívanějších organických základních materiálů	12
Tab. 2. Srovnání anorganických substrátů	15
Tab. 3. Tahová zkouška hnědé DPS	41
Tab. 4. Tahová zkouška šedé DPS	42
Tab. 5. Tahová zkouška bílé DPS (T=20 °C)	42
Tab. 6. Tahová zkouška bílé DPS (T=175 °C)	43
Tab. 7. Závislost modulu pružnosti a meze pevnosti na teplotě a typu matrice	45
Tab. 8. Naměřené hodnoty pro šedou DPS	48
Tab. 9. Naměřené hodnoty pro hnědou DPS	50
Tab. 10. Naměřené hodnoty pro zelenou DPS	51

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1.	Závislosti síly[N] na prodloužení [mm]. Hnědá matrice	41
Graf 2.	Závislosti síly[N] na prodloužení [mm]. Šedá matrice	42
Graf 3.	Závislosti síly[N] na prodloužení [mm]. Bílá matrice	43
Graf 4.	Závislosti síly[N] na prodloužení [mm]. Bílá matrice	44
Graf 5.	Závislost modulu pružnosti na teplotě bílé matrice	44
Graf 6.	Šedá DPS – vzorek n=1	47
Graf 7.	Šedá DPS – vzorek n=2	47
Graf 8.	Šedá DPS – vzorek n=3	47
Graf 9.	Šedá DPS – vzorek n=4	47
Graf 10.	Šedá DPS – vzorek n=5	47
Graf 11.	Hnědá DPS – vzorek n=1	49
Graf 12.	Hnědá DPS – vzorek n=2	49
Graf 13.	Hnědá DPS – vzorek n=3	49
Graf 14.	Hnědá DPS – vzorek n=4	49
Graf 15.	Hnědá DPS – vzorek n=5	49
Graf 16.	Hnědá DPS – vzorek n=6	49
Graf 17.	Zelená DPS – vzorek n=1	51
Graf 18.	Zelená DPS – vzorek n=2	51
Graf 19.	Průběh napětí při řezání vzorku 1	52
Graf 20.	Průběh napětí při řezání vzorku 2	52
Graf 21.	Průběh napětí při řezání vzorku 3	53
Graf 22.	Průběh napětí při řezání vzorku 4	53
Graf 23.	Průběh napětí při řezání vzorku 5	54
Graf 24.	Průběh napětí při řezání vzorku 6	54

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha P I Výrobní výkres: NOSNÍK NOŽE
- Příloha P II Výrobní výkres: STOJINA
- Příloha P III Výrobní výkres: NŮŽ
- Příloha P II Výrobní výkres: ČEP
- Příloha P V Výrobní výkres: DRŽÁK_2
- Příloha P VI Výrobní výkres: DRŽÁK_1
- Příloha P VII Výrobní výkres: KOLÍK M14
- Příloha P VIII Výrobní výkres: DRŽÁK_3
- Příloha P IX Výrobní výkres: ČEP_2
- Příloha P X Video – Odřezávání vrstvy desky DPS