



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

LASEROVÉ PÁJENÍ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

LASER BRAZING IN THE CAR INDUSTRY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTERS'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. MICHAL PODSTAVEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR
BRNO 2014

ING. JAROSLAV KUBÍČEK

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Michal Podstavek

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem c.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Laserové pájení v automobilovém průmyslu

v anglickém jazyce:

Laser brazing in the car industry

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Produkce automobilu je dnes vysoce sofistikovaná činnost využívající nejnovější poznatky vědy a nejmodernější výrobní technologie. Laserové pájení je stále více využíváno při konstrukci karoserie automobilu. Cílem práce je ověřit vstupní parametry laserového paprsku na jakost pájeného spoje.

Cíle diplomové práce:

1. Rozbor metod spojování v konstrukci karoserie automobilu
2. Návrh experimentální práce se zaměřením na laserové pájení
3. Princip hodnocení kvality pájeného spoje
4. Provedení experimentu s využitím metalografické, materiálové a EDX analýzy s ohledem na stupeň kvality
5. Diskuze výsledku a technické hodnocení

Seznam odborné literatury:

1. DVORÁK, M. a kol. Technologie II, 2vyd. CERM Brno, 7/2004, 237s. ISBN 80-214-2683-7
2. PILOUS, V. Materiály a jejich chování při svařování, 1vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009
3. BARTÁK, J. Výroba a aplikované inženýrství, 1vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009
4. KOLEKTIV AUTORU. Materiály a jejich svařitelnost, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 292s. ISBN 80-85771-85-3
5. KOLEKTIV AUTORU. Technologie svařování a zařízení, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 395s. ISBN 80-85771-81-0
6. KOLEKTIV AUTORU. Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení, 1vyd. Zeross, Ostrava 1999, 249s. ISBN 80-85771-70-5
7. KOLEKTIV AUTORU. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování, 1vyd. Zeross, Ostrava 2000, 214s. ISBN 80-85771-72-1
8. BENKO B., FODEREK P., KOSECEK M., BIELAK R.l: Laserové technologie, 1.vyd., Bratislava, Vydavateľstvo STU, 2000, edice 4859, ISBN 80-227-1425-9
9. DULEY W.W.: Laser welding, New York 1999, A.Wiley-Interscience publication, ISBN 0471-24679-4

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Kubíček

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 21. 11. 2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

PODSTAVEK Michal: Laserové pájení v automobilovém průmyslu.

Projekt vypracovaný v rámci inženýrského studia oboru M-STG Strojírenská technologie popisuje základní metody spojování v automobilovém průmyslu. Dále se zabývá optimalizací pájecího procesu na zadním víku ŠKODA Superb. V rámci optimalizace procesu bylo navrženo šest vzorků, na kterých byla provedena změna pájecích parametrů. Vzorky byly následně vyhodnoceny tahovou a metalografickou zkouškou. Poté byla provedena EDS analýza a pohledové posouzení jednotlivých spojů.

Klíčová slova: svařování, pájení, zadní víko, karoserie

ABSTRACT

PODSTAVEK Michal: Laser brazing in the car industry.

The project elaborated in frame of engineering studies of the subject M-STG Mechanical Engineering describes elementary methods of joining in the automotive industry. Moreover, it inquires into optimization of laser brazing on the back cover ŠKODA Superb. During the optimization of the process six samples were designed, and the adjustment of the brazing parameters were performed. Consequently, the samples were evaluated by tensile and metallographic tests. Finally, EDS analysis was performed and visual assessment as well.

Keywords: welding, brazing, back cover, car body

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PODSTAVEK, Michal. *Laserové pájení v automobilovém průmyslu*. Brno, 2014. 64s, 56 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie svařování a povrchových úprav. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubíček.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 26. 5. 2014

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Jaroslavu Kubíčkoví, Ing. Tomáši Pilvousekovi, Ing. Romanu Biedlovi, panu Michalovi Plachetkovi a panu Petrovi Marčíkovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD.....	11
1 ROZBOR METOD SVAŘOVÁNÍ V KONSTRUKCI KAROSERIE.....	12
1.2 Bodové svařování	12
1.2.1 Použití bodových svarů na konstrukci automobilu.....	13
1.2.2 Hodnocení kvality bodového spoje.....	14
1.3 Svařování metodou MAG	15
1.3.1 Použití MAG svarů na konstrukci automobilu.....	16
1.3.2 Hodnocení kvality MAG svaru	16
1.4 Pájení metodou MIG.....	18
1.4.1 Použití MIG pájení na konstrukci automobilu	18
1.4.2 Pájení metodou CMT.....	19
1.4.3 Zkoušky MIG svarů	19
1.5 Laserové svařování	20
1.5.1 Použití laserového svařování na konstrukci automobilu	20
1.5.2 Laser svary a technologie Tailored blanks	20
1.5.3 Zkoušky laser svarů	21
1.6 Laserové pájení.....	21
1.6.1 Použití laserového pájení na konstrukci automobilu	22
2 HODNOCENÍ KVALITY PÁJENÉHO SPOJE.....	23
2.1 Nedestruktivní zkoušky pájeného spoje	23
2.2 Destruktivní zkoušky	25
3 NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍ PRÁCE LASEROVÉHO PÁJENÍ.....	29
3.1 Laserové pájení pátých dveří.....	29
3.1.1 Změny klíčových parametrů.....	29
3.1.2 Materiál zadního víka	31
3.1.3 Složení a vlastnosti pájky	31
4 PROVEDENÍ EXPERIMENTU.....	32
4.1 Zařízení pro laserové pájení	32
4.2 Příprava vzorků na zkušební testy	33
4.3 Zkouška tahem.....	34
4.3.1 Vyhodnocení zkoušky tahem	35
4.4 Metalografické hodnocení spoje.....	38
4.4.1 Příprava metalografických vzorků.....	38
4.4.2 Vyhodnocení metalografických vzorků	40
4.5 Charakteristika laserového spoje z chemického hlediska	55
4.6 Vizuální kontrola pájeného spoje	59
5 DISKUZE VÝSLEDKŮ EXPERIMENTU	62
6 ZÁVĚR.....	64

Seznam použité literatury

Seznam použitých symbolů

Seznam příloh

ÚVOD [35], [40]

Automobily, které byly vyráběny na přelomu 19. a 20. století, měly nosné části podvozků a chassis kompletovány pomocí nýtů. Nýtové spoje se používaly z důvodů nedůvěry v životnost dynamicky namáhaných spojů. Teprve masivní automobilové rámy (viz obr. 2), přinesly do automobilového průmyslu technologii svařování obalenou elektrodou. Plechové části vozu, posazené na podvozcích, byly spojovány autogenem.

Používání svařování, pájení a jiných technologií při výrobě automobilů přinesl až nástup samonosných karoserií (viz obr. 1) ve čtyřicátých letech minulého století. V současnosti se stále vyrábějí automobily s oddělenou podvozkovou částí, ale je to poměrně okrajová záležitost a v současné době masovou úlohu zaujímají karoserie s integrovanou nosnou funkcí. Samonosné karoserie přinesly rozmanitý vývoj do té doby málo používané, případně nové technologie spojování. Technologie svařování se stala první metodou, která byla robotizována a zvýšila produktivitu při výrobě karoserií vozu.

Novodobá sériová výroba automobilů se ubírá k maximální minimalizaci všech nákladů na výrobu vozidel. Tento novodobý trend nutí automobilové společnosti ke hledání nových materiálů a s nimi vylepšené a nové technologie spojování, jako je například laserové pájení. Tyto poměrně nové technologie jsou zapotřebí neustále podrobovat sériím testů, zkoušek a optimalizačním procesům, aby byla zachována požadovaná kvalita a bezpečnost automobilů.



Obr. 1 Samonosná karoserie automobilu [4]



Obr. 2 Automobilový rám [5]

1. ROZBOR METOD SVAŘOVÁNÍ V KONSTRUKCI KAROSERIE [35], [40]

V automobilovém průmyslu se setkáváme s mnoha různými metodami spojování. Mezi ty nejzákladnější patří svařování, pájení, lepení, šroubové spoje, nýtové spoje atd. Z důvodu nepřehledného množství těchto technologií jsou zde představeny jen ty nejzákladnější technologie užívané při konstrukci karoserie automobilu.

Nejširší uplatnění při stavbě karoserie jednoznačně nachází svařování a pájení. V současnosti se většina svarových spojů při výrobě automobilu využívá metoda bodového svařování a svařování metodou MAG. Technologie MAG má při výrobě vozů nižší střední třídy podíl okolo 1,5 %, střední třídy okolo 8,5 % a robustních modelů SUV okolo 25 %. Podíl odporového bodového spojování se postupně snižuje, ale tento pokles není tak rychlý, jak se s nástupem nových materiálů a expanzí možnostech lepení předpokládalo. Bodové svařování i nadále zaujímá prvenství při výrobě skeletu automobilu. Moderní metody, jako je svařování a pájení laserem hrají také velmi důležitou úlohu při stavbě moderních a tvarově náročných dílů karoserie, jejich podíl zatím není vyšší než cca 10 %. Laserové pájení se však stalo standartní metodou při výrobě vnějších pohledových dílů, jako je například zadní víko.

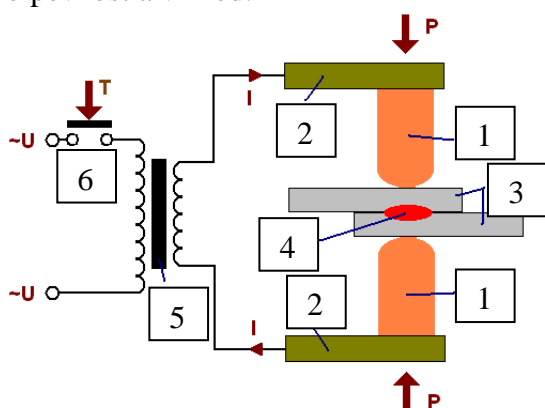
1.2 Bodové svařování [10], [11], [12]

Bodové svařování v současné době stále zaujímá největší podíl při výrobě karoserií, (viz obr. 3). Celosvětový automobilový průmysl vyrobí každodenně kolem dvou miliard bodových svarů. Tato technologie je založena na principu průtoku elektrického proudu svařovanými materiály, kde se materiál ohřeje odporovým teplem a za současného působení přitlačné síly vznikne nerozebíratelný spoj (viz obr. 4).

Velký význam při odporovém svařování mají parametry. Svařovací proudy se pohybují v rozmezí 10^3 až 10^5 A, přitlačné síly se pohybují v rozmezí 500 až 10 000 N a svařovací časy v rozmezí 0,04 až 2 s. Tyto tři základní parametry určují vlastnosti svaru, jeho pevnost a vzhled.



Obr. 3 Robotové pracoviště – bodování [27]



- 1 ... elektrody
- 2 ... přitlačná ramena
- 3 ... svařovaný materiál
- 4 ... bodový svar
- 5 ... výkonný transformátor
- 6 ... spínač zdroje

Obr. 4 Princip bodového svařování [3]

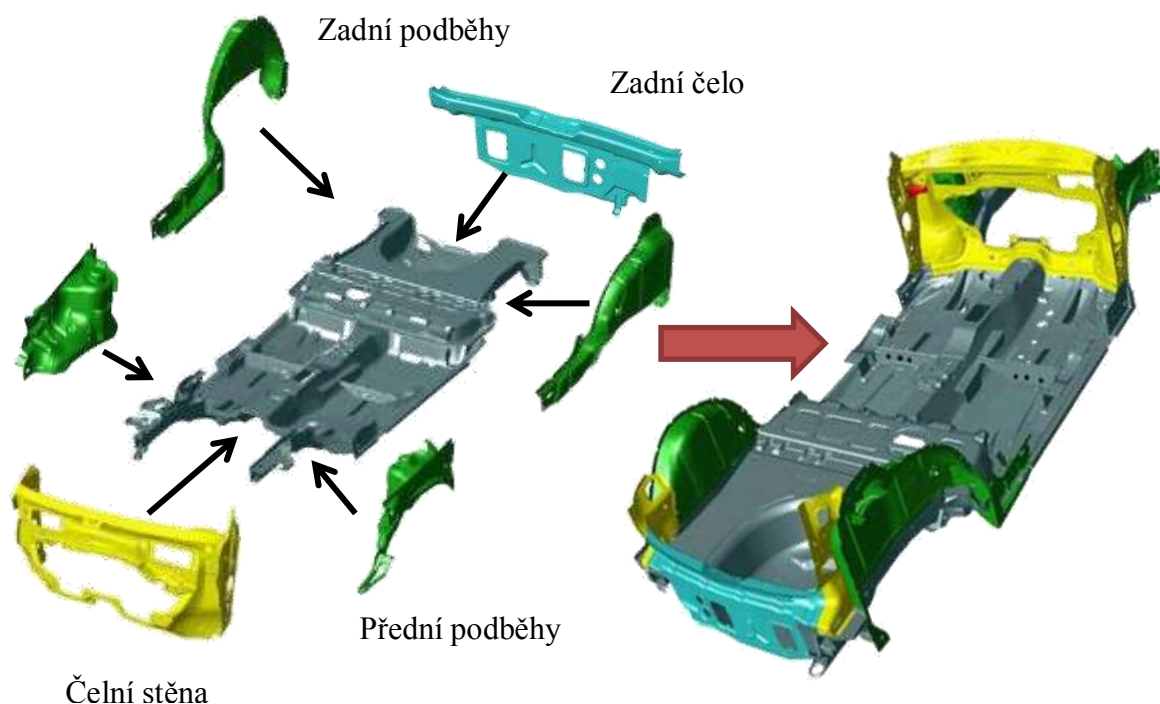
Bodově můžeme svařovat prakticky všechny druhy ocelí, a to pozinkované nebo jinak pokovené materiály. Bodovat také můžeme plechy z hliníku a jeho slitin, ale dokonce i materiály technologicky komplikované, např. titan.

Svařování pozinkovaných plechů je složitý proces. Pozinkované plechy se svařují jedním, nebo více pulzy. Při svařování dvěma pulzy může být první pulz krátký a vysoký pro odstříknutí pozinku nebo nízký pro odtavení pozinkované vrstvy. Teplota tavení zinku je cca 420 °C, teplota pro odpaření zinku je cca 903 °C a teplota pro vytvoření čočky je přibližně 1150 °C. Při bodovém svařování pozinkovaných plechů je důležité dodržovat průměr svařovací plochy elektrody na stejném rozměru. Při jeho zvětšování může dojít k tomu, že veškeré svařovací parametry budou dodrženy, vzhled svarů bude rovněž normální, ale „držet“ budou jen za slepenou vrstvou zinku.

1.2.1 Použití bodových svarů na konstrukci automobilu

Bodové svařování, jak již bylo řečeno, má na konstrukci karoserie značný podíl. V porovnání s ostatními metodami spojování, které se využívají na konstrukci automobilů, se bodové svařování vyznačuje snadnou automatizací a robotizací, která probíhají ve velmi krátkých časových intervalech.

Při výrobě skeletu automobilu se bodové svařování využívá k sestavení několika menších podsestav, jako je např. držák sedačky, přední podběh, zadní podběh atd. Až po sestavení složitých sestav, jako je například sestavení nosné části podlahy (viz obr. 5, obr. 6), kde se pomocí bodovacích kleští na robotovém pracovišti spojí jednotlivé díly, jako je čelní stěna, přední podběhy, zadní podběhy a zadní čelo.



Obr. 5 Nosná část podvozkové části ŠKODA Roomster [32]

Obr. 6 Úplná nosná část podvozku ŠKODA Roomster [32]

Bodové svařování plní především funkce integrace jednotlivých skupin a podskupin, ale také musí splňovat požadavky ohledně statického a dynamického zatížení. Proto je nutná nosnost spoje pro kmitavá namáhání neustále prokazovat zkouškami. Pro docílení požadovaných pevnostních a torzních vlastností skeletu je třeba na významných deformačních místech tuto metodu doplnit pevnostními metodami, jako je například svařování metodou MIG/MAG.

1.2.2 Hodnocení kvality bodového spoje [1], [23], [39]

Kontrola spoje provedeného odporovým bodovým svařováním se obvykle provádí pomocí destruktivních zkoušek, ale své uplatnění tu najdou i nedestruktivní zkoušky.

Nedestruktivní zkoušky:

- **Pohledová zkouška:** Pohledovou zkouškou se kontroluje, zda svar nevykazuje stříkance, ostřiny, přilnutí mědi, hluboké krátery, správný počet a polohu svarových bodů.
- **Klínová zkouška:** Při této zkoušce se vedle, popřípadě mezi svarové body zarazí plochý sekáč. Tato zkouška má malé destruktivní účinky a používá se spíše jako doplňková zkouška. Často se používá mezi intervaly destruktivních zkoušek. Tato zkouška slouží pro kontrolu svářecího zařízení a lze ji dodatečně použít pro odhad požadovaného minimálního průměru bodového svarového spoje. Jelikož se u odporového bodového svařování používají materiály od tloušťky $> 1,0 \text{ mm}$ a plechy o pevnosti v tahu $> 400 \text{ N.mm}^{-1}$. U těchto materiálů se klínová zkouška nepoužívá.
- **Ultrazvuková zkouška:** Ultrazvukový signál se v homogenním prostředí šíří přímočaře. Mezi rozhraním dvou prostředí jako jsou: Póry, dutiny, bubliny, trhliny, struska a podobně, se signál odrazí a zobrazí se na obrazovce takzvané poruchové echo. Ultrazvuková zkouška (viz obr. 7) se používá jako nahrazení, nebo doplněk klínové zkoušky.



Obr. 7 Kontrola dílů ultrazvukovým přístrojem [39]

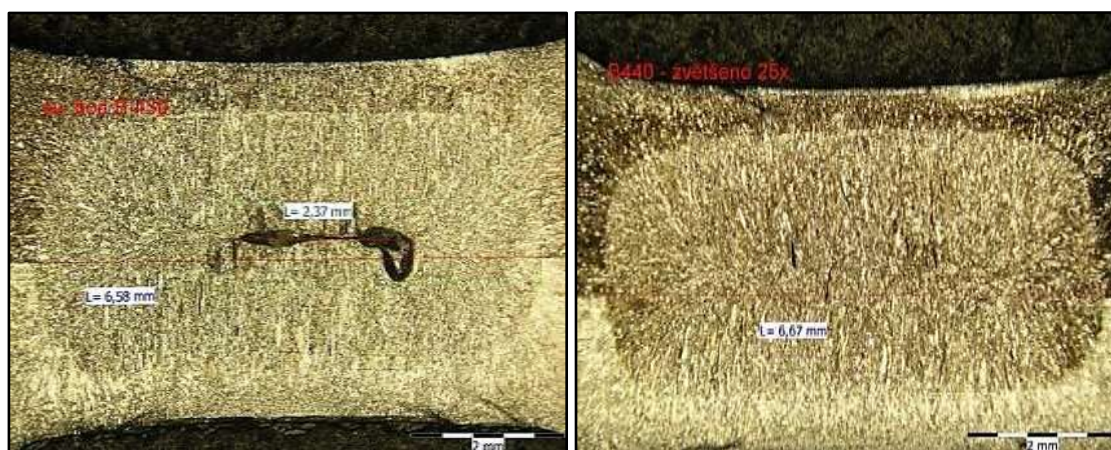
Destruktivní zkoušky:

- **Zkouška vrcholového tahu:** Tato zkouška se provádí tahem v trhacím stroji. Zatížení je vedeno kolmo k rovině plechu u bodového svaru.
- **Zkouška sekáčem:** Při této zkoušce sekáčem se tvarovaný sekáč zasune mezi svařené plechy, až dojde k destrukci svarového bodu, nebo k jeho zlomení v oblasti spoje (viz obr. 8). Pro vysoko-pevnostní a tvarově vytvrzené oceli k zušlechťování se jako náhrada používá příčný výbrus, kterým se zjistí průměr čochy.



Obr. 8 Sekáčova zkouška [39]

- **Zkouška loupáním a odvíjením:** Při této zkoušce se pomocí odvíjecího trnu zničí bodový svarový spoj odvíjecích se plechů. Při tomto testování může prasknout jak svarový bod, tak také konstrukční díl. U této zkoušky měření průměru čočky je dost obtížné, někdy i nemožné.
- **Stříhová zkouška:** U této technologické zkoušky je bodový svar pomocí trhacího stroje zkoušen až do selhání svarového spoje nebo konstrukčního dílu. Je také zapotřebí měřit potřebnou trhací sílu, která vede k selhání svaru. Tato metoda umožňuje pomocí různých technologických přípravků simulovat reálný směr namáhání.
- **Metalografická zkouška:** Tato zkouška se pokud možno provádí u všech svarových bodů, které přenášejí sílu, a není ji možné provést na statických destruktivních zkouškách. Bodové svary se uprostřed rozříznou a provede se metalografický výbrus. Na tomto příčném výbrusu pak lze určit jak průměr čočky, tak i nepravidelnosti (póry, vylučování oxidů, otvory hranice zrn a povrchové trhliny, popřípadě mikrotrhliny), (viz obr. 9).

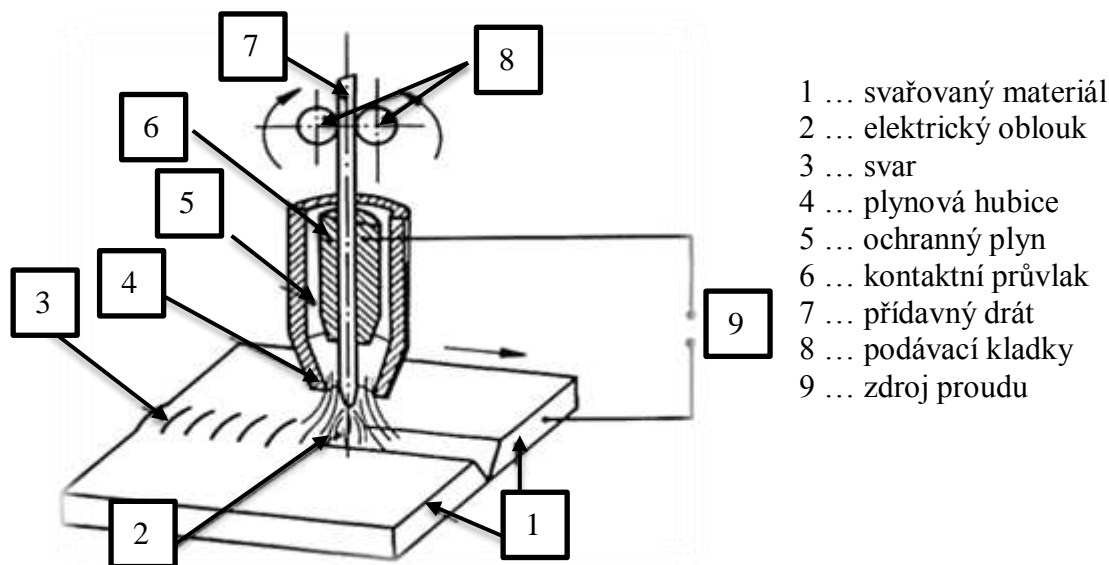


Obr. 9 Příklad metalografických výbrusů svarových bodů [39]

1.3 Svařování metodou MAG [35], [13]

Druhou nejvýznamnější metodou při výrobě karoserie automobilu je svařování v ochranné atmosféře MAG (Metall Active Gas). Patří do skupiny metod tavného svařování. Princip metody je založen na hoření oblouku mezi tavící se elektrodou ve formě drátu a základním materiálem v ochranné atmosféře aktivního plynu. Napájení drátu elektrickým proudem je uskutečněno třecím kontaktem v ústí hořáku. Drát je podáván pomocí podávacích kladek umístěných v podavači. Metoda MAG má vysokou proudovou hustotu, která dosahuje až $600 \text{ A}\cdot\text{mm}^{-2}$. Svařovací proudy pro tenké plechy, které jsou svařovány drátem o průměru 0,6 – 1,0 mm, dosahuje hodnoty až 800 A. Charakter přenosu kovu obloukem závisí na parametrech při svařování a ochranném plynu. V automobilovém průmyslu se využívá přenos zkratový, protože je ideální pro svařování tenkých plechů.

MAG se používá ke svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Vyznačuje se vysokou produktivitou, snadnou automatizací a robotizací. Při dodržení všech podmínek svařování, tj. přesnost svařovacích přípravků, přesnost vstupních dílů, dodržení vstupních svařovacích parametrů, správné svařovací polohy a trajektorie pohybů svařovacího hořáku, je opakovatelnost jakostních svarů velmi vysoká.



Obr. 10 Schéma zařízení pro MAG svařování [2]

1.3.1 Použití MAG svarů na konstrukci automobilu [39], [30]

Použití této metody na jednotlivých sestavách a podsestavách karoserie se značně liší dle typu a konstrukce vozu. Kromě karoserie se tato metoda využívá na svařování předních a zadních náprav a výfukových systémů. Obě dvě části náprav jsou dosti komplikované a robustní sestavy. Například celková délka MAG svarů u modelu SUV VW Tuareg na obou nápravách činí až 22 m.

MAG svary jsou významné svojí pevností. Proto konstruktéři tyto spoje předepisují do deformačních zón, kde je třeba zaručit pevnost spoje. Tyto spoje svým významem musí být neustále kontrolovány. Vybraní pracovníci mají na starosti určitý počet spojů, které vizuálně musí překontrolovat. Je předepsána i četnost zkoušek (destruktivních a nedestruktivních), které prověří správnost spojů.

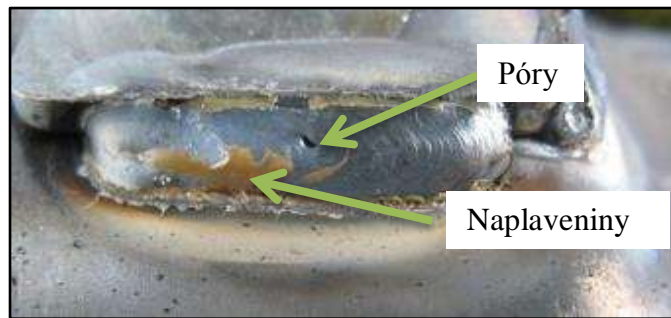
Automobilový průmysl klade vysoký důraz na kvalitu a produktivitu při svařování, proto je třeba se věnovat správnému nastavení svařovacích parametrů (nastavení proudu, množství plynu, posuv drátu atd.). Správné parametry, stabilita procesu a zručnost svářečského dělníka nám zaručí správné provedení svaru. Tím omezíme náklady na případné opravy po sváření. Při svařování nám vznikají okuje, trhliny, póry, neprovažené spoje a rozstříky. Těmto jednotlivým vlivům se nikdy stoprocentně neubráníme, proto se MAG umísťuje také do míst, které jsou vizuálně zákazníkovi nedostupné a do oblastí, kde nám případné rozstříky a okuje nepoškodí pohledové části karoserie.

Významný faktor pro co nejlepší svarový MAG spoj je volba ochranného plynu. Ochranný plyn nám ovlivňuje ionizaci atmosféry, přenos kapek v oblouku, rozstřík, rozsah chemických reakcí a teplotní poměry v oblouku. Nejpříjemnější kombinací je směs plynů Argon + CO₂. Sice je tato směs podstatně dražší než při použití čistého CO₂, ale dává nám lepší ochranné vlastnosti, které jsou důležité pro kvalitu svarového spoje. Podíl CO₂ ve směsi může být maximálně 25 %, protože při větším podílu by argon byl zbytečný. Nejpoužívanější kombinace plynů, které využívá automobilový průmysl je 82 % Ar + 18 % CO₂ a 92 % Ar + 8 % CO₂.

1.3.2 Hodnocení kvality MAG svaru [1], [8], [21]

Při MAG svařování se jako u jiných běžných svařovacích procesů nevyhneme problémům, které se týkají necelistvosti. Obzvláště při svařování pozinkovaných plechů, které mají v automobilovém průmyslu podstatné využití. Hloubka pozinkované vrstvy se pohybuje

okolo 5 - 20 μm . Důsledek MAG svařování pozinkovaných plechů má za následek vznik zinkových par a oxidů zinku, čehož výsledky jsou póry, defekty kořenové části, trhliny, velký rozstřík a nestabilní hoření oblouku. Nejčastější problémy jsou při zapálení a hoření oblouku, který způsobuje vypařování zinku mezi teplotou varu Zn 907 °C a teplotou tavení ocele 1500 °C. Transformace kapek kovu z přídavného materiálu (Fe drátu) je také nepříznivě ovlivňována parami zinku.



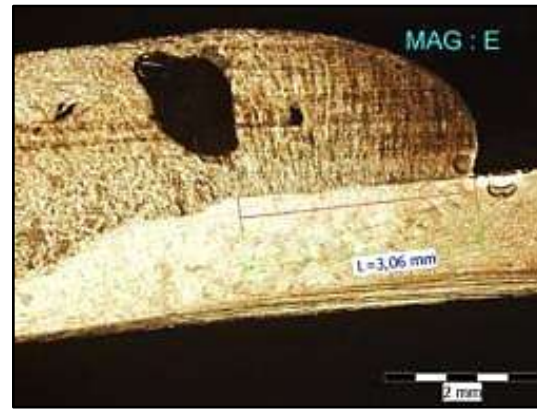
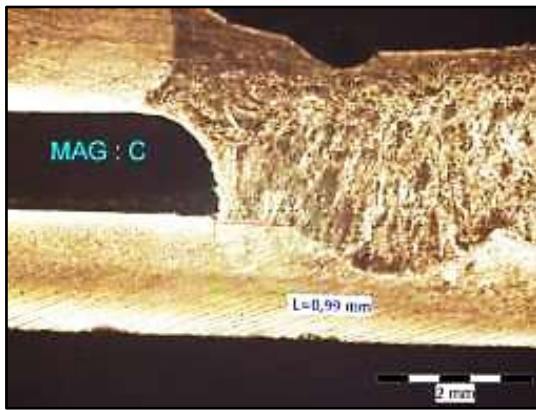
Obr. 11 Vady MAG svařů [39]

Defekty vyskytující se ve svařových spojích můžeme rozdělit do dvou skupin plošné a objemové. Do první skupiny zařazujeme vady typu trhlín, ne-průvarů a studených spojů. Do druhé skupiny řadíme především póry (viz obr. 11), bubliny, kovové a nekovové vměstky, nedodržení rozměrů a nepravidelnost ploch svařů.

Tyto problémy, kterým se při svařování karoserií neubráníme, nás vedou k zapojení zkoušek, které nám prověří správnost spojů. Nejpoužívanější metody k ověření správnosti spojů jsou destruktivní a nedestruktivní zkoušky. Mezi destruktivní zkoušky zařazujeme metalurgické výbrusy, mechanicko-technologické zkoušky a ohybovou zkoušku. Jako nedestruktivní nám postačí vizuální zkouška, kde kontrolujeme délku svaru a případné propálení nebo nedovaření svaru.

Zkoušky:

- **Vizuální zkouška:** Vizuální zkoušky slouží k posouzení kvality svaru a také zručnosti svářeče. Pohledovou kontrolou pouhým okem, pomocí lupy případně dalších kontrolních pomůcek jsme schopni rozpoznat povrchové a kořenové vady jako jsou: vady v napojení, neprovařený kořen, krápníky, zápaly, nadměrné převýšení svaru, nebo neúhledná a nerovnoměrná housenka svaru s nepravidelným povrchem.
- **Zkouška tahem:** Podstata zkoušky je plynulé zatěžování zkušební vzorku, odebrané napříč svařového spoje až do přetržení. Tahovou zkouškou se zajišťují tyto mechanické vlastnosti svařového spoje:
 - mez kluzu R_e [MPa]
 - mez pevnosti R_m [MPa]
 - tažnost A [%]
 - kontrakce Z [%]
- **Zkouška lámavosti:** Podstata zkoušky lámavosti je ohybová deformace. Zkoušejí se dvě zkušební tělesa zatěžováním ze strany kořene a dvě zkušební tělesa ze strany líce svaru. V průběhu zkoušení nesmí zkušební kus vykazovat žádné samostatné vady 3 mm v jakémkoliv směru.
- **Makroskopická kontrola svaru:** Účelem makroskopické kontroly je stanovení makroskopického charakteru svařového spoje, obvykle prohlídkou příčného řezu zkušební vzorku. Kontrola se obvykle provádí na vzorcích orientovaných příčně k ose svaru, které zahrnují svařový kov a tepelně ovlivněnou oblast na obou stranách svaru (viz obr. 12).

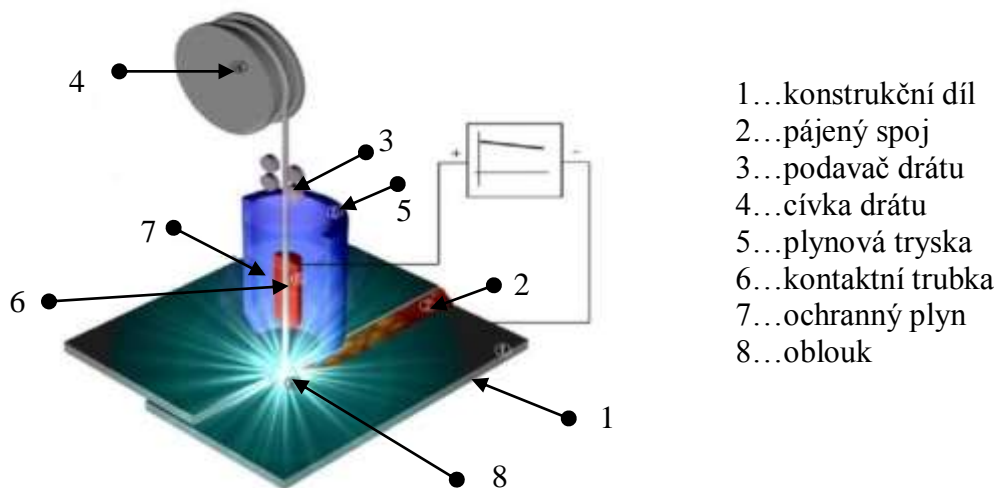


Obr. 12 Příklad makroskopických výbrusů MAG svaru [39]

1.4 Pájení metodou MIG [12], [17], [18]

Pro spojování pozinkovaných materiálů se v současnosti přednostně používá metoda MIG pájení (viz obr. 13). Tloušťka pozinkovaného povlaku se pohybuje od 5 do 20 mikrometrů a požadavkem při spojování těchto plechů je výrazně nepoškodit povlak, který katodickým účinkem chrání základní materiál.

Výrobci přídavných materiálů přišli na trh s novou metodou spojování pomocí nikoliv ocelového drátu, ale křemíkovým bronzem s označením CuSi_3 , CuSi_2 nebo hliníkovým bronzem CuAl_8 , CuAl_8Ni_2 . Pozinkované plechy se spojují v intervalu teplot 1030 až 1080 °C. Tato metoda pájení přináší tyto výhody: malé deformace díky menšímu vnesenému teplu, stabilní a bez rozstříkový přenos svarového kovu, minimální opal povlaku vedle svaru i na spodní straně plechu, spoj je odolný vůči korozi bez dalších úprav, možnost spojování i velmi tenkých plechů, velmi nízký obsah zplodin, možnost robotizace. MIG pájení se provádí impulsním proudem do 350 A v ochranné atmosféře Ar, nebo Ar + 2,5 % CO_2 .



Obr. 13 Princip pájení metodou MIG [18]

1.4.1 Použití MIG pájení na konstrukci automobilu [12], [37]

Pájení MIG se ve větší míře používá pro spojování konstrukčních dílů karoserie a pro překlenutí spár mezi jednotlivými díly. Oproti jiným metodám pájení jako je například pájení pod tavídkem, vzniká při MIG pájení z procesních důvodů menší šířky smočení. Tyto vlastnosti zmenšují nosný průřez a ovlivňují podstatně lomové chování kvazistatického namáhání konstrukčních dílů pájených metodou MIG. Proto zde můžeme v závislosti na poloze destruktivního lomu rozlišovat mezi spojovacím a pevnostním pájením.

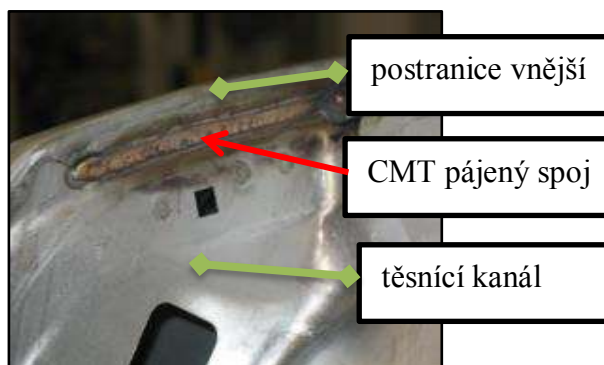
Spoje pájené metodou MIG se na karoseriích používají u plechů válcovaných za studena a za tepla, pozinkovaných a nepovrstvených a u tvářených za studena, pro materiál s pevností v tahu ≤ 530 MPa a tloušťkou plechu až 2,5 mm. U materiálu s vyšší pevností, popřípadě s větší tloušťkou i jiných přídavných materiálů je nutno provádět větší četnosti zkoušek nebo zvolit jinou metodu spojování, aby byla zaručena kvalita a pevnost spoje.

Pájené spoje mohou mít dokonce i vyšší pevnost než svařované spoje, pokud se dokáže vytvořit kapilární spoj s větší plochou. Pevnost pájky CuSi₃ je 360 N.mm⁻². MIG pájení je většinou nánosové, a proto tvar spoje je třeba navrhnout z pevnostního hlediska tak, aby byl optimální.

1.4.2 Pájení metodou CMT [12], [39]

CMT (Cold Metal Transfer) je speciální typ metody MIG pájení. Tavicí se elektroda v ochranné atmosféře kombinuje horkou fázi hoření oblouku, kdy se taví drát i základní materiál, se studenou částí procesu. Po kontaktu nataveného drátu s tavnou lázní se snižuje intenzita proudu a drát se vrací do hubice (zpětný pohyb drátu až 70x za sekundu). Tím se docílí oddělení kapky bez rozstříku a nízkou intenzitou vložení vneseného tepla do svaru. Tento proces je řízen digitálně. Procesor se zpětnou vazbou při procesu udržuje konstantní vzdálenost i rozměry housenek bez ohledu na podmínky svařování. Díky této technologii se dosahuje výborné přemostitelnosti spáry, malé tepelné deformace a co nejmenší nároky na konečné opracování.

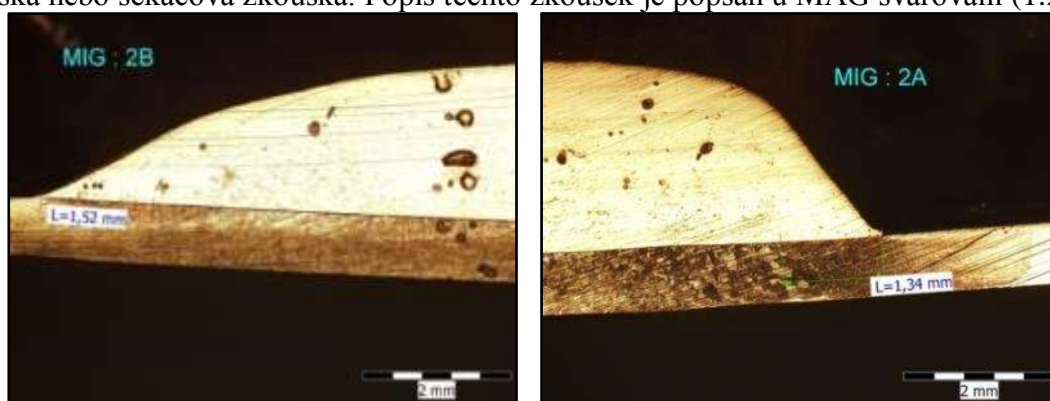
Metoda CMT se v současnosti při výrobě karoserií hojně využívá u takzvaných pohledových svarů a při spojování tenkých plechů. Na konstrukci skeletu se tato metoda využívá například u pájení postranice vnější s těsnícím kanálem (viz obr. 14).



Obr. 14 CMT spojování postranice vnější s těsnícím kanálem [39]

1.4.3 Zkoušky MIG svarů

Pro ověření kvality pájených spojů se provádějí dva typy zkoušek. Destruktivní zkoušky a nedestruktivní zkoušky. Pro posouzení vnitřních nálezů je zapotřebí metalografických výbrusů, které patří mezi destruktivní zkoušky, příklad viz obr. 15. Mezi nedestruktivní zkoušky patří vizuální kontroly svarů. Vizuální kontrola svaru je spolehlivý postup pro posouzení kvality pájených švů. Jako doplňující zkouška se používá destruktivní ohybová zkouška nebo sekáčova zkouška. Popis těchto zkoušek je popsán u MAG svařování (1.2.2).



Obr. 15 Příklad metalografických výbrusů pájených svarů [39]

1.5 Laserové svařování [7], [9], [26]

Laserové svařování se v automobilovém průmyslu dočkalo vysoké obliby. Ve srovnání s metodou MIG, MAG a TIG je laserový svarový spoj dokonalý. Svar je velmi malý, pohledový, okraje nejsou začernalé, rychlost svařování oproti TIG je až 8x vyšší. Laserový paprsek může lokálně svařovat i místa těžko dostupná, která by byla jinými způsoby svařování obtížně proveditelné. Ve srovnání laseru s metodou MIG je kresba MIG svaru hrubší, svar je více převýšený a musí se po svařování brousit.

Svařování laserem je metoda nevyžadující během svařování přídavný materiál. Proto tato metoda má tyto výhody: minimální stupeň promísení, úzký svar s minimální teplotně ovlivněnou oblast a minimální deformace svařované součásti. Laserové svařování má i své zásadní nevýhody, hlavní je cena zařízení, proto se při pořízení musí počítat s návratností investic. Svoji automatizací a robotizací se lasery uplatňují hlavně při hromadné výrobě, dnes především v automobilovém průmyslu (viz obr. 16).

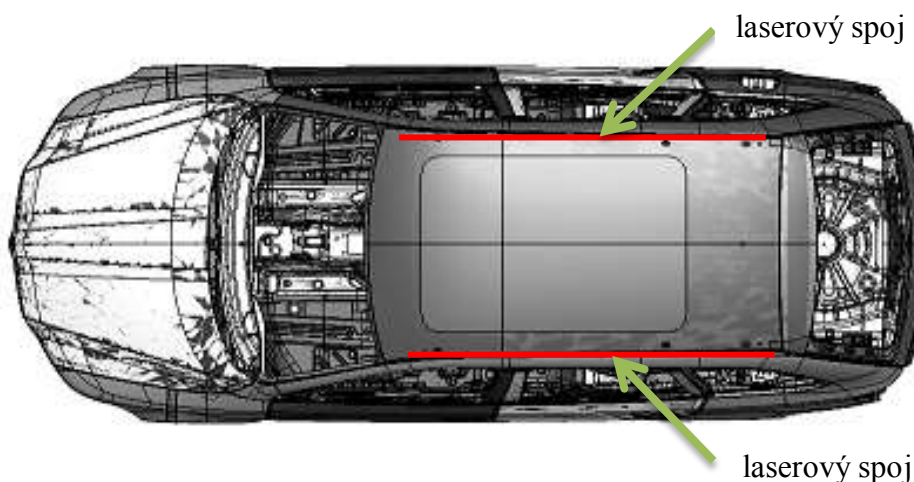


Obr. 16 Laserové svařování střež [13]

1.5.1 Použití laserového svařování na konstrukci automobilu [25], [26]

S použitím laserových technologií v automobilovém průmyslu se pohybujeme ve zcela jiných sférách a možnostech. Dá se říci, že použití laserových technologií s sebou nese takzvaný standart ve výrobě karoserií.

Laserové svařování při konstrukci automobilů se používá hlavně tehdy, kdy je možné ušetřit na lisování více komponent a tam, kde je potřeba mít pohledový spoj. Nasazení laseru v daném místě závisí na jeho konstrukčním návrhu a kvalitativním požadavku spoje.



Obr. 17 Příklad použití laser svarů na konstrukci střež [39]

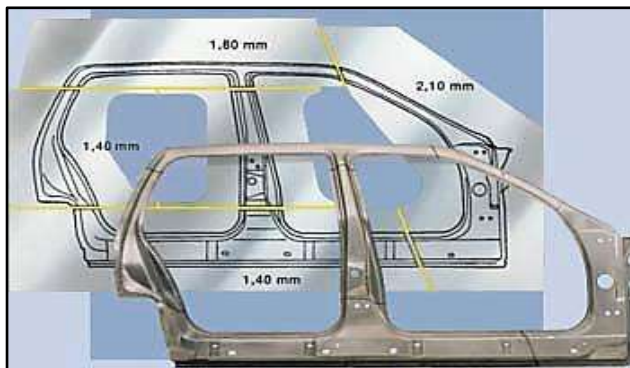
1.5.2 Laser svary a technologie Tailored blanks [31], [33]

Tailored blanks lze přeložit jako „přístřihy vyráběné na míru“. Polotovary dvou a více materiálů různých vlastností jsou svařené dohromady a poté vylisovány do požadovaného tvaru, (viz obr. 18). Tyto materiály mohou mít rozdílnou pevnost, tloušťku nebo povrchovou úpravu. Díky této metodě dochází ke snížení hmotnosti karoserie, což s sebou nese vyšší požadavky na nástroje, které jsou také cenově nákladnější.

Laserové svařování je u této metody namísto. Housenky nepřesahují základní materiál, vzniká velmi malá tepelně ovlivněná oblast a bez nároků na další konečné opracování.

1.5.3 Zkoušky laser svarů

Posouzení kvality laser svarů jsou totožné jako u MAG svařování. Zkoušky jsou prováděny destruktivně (viz obr. 19) a nedestruktivně. Kvůli citlivosti svařovacího procesu na okolní podmínky (správná polohovatelnost dílů, správné nastavení svařovacích parametrů), jsou laser svary neustále vizuálně kontrolovány a probíhá u nich větší četnost zkoušek než-li u ostatních technologií.



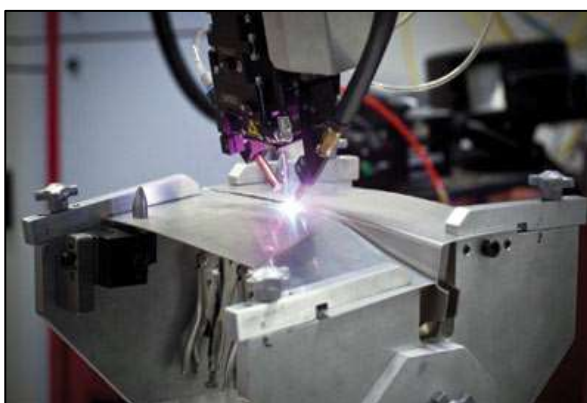
Obr. 18 Technologie Tailored blanks [31]



Obr. 19 Příklad metalografických výbrusů laser svaru [39]

1.6 Laserové pájení [20], [25]

Používání pozinkovaných plechů pro karoserie vozidel obnovilo zájem o starou technologii pájení, která úspěšně nahrazuje technologii svařování a tím eliminuje rizika tepelných deformací. Laserové pájení (viz obr. 20) využívá jako zdroj energie laser. Při této technologii se využívají dva druhy laserů: Nd:YAG laser a diodový laser. V současné době se do popředí dostávají diodové lasery díky svým přednostem ve výstupním paprsku, dobrých podmínkách pro regulaci procesu i ekonomické výhodnosti. Diodové lasery této technologii více vyhovují také díky tomu, že při správném směřování paprsku umožňují předehřev pájených míst ještě před nanášením pájky, tak i samotnou natavenou pájku drží déle v tekutém stavu.



Obr. 20 Laserové pájení [15]

Jako pájku lze použít například měď-zinek (mosaz) nebo slitiny cínu. Pájka je přidávána formou drátu nebo může být aplikována jako pasta. Proces spojování může být redukován až na 50 ms při vnějším výkonu několika málo wattů.

1.6.1 Použití laserového pájení na konstrukci automobilu [25]

V automobilovém průmyslu není vždy nutné používat svařování ke spojování sestav a podsestav skeletu. Na karoserii jsou části, kde je vyžadován dokonalý pohledový spoj bez rozstříku, a zároveň dosažena pevnost a těsnost spoje. Proto se tato metoda používá na pohledových spojih zadního víka (viz obr. 21) a spojih střechy s postranicemi. Tato metoda je však hodně náročná na dodržení úzké mezery mezi pájenými plechy, proto jsou nasazována jen automatizovaná zařízení a z důvodů bezpečnosti i uzavřená chráněná prostředí.

Tvrdé pájení nám vylučuje jakékoliv deformace, které nám způsobují tavné svařovací metody. Laserové pájení je vhodná metoda pro spojování pozinkovaných plechů a materiálů, které mají speciální povrchovou úpravu. Pájet je možné vzájemně díly i z Al a jeho slitin nebo i nesourodé materiály typu ocel-Al.

Nejčastější formou švů u pájení dílů karosérií bývá koutový profil u přeplátovaných dílů nebo lemový šev, které dovolují větší rozměrové tolerance u spojovaných dílů i při dodržování vzájemné polohy, což je podstatné zvláště při automatizované výrobě. Spoj po pájení není nutno nějak ošetřovat a celý dál může postoupit ihned k další operaci.



Obr. 21 Pájení zadního víka [32]

2. HODNOCENÍ KVALITY PÁJENÉHO SPOJE [34], [38]

Součástí všech metod spojování na konstrukci karoserie automobilu je nutno tyto metody neustále podrobovat četnosti zkoušek a testů, aby byla zaručena předepsaná kvalita a bezpečnost vozů. Musíme brát v potaz, že žádný kovový materiál, který jsme schopni spojit běžnými postupy nelze zhotovit bez vad. Budeme se zabývat vadami makroskopickými, protože jsou snadněji zjistitelné a pochopitelnější. Makroskopické vady obsahují tu část vlastností, kterou můžeme technologicky ovlivnit.

Vadou můžeme rozumět každou odchylku od vlastností a požadavků, které předepisují technické normy. Vady spoje mohou být zjevné, které jednoduše můžeme zjistit při pohledu na pájený spoj pouhým okem nebo jednoduchými pomůckami. Skryté vady zjišťujeme pomocí přístrojů nebo pomocí laboratorních zkoušek. Normy a jiné ustanovení předepisují vady přípustné a nepřípustné. Přístupné vady jsou takové, které předpisy dovolují a jsou opraveny nebo jejich odstranění není nutné. Nepřístupné vady jsou takové, které předpisy nepovolují. Musí být buď opravitelné, nebo neopravitelné.

U laserového pájení se setkáváme s vadami, které můžeme rozdělit do dvou skupin. Vady plošné a objemové. Mezi plošné zařazujeme vady typu studených spojů, ne-průvarů a trhliny. Mezi objemové zařazujeme bubliny, póry, vměstky, zápaly, vruby, nepravidelnost povrchu a rozměry pájky.

Kontroly a zkoušky svarů rozdělujeme podle toho, jaký na svarový spoj mají vliv. Tedy na destruktivní a nedestruktivní.

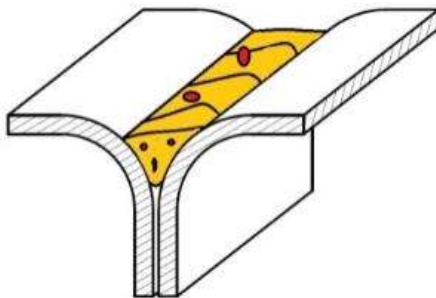
2.1 Nedestruktivní zkoušky pájeného spoje [22], [34], [36]

Nedestruktivní zkoušky pájených a svařovaných plechů patří mezi nejrozšířenější skupinu, protože výrobky se po zkoušce dají dále používat. Do této skupiny patří metody, kterým zjišťujeme povrchové i vnitřní vady. Vnitřní vady zjišťujeme ultrazvukem a prozářením. Povrchové vady zjišťujeme vizuální, penetrační a magnetickou práškovou metodou.

Pro kontrolu zadního víka nám postačuje kontrola vizuální. Vizuální kontrola pájeného švu je spolehlivá metoda a postačují nám u ní jednoduché optické pomůcky (např. osvětlená ruční lupa) nebo pohled prostým okem. Díky této metodě jsme schopni vyhodnocovat povrchové defekty.

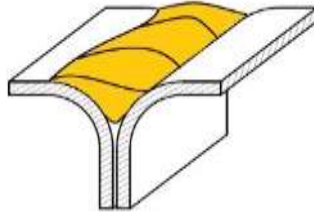
Zde je představeno několik základních vyhodnocovacích kritérií pro posouzení vnějších nálezů dle základních předpisů:

- **Otevřené póry:** Otevřené póry jsou podmíněně přípustné, pokud negativně neovlivní funkce antikorozi ochrany a vzhled konstrukčního dílu (viz obr. 22).



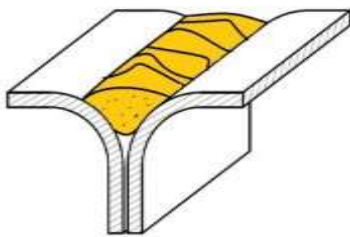
Obr. 22 Laser spoj - otevřené póry [22]

- **Přeběh pájení:** Přeběh pájení je podmíněně přípustný, pokud není negativně ovlivněn vzhled a funkce konstrukčního dílu (viz obr. 23).

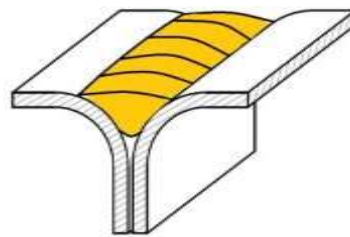


Obr. 23 Laser spoj - přeběh pájení [22]

- **Vzhled povrchu pájeného švu:** Pájené spáry musí být rovnoměrně vyplněny pájkou. Nesmí být nerovnoměrně ztuhlý a šupinatý (viz obr. 24). V případě špatného provedení spoje je nutné provést opravu.

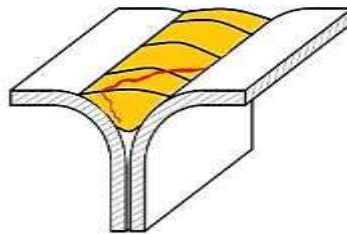


Obr. 24 Laser spoj - špatné provedení [22]



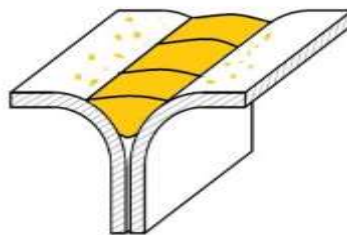
Obr. 25 Laser spoj - správné provedení [22]

- **Trhliny:** Trhliny v pájeném spoji jsou pro nás nežádoucí. Ve spoji se mohou nacházet trhliny příčné, nebo podélné. Tyto trhliny se mohou nacházet na povrchu pájeného spoje popřípadě v přídavném, nebo v základním materiálu. Při objevení těchto trhlin je zapotřebí prověřit výrobní proces a provést opravy (viz obr. 26).



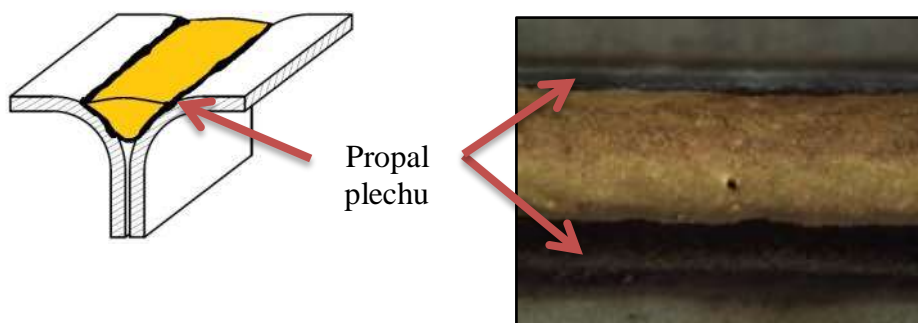
Obr. 26 Laser spoj – trhliny [22]

- **Rozstřík při pájení:** Při rozstříku přídavného materiálu na základní materiál je pro pohledový spoj nežádoucí, proto je potřeba optimalizovat pracovní proces (viz obr. 27).



Obr. 27 Laser spoj – rozstřík [22]

- **Propálení plechu:** Propálení plechu je pro tento proces striktně nežádoucí. Při tomto defektu není možné svařený díl opravit. Je nutná optimalizace procesu (viz obr. 28).



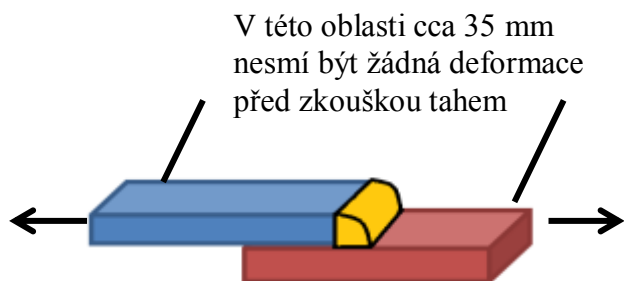
Obr. 28 Laser spoj - propálení plechu [22]

2.2 Destruktivní zkoušky [22], [34], [36]

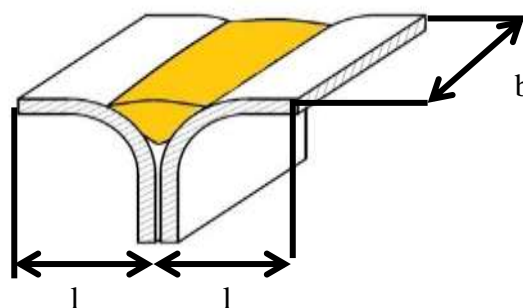
Destruktivní zkoušky pájených spojů slouží k posouzení vnitřního stavu. Tyto zkoušky jsou možné pouze metalografickými výbrusy. Pro důkaz kvazi-statické pevnosti dynamicky a rázově namáhaného spoje je provedena mechanicko-technologickou zkouškou.

- **Zkouška tahem:** [22], [36]

Zkouška tahem slouží jako důkaz pevnosti laserem pájeného spoje. Tvar zkoušeného vzorku musí splňovat tyto základní rozměry (viz obr. 29 a obr. 30): k destrukci by mělo dojít v oblasti základního materiálu, při selhání v pájeném švu musí splňovat hodnoty, které jsou předepsány jako minimální pevnost v tahu.



Obr. 29 Tvar vzorku pro zkoušku stříhem v tahu koutový svar na přeplátovaném styku [22]



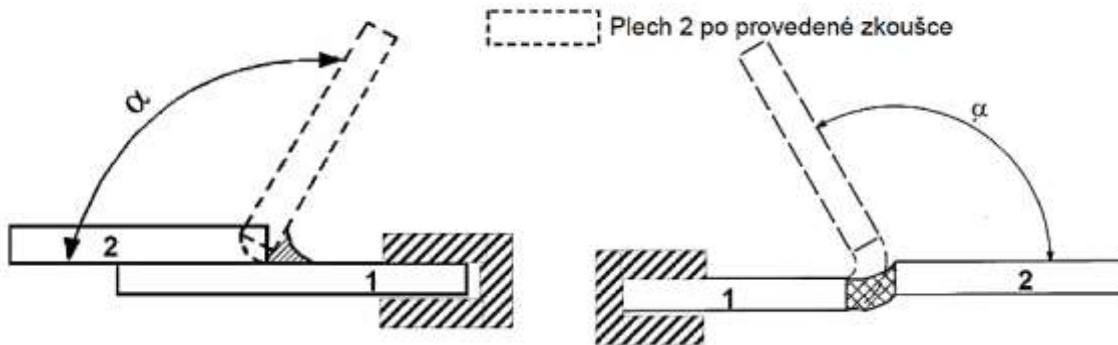
Obr. 30 Tvar vzorku pro zkoušku tahem [22]

- Zkouška vzorku $b = (45 \pm 2)$ mm,
- volná upínací délka: min. 95 mm,
- délka vzorku $l \geq 65$ mm,
- řezné hrany bez otřepů.

- **Zkouška ohybem:** [22], [36]

Ohybová zkouška při laserovém pájení je zohledněna jako zkouška doplňující orientovaná na praxi. Na zkušebních vzorcích podobného tvaru jako pro zkoušku tahem, můžeme aplikovat zkoušku ohybem (viz obr. 31).

U této zkoušky jsou příruby plechu ohnuty k sobě až do úhlu 180° . Ve zkušebním vzorku v pájeném spoji smí nastat selhání v definovaném úhlu ohybu (např. $\alpha \geq 120^\circ$).

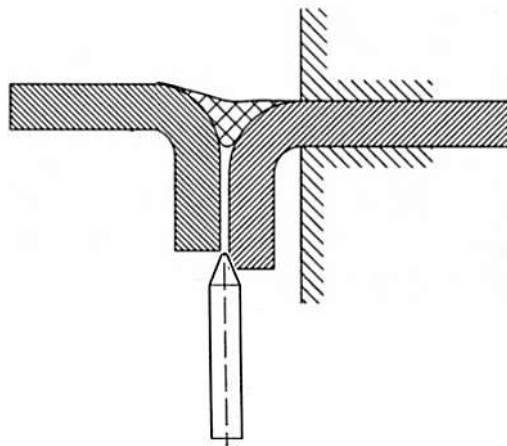


Obr. 31 Provedení zkoušky ohybem [22]

- **Sekáčova zkouška:** [22], [36]

Kvalitu napojení laserového pájení můžeme vyhodnotit také pomocí sekáčové zkoušky (viz obr. 32). Tuto zkoušku, stejně jako zkoušku ohybovou, řadíme mezi zkoušky doplňkové.

U této zkoušky je zkušební díl na jedné straně upnut a předepsaný plochý sekáč je nasazen mezi čela spoje plechů. Šířka sekáče musí být větší než je šířka čela. Při této zkoušce může dojít k defektu v základním materiálu, ale i v pájeném spoji.



Plochý sekáč:

- šířka sekáče min. 25 mm,
- úhel opření zkušebního sekáče = 30° ,
- špička sekáče tupá $r = 0,5$ mm,
- šířka vzorku $b = 45 \pm 2$ mm.

Obr. 32 Sekáčova zkouška [22]

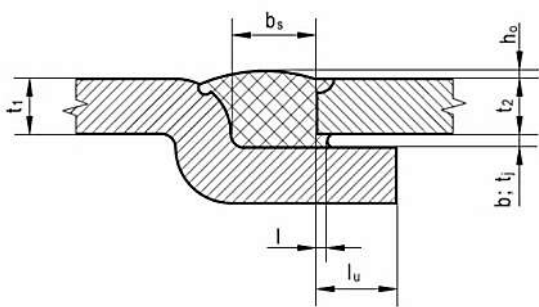
➤ Posouzení sekáčové zkoušky:

- Spoj v pořádku:
 - Pájený spoj vyhodnotíme v pořádku, když praskne v základním materiálu.
- Spoj není v pořádku:
 - Pájený spoj není v pořádku, když selhání nastane v materiálu pájky (kohezní lom) a zkouška v tahu také není splněna.

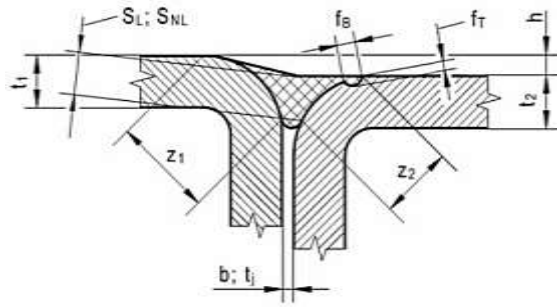
- Pájený spoj není v pořádku, když nastane selhání v místě přechodu pájky a základního materiálu (adhezni lom) a zkouška v tahu také není v pořádku.
- Pájený spoj není v pořádku, když nastane selhání jako smíšený lom a zkouška v tahu také není splněna.

• **Posouzení metalografických výbrusů:** [22], [36]

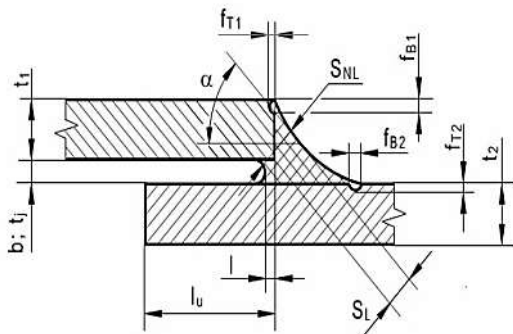
Laserové pájení nám umožňuje vytvořit spoje tupé, koutové a přeplátované (viz obr. 33, obr. 34, obr. 35 a obr. 36). Využívají se pro konstrukční uzly bez dynamického nebo cyklického zatížení. Rozměry pájky jsou definovány příslušnými normami, zejména normou EN ISO 18 279.



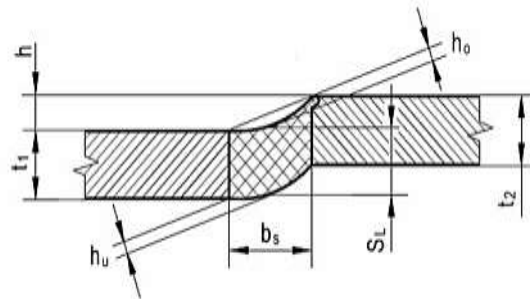
Obr. 33 Svar s odsazeným přeplátovaným stykem [22]



Obr. 34 Koutový svar s obrubovým stykem [22]



Obr. 35 Koutový svar s přeplátovaným stykem [22]



Obr. 36 Svar typu I s tupým stykem [22]

➤ Vyhodnocování znaků pro vnitřní nálezy [22], [36]

- Trhliny: jak ve vnějším nálezu, tak i ve vnitřním nejsou akceptovány. Nutné prověřit a optimalizovat výrobní proces.
- Vměstky pevných látek: jsou přípustné, pokud je zajištěna minimální pevnost v tahu a není negativně ovlivněna funkce konstrukčního dílu.

- Natavení základního materiálu: Jak nám ukazuje obr. 35, natavení je vyhovující pokud nepřekračují tyto mezní hodnoty.

$$f_T \leq 0,5 t_{1,2}$$

$$f_B \leq 0,5 t_{1,2}$$

- Šířka spojovací spáry b, tj po sletování: Musí splňovat mezní hodnoty v intervalu.

$$0,1 \text{ mm} \leq b \leq t_{\min}$$

$$b \leq 1 \text{ mm}$$

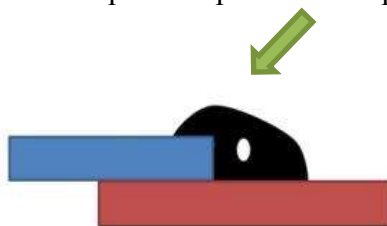
- Šířka smočení z: Platí pro koutový svar na obrubovém styku, viz obr. 34 a platí.

$$z \geq \sqrt{2} \cdot t_{\min}$$

- Tloušťka švu S_{NL} : Musí splňovat mezní hodnotu.

$$S_{NL} \geq 0,7 t_{\min}$$

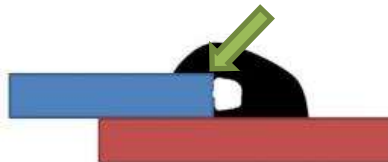
- Chyba vyplnění (vnitřní póry, vměstky vzduchu): Toleruje se až 5 % pájené plochy viditelné v řezu $S_{NL} \geq 0,7 t_{\min}$ a musí být splněna minimální pevnost v tahu. Při těchto nálezech je dále zapotřebí prověřit a optimalizovat výrobní proces (viz obr. 37).



Obr. 37 Chyba vyplnění [22]

- Chyba v napojení: Tato chyba je přípustná, pokud je splněna podmínka mezní hodnoty a je zajištěna minimální pevnost v tahu. Při těchto nálezech je dále zapotřebí prověřit a optimalizovat výrobní proces (viz obr. 38).

$$\text{Chyba napojení} \leq 20 \% t_{\min} \text{ a } S_{NL} \geq t_{\min}$$



Obr. 38 Chyba v napojení [22]

3. NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍ PRÁCE LASEROVÉHO PÁJENÍ

Pohledové spoje tvoří nedílnou součást při konstrukci karoserie automobilu. Vozy ŠKODA AUTO a.s. jsou tvořeny mnoha pohledovými spoji, které si vyžadují neustálou pozornost.

Nejpozornější spoj, který najdeme na skeletu vozu Škoda Superb (viz obr. 39) je pájený spoj zadního víka. Víko je sestaveno ze dvou výlisků, které je spojováno metodou pájení laserem. Jak již bylo řečeno, laserem pájený spoj splňuje nejlepší podmínky pro pohledový spoj, proto je tato metoda na místě.



Obr. 39 ŠKODA Superb [29]

3.1 Laserové pájení pátých dveří

Pájení laserovým paprskem je složitý a náročný proces. Pájený spoj zadního víka musí splňovat přísné požadavky týkající se jakosti. Vysoký důraz je kladen zejména na korozivzdornost, pevnost a celkový vzhled spoje. Proto musí být minimalizovány všechny škodlivé vlivy, které do tohoto procesu vstupují.

Pracoviště zadního víka se setkává se sérií sporných problémů, které mnohdy mají nejistou příčinu. Proto toto pracoviště vyvolává stále větší pozornost a nutí k porozumění příčin vzniku vad, které pájecí proces mnohdy doprovází.

Kvůli absenci experimentálních dat pro optimalizaci laserového pájení zadního víka, vznikla tato diplomová práce. Byla navržena série změn klíčových parametrů, které pomůžou tento proces pájení optimalizovat a lépe pochopit.

Pro experiment bylo zvoleno zadní víko ŠKODA Superb limuzína (viz obr. 40), pro jeho jednoduchý design a menší náročnost optimalizace parametrů laserové stanice.



Obr. 40 Zadní víko Škoda Superb limuzína

3.1.1 Změny klíčových parametrů

Parametry pájecího procesu jsou na víku rozděleny do jedenácti úseků (viz obr. 41). Úseky jsou tvořeny třemi základními hodnotami, které řídí pájený proces. Jedná se o výkon laserového svazku, označován jako P [W], rychlost posuvu drátu, označován jako V_D [mm.min⁻¹] a rychlost posuvu robota, který je označován jako V_R [mm.s⁻¹]. Tyto úseky byly vytvořeny při optimalizacích, díky kterým bylo docíleno požadovaných jakostních hodnot, splňující koncernovou normou. Tyto parametry se staly základem pro získání

experimentálních dat. Jednotlivé složky dat jsou navýšeny a sníženy o zvolené procentuální množství v každém úseku (viz tabulka 1).



Obr. 41 Rozdělené úseky pátých dveří

Tabulka 1: Navýšení a snížení parametrů zadního víka

1. víko	Sériový stav										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
V_R [mm.s ⁻¹]	60	43	53	55	55	55	55	55	55	55	44
P [W]	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2250	2600	2600
V_D [m.min ⁻¹]	4,2	4,4	4,4	4,4	4,4	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7

2. víko	Navýšení výkonu o + 15 %										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
V_R [mm.s ⁻¹]	60	43	53	55	55	55	55	55	55	55	44
P [W]	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2588	2990	2990
V_D [m.min ⁻¹]	4,2	4,4	4,4	4,4	4,4	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7

3. víko	Snížení výkonu o - 15 %										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
V_R [mm.s ⁻¹]	60	43	53	55	55	55	55	55	55	55	44
P [W]	1955	1955	1955	1955	1955	1955	1955	1955	1912,5	2210	2210
V_D [m.min ⁻¹]	4,2	4,4	4,4	4,4	4,4	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7

4. víko	Navýšení rychlosti drátu o + 20 %										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
V_R [mm.s ⁻¹]	60	43	53	55	55	55	55	55	55	55	44
P [W]	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2250	2600	2600
V_D [m.min ⁻¹]	5	5,3	5,3	5,3	5,3	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6

5. víko	Snížení rychlosti drátu o - 20 %										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
V_R [mm.s ⁻¹]	60	43	53	55	55	55	55	55	55	55	44
P [W]	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2250	2600	2600
V_D [m.min ⁻¹]	3,4	3,5	3,5	3,5	3,5	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8

6. víko	Zvýšení rychlosti robota o + 20 %										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
V_R [mm.s ⁻¹]	72	51,6	63,6	66	66	66	66	66	66	66	52,8
P [W]	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2250	2600	2600
V_D [m.min ⁻¹]	4,2	4,4	4,4	4,4	4,4	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7

7. víko	Snížení rychlosti robota o - 20 %										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
V_R [mm.s ⁻¹]	48	34,4	42,4	44	44	44	44	44	44	44	35,2
P [W]	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2250	2600	2600
V_D [m.min ⁻¹]	4,2	4,4	4,4	4,4	4,4	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7

Do výrobního procesu vstupují kromě těchto parametrů (V_R , V_D a P) i další vlivy. Jedná se o fokusaci laserového paprsku, polohu pájecí hlavy, upnutí plechů a jejich silové poměry. Tyto zmíněné vlivy jsou brány za konstantní a jejich nastavení je ponecháno ve výchozím stavu, které je předepsáno pro sériový stav.

3.1.2 Materiál zadního víka

Tabulka 2: Materiál zadního víka DC05

	R_e [MPa]	R_m [MPa]	A_{80} [%]min.	C max	Mn max	P max	S max	Si max	Al min
EN 10152 DC05 +ZE	140- 190	270- 330	39	0,06	0,35	0,025	0,025	0,020	0,010

3.1.3 Složení a vlastnosti pájky

Tabulka 3: Materiál $CuSi_3Mn_1$

	R_e [MPa]	R_m [MPa]	A_5 [%]	HB	Si	Mn	Cu	Sn	Zn	Fe
$CuSi_3Mn_1$	130	350	40	80 -100	3,4	1,1	> 94,0	< 0,2	< 0,2	< 0,3

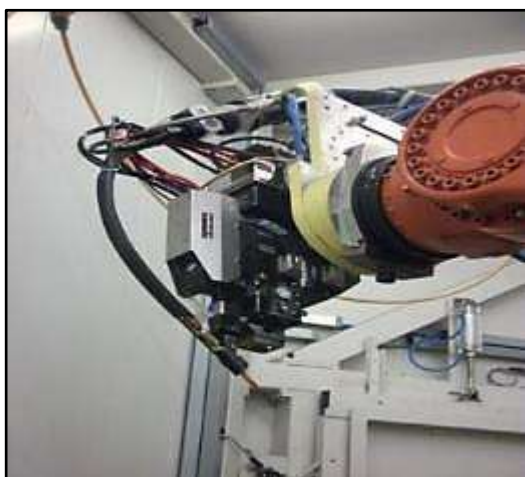
4 PROVEDENÍ EXPERIMENTU

Experiment byl proveden ve svařovně ŠKODA AUTO a.s., na pracovišti laser zadního víka Škoda Superb. Vypracovaná data se změnami parametrů, která byla vypracována pro experiment (viz tabulka 1), vyžadovalo osm kusů zadních vík. Jedno víko v sériovém stavu, které bude sloužit k porovnání s aktuálním stavem. Šest vík, na kterých budou aplikovány změny parametrů. Závěrečné osmé víko bylo použito pro kontrolu pájecího procesu a zařízení po dokončení experimentu.

4.1 Zařízení pro laserové pájení

Laserová stanice vyžaduje vysoká bezpečnostní opatření, proto je laserové pracoviště celé uzavřené. Pracovníci zakládají vnější díly plechů do otočného přípravku (viz obr. 43), který se po potvrzení obsluhy otočí do laserového pracoviště.

Laserové pracoviště je vybaveno robotem Kuka, diodovým laserem a adaptivní optikou pro opracování laserem (viz obr. 42).



Obr. 42 Adaptivní optika na robotu Kuka



Obr. 43 Otočný přípravek laserové stanice

- **Laserové zařízení:**

Tabulka 4: Laser technická specifikace

Výrobce	Laserline GmbH
Datum výroby	2011/12
Síťové napětí	400 – 480 V
Frekvence	50 – 60 HZ
Max. příkon	14 kW
Typ laseru	LDF 5000 - 100
Vlnová délka	900 - 1070 nm ± 10 nm
Výkon laseru	5500 W cw
Sériové číslo	50112035



Obr. 44 Laserové zařízení [24]

- **Adaptivní optika pro opracování laserem ALO3 [24]:**

Tabulka 5: Optika pro laserové pájení technická specifikace

Hmotnost	20 kg
Rozměry (D x Š x H) v mm	100 x 200 x 300
Ochrana třídy	4
Vlnová délka	880 – 1070
Pracovní místo	Y: +/-15mm, Z:+/-10mm
Výkon laseru pro CW-Laser	Až 6 kW
Ohnisková vzdálenost	141 - 250 mm
Napájení	24 V/10 A
Parametrizace	Přes ethernet



Obr. 45 Adaptivní optika pro Laser [24]

Adaptivní optika pro opracování Laserem ALO3 je vyvinuta pro pájení a svařování laserem s přídatným drátem za účelem opracování ocele, hliníku a dalších kovových materiálů. Tato adaptivní optika dokáže sjednotit optiku pro vytvoření paprsku a senzor pro vedení svaru v jednom přístroji. Dokáže vyrovnávat samostatné vzdálenostní a stranové odchylky v průběhu stroje od naprogramované dráhy robota v rozsahu několika milimetrů.

- **KUKA VKR 150 R3100 :**



Tabulka 6: Kuka technická specifikace

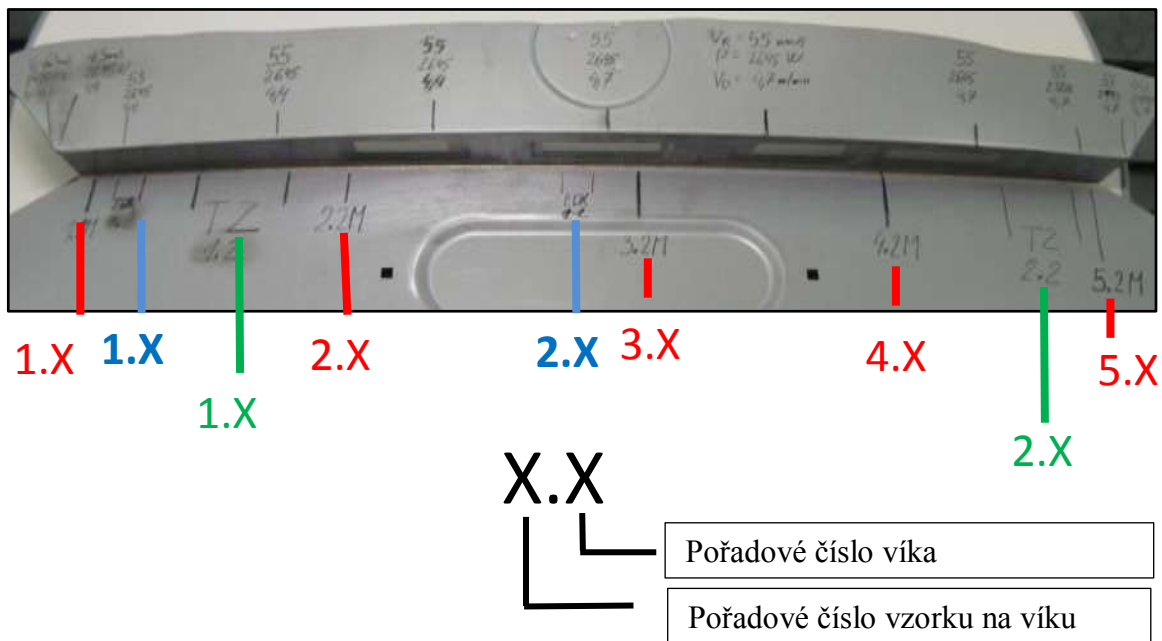
Typ	VKR 150 R3100
Sériové číslo	923428
Datum výroby	07/2011
Hmotnost	1430 Kg
Nosnost	150 Kg
Rozsah	3100 mm

Obr. 46 KUKA VKR 150 R3100 [14]

4.2 Příprava vzorků na zkušební testy

Vyrobené vzorky byly přeneseny do prostoru zkušebny svarů, kde byly díly načrtnuty jednotlivé úseky (viz obr. 47), které znázorňují budoucí pozice jednotlivých zkoušek. Z důvodu jedenácti úseků, kde nastává změna parametrů, musí být vzorky testovány na více místech, aby byla zaručena co největší objektivnost experimentu.

Zeleně načrtnuté pozice znázorňují úseky, kde bude aplikována zkouška tahem. Na tuto zkoušku jsou vyhrazena dvě místa. Červeně jsou znázorněna místa, kde budou provedeny metalografické výbrusy. Na jednom díle bude celkově pět metalografických výbrusů. Modře jsou načrtnuta místa, kde bude aplikována EDS analýza. Na tuto analýzu jsou vyhrazena dvě místa na každém vzorku.



Obr. 47 Rozdělené a označené úseky na pátých dveřích

4.3 Zkouška tahem

Oddělené vzorky, které byly načrtnuty na zadních víkách, byly přeneseny do další části zkušebny svarů. Vzorky byly nejprve pomocí strojního svěráku narovnány, aby splňovaly předepsaný tvar pro zkoušku tahem. Pomocí pákových nůžek byly vzorky nastříhány. Po těchto úpravách byly pomocí posuvného měřítka změřeny délky housenek (viz obr. 48). Tyto naměřené hodnoty se při tahové zkoušce vkládaly do softwaru, který celý proces vyhodnocoval.



Obr. 48 Připravené vzorky na zkoušku tahem



Obr. 49 vzorek po zkoušce tahem

- Zařízení pro tahovou zkoušku:**



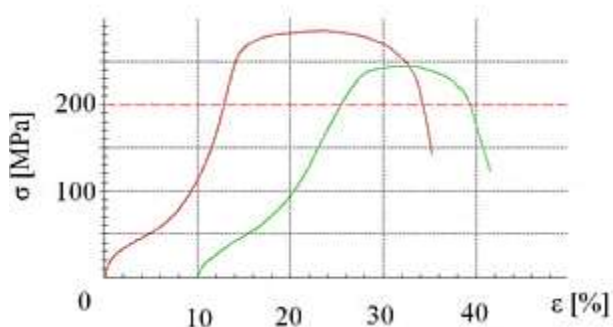
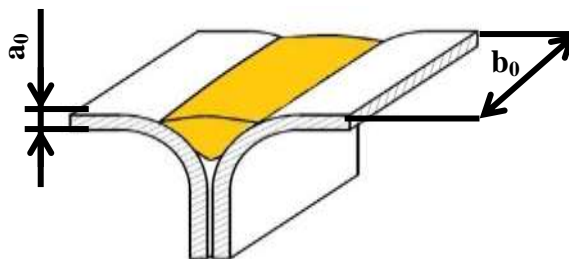
Obr. 50 Zařízení zwick/Roell Z100

Tabulka 7: Zwick/Roell technická specifikace

Výrobce	Zwick/Roell
Max. zatížení [kN]	100
Pracovní výška [mm]	1760
Pracovní šířka [mm]	630
Hloubka pracovního prostoru [mm]	4
Maximální rychlost příčnicku [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]	1000
Maximální příkon [kVA]	5

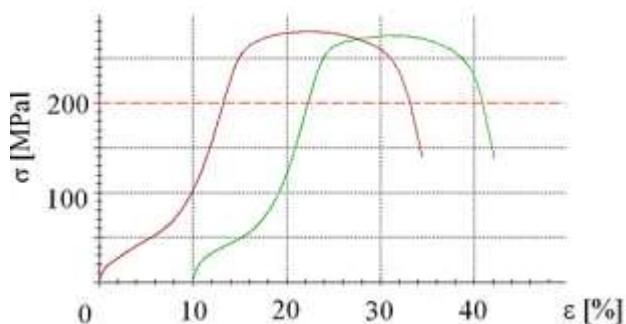
4.3.1 Vyhodnocení zkoušky tahem

- a_0 – tloušťka plechu [mm]
- b_0 – délka housenky [mm]
- R_m – mez pevnosti [N/mm^2]



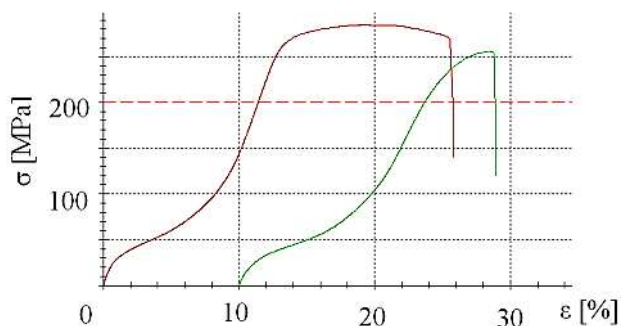
1. víko	1.1	2.1	
a_0	0,70	0,70	[mm]
b_0	54,78	51,42	[mm]
R_m	285	245	[$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$]
Lom	mimo svar	mimo svar	

Obr. 51 Tahová zkouška 1. víko



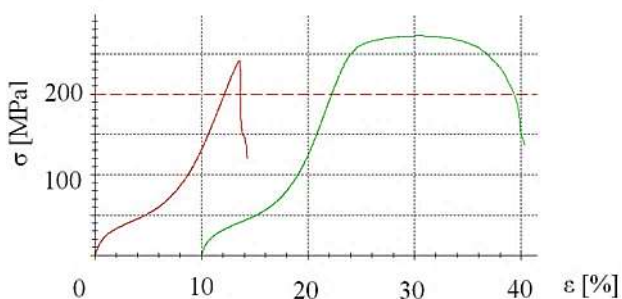
Obr. 52 Tahová zkouška 2. víko

2. víko	1.2	2.2	
a_0	0,70	0,70	[mm]
b_0	55,69	48,9	[mm]
R_m	280	275	[N.mm ⁻²]
Lom	mimo svar	mimo svar	



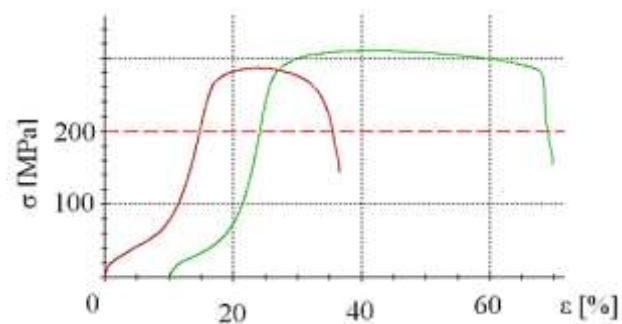
Obr. 53 Tahová zkouška 3. víko

3. víko	1.3	2.3	
a_0	0,70	0,70	[mm]
b_0	49,33	40,44	[mm]
R_m	285	256	[N.mm ⁻²]
Lom	ve svaru	ve svaru	



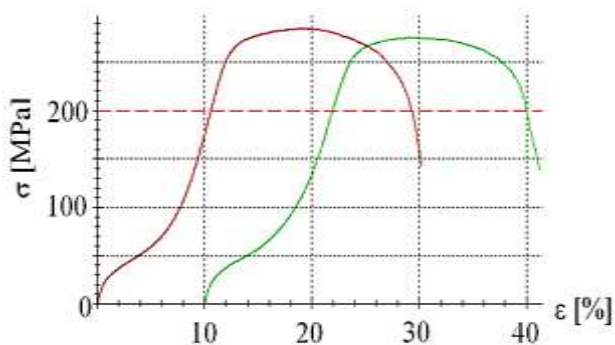
Obr. 54 Tahová zkouška 4. víko

4. víko	1.4	2.4	
a_0	0,70	0,70	[mm]
b_0	61,87	48,35	[mm]
R_m	241	272	[N.mm ⁻²]
Lom	mimo svar	mimo svar	



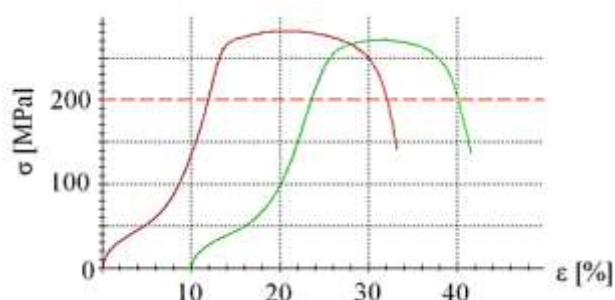
Obr. 55 Tahová zkouška 5. víko

5. víko	1.5	2.5	
a_0	0,70	0,70	[mm]
b_0	57,92	51,40	[mm]
R_m	287	310	[N.mm ⁻²]
Lom	mimo svar	mimo svar	



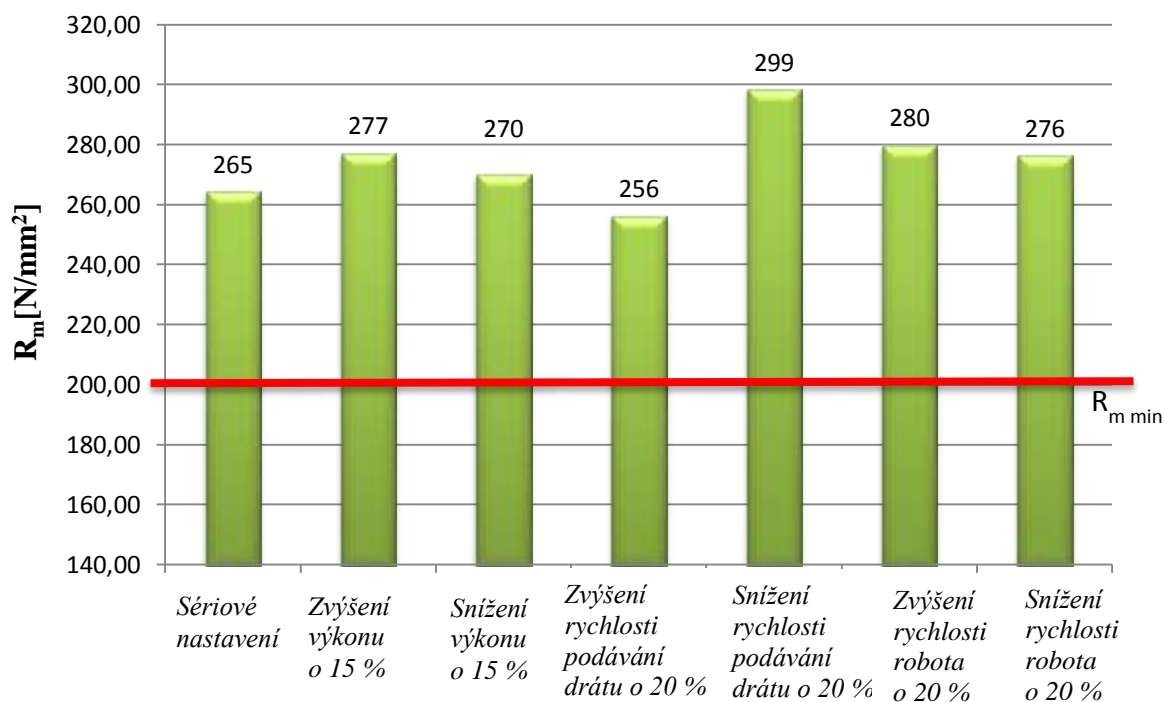
Obr. 56 Tahová zkouška 6. víko

6. víko	1.6	2.6	
a_0	0,70	0,70	[mm]
b_0	48,87	49,15	[mm]
R_m	284	275	[N.mm ⁻²]
Lom	mimo svar	mimo svar	



Obr. 57 Tahová zkouška 7. víko

7. víko	1.7	2.7	
a_0	0,70	0,70	[mm]
b_0	56,04	49,20	[mm]
R_m	282	271	[N.mm ⁻²]
Lom	mimo svar	mimo svar	



Obr. 58 Shrnutí a zprůměrování hodnot tahových zkoušek

Jak je z grafu patrné a poslední shrnutí ukazuje (viz obr. 58), všechny vzorky splnily předepsanou koncernovou normu, tedy minimální pevnost $R_m \geq 200$ MPa. Lomy nastaly mimo svarovou housenku v základním materiálu. Výjimku tvoří vzorek 3. víka, ale byla dosažena minimální pevnost R_m proto je vzorek také vyhovující.

Obr. 58 ukazuje, že největší pevnosti R_m , bylo dosaženo u pátého vzorku, kde byla snížena rychlost podávání drátů. Nejmenší hodnota R_m byla docílena u čtvrtého vzorku, kde byla rychlost podávání drátu zvýšena.

4.4 Metalografické hodnocení spoje

Pomocí metalografické zkoušky je možné pozorovat strukturu materiálu, prostřednictvím optických nebo speciálních metalografických mikroskopů. Pro správné zviditelnění struktury materiálu je nutno dodržet sérii kroků, které jsou nutné pro správné zviditelnění struktury. Proto si příprava žádá svá pravidla, která musí být dodržována, aby nedošlo ke změně struktury ve vzorku.

4.4.1 Příprava metalografických vzorků

Vzorky, které byly pomocí úhlové brusky odděleny ze zadních vík, byly přeneseny do laboratoře svarů. Při odběru vzorku bylo dbáno na to, aby nedošlo k mechanickému a tepelnému ovlivnění struktury. Vzorek nesmí být plasticky deformován a jeho teplota nesmí překročit hodnoty, které by zapříčinily fázové transformace. Nahrubo oddělené vzorky byly odděleny pomocí metalografické pily (viz obr. 59). Metalografická pila při procesu řezání daný vzorek ochlazuje, a proto nedocházelo k nežádoucímu ovlivnění struktury. Při řezání vzorků byly vyhledávány povrchové anomálie (viz obr. 60). V těchto anomáliích byly dané vzorky kolmo k ose pájeného spoje odděleny.



Obr. 59 Discotom 65 [28]

Tabulka 8: Metalografická pila technické specifikace

Motor	3 x 400 V/50 Hz/4,0 kW
Kotouč	ø 300 mm
Otáčky	1000 – 4000 U.min ⁻¹
Kapacitní dělení	105 mm ø90 x 140 mm



Obr. 60 Anomálie na pájeném spoji

Nařezané vzorky byly pomocí metalografické pily nařezány a poté překontrolovány, zda bylo dosaženo požadovaného místa. Byly odstraněny přebytečné otěpy a nečistoty. Připravené vzorky byly vloženy do metalografického lisu (viz obr. 61) a zasypány zelenou fenolovou pryskyřicí MultiFast od společnosti Struers. Proces zapékání a chlazení jednoho vzorku trval 5 min.



Obr. 61 CitoPress-1 [28]

Tabulka 9: CitoPress-1 technické specifikace

Napětí	100 - 120 V
Frekvence	50 - 60 Hz
Tlak	50 - 350bar
Doba ohřevu	1 - 15 min
Zapékací teplota	120 – 150 – 180 °C
Chladicí čas	1 - 15 min



Obr. 62 Zalisované vzorky

Zalisované vzorky (viz obr. 62) byly jednotlivě označeny a přeneseny k metalografické dvoukotoučové brusce (viz obr. 63). Broušením vzorků bylo docíleno minimalizace povrchových nerovností.

Tabulka 10: LaboPol-21 technické údaje

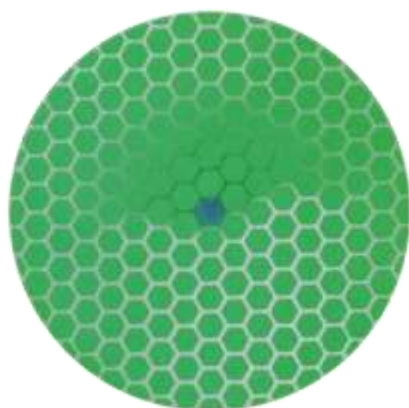


Průměr kotouče	200 - 250 mm
Rychlost	300 ot.min ⁻¹
Motor	180 W
Směr otáčení	proti směru hodinových ručiček
Krouticí moment u kotouče	6,5 Nm Max. 13,0 Nm

Obr. 63 Dvoukotoučová bruska LaboPol-21 [28]

Do metalografické brusky byl vložen hrubší brusný kotouč MD PIANO 600. Tímto kotoučem a konstantním chlazením vodou, byly vzorky broušeny po dobu šesti minut. Poté byl vložen jemnější brusný kotouč MD Piano 1000 a podobu čtyř minut vzorky byly přebroušeny.

Následoval proces leštění vzorů. Je to další proces pro přípravu kvalitního vzorku. Pro jemné leštění byl použit kompozitní kotouč (viz obr. 64), který dokáže nahradit několik kroků leštění na papíru SiC jedním krokem. Pomocí tohoto kotouče bylo docíleno přesné rovinnosti a optimální zachování hran.



Obr. 64 MD-Primo 220, 250 mm [28]



Obr. 65 DIAPRO ALLEGRO/LARGO, 9µm [28]

Spolu s tímto kotoučem, byla použita 9 µm stabilní diamantová suspenze (viz obr. 65) obsahující směs fosforu, diamantů a chladicí kapaliny. Vzorky byly leštěny po dobu pěti minut. Dalším krokem byla výměna kotouče za MD-PLUS Ø 250 mm, kdy byly za doprovodu 3 µm diamantové suspenze vzorky po dobu pěti minut přeštěny. Vzorky byly po dokončení omyty v technickém lihu.

Posledním krokem leštění byl kotouč MD-Gekko, který spolu s 1 μm diamantovou suspenzí, vzorky po dobu 5 minut přešetila. Vzorky byly opět omyty v technickém lihu a důkladně vysušeny.

Posledním a nejsložitějším procesem bylo leptání. Chemické leptání slouží ke zviditelnění mikrostruktury oceli a pájky vzorku. První pokus ke zviditelnění mikrostruktury byl neúspěšný. Bylo použito leptadlo Nital, což je 3% roztok HNO_3 v etanolu, který se používá pro nízkouhlíkové ocele. Vzorky leptány touto chemikálií ukázaly mikrostrukturu pouze horní části výlisku. Mikrostruktura a tepelně ovlivněná oblast spodního dílu byla nečitelná. Z těchto důvodů musel být celý proces broušení a leštění zopakován. Z důvodu selhání prvního pokusu naleptání vzorku bylo použité speciální leptadlo, které se osvědčilo při leptání pájených spojů. Kombinací leptadel Adler (HCl) + Nital (viz obr. 66), bylo dosaženo požadované zviditelnění mikrostruktury a TOO obou dílů.



Obr. 66 Leptadlo ADLER a NITAL



Obr. 67 Metalurgické vzorky po leptání

4.4.2 Vyhodnocení metalografických vzorků

Metalografické vzorky byly vyhodnocovány pomocí optického stereomikroskopu (viz obr. 68).



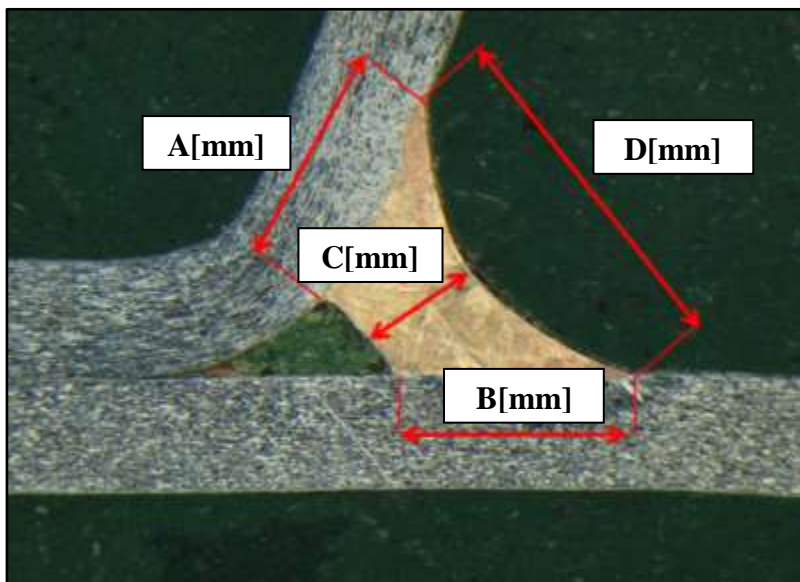
Obr. 68 Olympus SZX16 [19]

Tabulka 11: Olympus SXZ16 technické údaje

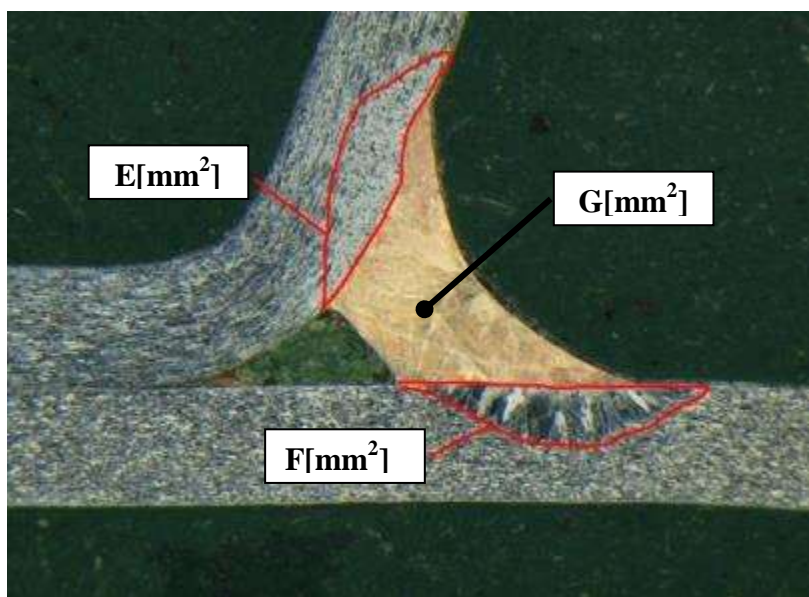
Výrobce	Olympus
Typ tělesa	SZX-ZB16
Poměr zvětšení	16,4 (0,7 x až 11,5x)
celkové zvětšení	0,7;0,8;1;1,25;1,6;2;2,5;3,2;4;5;6,3;8;10;11,5

Pomocí stereomikroskopu a příslušného softwaru, byly vyhodnocovány jednotlivé metalografické vzorky. Tyto vzorky se standardně vyhodnocují dle koncernové normy, ale pro účely této práce tato norma ztrácí uplatnění. Nejvýstižnější způsob vyhodnocení metalografických výbrusů z experimentu je zaměření se na celkový tvar pájených spojů

a jejich vzájemné porovnání. Byla vyhodnocena tloušťka švu, označována **C**. Šířka zkropení pájky označována **A** (horního výlisku) a **B** (spodního výlisku). Rozměr šířky spáry **D** (viz obr. 69). Významným parametrem experimentu je tepelně ovlivněná oblast a celková velikost plochy pájky. Byla změřena celková plocha TOO **E** (horního výlisku) a **F** (dolního výlisku), (viz obr. 70) a celková plocha pájky **G** (viz obr. 70).



Obr. 69 Rozměry tvaru pájky

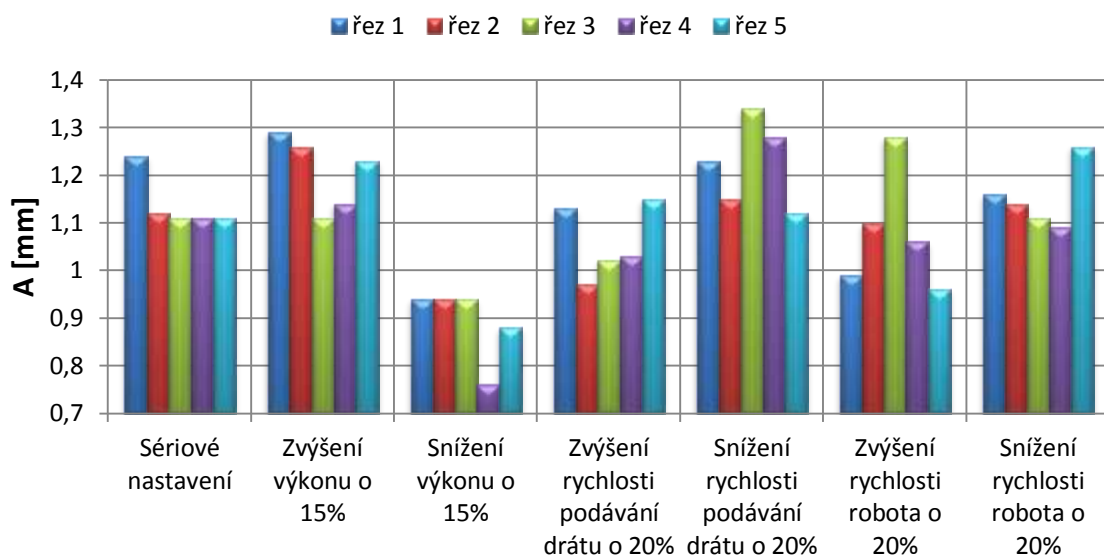


Obr. 70 Plocha pájky a tepelně ovlivněná oblast

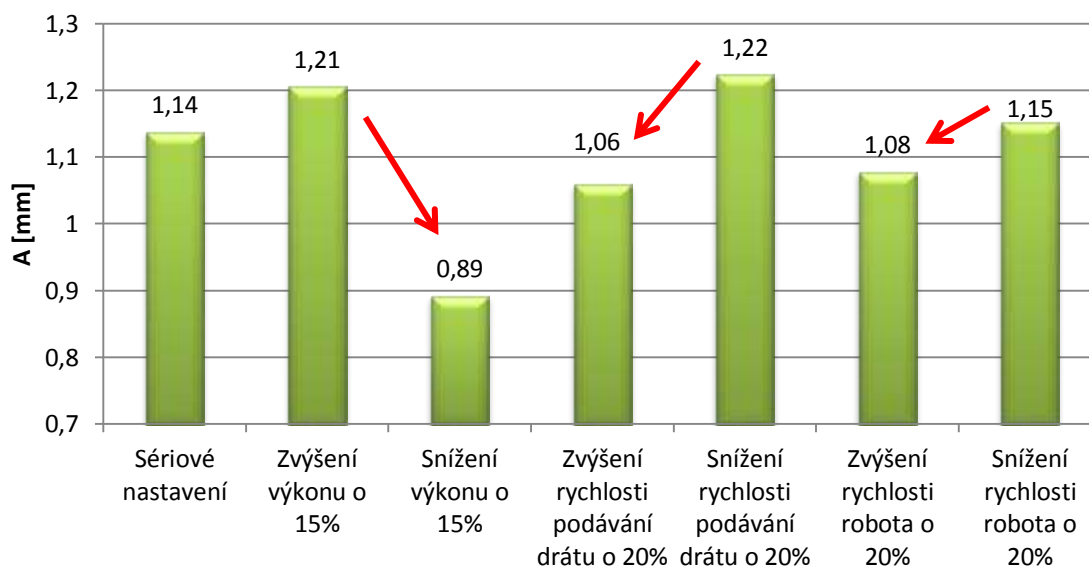
- **Šířka zkropení spoje A [mm] horního výlisku:**

Tabulka 12: Rozměry šířky zkropení A [mm]

		A [mm]					
Číslo víka		naměřené hodnoty [mm]					Průměr [mm]
		1. řez	2. řez	3. řez	4. řez	5. řez	
1.	Sériové nastavení	1,24	1,12	1,11	1,11	1,11	1,14
2.	Zvýšení výkonu o 15 %	1,29	1,26	1,11	1,14	1,23	1,21
3.	Snížení výkonu o 15 %	0,94	0,94	0,94	0,76	0,88	0,89
4.	Zvýšení rychlosti podávání drátu o 20 %	1,13	0,97	1,02	1,03	1,15	1,06
5.	Snížení rychlosti podávání drátu o 20 %	1,23	1,15	1,34	1,28	1,12	1,22
6.	Zvýšení rychlosti robota o 20 %	0,99	1,1	1,28	1,06	0,96	1,08
7.	Snížení rychlosti robota o 20 %	1,16	1,14	1,11	1,09	1,26	1,15



Obr. 71 Velikosti parametru A [mm] v řezech

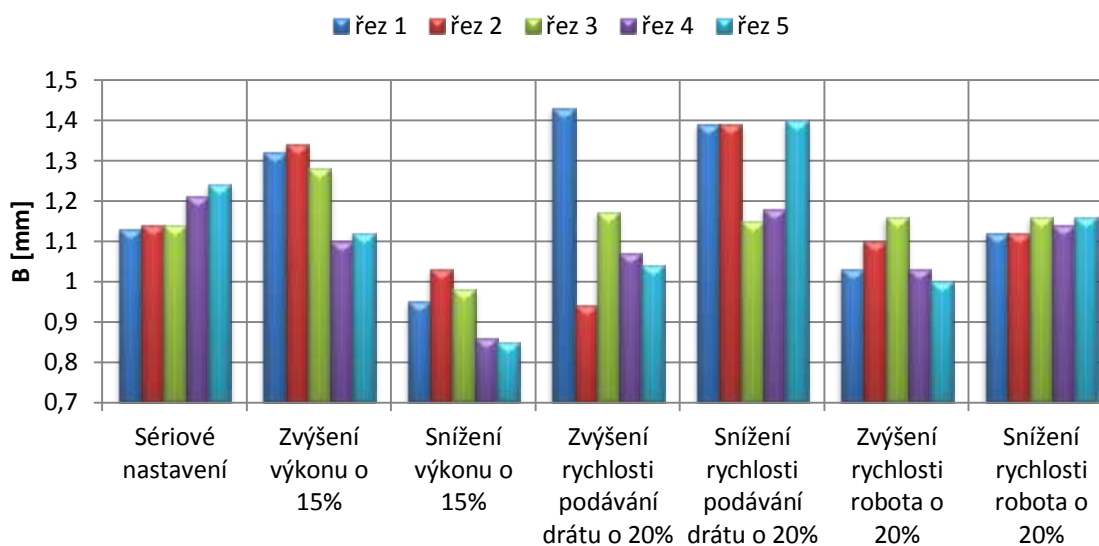


Obr. 72 Průměrné hodnoty parametru A[mm]

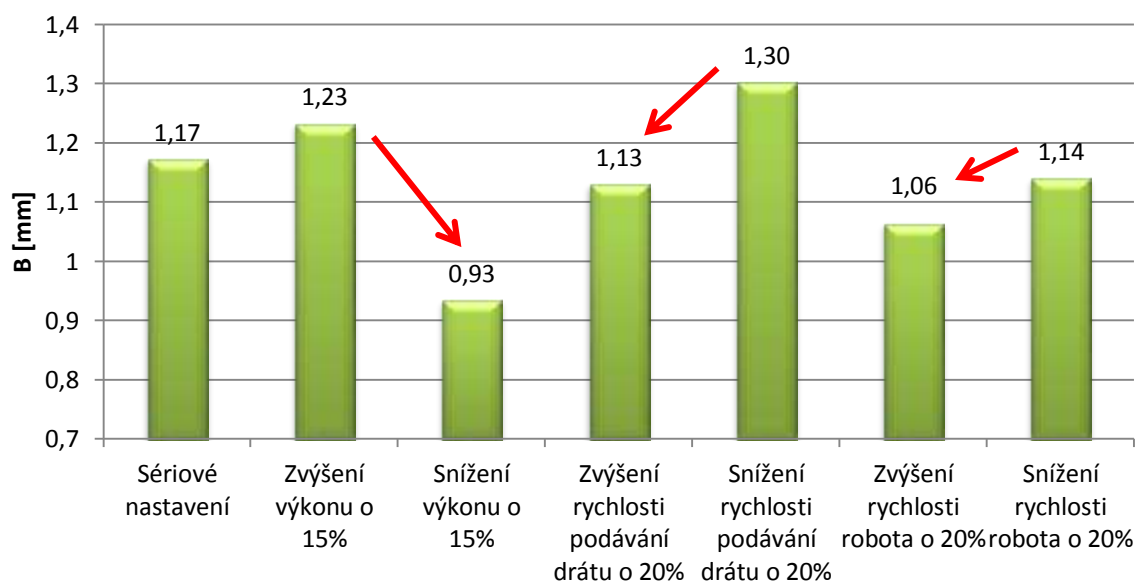
- **Šířka zkropení spoje B [mm] spodního výlisku:**

Tabulka 13: Rozměry šířky zkropení B [mm]

Číslo víka		B [mm]					Průměr [mm]
		naměřené hodnoty [mm]					
		1. řez	2. řez	3. řez	4. řez	5. řez	
1.	Sériové nastavení	1,13	1,14	1,14	1,21	1,24	1,17
2.	Zvýšení výkonu o 15 %	1,32	1,34	1,28	1,1	1,12	1,23
3.	Snížení výkonu o 15 %	0,95	1,03	0,98	0,86	0,85	0,93
4.	Zvýšení rychlosti podávání drátu o 20 %	1,43	0,94	1,17	1,07	1,04	1,13
5.	Snížení rychlosti podávání drátu o 20 %	1,39	1,39	1,15	1,18	1,4	1,30
6.	Zvýšení rychlosti robota o 20 %	1,03	1,1	1,16	1,03	1	1,06
7.	Snížení rychlosti robota o 20 %	1,12	1,12	1,16	1,14	1,16	1,14



Obr. 73 Velikosti parametru B [mm] v řezech



Obr. 74 Průměrné hodnoty parametru B [mm]

Jak je z grafů patrné (viz obr. 71 a obr. 74) největších šířek zkropení bylo docíleno u druhého, pátého a sedmého víka. Je patrné, že snížení a zvýšení vstupních parametrů, šířku zkropení pájeného spoje značně ovlivňuje.

Největší skoky jsou pozorovány při změně výkonu. Tento jev, může být zapříčiněn tím, že při zvýšení výkonu se větší množství energie přesune do základního materiálu výlisku a utvoří ideální podmínky pro zatečení pájky. Naopak při snížení výkonu se nedostává dostatek energie do základního materiálu a pájka nemá vhodné předpoklady pro dostatečné zatečení. Z této příčiny je na 3. víku nejmenší délka parametrů A a B.

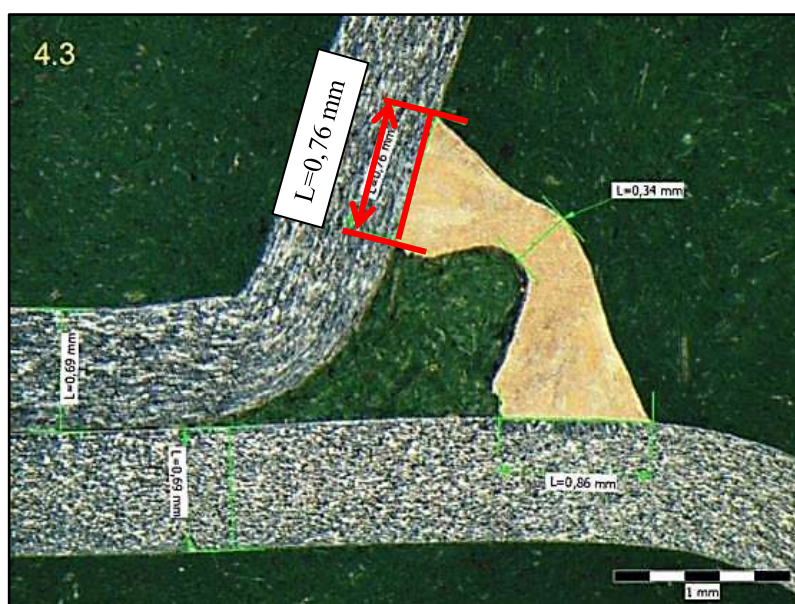
Rychlost podávání drátu, parametr A a B, také značně ovlivňuje. Vhodné podmínky pro zatečení pájky vznikly u 5. víka. Tyto vhodné podmínky pravděpodobně vznikly díky snížení rychlosti drátu. Pájenému drátu se poskytlo dostatek času k roztavení, a proto utvořil takto vysoké hodnoty. Naopak zvýšením rychlosti drátu se šířka smočení snížila, kvůli nedostatečnému času přenesení energie do drátu.

Grafy také ukazují, že změny rychlosti robota parametry A a B tolik neovlivňuje.



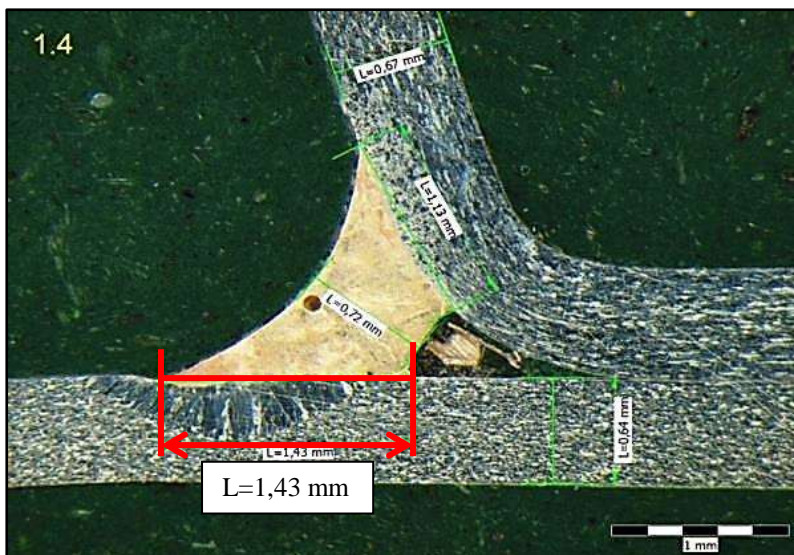
Obr. 75 Největší šířka smočení A, vzorek 3.5

➤ Největší šířka zkropení rozměru A vyšla 1,34 mm (viz tabulka 12). Této hodnoty bylo docíleno u vzorku 3.5, kde byla snížena rychlost podávání drátu o 20 % (viz obr. 75).



Obr. 76 Nejmenší šířka smočení rozměru A, vzorek 4.3

➤ Nejmenší šířka zkropení rozměru A vyšla 0,76 mm (viz tabulka 12). Této hodnoty bylo docíleno u vzorku 4.3, kde byl výkon laseru snižen o 15 % (viz obr. 76).



Obr. 77 Největší hodnota rozměru B, vzorek 1.4



Obr. 78 Nejmenší hodnota rozměru B, vzorek 5.3

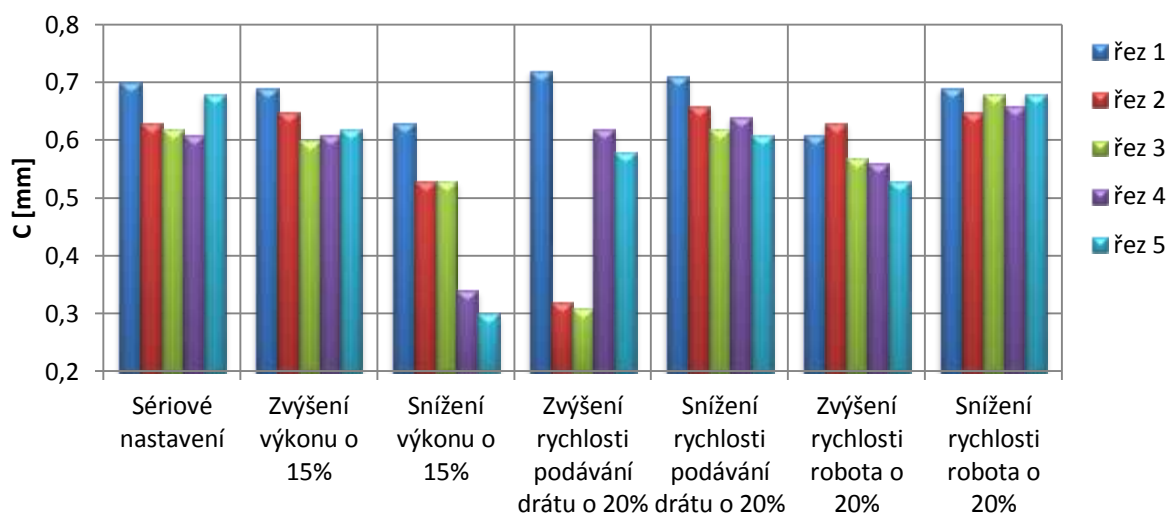
➤ Největší šířka zkropení rozměru **B** nám vyšla 1,43 mm (viz tabulka 13). Tato hodnota byla docílena u víka, kde byla zvýšena rychlost podávání drátu o 20 % u vzorku 1.4 (viz obr. 77).

➤ Nejmenší šířka zkropení rozměru **B** nám vyšla 0,85 mm (viz tabulka 13). Této hodnoty bylo docíleno u víka, kde byl snížen výkon laseru o 15% u vzorku 5.3 (viz obr. 78).

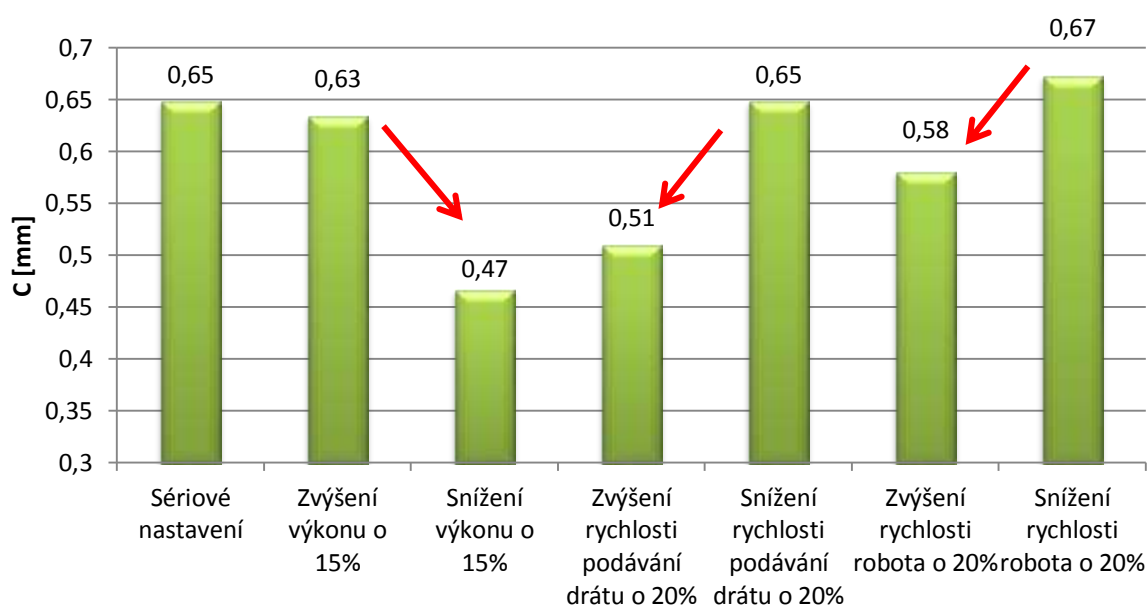
- **Tloušťka švu C [mm]:**

Tabulka 14: Rozměry tloušťky švu C

		C [mm]					
Číslo víka		naměřené hodnoty [mm]					Průměr [mm]
		1. řez	2. řez	3. řez	4. řez	5. řez	
1.	Sériové nastavení	0,7	0,63	0,62	0,61	0,68	0,65
2.	Zvýšení výkonu o 15 %	0,69	0,65	0,6	0,61	0,62	0,63
3.	Snížení výkonu o 15 %	0,63	0,53	0,53	0,34	0,3	0,47
4.	Zvýšení rychlosti podávání drátu o 20 %	0,72	0,32	0,31	0,62	0,58	0,51
5.	Snížení rychlosti podávání drátu o 20 %	0,71	0,66	0,62	0,64	0,61	0,65
6.	Zvýšení rychlosti robota o 20 %	0,61	0,63	0,57	0,56	0,53	0,58
7.	Snížení rychlosti robota o 20 %	0,69	0,65	0,68	0,66	0,68	0,67



Obr. 79 Velikosti parametru C [mm] v řezech



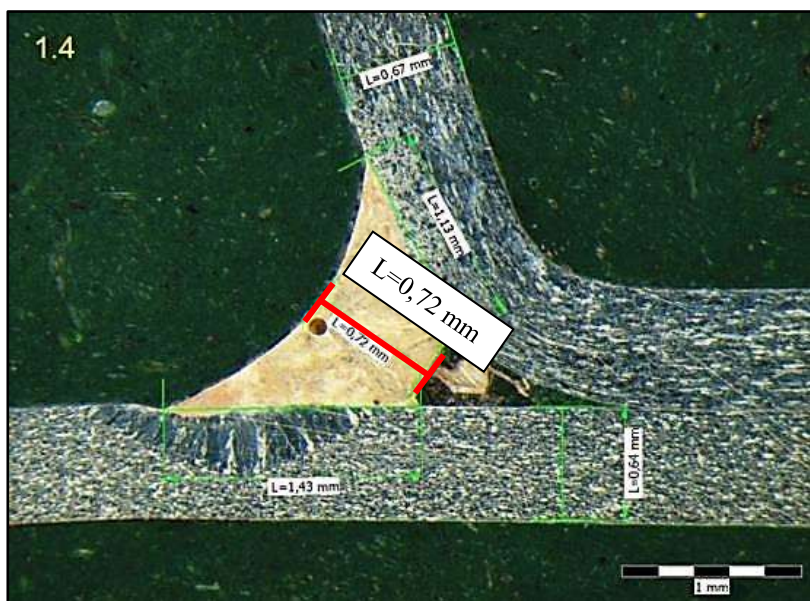
Obr. 80 Průměrné hodnoty parametru C [mm]

Jak ukazuje graf, největších tlouštěk švu bylo docíleno u druhého, pátého a sedmého víka (viz obr. 80). Nejmenší šířky smočení C bylo dosaženo na třetím, čtvrtém a šestém víku.

Největšího rozdílu parametru C bylo dosaženo stejně jako u parametru A a B, při změně výkonu a změně rychlosti podávání drátu.

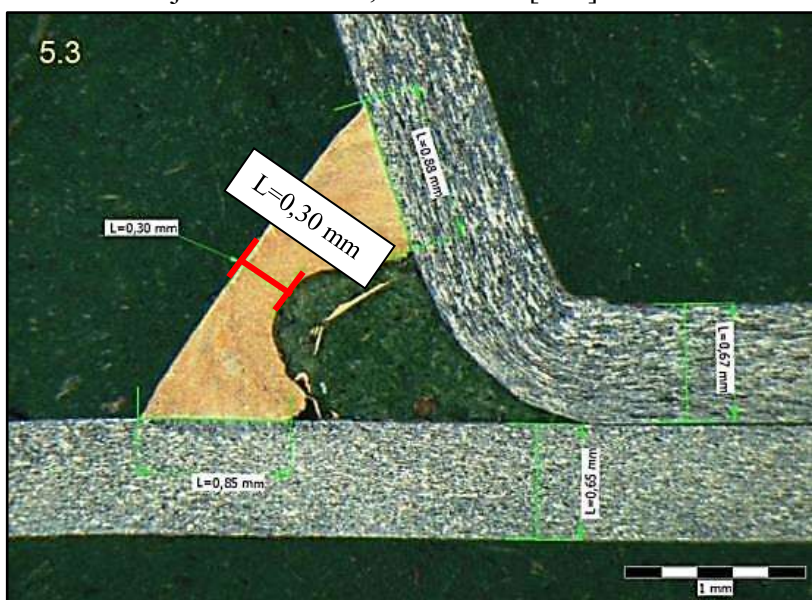
Změna výkonu, má na tento parametr vliv, pravděpodobně díky množství energie, která je předávána do základního materiálu. Dostatek transformované energie pak dokáže zformovat větší šířky pájky, než je tomu u poklesu výkonu. Při snížení výkonu dosahuje šířka pájky absolutně nevhodných parametrů.

Rychlost drátu parametr C také značně ovlivňuje. Vhodné podmínky pro zformování pájky sledujeme u 5. víka. Tyto vhodné podmínky pravděpodobně vznikly vlivem snížení rychlosti drátu. Pájenému drátu se poskytlo dostatek času k roztavení, a proto vytvořil dostatečnou šířku pájeného švu. Naopak zvýšením rychlosti drátu se šířka smočení snížila a vytvořila nevhodné parametry C. Tento jev je pravděpodobně zapříčiněn kvůli nedostatečnému času přenesení energie do drátu.



Obr. 81 Největší rozměr C, vzorek 1.4 [mm]

Graf také ukazuje, že patrný vliv na rozměr C má i rychlost robota. Snížíme-li pájecí parametr rychlosti robota, rozměr C nám poroste. Tento děj může ovlivňovat množství energie, který dodává laserový paprsek do pájecího procesu. Při poklesu rychlosti robota se dostává dostatečný čas na dodání energie do základního materiálu a do přidavného materiálu, proto bylo pravděpodobně u tohoto víka parametr C největší.



Obr. 82 Nejmenší hodnota rozměru C, vzorek 5.3

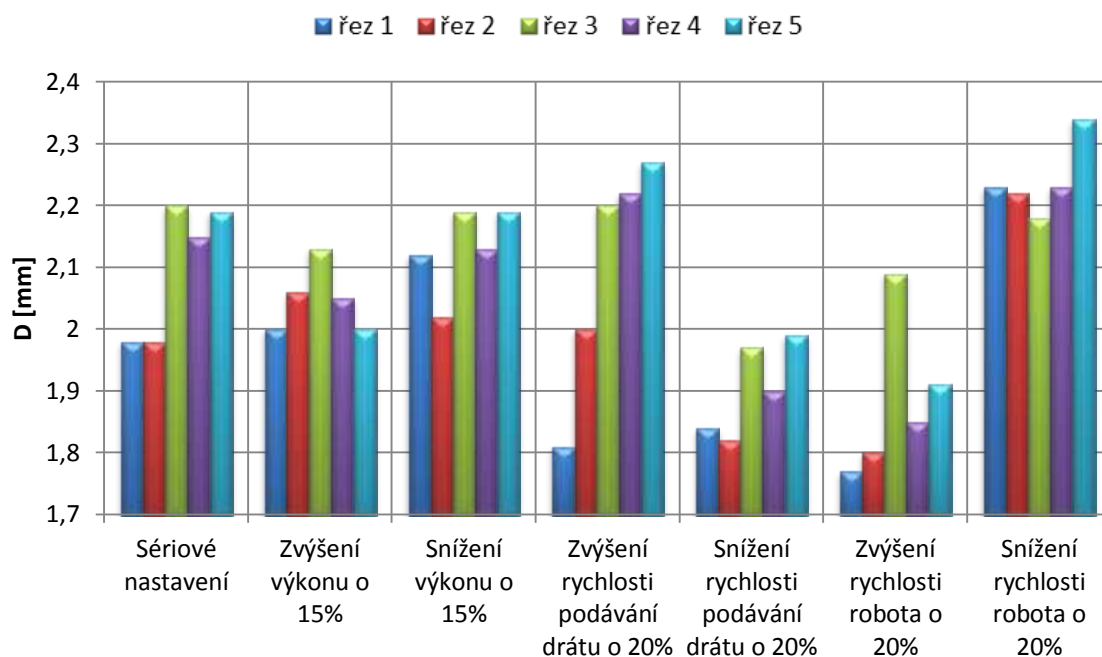
➤ Největší šířka pájky C vyšla 0,72 mm (viz tabulka 14). Této hodnoty bylo docíleno u víka, kde byla zvýšena rychlost podávání drátu o 20 % u vzorku 1.4 (viz obr. 81).

➤ Nejmenší šířka pájky C vyšla 0,3 mm (viz tabulka 14). Této hodnoty bylo docíleno u víka, kde byl snížen výkon laseru o 15 % u vzorku 5.3 (viz obr. 82).

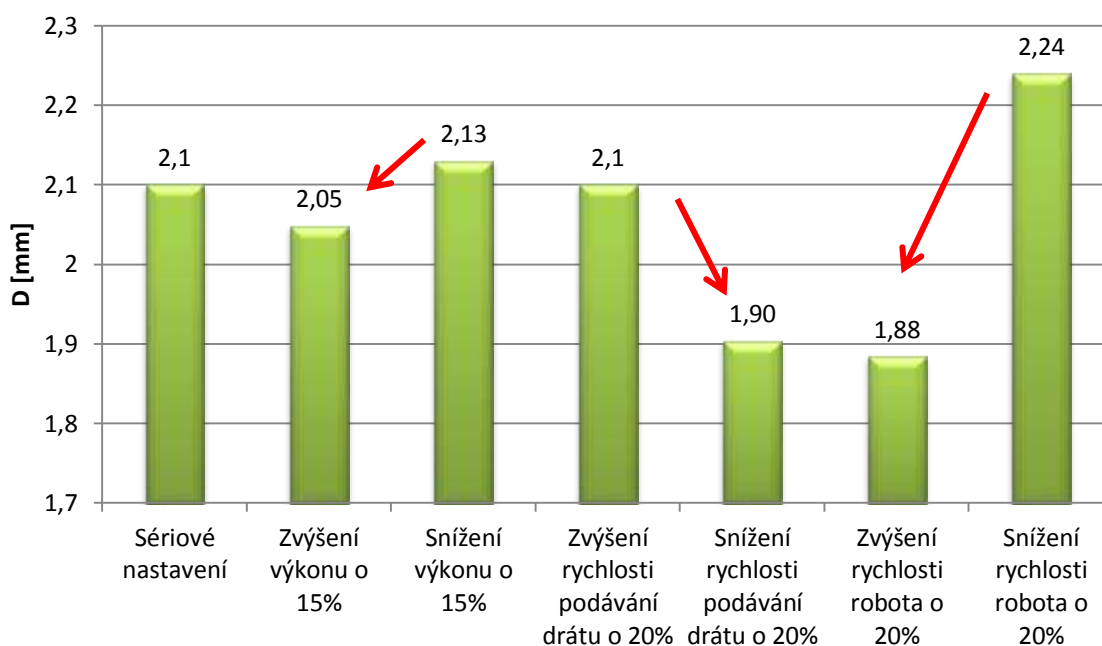
- **Šířka spáry D [mm]:**

Tabulka 15: Rozměry šířky spáry D [mm]

		D [mm]					
Číslo víka		Naměřené hodnoty					Průměr [mm]
		1. řez	2. řez	3. řez	4. řez	5. řez	
1.	Sériové nastavení	1,98	1,98	2,2	2,15	2,19	2,10
2.	Zvýšení výkonu o 15 %	2	2,06	2,13	2,05	2	2,05
3.	Snížení výkonu o 15 %	2,12	2,02	2,19	2,13	2,19	2,13
4.	Zvýšení rychlosti podávání drátu o 20 %	1,81	2	2,2	2,22	2,27	2,10
5.	Snížení rychlosti podávání drátu o 20 %	1,84	1,82	1,97	1,9	1,99	1,90
6.	Zvýšení rychlosti robota o 20 %	1,77	1,8	2,09	1,85	1,91	1,88
7.	Snížení rychlosti robota o 20 %	2,23	2,22	2,18	2,23	2,34	2,24



Obr. 83 Velikosti šířky spáry **D** [mm] v řezech



Obr. 84 Průměrné hodnoty šířky spáry **D** [mm]

Z grafu je patrné, že největší šířky spáry bylo docíleno snížením rychlosti robota (viz obr. 84). Vyšší hodnoty byly objeveny také u snížení výkonu laseru a zvýšení rychlosti podávání drátu.

Největší rozdíl byl pozorován u zvýšení a snížení rychlosti robota. Pokud je robot při pájení zpomalen, dochází k formování kovu pájky do lichoběžníkového tvaru, který je z hlediska korozní stability výhodnější.

Rozdíl je také patrný u rychlosti podávání přídavného materiálu. Při snížení rychlosti drátu bylo dosahováno menší šířky spáry. Naopak u zvyšování rychlosti drátu bylo docíleno větších hodnot D.



Obr. 85 Největší rozměr D, vzorek 5.7 [mm]



Obr. 86 Nejmenší hodnota rozměru D, vzorek 1.6

V grafu je patrné, že zvyšováním a snižováním výkonu laseru, parametr D ve větší míře neovlivňuje.

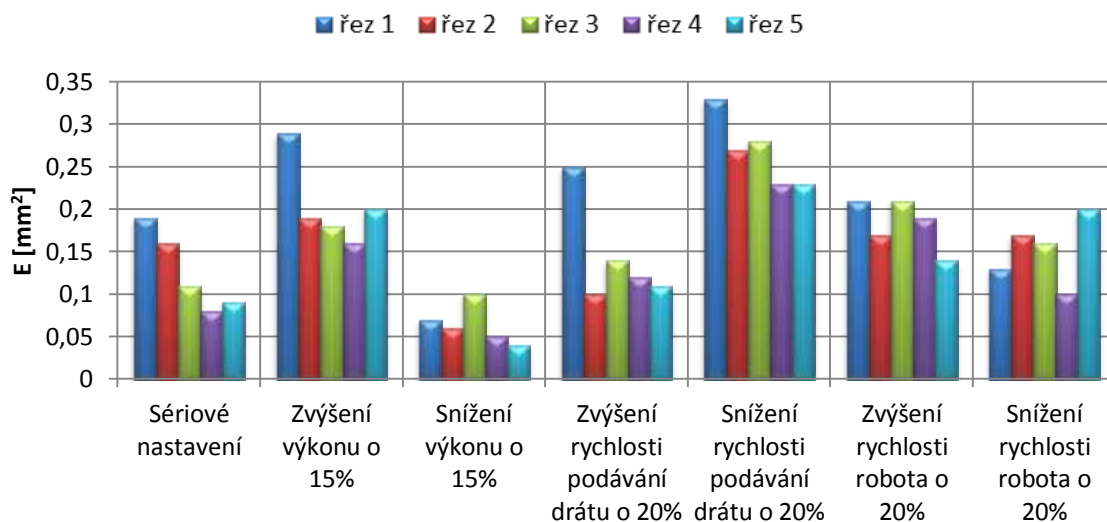
➤ Největší šířka spáry **D** vyšla 2,34 mm (viz tabulka 15). Těto hodnoty bylo docíleno u víka, kde byla snížena rychlost robota o 20 % u vzorku 5.7 (viz obr. 85).

➤ Nejmenší šířka spáry **D** vyšla 1,77 mm (viz tabulka 15). Těto hodnoty bylo docíleno u víka, kde byla zvýšena rychlost robota o 20 % (viz obr. 86).

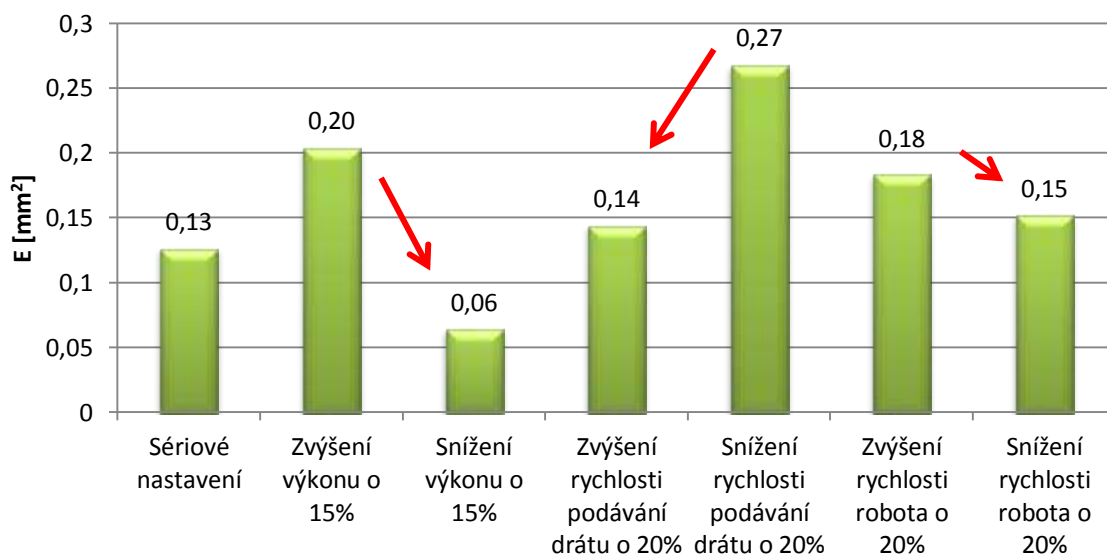
• **Velikost TOO E [mm²] horního výlisku:**

Tabulka 16: Velikost TOO E [mm²]

		E [mm ²]					Průměr [mm ²]
Číslo víka		Naměřené hodnoty					
		1. řez	2. řez	3. řez	4. řez	5. řez	
1.	Sériové nastavení	0,19	0,16	0,11	0,08	0,09	0,13
2.	Zvýšení výkonu o 15 %	0,29	0,19	0,18	0,16	0,2	0,20
3.	Snížení výkonu o 15 %	0,07	0,06	0,1	0,05	0,04	0,06
4.	Zvýšení rychlosti podávání drátu o 20 %	0,25	0,1	0,14	0,12	0,11	0,14
5.	Snížení rychlosti podávání drátu o 20 %	0,33	0,27	0,28	0,23	0,23	0,27
6.	Zvýšení rychlosti robota o 20 %	0,21	0,17	0,21	0,19	0,14	0,18
7.	Snížení rychlosti robota o 20 %	0,13	0,17	0,16	0,1	0,2	0,15



Obr. 87 Velikost TOO [mm²] horního výlisku v řezech

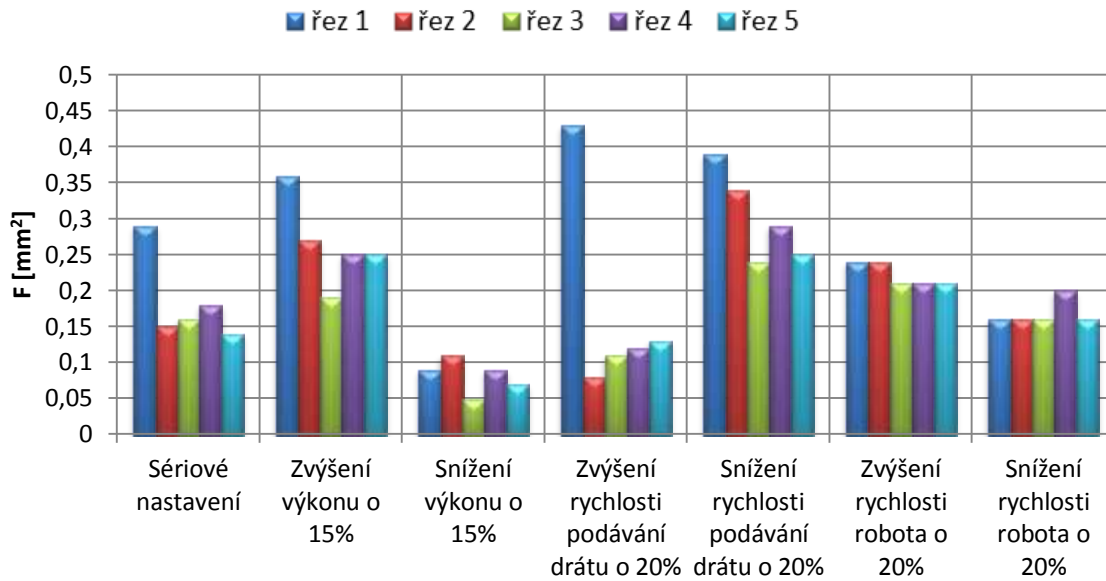


Obr. 88 Průměrné rozměry TOO [mm²] horního výlisku

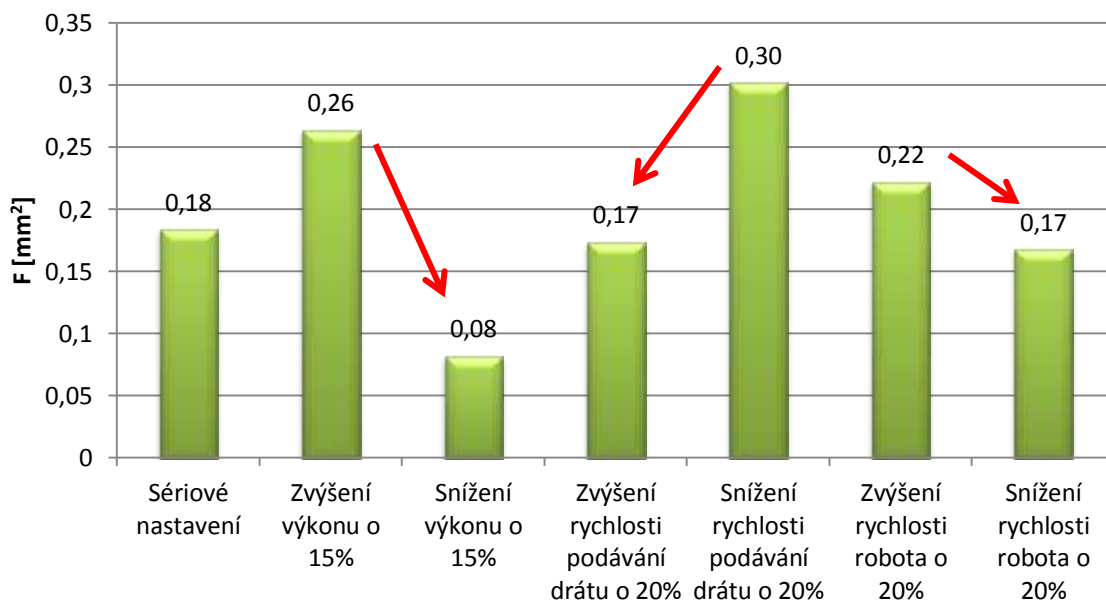
• **Velikost TOO F [mm²] spodního výlisku:**

Tabulka 17: Velikost TOO F [mm²]

		F [mm ²]					
Víko		Naměřené hodnoty					Průměr [mm ²]
		1. řez	2. řez	3. řez	4. řez	5. řez	
1.	Sériové nastavení	0,29	0,15	0,16	0,18	0,14	0,18
2.	Zvýšení výkonu o 15 %	0,36	0,27	0,19	0,25	0,25	0,26
3.	Snížení výkonu o 15 %	0,09	0,11	0,05	0,09	0,07	0,08
4.	Zvýšení rychlosti podávání drátu o 20 %	0,43	0,08	0,11	0,12	0,13	0,17
5.	Snížení rychlosti podávání drátu o 20 %	0,39	0,34	0,24	0,29	0,25	0,3
6.	Zvýšení rychlosti robota o 20 %	0,24	0,24	0,21	0,21	0,21	0,22
7.	Snížení rychlosti robota o 20 %	0,16	0,16	0,16	0,2	0,16	0,17



Obr. 89 Velikost TOO [mm²] dolního výlisku v řezech



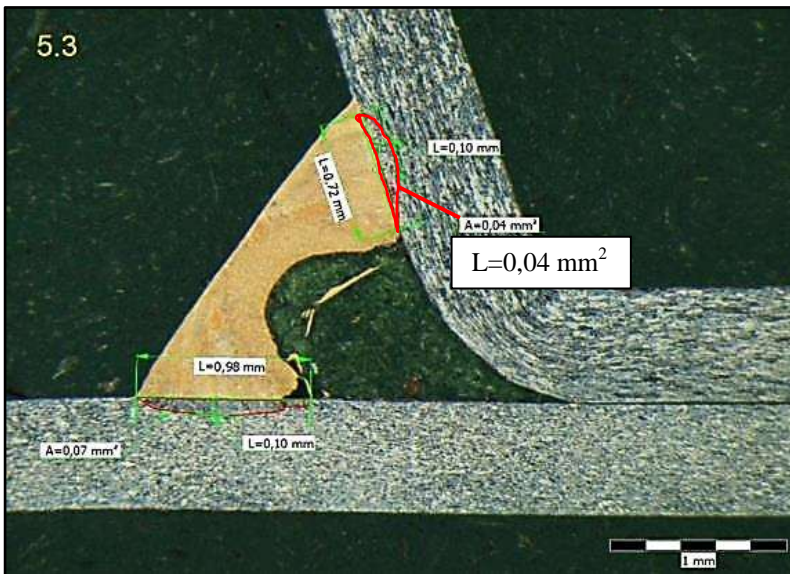
Obr. 90 Průměrné rozměry TOO [mm²] spodního výlisku

Jak je patrné, největší tepelně ovlivněné oblasti, bylo dosaženo u pátého víka. Vyšších hodnot bylo dosaženo také u druhého víka.

Největší rozdíl se nachází u změny výkonu laseru. Je zřejmé, že bude-li se navyšovat výkon laserového paprsku, TOO bude narůstat. Naopak snižováním výkonu laseru se bude TOO snižovat.

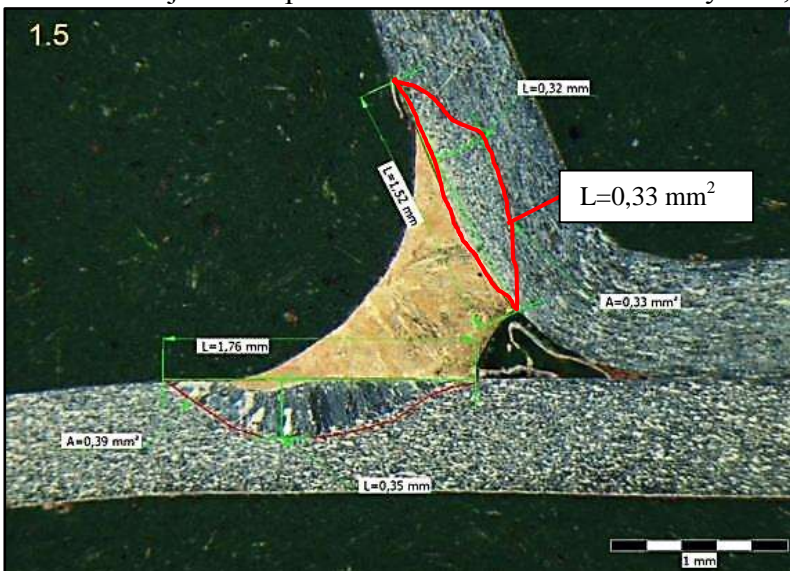
Velký rozdíl je sledován také u rychlosti podávání přídavného materiálu. Snižováním rychlosti drátu se předávaná energie stačí přesunout do základního materiálu a přídavného materiálu, proto zde vzniká TOO o větších rozměrech. Naopak zvyšováním rychlosti drátu se energie přenáší více do přídavného materiálu.

Menší rozdíly jsou pozorovány u změny rychlosti robota, ale je zřejmé, že zvyšováním rychlosti robota se dosahuje nepatrně větší TOO.



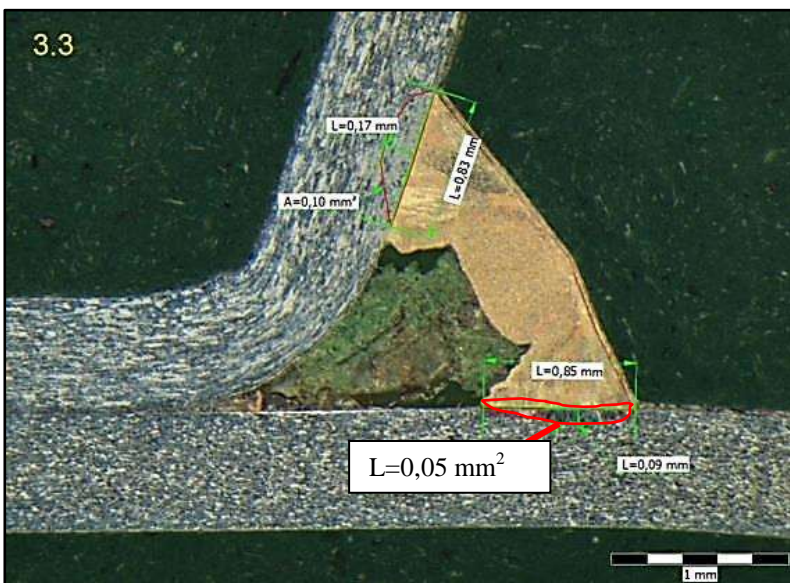
Obr. 91 Nejmenší tepelně ovlivněná oblast horního výlisku, vzorek 5.3

➤ Nejmenší tepelně ovlivněná oblast horního výlisku byla docílena rozměru 0,04 [mm²] u vzorku 5.3, kde byl snížen výkon o 15 % (viz obr. 91).



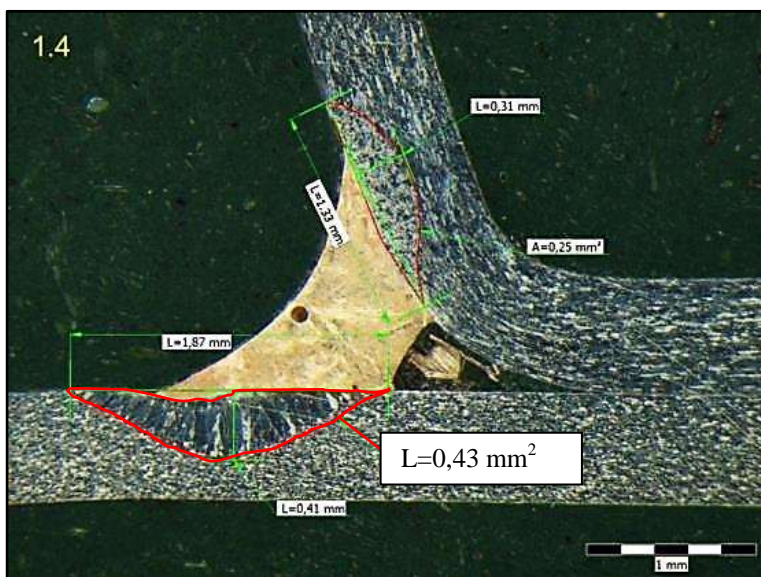
Obr. 92 Největší tepelně ovlivněná oblast horního výlisku, vzorek 1.5

➤ Největší tepelně ovlivněné oblasti horního výlisku, bylo dosaženo u vzorku 1.5, kde byla snížena rychlost podávání drátu o 20 %. Dosahuje velikosti 0,33 [mm²], (viz obr. 92)



Obr. 93 Nejmenší tepelně ovlivněná oblast spodního výlisku, vzorek 3.3

➤ Nejmenší tepelně ovlivněná oblast spodního výlisku nám dosáhla hodnoty 0,05 [mm²] u vzorku 3.3, kde byl snížen výkon o 15 % (viz obr. 93).



➤ Největší tepelně ovlivněné oblasti spodního výlisku bylo dosaženo u vzorku 1.4, kde dosahuje velikosti 0,43[mm²] (viz obr. 94).

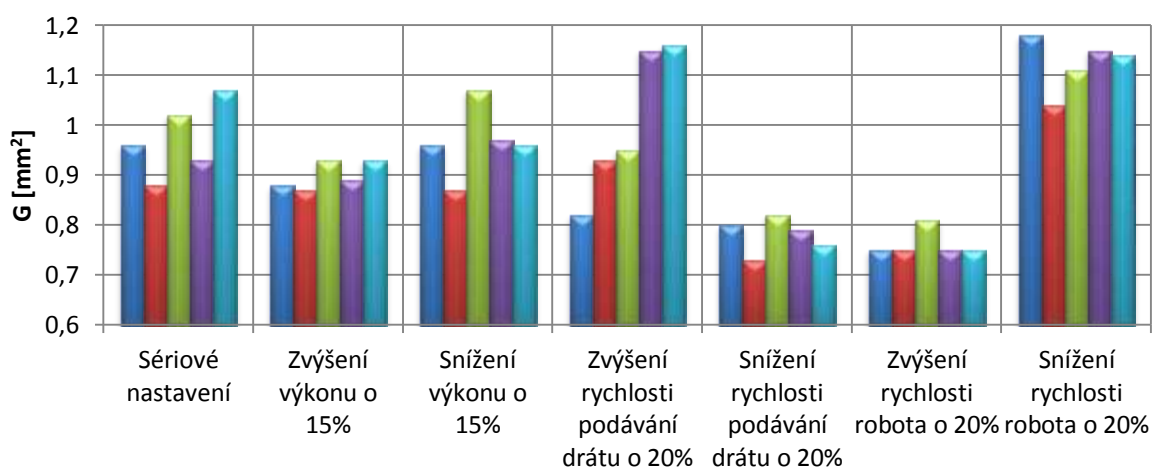
Obr. 94 Největší tepelně ovlivněná oblast spodního výlisku, vzorek 1.4

• **Plocha pájky G [mm²]:**

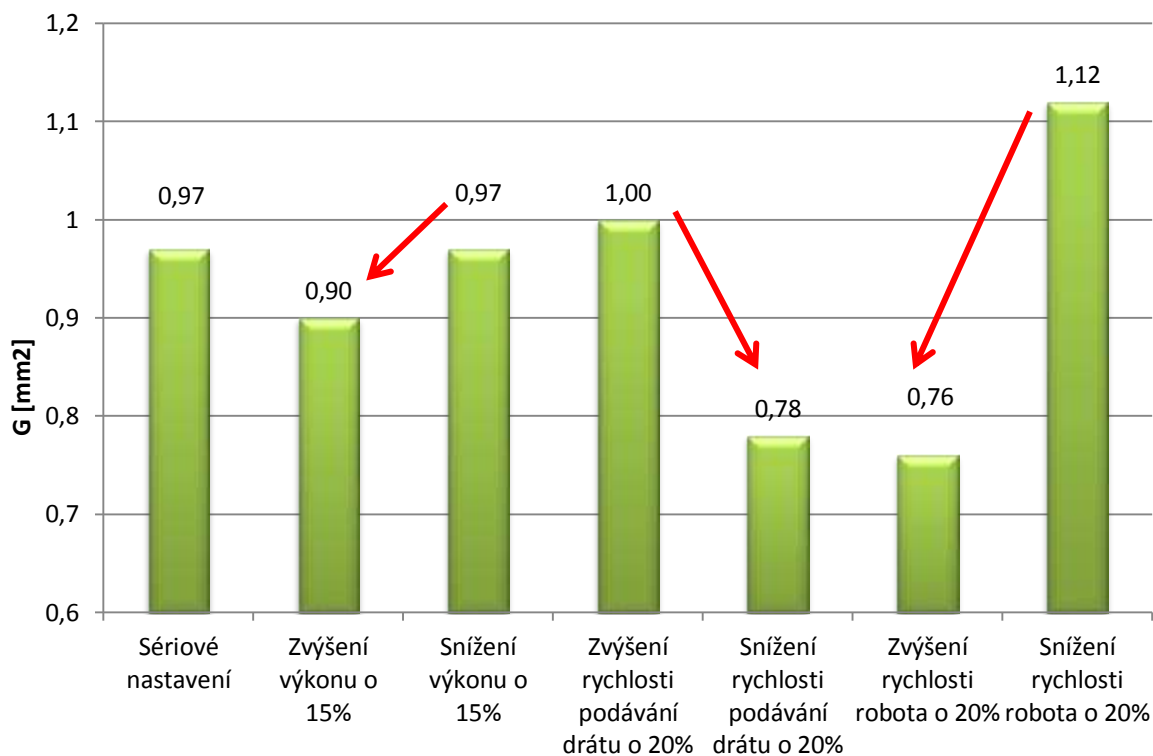
Tabulka 18: Plocha pájky

		G [mm ²]					Průměr [mm ²]
Víko		Naměřené hodnoty					
		1. řez	2. řez	3. řez	4. řez	5. řez	
1.	Sériové nastavení	0,96	0,88	1,02	0,93	1,07	0,97
2.	Zvýšení výkonu o 15%	0,88	0,87	0,93	0,89	0,93	0,90
3.	Snížení výkonu o 15%	0,96	0,87	1,07	0,97	0,96	0,97
4.	Zvýšení rychlosti podávání drátu o 20%	0,82	0,93	0,95	1,15	1,16	1,00
5.	Snížení rychlosti podávání drátu o 20%	0,8	0,73	0,82	0,79	0,76	0,78
6.	Zvýšení rychlosti robota o 20%	0,75	0,75	0,81	0,75	0,75	0,76
7.	Snížení rychlosti robota o 20%	1,18	1,04	1,11	1,15	1,14	1,12

■ řez 1 ■ řez 2 ■ řez 3 ■ řez 4 ■ řez 5



Obr. 95 Plocha pájky v jednotlivých řezech [mm²]

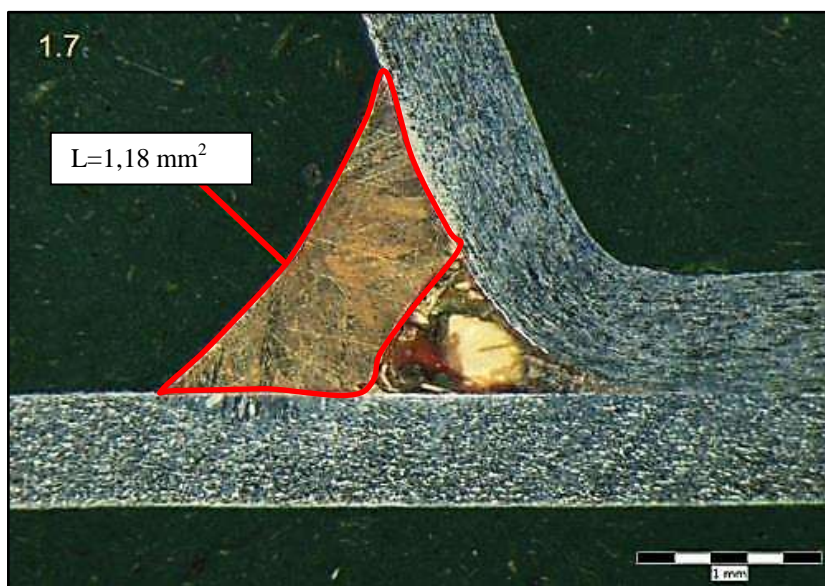


Obr. 96 Průměrné hodnoty plochy pájky G [mm²]

Graf ukazuje, že rychlost robota má značný vliv na celkový objem pájky (viz obr. 96). Snižováním rychlosti robota se docílí značně vyššího objemu housenky. Bude-li se pájecí proces zrychlovat, objem pájky bude klesat.

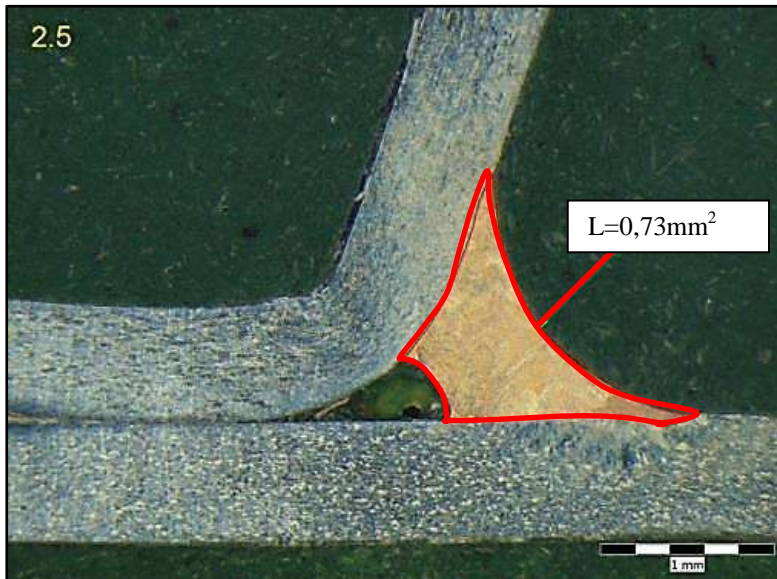
Rychlost podávání přídatného materiálu má na objem pájky také značný vliv. Zrychlováním objem poroste a naopak snižováním rychlosti se objem snižuje.

Jak také můžeme vidět, výkon laserového zařízení nemá na objem pájky výrazný vliv.



➤ Největší plocha pájky se vytvořila u vzorku 1.7 (viz obr. 97), kde byla snížena rychlost robota o 20 %.

Obr. 97 Největší plocha pájky, vzorek 1.7



Obr. 98 Nejmenší plocha pájky, vzorek 2.5

➤ Nejmenší plocha se vytvořila u vzorku 2.5, kde byla snížena rychlost podávání drátu, (viz obr. 98).

4.5 Charakteristika laserového spoje z chemického hlediska

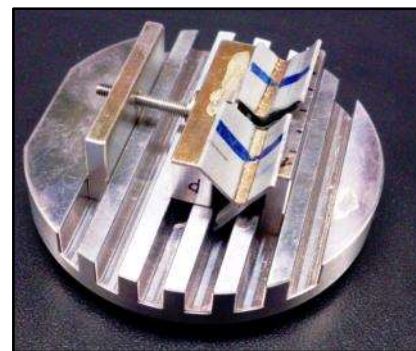
Pomocí metody EDS (energievě disperzní spektroskopie) se na skenovacím elektronovém mikroskopu, neboli také nazývaný EDX detektor (Energy-Disperzive X-ray Analysis), byla zkoumána charakteristika laserového spoje z chemického hlediska. Sledování vzorků bylo provedeno na zařízení ULTRA PLUS od společnosti Zeiss, na Technické univerzitě v Liberci (viz obr. 99).

Na EDS analýzu byly připraveny od každého víka dva vyřezané vzorky. Tyto vzorky byly připraveny v laboratoři svarů. Vzorky byly očištěny od cizorodých částic, jako jsou okuje a prach. Připravené vzorky byly vloženy do přípravku (viz obr. 100) a byl zahájen proces skenování.

Jsou zde prezentovány dva vzorky. Vzorek 2.3 a vzorek 1.5. Ostatní výsledky EDS analýzy jsou součástí příloh 1 až 14.

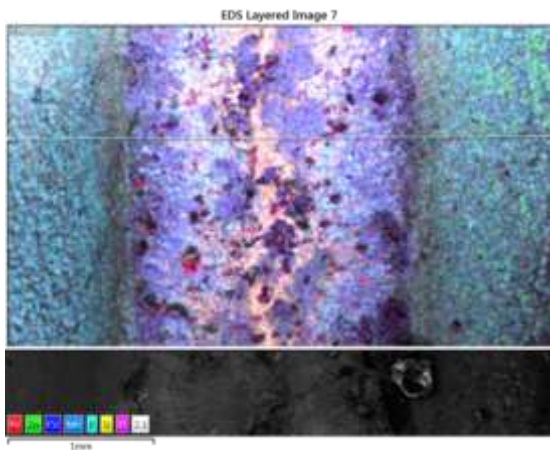


Obr. 99 Rastrovací elektronový mikroskop

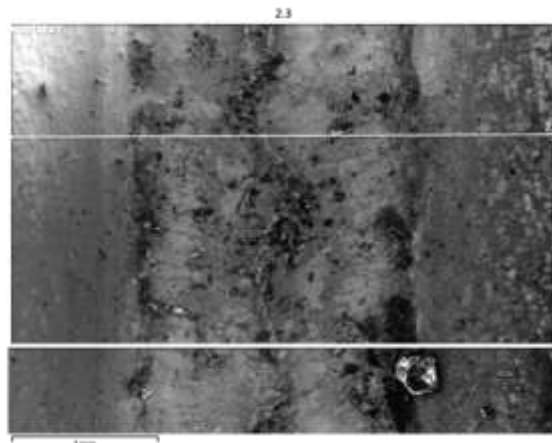


Obr. 100 Přípravek elektronového mikroskopu se vzorky

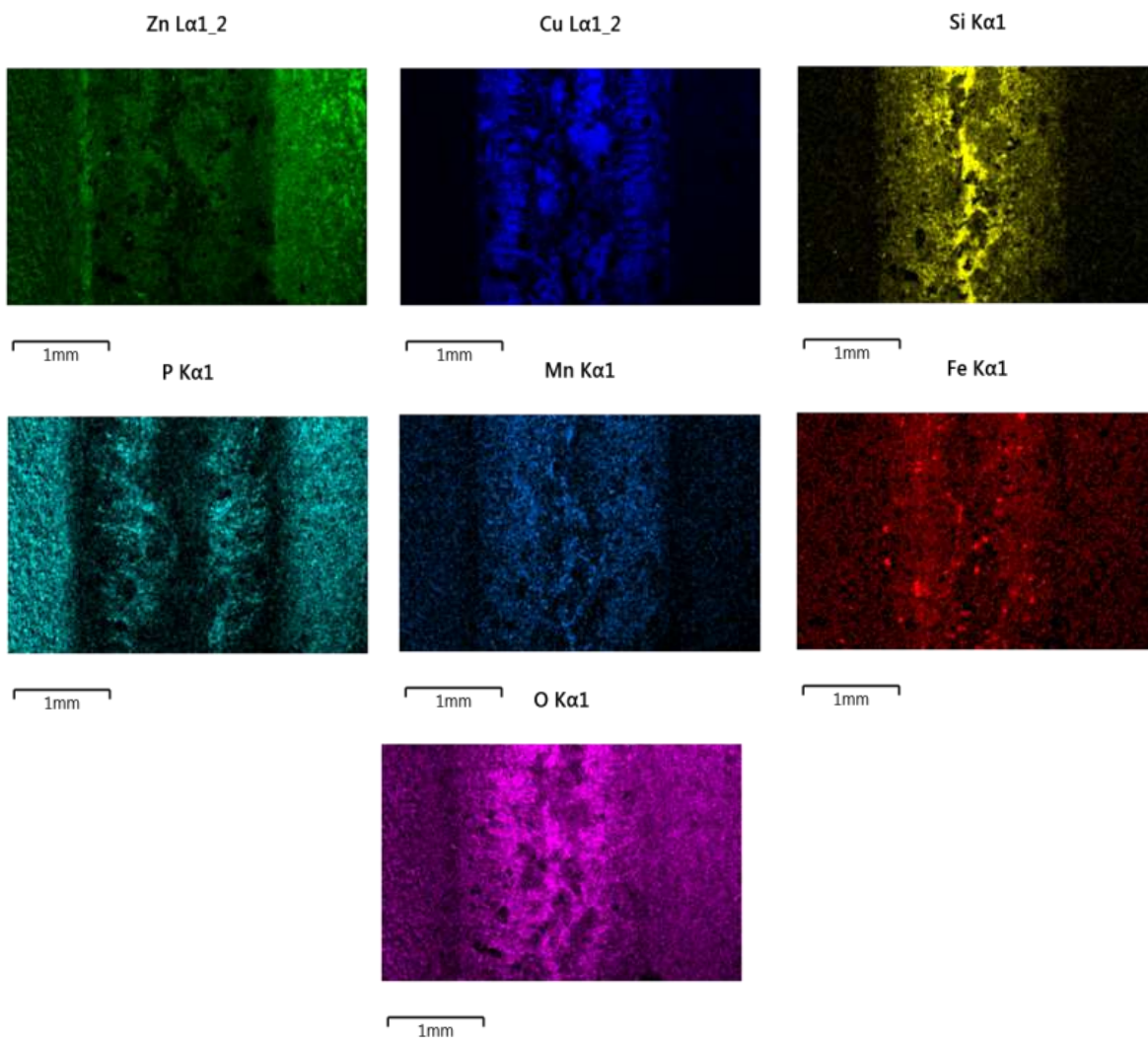
- **Rozbor stavu EDS, vzorek 2.3:**



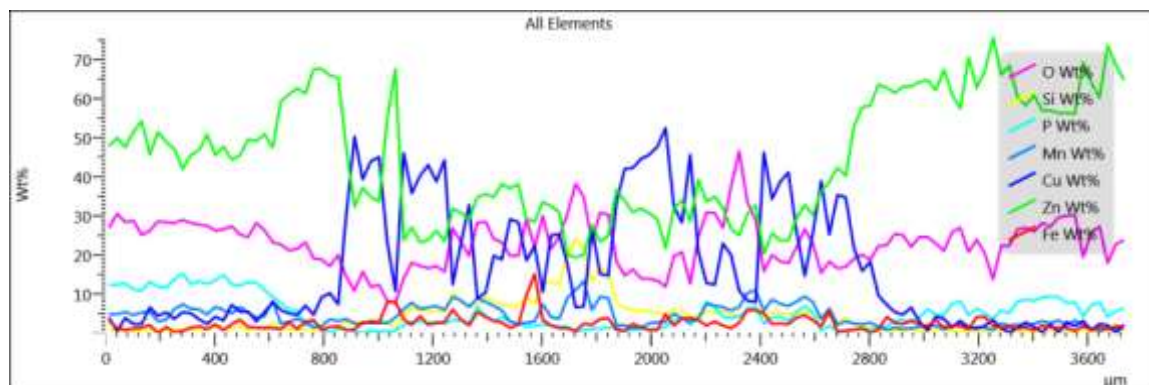
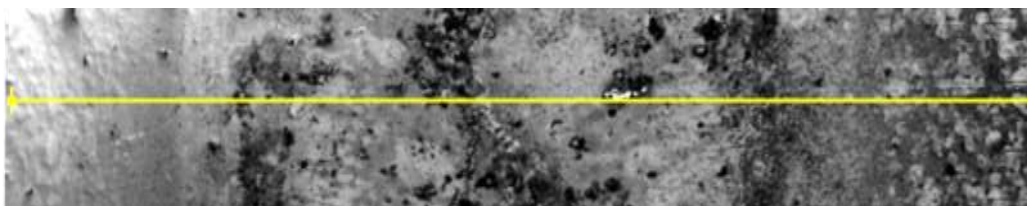
Obr. 101 Spektrum vzorku 2.3



Obr. 102 Foto z elektronového mikroskopu, vzorek 2.3



Obr. 103 Chemické mapy jednotlivých prvků, vzorku 2.3

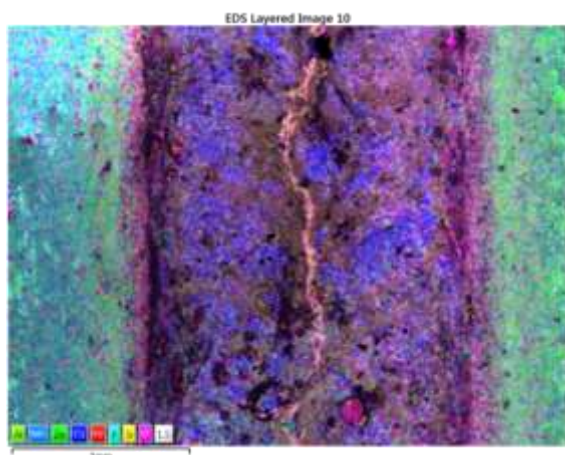


Obr. 104 Chemická koncentrace jednotlivých prvků podél řezu

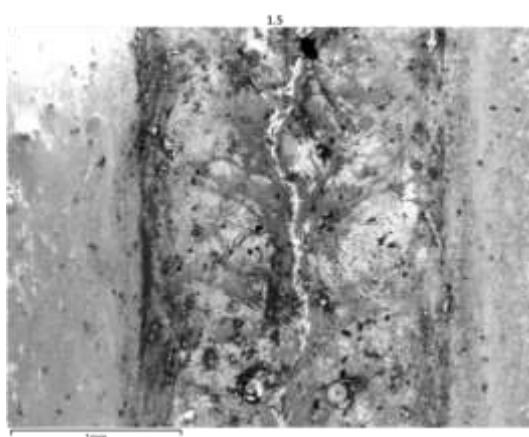
- Obr. 104 nám ukazuje koncentraci jednotlivých prvků podél řezu.
- Křivka Fe nevykazuje výrazné rozdíly podél řezu. Koncentrace železa je rovnoměrně rozptýlena ve spoji. Okraje nejsou propálené.
- Koncentrace O_2 je detekována převážně v ose spoje, vázaná na Si.
- Křemík je detekován v ose svaru.
- Koncentrace zinku ve spoji klesl, ale díky zředění se objevil také v tavenině.

• **Rozbor stavu EDS, vzorku 1.5:**

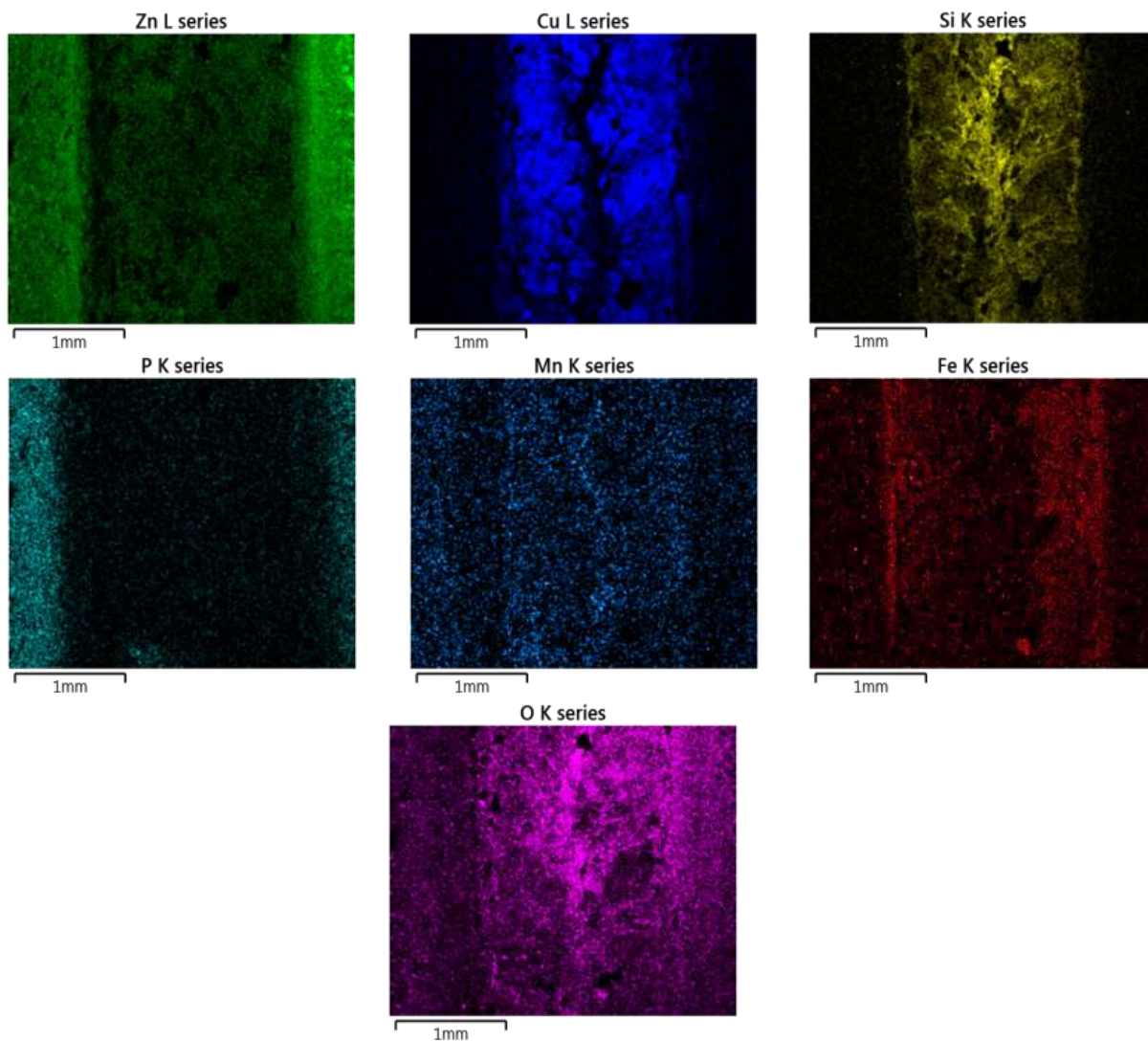
Chemické mapy jednotlivých prvků:



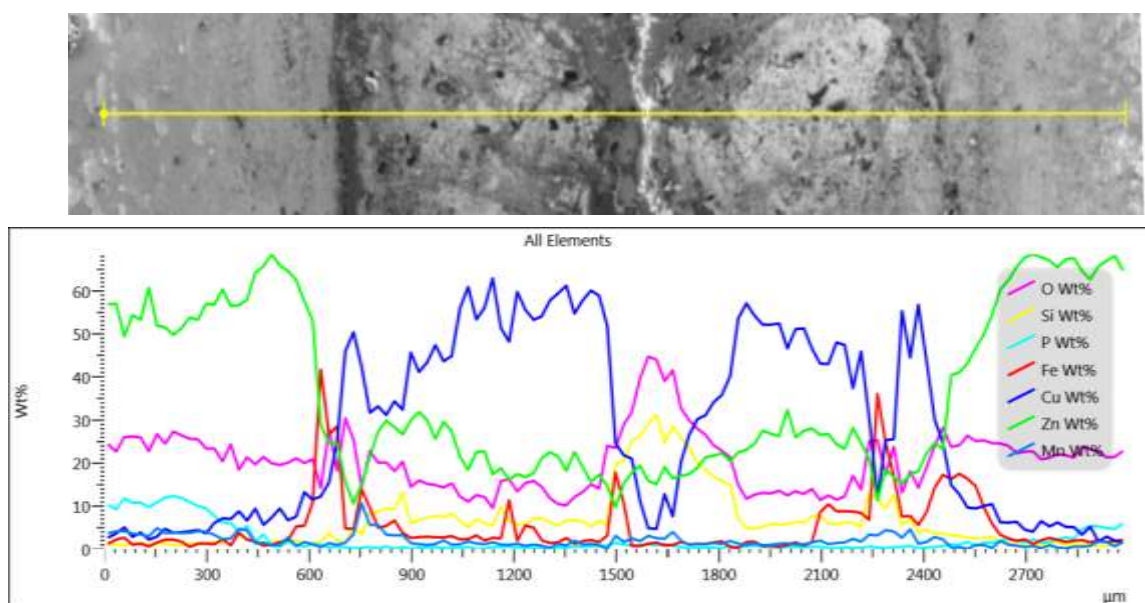
Obr. 105 Spektrum vzorku 1.5



Obr. 106 Foto z elektronového mikroskopu, vzorek 1.5



Obr. 107 Chemické mapy jednotlivých prvků, vzorku 1.5



Obr. 108 Chemická koncentrace jednotlivých prvků podél řezu

- Z chemické mapy je patrné (viz obr. 107 a obr. 108), že na přechodech je výrazná koncentrace železa. Železo není rovnoměrně rozptýleno. Na okrajích vznikly opaly.
- Koncentrace O_2 je detekována jak v ose spoje, tak i v přechodových oblastech vázaných na Fe.
- Koncentrace O_2 je detekována převážně v ose spoje, vázaná na Si.
- Křemík je detekován v ose spoje.
- V ose je patrný vysoký pokles mědi.
- Koncentrace zinku ve spoji prudce klesl, ale díky zředění se objevil také v tavenině.

4.6 Vizuální kontrola pájeného spoje

- **1. víko série:**



Obr. 109 Vzorek 4.1

- Přechodové oblasti jsou bez výrazného tepelného ovlivnění, nedochází k výraznému natavení materiálu.
- V ose spoje jsou patrné křemíkové vycezeniny.
- Směr pájení odpovídá charakteru tuhnutí tekutého kovu.
- Výskyt přeběhu pájení.

- **2. víko + 15 % výkon:**



Obr. 110 Vzorek 2.2

- Přechodové oblasti jsou tepelně ovlivněné (opálené), došlo k poškození základního materiálu.
- Nerovnoměrný směr pájení.
- Na spoji je častější výskyt pórů a závarů v přechodové oblasti.

- **3. víko – 15 % výkon:**



Obr. 111 Vzorek 3.3

- Přejíčovú oblasti jsou bez výrazného tepelného ovlivnění, nedochází k výraznému natavení materiálu.
- Na spoji se vyskytuje změna geometrie švu ve tvaru „puchýřů“.
- Výskyt přeběhu pájení.

- **4. Víko + 20 % rychlost drátu:**



Obr. 112 Vzorek 4.4

- Přejíčovú oblasti jsou bez výrazného tepelného ovlivnění, nedochází k výraznému natavení materiálu.
- Bez výskytu přeběhu pájení.

- **5. víko – 20 % rychlost drátu:**



Obr. 113 Vzorek 1.5

- Přejíčovú oblasti jsou tepelně ovlivněné (opálené), došlo k poškození základního materiálu.
- Nerovnoměrný směr pájení.

- **6. víko + 20 % robot:**



Obr. 114 Vzorek 2.6

- Přechodové oblasti jsou tepelně ovlivněné (opálené), došlo k poškození základního materiálu.
- Nerovnoměrný směr pájení.
- Na spoji je častější výskyt pórů a závarů v přechodové oblasti.

- **7. víko – 20 % robot:**



Obr. 115 Vzorek 2.7

- Přechodové oblasti jsou bez výrazného tepelného ovlivnění, nedochází k výraznému natavení materiálu.
- V ose spoje jsou patrné křemíkové vycezeniny.
- Směr pájení odpovídá charakteru tuhnutí tekutého kovu.

5 DISKUZE VÝSLEDKŮ EXPERIMENTU

Vzorky se změnou parametrů byly porovnávány se sériovým vzorkem. Při vyhodnocování parametrů A, B, C a D, které charakterizují celkový tvar pájky, pro sériový vzorek vyšel typický lichoběžníkový tvar (viz příloha 15 až příloha 19). Tepelně ovlivněná oblast pro sériový vzorek, kterou znázorňují parametry E a F vyšla v přijatelných hodnotách, nedošlo k tepelnému ovlivnění základního materiálu (viz příloha 20). EDS analýza potvrzuje, že nedošlo k opalům na okrajích pájka základní materiál (viz příloha 1 a příloha 2). Tahové zkoušky nám u všech vzorků splnili podmínku minimální pevnosti v tahu.

Vzorky se změnou parametrů, jsou se sériovým stavem jednotlivě porovnávány:

- Zvýší-li se výkon laserového paprsku o 15 %, parametry A, B, C a D, které charakterizují celkový tvar pájky, dosahují přijatelných rozměrů. Kov pájky se utvořil v přijatelném lichoběžníkovém tvaru (viz příloha 21 až příloha 25). Parametry A a B s porovnáním se sériovým stavem narůstají do větších hodnot. Parametry C a D jsou téměř totožné se sériovým stavem. Ovšem parametry E a F ukazují, že došlo k výraznému tepelnému ovlivnění základního materiálu (viz příloha 26), které jsou pro kvalitu pájeného spoje nevyhovující. Přechodové oblasti jsou opálené a vyskytují se větší výskyty pórů a závarů. EDS analýza nám potvrzuje, že železo má vyšší koncentraci na okrajích spoje, protože vypálený zinek a kyslík vytvořily oxidy (viz průběh koncentračních křivek). Koncentrace křemíku a kyslíku v ose také dokazuje vznik oxidu křemíku (reakci způsobila vysoká teplota lázně při vysokém výkonu). Tento oxid překryl koncentrační stopu mědi (viz příloha 3 a příloha 4).
- Sníží-li se výkon laserového paprsku o 15 %, parametry A, B, C a D, které charakterizují celkový tvar pájky, vycházejí v nepřijatelných rozměrech. Parametry E a F ukazují, že nedošlo k výraznému tepelnému ovlivnění základního materiálu (viz příloha 32). Ovšem kov pájky se zformoval do vydutého tvaru (viz příloha 27 až příloha 31), který není charakteristický pro vyhovující pájený spoj. Na spoji se vyskytuje změna geometrie pájeného švu a vytváří tzv. „povrchové anomálie“. Tyto jednotlivé výstupy ukazují, že snížením výkonu laseru oproti sériovému stavu se nedocílí přijatelného spoje.
- Zvýší-li se rychlost podávání drátu o 20 %, parametry A, B a D, které charakterizují celkový tvar pájky, vycházejí v přijatelných hodnotách. Ovšem parametr C vytvořil nepřijatelný rozměr a tvar pájky nemá požadovaný lichoběžníkový tvar (viz příloha 33 až příloha 37). Parametry E a F ukazují, že nedošlo k výraznému tepelnému ovlivnění materiálu (viz příloha 38). Tuto skutečnost potvrzuje i EDS analýza (viz příloha 7 a příloha 8). Vizuální pohled na spoj nevykazuje opaly ani póry, ale vyskytují se na něm tzv. „povrchové anomálie“. Zvýšením rychlosti podávání drátu se nedocílí předepsané kvality spoje.
- Sníží-li se rychlost podávání drátu o 20 %, parametry A, B, C a D, charakterizující tvar pájky, vycházejí v přijatelných hodnotách. Pájka se vytváří do požadovaného lichoběžníkového tvaru, ale parametr G ukazuje vznik menšího množství kovu pájky (viz příloha 39 a příloha 43). Parametry E a F ukazují, že došlo k výraznému tepelnému ovlivnění základního materiálu (viz příloha 44). EDS analýza nám potvrzuje (viz příloha 9 a příloha 10), že koncentrace železa na okrajích spoje dosahuje vyšších hodnot. Vypálený zinek s kyslíkem utvořil oxidy a koncentrace křemíku a kyslíku vytvořil oxidu křemíku (oxid překryl koncentrační stopu mědi). Pohledová zkouška potvrzuje, že spoje jsou propálené a utvořil se nerovnoměrný pájený spoj, který je pro tento proces nevyhovující.

- Zvýší-li se rychlost robota o 20 %, parametry A, B, C a D, které charakterizují celkový tvar pájky, vycházejí v přijatelných hodnotách. Utvořil se požadovaný lichoběžníkový tvar. Parametr G ukazuje, že se uvolnilo menší množství kovu (viz příloha 45 až příloha 49). Parametry E a F dosáhly vyšších hodnot, proto došlo k tepelnému ovlivnění základního materiálu (viz příloha 50). EDS analýza nám potvrzuje, že koncentrace železa na okrajích spoje dosahuje vyšších hodnot, proto je zřejmý opal základního materiálu (viz příloha 11 a 12). Vizuální pohled na pájený spoj ukazuje nerovnoměrný směr pájení, častější výskyty pórů a závarů a opálené přechodové oblasti pájky a základního materiálu, které jsou pro kvalitní pájený spoj nevyhovující.
- Sníží-li se rychlost robota o 20 %, parametry A, B, C a D, které charakterizují celkový tvar pájky vycházejí v přijatelných hodnotách. Parametr G ukazuje, že se uvolnilo větší množství kovu, ale tvar pájky utvořil požadovaný lichoběžníkový tvar (viz příloha 51 až příloha 55). Parametry E a F neukazují, že by došlo k výraznému tepelnému ovlivnění základního materiálu (viz příloha 56). EDS analýza také nenapovídá, že by došlo k výrazné koncentraci železa ve spoji (viz příloha 13 a příloha 14). Vizuální pohled na spoj ukazuje správný směr pájení, který odpovídá správnému charakteru tuhnutí kovu a bez výrazného tepelného ovlivnění základního materiálu.

Ze získaných experimentálních hodnot a následných zkoušek vyplývá, že nejlepšího výsledku bylo docíleno při snížení rychlosti robota. Pájený kov oproti sériovému stavu vykazuje lepší pevnost a odpovídající lichoběžníkovou kresbu. Parametr D u tohoto vzorku vytvořil nejvyšší hodnotu, která je z hlediska korozní stability nejvýhodnější. Korozní stabilita, je u pájení zadních vík prioritní veličina. Experiment tedy ukázal, že k docílení nejlepší kvality a jakosti spoje pro pájení zadních vík je snižování rychlosti pájení. Proto je snížení této veličiny doporučována.

6 ZÁVĚR

Experiment byl proveden ve společnosti ŠKODA AUTO a.s. na pracovišti zadní víko ŠKODA Superb limuzína. Z experimentu je zřejmé, že změna parametrů má výrazný vliv na kvalitu pájeného spoje. Byla použita změna tří základních parametrů: Výkon laserového paprsku, rychlost podávání drátu a rychlost robota při pájení. Tyto tři základní parametry byly sníženy a zvýšeny o procentuální hodnotu oproti sériovému stavu. Fokuse laserového paprsku, poloha pájecí hlavy a přítlačné síly otočného přípravku jsou brány jako konstantní hodnoty.

Výsledné hodnoty ukázaly, že kvalita spoje je dána energetickou bilancí, tedy schopností laserového paprsku natavit dostatečné množství materiálu pájky a zároveň negativně neovlivnit ocelový podklad základního materiálu. Mechanismus tvorby spoje spočívá v aktivaci ploch laserem a formování pájky směrem do osy pájky.

V případě nedodržení energetické bilance (snížení výkonu laseru, zvýšení podávání drátu) nedojde k optimální tvorbě pájeného spoje (vytvoří se vydutý tvar).

Zvýšením rychlosti robota, nebo snížením rychlosti podávání drátu dochází k zatečení kovu pájky do dutiny. Vytvoří se z korozního hlediska nepříznivý trojúhelníkový tvar. Na hranicích pájky vznikaly opaly a jak ukázala EDS analýza i vzrůstající koncentrace Fe a O₂.

Optimálního tvaru pájky s dobrou kresbou pájeného kovu a bez výrazných opalů, lze docílit snížením rychlosti pájení (zpomalením robota). Dochází sice k tavení většího množství kovu, ale kov pájky se formuje do příznivého lichoběžníkového tvaru. Nedochozí k tvorbě zápalů a tepelně ovlivněné oblasti nejsou velké.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY [6]

- [1] PODSTAVEK, Michal. Svařovací postup Škoda Roomster [online]. Brno, 2012 [cit.2013-02-11]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp_id=47427. Bakalářská práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubíček
- [2] *Automig: internetový magazín* [online]. 2013 [cit. 2013-11-08]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/migmag-co2/>
- [3] Bodovky a bodování. Svarinfo.cz: *Magazín praktického svařování* [online]. 21.06.2008 [cit.2014-02-19]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2008033102>
- [4] Car body design: automotive design and engineering. *Audi Q5 Suspension* [online]. 2008 [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: <http://www.carbodydesign.com/gallery/2008/07/08-audi-q5/40/>
- [5] Car body design: automotive design and engineering. *The Frame of The Future?* [online]. 2004 [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: <http://www.carbodydesign.com/pub/4077/the-frame-of-the-future/>
- [6] *Citace* [online]. 2014 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://generator.citace.com/>
- [7] HADYNA, Daniel. Laserové svařování: Základní informace o technologii laserového svařování/řezání. In: *SVĚT SVARU: časopis o moderních trendech ve svařování* [online]. 2011 [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/2011-3_Laser.pdf
- [8] Hodnocení kvality svarového spoje: Teoretický úvod k cvičení z předmětu Technologie I. In: *Ústav strojírenské technologie: Tváření, Svařování, Slévání, Povrchové úpravy* [online]. 20.3.2005 [cit. 2014-03-19]. Dostupné z: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TE1/def_kontrola_sv.pdf
- [9] JANATA, Ing.Marek a Ing.Pavel POLOMSKÝ. PRŮMYSLOVÉ LASERY A JEJICH APLIKACE. In: *SVĚT SVARU: časopis o moderních trendech ve svařování* [online]. 2004 [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/PrumLaser_2004.pdf
- [10] JANOTA, Ing. Martin. *Odporové svařování: Základní technologické informace*. In: Svět svaru: Časopis o moderních trendech ve svařování [online]. 2008 [cit. 2014-02-19]. Dostupné z: http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/2008-2_Odporove-svarovani.pdf
- [11] JEŽEK, Petr. *Odporové svařování: 1.část*. In: Svět svaru: Časopis o moderních trendech ve svařování a řezání kovů [online]. Ostrava: Hadyna - International, 1996- [cit. 2014-02-19]. Dostupné z: http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Spot1_2004.pdf
- [12] KANDUS, Bohumil a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001, 395s.Svařování. ISSN 80-85771-81-0.
- [13] KUBÍČEK, Ing. Jaroslav. *Technologie II část svařování: SPECIÁLNÍ METODY TAVNÉHO SVAŘOVÁNÍ TLAKOVÉ SVAŘOVÁNÍ*. Brno, 2006, 69 s.
- [14] *KUKA: Průmyslové roboty* [online]. 2014 [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: http://www.kuka-obotics.com/czech_republic/cs/products/industrial_robots/heavy/
- [15] *Laserline* [online]. 2014 [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: http://www.laserline.de/tl_files/Laserline/img/slideshow_diodenlaser_1.jpg
- [16] *Laserline* [online]. 2014 [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: http://www.laserline.de/tl_files/Laserline/img/kundenspezifische-laser-strahlquellen.jpg

- [17] MIG pájení. *SVARINFO.CZ: magazín praktického svařování* [online]. 2008 [cit. 2014-03-21]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2007101201>
- [18] MIG WELD. *MIG-brazing* [online]. 11.15.2013 [cit. 2013-11-15]. Dostupné z: <http://www.migweld.de/english/service/arc-brazing/gma-brazing.html>
- [19] OLYMPUS. In: *SZX16 RESEARCH STEREOMICROSCOPE* [online]. 2014 [cit. 2014-04-11]. Dostupné z: http://www.olympusamerica.com/seg_section/product.asp?product=1017&c=4
- [20] Pájení laserem - technologie budoucnosti. In: *CZECHDESIGN.CZ* [online]. 11.8.2003 [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: <http://www.czechdesign.cz/index.php?status=c&clanek=40&lang=1>
- [21] Praktické problémy při zvarání pozinkovaných plechov: Ing. Miroslav Mucha, PhD., IWE, AIR LIQUIDE SLOVAKIA s.r.o. In: *Svět svaru: časopis o moderních trendech ve svařování* [online]. 2009 [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/2009-1_Pozink.plech.pdf
- [22] PV 1602. *Tvrdé pájení konstrukčních skupin karoserie laserovým paprskem: Posouzení pájených spojů*. VOLKSWAGEN AG, 2006.
- [23] PV 6702. *Bodové svarové spoje: Pevnostní zkoušky ocelových materiálů*. VOLKSWAGEN AG, září 2004.
- [24] PILVOUSEK, IWE, Ing. Tomáš. *Technologie laserového pájení v oblasti 5. dveří: Princip Technologie*. 2012.
- [25] *Použití laseru při spojování autokarosérií* [online]. 13.01.2009 [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: <http://dp.bajaja.net/obsah.html>
- [26] SCHWARTZ, CSC, Doc. Ing. Drahomír. PLAZMOVÉ, ELEKTRONOVÉ A LASEROVÉ SVAŘOVÁNÍ. In: *SVĚT SVARU: časopis o moderních trendech ve svařování* [online]. 2010 [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: <http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/2010-1%20Plazma-laser-elektronove.pdf>
- [27] Spot welding. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-02-04]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Spot_welding
- [28] Struers: Výrobky. *Struers: Ensuring Certainty* [online]. 2014 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: http://www.struers.com/default.asp?top_id=3&doc_id=282
- [29] Škoda: simply clever. *ŠKODA AUTO a.s. 2014* [online]. 2014 [cit. 2014-04-05]. Dostupné z: <http://www.skoda-auto.cz>
- [30] Špatný výběr ochranné atmosféry může být příčinou vad ve svarech: Daniel Hadyna, Hadyna - International, Ostrava. In: *Svět svaru: časopis o moderních trendech ve svařování* [online]. 2012 [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/2012-1_Spatna-atmosfera-MAG.pdf
- [31] Tailored Blanks. *ELTING: WIR bringen Metall in iede Form* [online]. 2002 [cit. 2014-02-10]. Dostupné z: <http://www.elting-metalltechnik.de/de/news/news-2003-2002/tailored-blanks.html>
- [32] TECHNICKÝ SERVIS LISOVEN A SVAŘOVEN. *Karoserie svařená*. 2008
- [33] Technologie tailored blanks. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: SEND Předplatné s.r.o., 2002 [cit. 2014-02-10]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-tailored-blanks.html>
- [34] Teoretický úvod k cvičení z předmětu Technologie I: Hodnocení kvality svarového spoje. In: *České vysoké učení technické v Praze: Fakulta strojní* [online]. 2005 [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TE1/def_kontrola_sv.pdf

- [35] TICHÝ, Ing.Jiří. Svařování v automobilovém průmyslu. *Svět svaru: časopis o moderních trendech ve svařování a řezání kovů*. 2007, IX., č. 2.
- [36] VW 01143. *Laserové pájení ocelových plechů: Konstrukce a provedení*. VOLKSWAGEN AG, 2006.
- [37] VW01144. *Pájení metodou MIG na konstrukčních dílech karoserie: Posouzení pájených spojů*. Volkswagen AG, 2001.
- [38] Základy přípravy vzorků pro optickou metalografii: studijní text k předmětům SLO/ZNM2 a SLO/BTM2. In: [online]. 2012 [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/texty/znm2-1.pdf
- [39] ZEŽULKA, Milan. *Svařovna: školení k provádění zkoušek pevnosti spojů*. Kvasiny, 3.1.2012.
- [40] *Zváranie: odborný časopis so zameraním na zváranie a príbuzné technológie*. Bratislava: Výskumný ústav zvaračský _ Priemyselny inštitút SR, 2006, roč. 2006, 6-7. ISSN 0044-5525.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

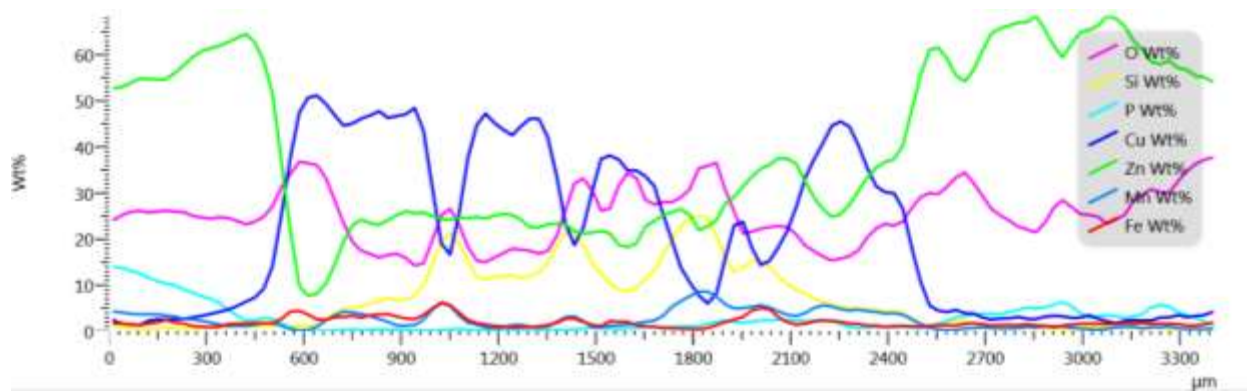
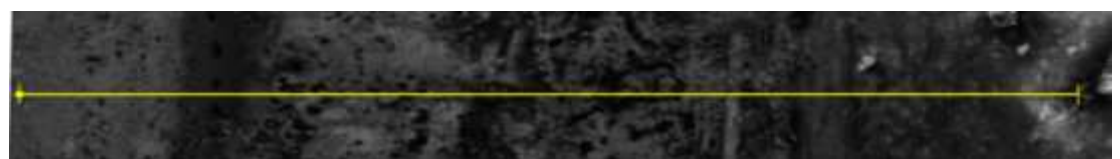
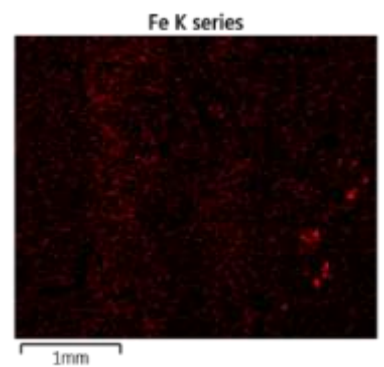
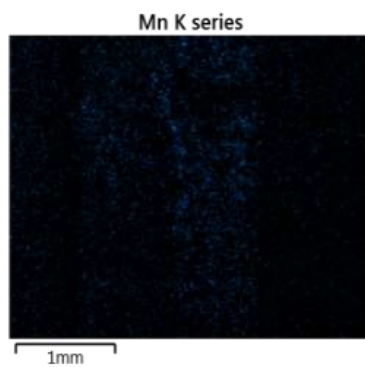
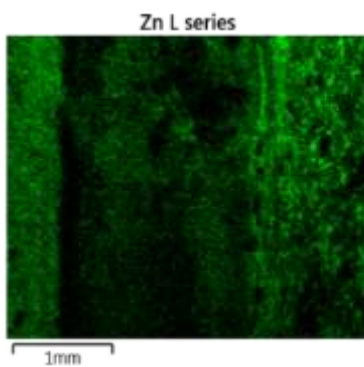
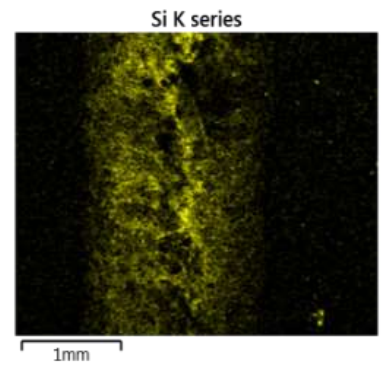
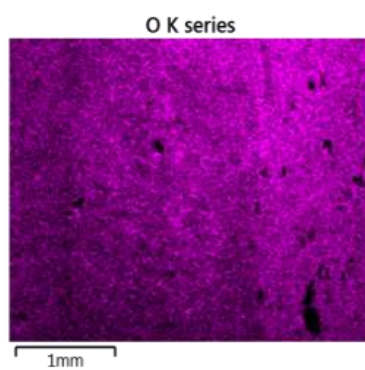
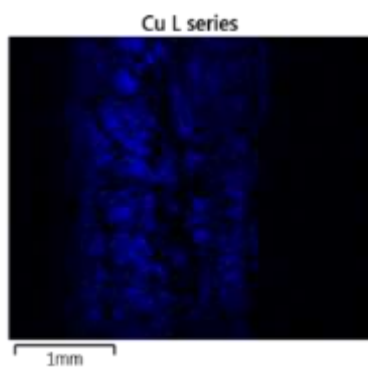
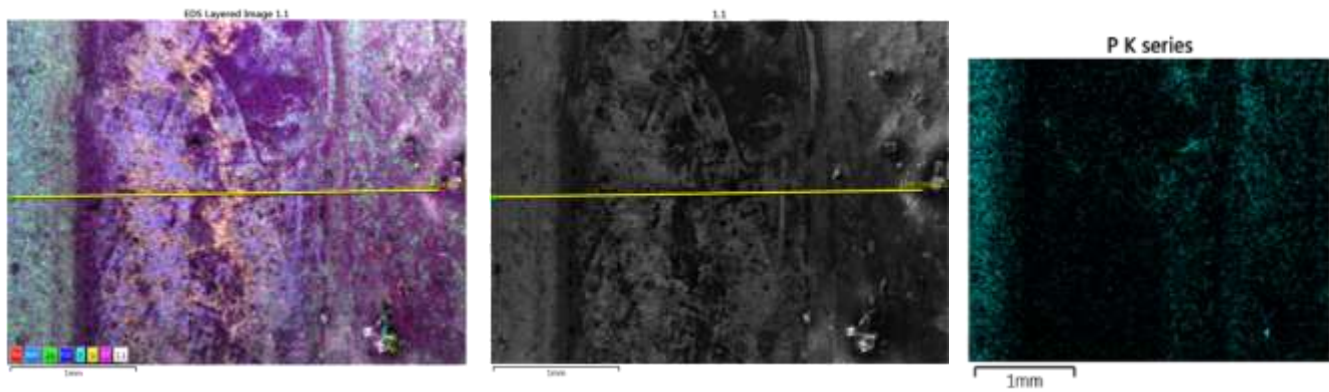
Označení	Legenda	Jednotka
A	šířka zkropení spoje – horního výlisku	[mm]
A ₈₀	tažnost	[%]
a ₀	tloušťka plechu	[mm]
atd.	a tak dále	[-]
b	šířka vzorku	[mm]
B	šířka zkropení spoje – dolního výlisku	[mm]
b ₀	délka housenky	[mm]
b _s	vzdálenost čelních ploch	[mm]
C	tloušťka švu pájeného spoje	[mm]
CMT	Cold Metal Transfer	[-]
D	šířka spáry pájeného spoje	[mm]
E	tepelně ovlivněná oblast – horního výlisku	[mm ²]
EDS	energieově disperzní spektroskopie	[-]
EDX	Energy-Dispersive X-ray Analysis	[-]
F	tepelně ovlivněná oblast – spodního výlisku	[mm ²]
f _{B1} , f _{B2} , f _{T1} , f _{T2}	šířka, hloubka letovaného závaru	[mm]
G	plocha pájeného spoje	[mm ²]
h	přesazení hran	[mm]
h ₀	propad, převýšení letovaného švu	[mm]
h _u	průvės, reverze kořene	[mm]
l	délka vzorku	[mm]
l _{r1} , l _{r2}	délka spoje letovaného natvrdo	[mm]
l _u	montážní délka překrytého spoje	[mm]
MAG	obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu	[-]
MIG	obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu	[-]
např.	například	[-]
P	výkon laserového paprsku	[W]
r	špička sekáče tupá	[mm]
Re	mez kluzu	[MPa]
Rm	mez pevnosti	[MPa]
s _L	tloušťka letovaného spoje	[mm]
s _{NL}	nejmenší společná tloušťka letovaného spoje	[mm]
t ₁ , t ₂	tloušťka plechu	[mm]
t _i	šířka letového spoje	[mm]
TIG	obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu	[-]
TOO	tepelně ovlivněná oblast	[-]
tj.	to je	[-]
V _D	rychlost posuvu drátu	[m.min ⁻¹]
V _R	rychlost posuvu robota	[mm.s ⁻¹]
Z	kontrakce	[%]
z ₁ , z ₂	šířka zkropení	[mm]
α	selhání definovaného úhlu v ohybu	[°]

SEZNAM PŘÍLOH

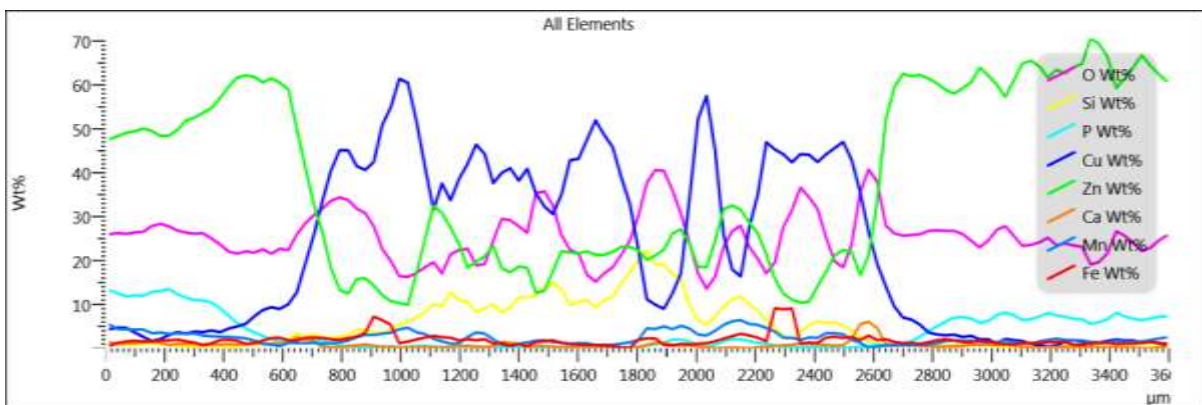
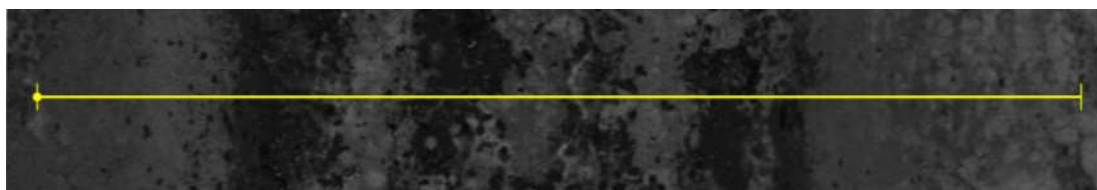
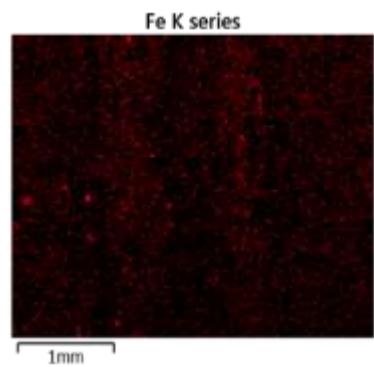
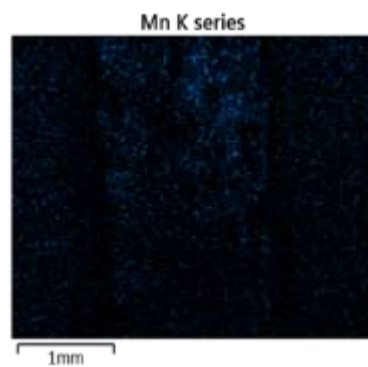
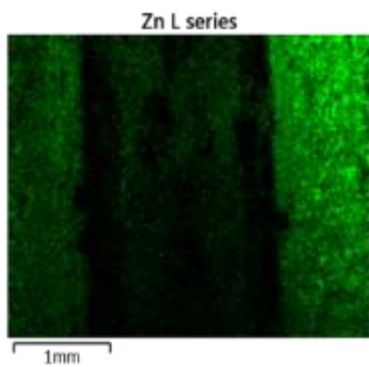
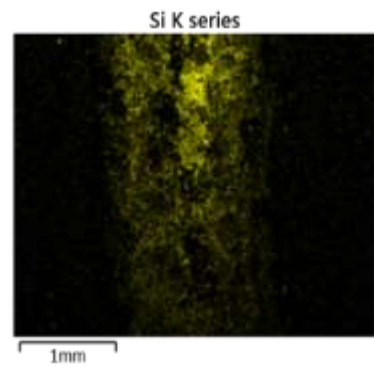
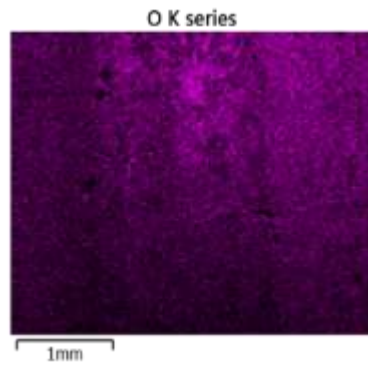
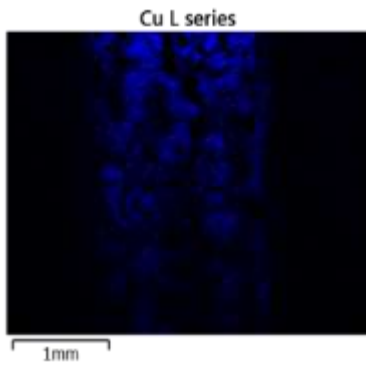
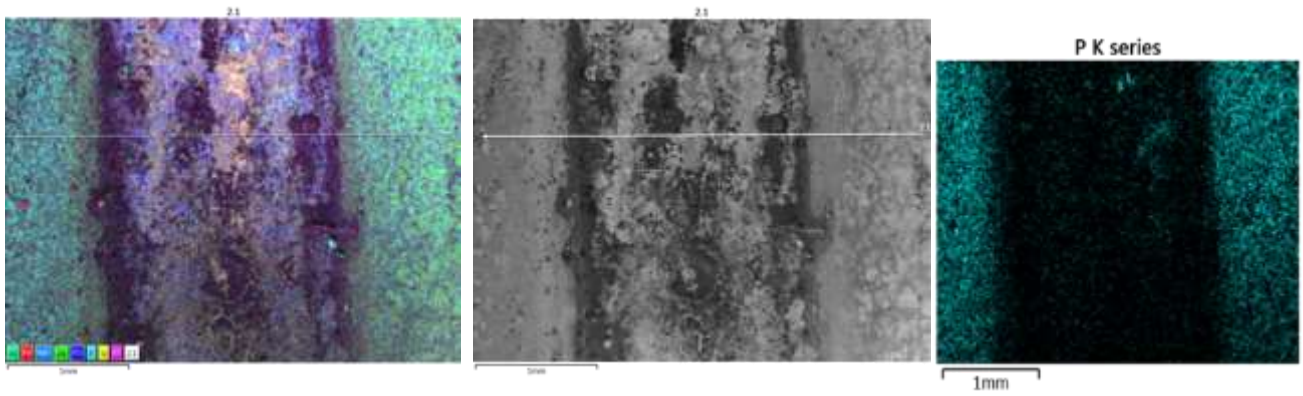
Příloha 1	EDS VZORKU 1.1
Příloha 2	EDS VZORKU 2.1
Příloha 3	EDS VZORKU 1.2
Příloha 4	EDS VZORKU 2.2
Příloha 5	EDS VZORKU 1.3
Příloha 6	EDS VZORKU 2.3
Příloha 7	EDS VZORKU 1.4
Příloha 8	EDS VZORKU 2.4
Příloha 9	EDS VZORKU 1.5
Příloha 10	EDS VZORKU 2.5
Příloha 11	EDS VZORKU 1.6
Příloha 12	EDS VZORKU 2.6
Příloha 13	EDS VZORKU 1.7
Příloha 14	EDS VZORKU 2.7
Příloha 15	1. Víko, sériový stav: metalografický výbrus, vzorek 1.1
Příloha 16	1. Víko, sériový stav: metalografický výbrus, vzorek 2.1
Příloha 17	1. Víko, sériový stav: metalografický výbrus, vzorek 3.1
Příloha 18	1. Víko, sériový stav: metalografický výbrus, vzorek 4.1
Příloha 19	1. Víko, sériový stav: metalografický výbrus, vzorek 5.1
Příloha 20	1. Víko, sériový stav: metalografický výbrus pohled na TOO
Příloha 21	2. Víko, + 15 % výkon: metalografický výbrus, vzorek 1.2
Příloha 22	2. Víko, + 15 % výkon: metalografický výbrus, vzorek 2.2
Příloha 23	2. Víko, + 15 % výkon: metalografický výbrus, vzorek 3.2
Příloha 24	2. Víko, + 15 % výkon: metalografický výbrus, vzorek 4.2
Příloha 25	2. Víko, + 15 % výkon: metalografický výbrus, vzorek 5.2
Příloha 26	2. Víko, + 15 % výkon: metalografický výbrus pohled na TOO
Příloha 27	3. Víko, - 15 % výkon: metalografický výbrus, vzorek 1.3
Příloha 28	3. Víko, - 15 % výkon: metalografický výbrus, vzorek 2.3
Příloha 29	3. Víko, - 15 % výkon: metalografický výbrus, vzorek 3.3
Příloha 30	3. Víko, - 15 % výkon: metalografický výbrus, vzorek 4.3
Příloha 31	3. Víko, - 15 % výkon: metalografický výbrus, vzorek 5.3
Příloha 32	3. Víko, - 15 % výkon: metalografický výbrus pohled na TOO
Příloha 33	4. Víko, + 20 % posuv drátu: metalografický výbrus, vzorek 1.4
Příloha 34	4. Víko, + 20 % posuv drátu: metalografický výbrus, vzorek 2.4
Příloha 35	4. Víko, + 20 % posuv drátu: metalografický výbrus, vzorek 3.4
Příloha 36	4. Víko, + 20 % posuv drátu: metalografický výbrus, vzorek 4.4
Příloha 37	4. Víko, + 20 % posuv drátu: metalografický výbrus, vzorek 5.4
Příloha 38	4. Víko, + 20 % posuv drátu: metalografický výbrus pohled na TOO
Příloha 39	5. Víko, - 20 % posuv drátu: metalografický výbrus, vzorek 1.5
Příloha 40	5. Víko, - 20 % posuv drátu: metalografický výbrus, vzorek 2.5
Příloha 41	5. Víko, - 20 % posuv drátu: metalografický výbrus, vzorek 3.5
Příloha 42	5. Víko, - 20 % posuv drátu: metalografický výbrus, vzorek 4.5
Příloha 43	5. Víko, - 20 % posuv drátu: metalografický výbrus, vzorek 5.5
Příloha 44	5. Víko, - 20 % posuv drátu: metalografický výbrus pohled na TOO
Příloha 45	6. Víko, + 20 % rychlost robota: metalografický výbrus, vzorek 1.6
Příloha 46	6. Víko, + 20 % rychlost robota: metalografický výbrus, vzorek 2.6
Příloha 47	6. Víko, + 20 % rychlost robota: metalografický výbrus, vzorek 3.6
Příloha 48	6. Víko, + 20 % rychlost robota: metalografický výbrus, vzorek 4.6
Příloha 49	6. Víko, + 20 % rychlost robota: metalografický výbrus, vzorek 5.6

Příloha 50	6. Víko, + 20 % rychlost robota: metalografický výbrus pohled na TOO
Příloha 51	7. Víko, - 20 % rychlost robota: metalografický výbrus, vzorek 1.7
Příloha 52	7. Víko, - 20 % rychlost robota: metalografický výbrus, vzorek 2.7
Příloha 53	7. Víko, - 20 % rychlost robota: metalografický výbrus, vzorek 3.7
Příloha 54	7. Víko, - 20 % rychlost robota: metalografický výbrus, vzorek 4.7
Příloha 55	7. Víko, - 20 % rychlost robota: metalografický výbrus, vzorek 5.7
Příloha 56	7. Víko - 20 % rychlost robota: metalografický výbrus pohled na TOO

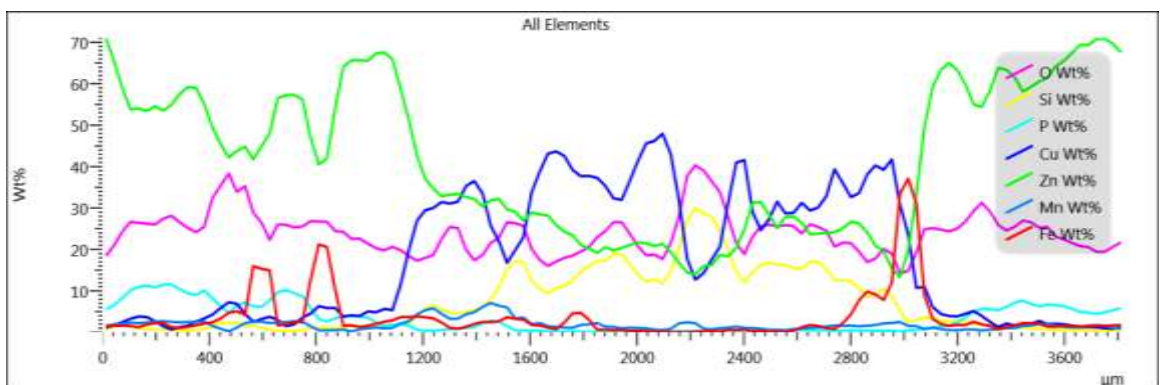
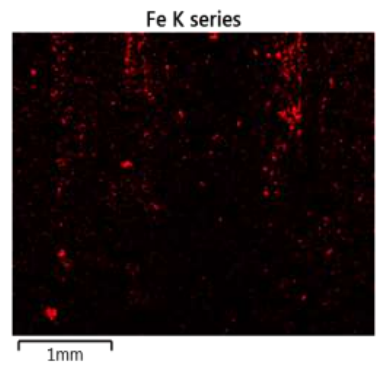
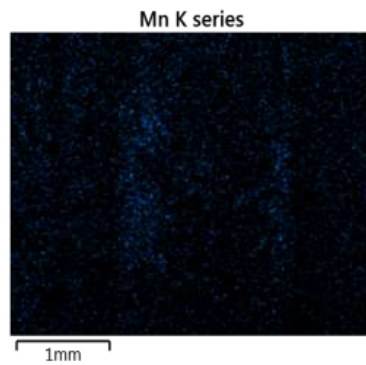
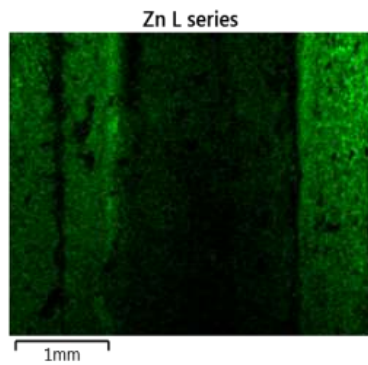
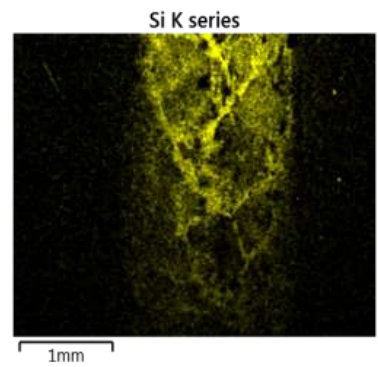
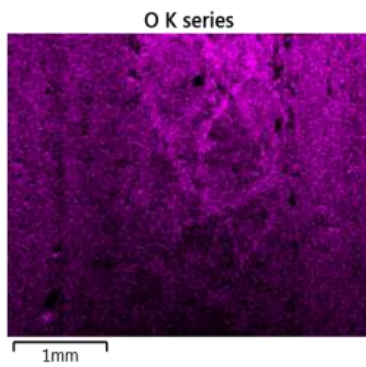
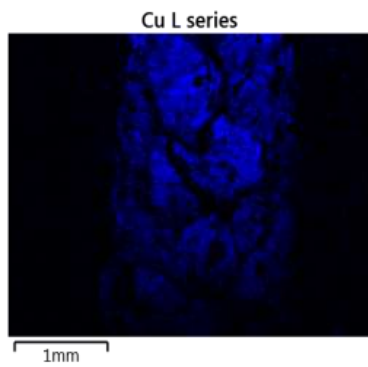
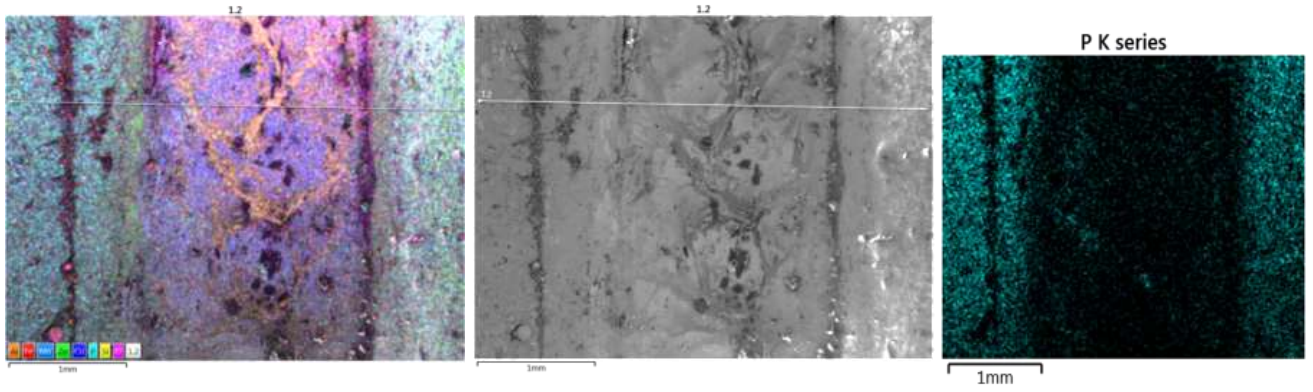
Příloha 1 : EDS VZORKU 1.1



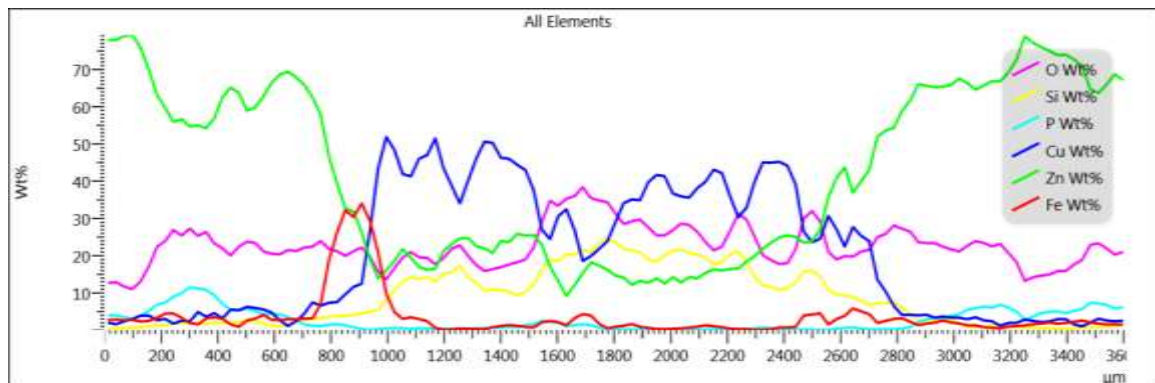
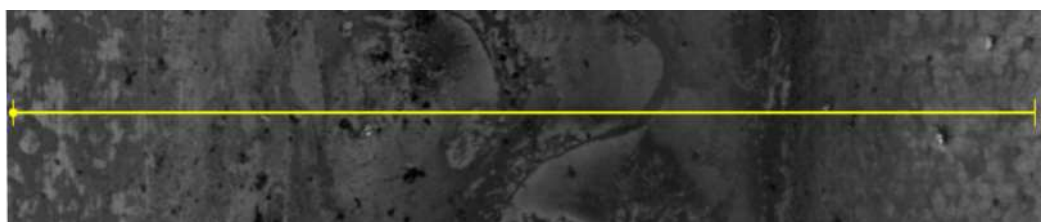
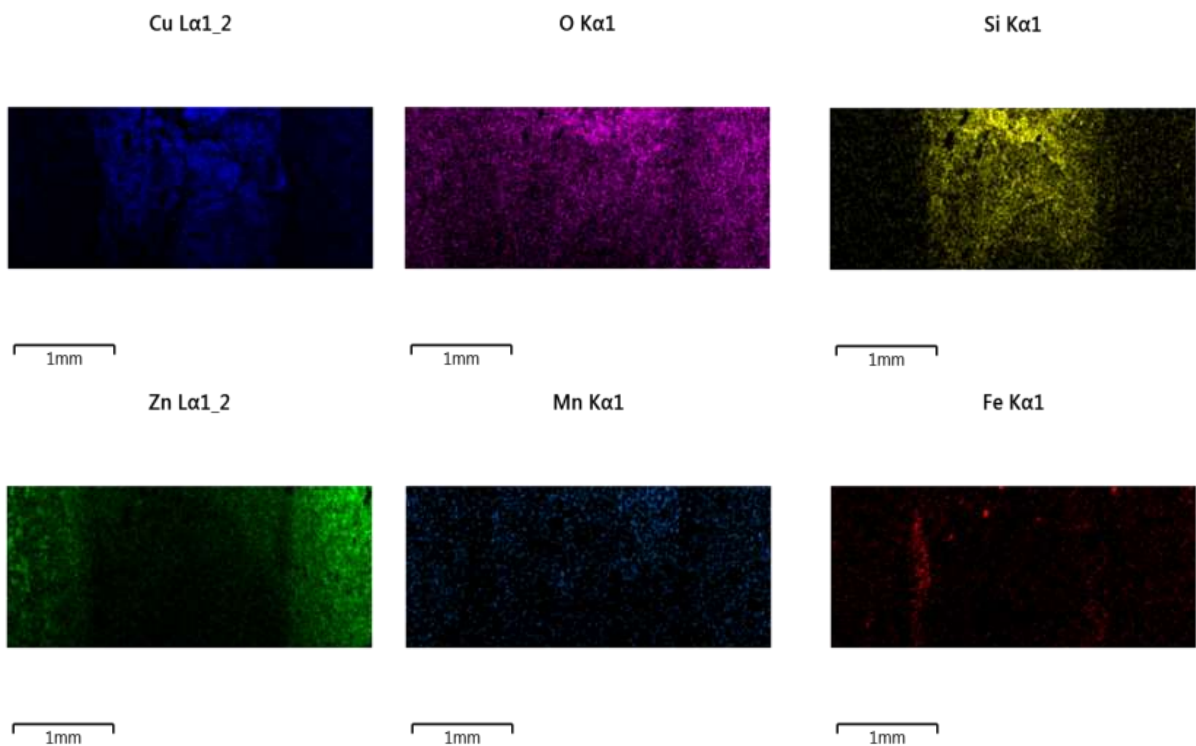
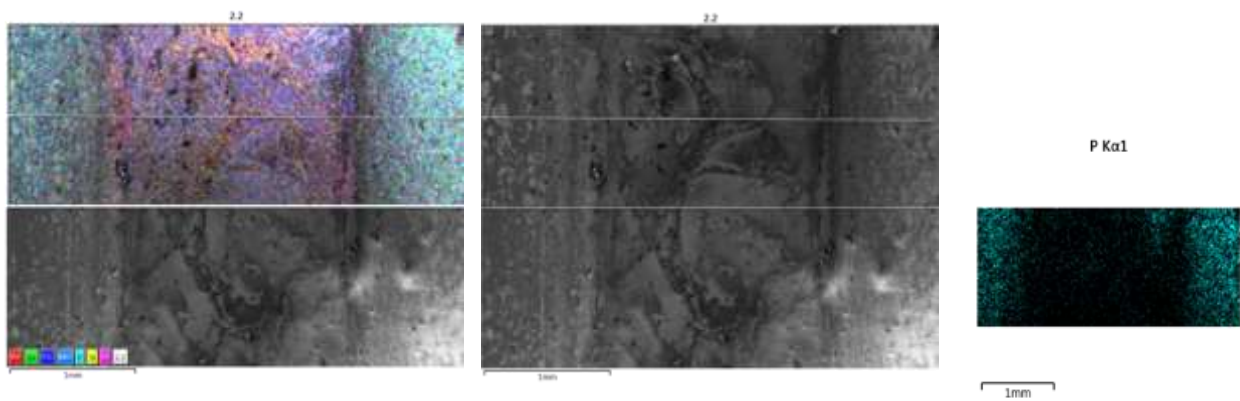
Příloha 2 : EDS VZORKU 2.1



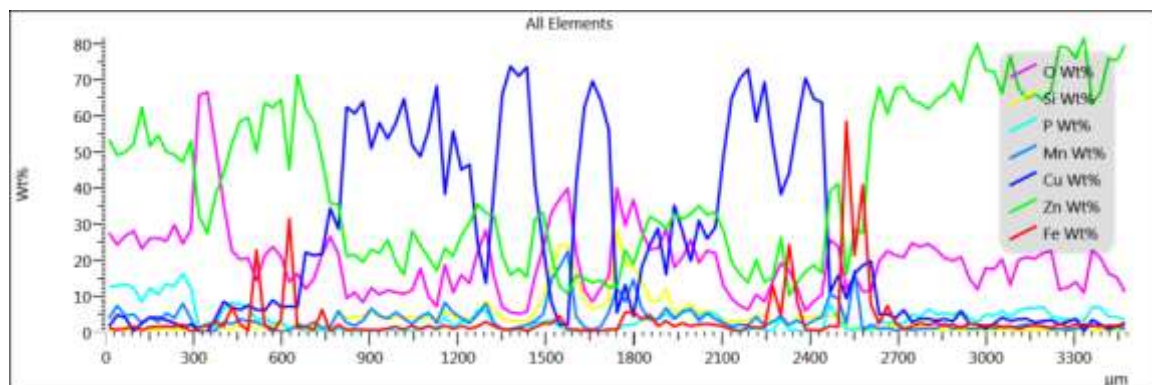
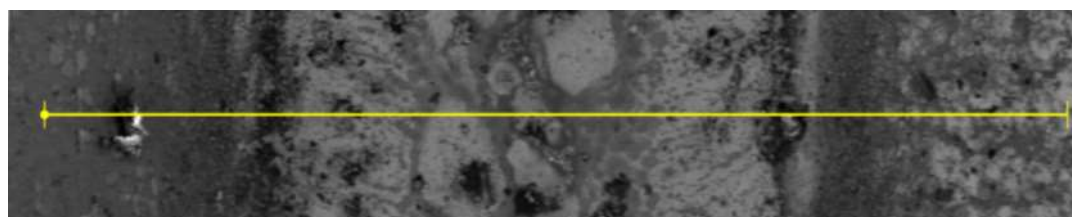
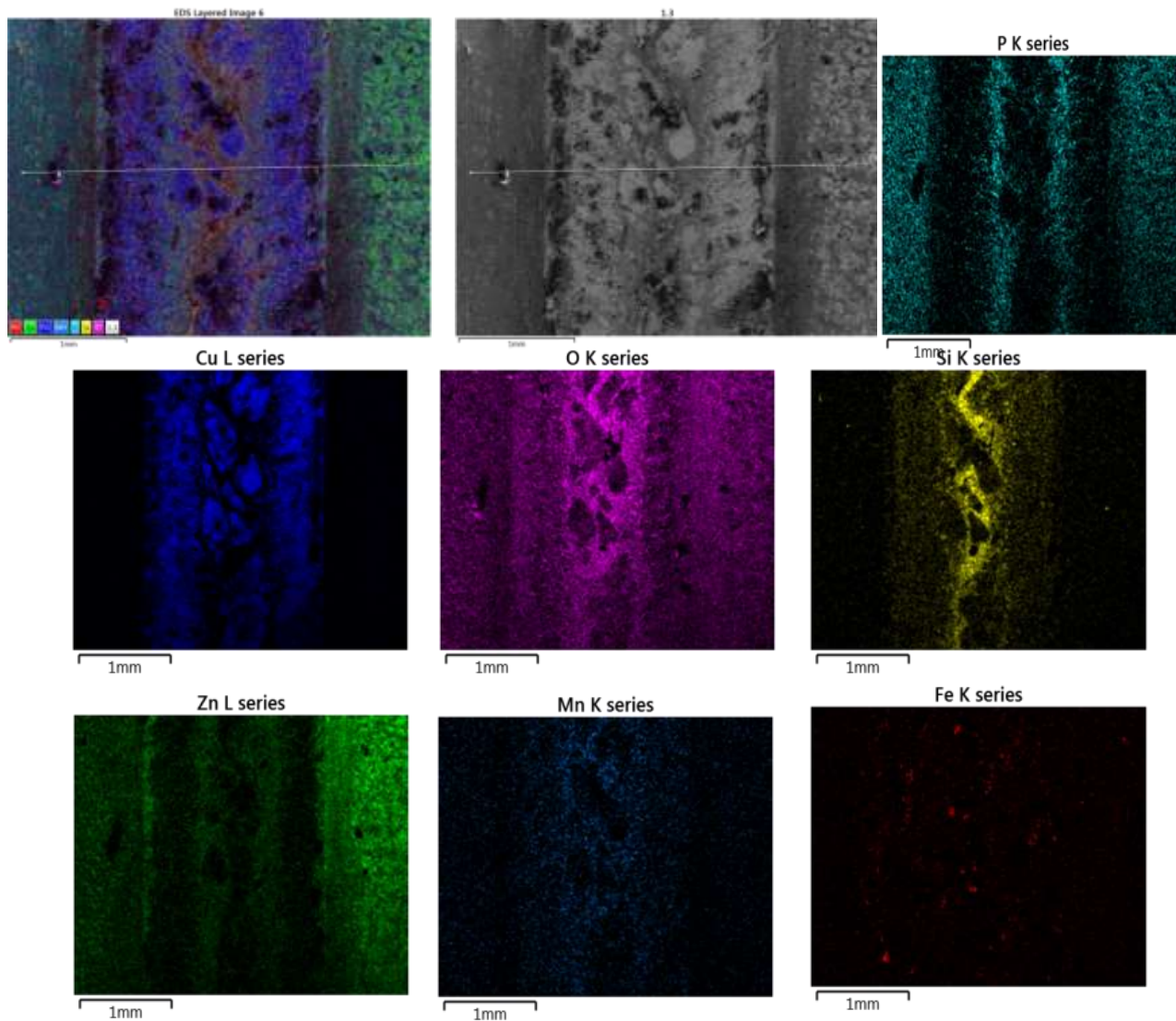
Příloha 3: EDS VZORKU 1.2



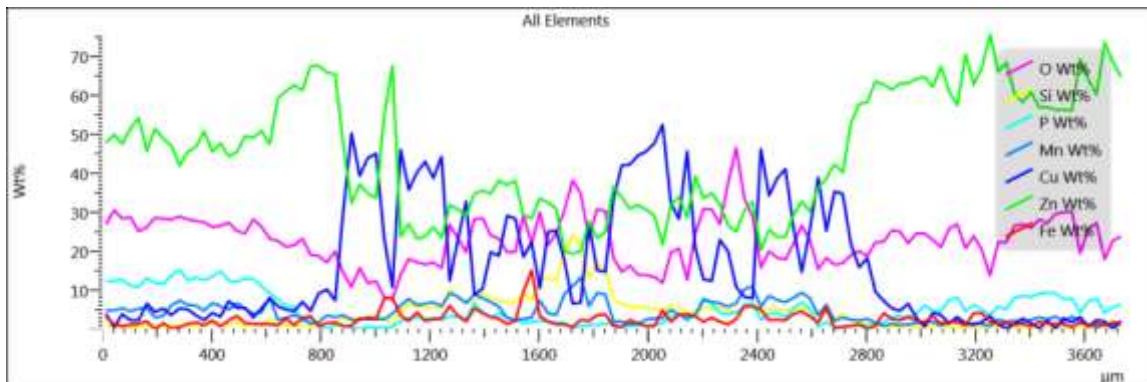
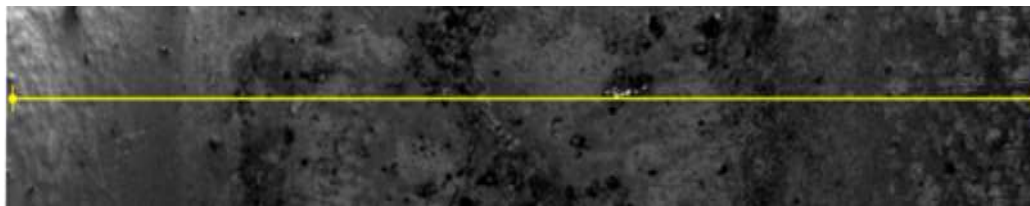
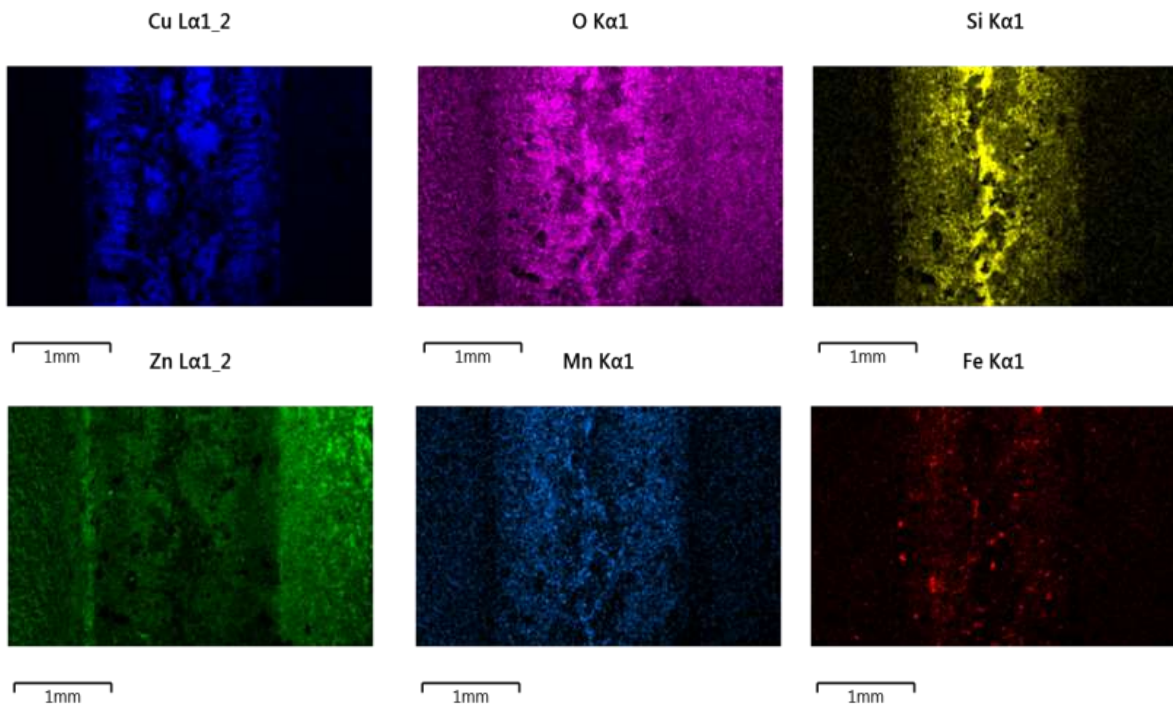
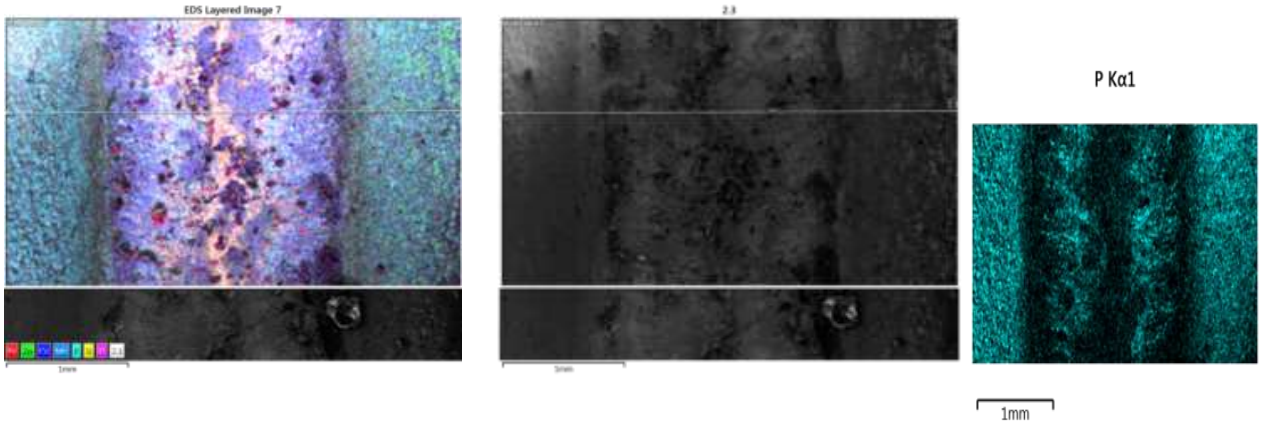
Příloha 4: EDS VZORKU 2.2



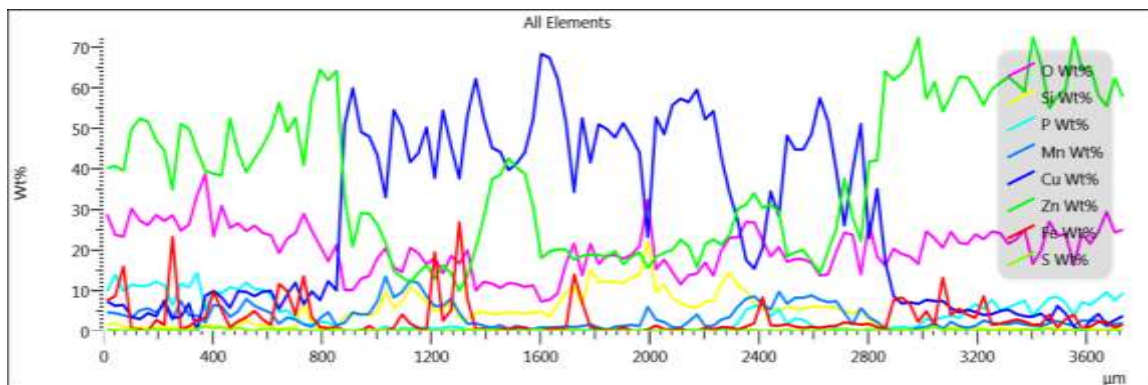
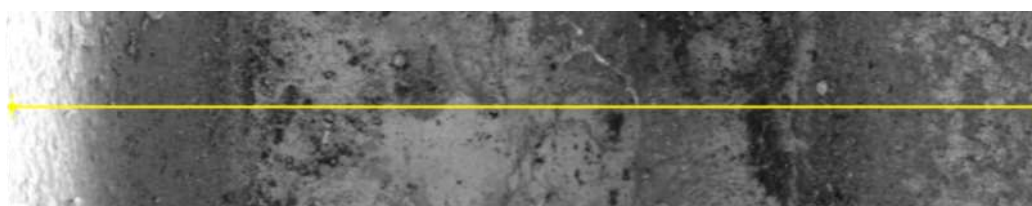
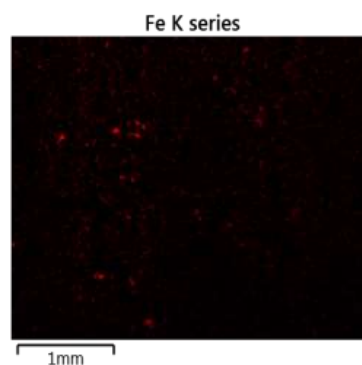
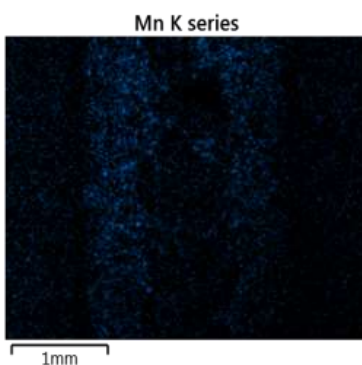
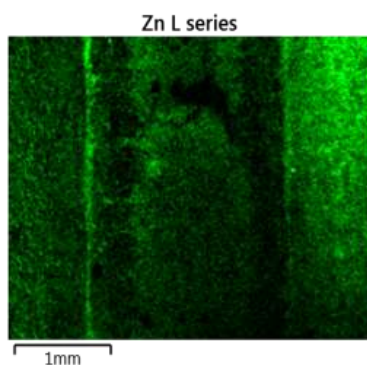
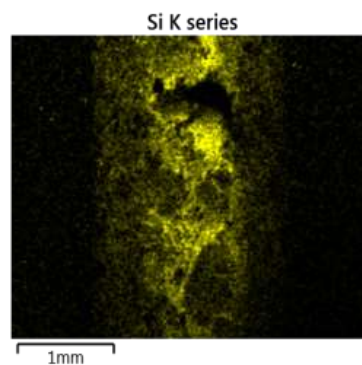
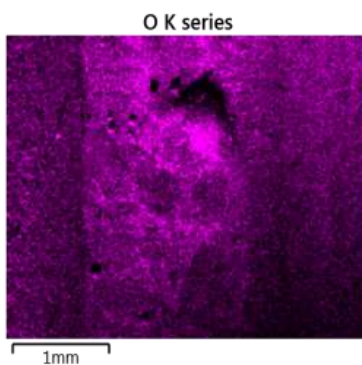
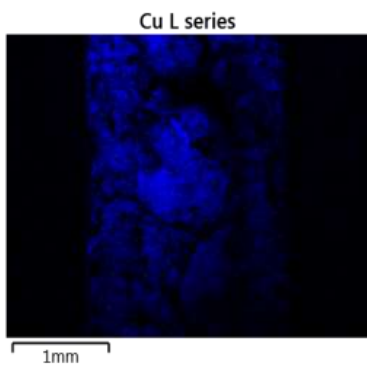
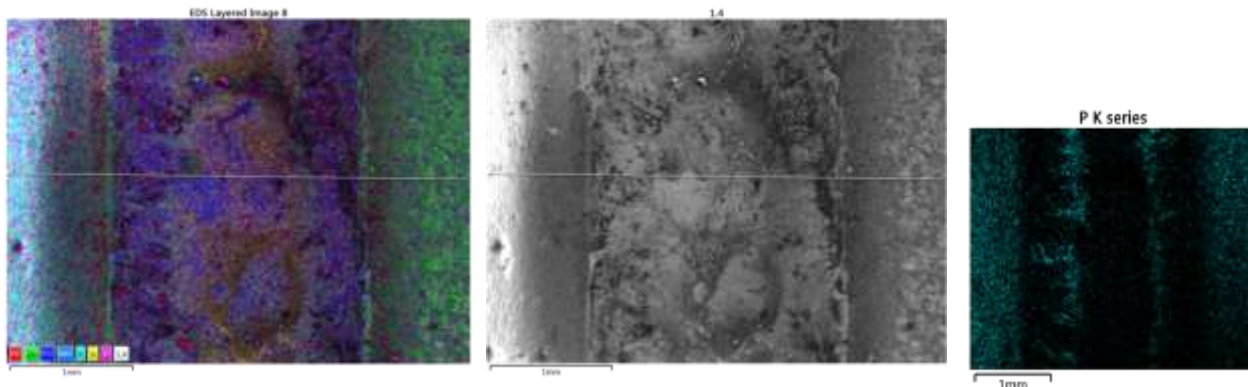
Příloha 5 : EDS VZORKU 1.3



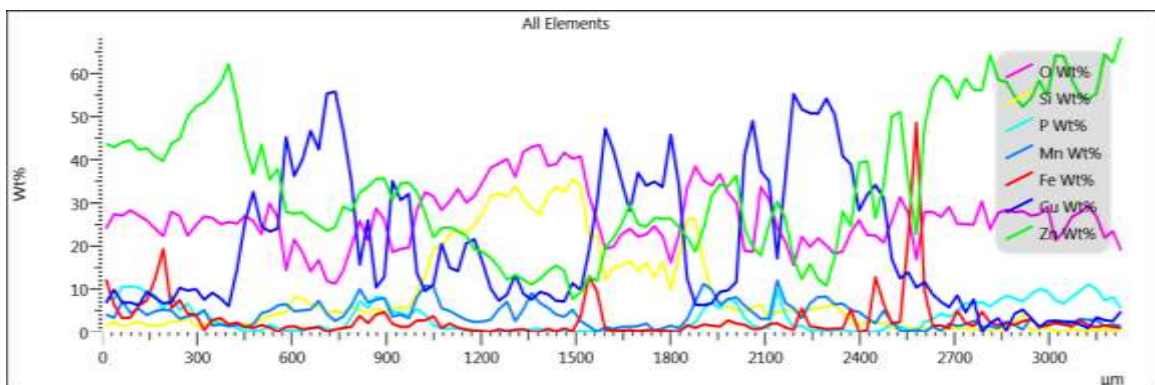
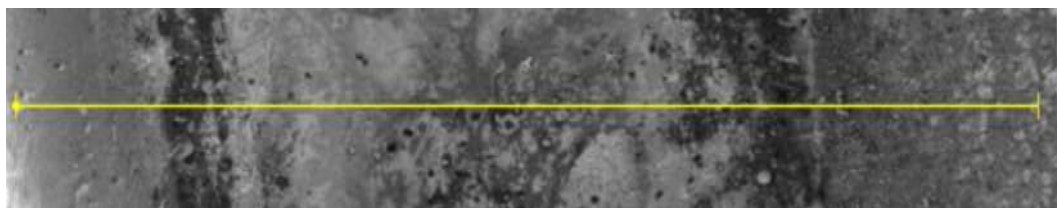
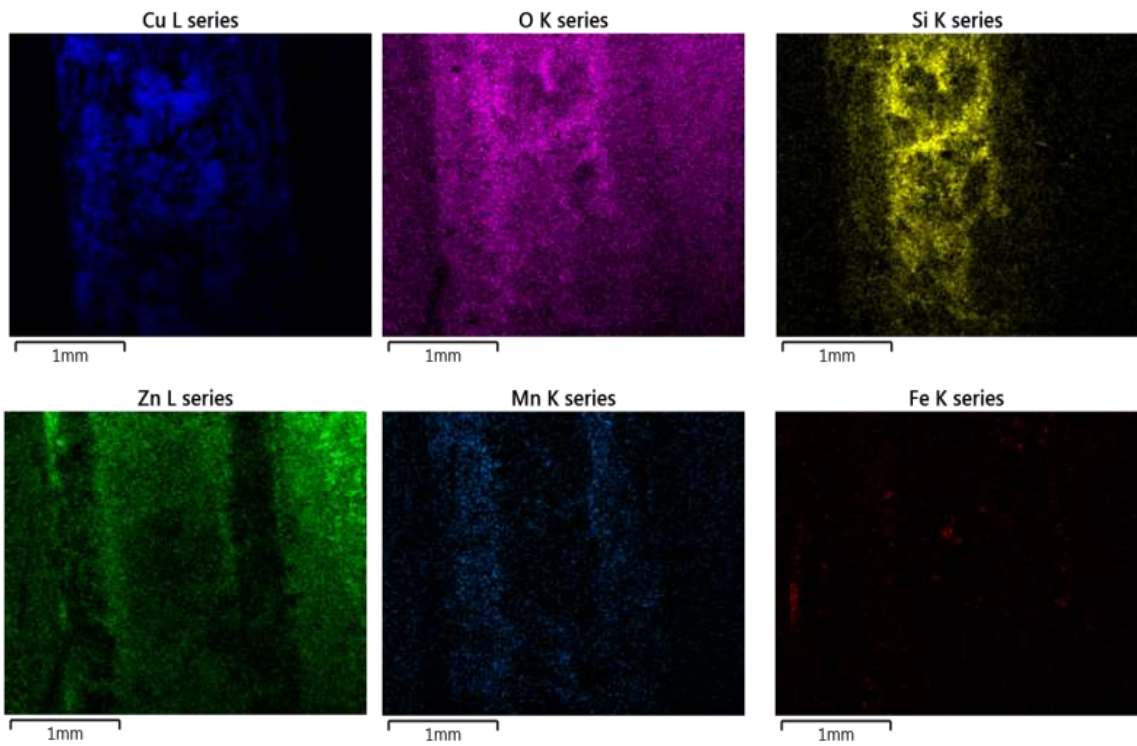
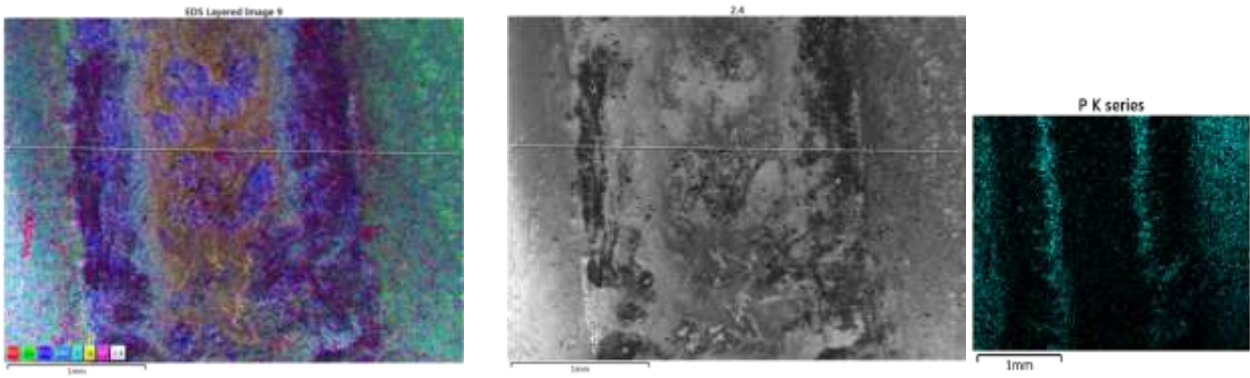
Příloha 6 : EDS VZORKU 2.3



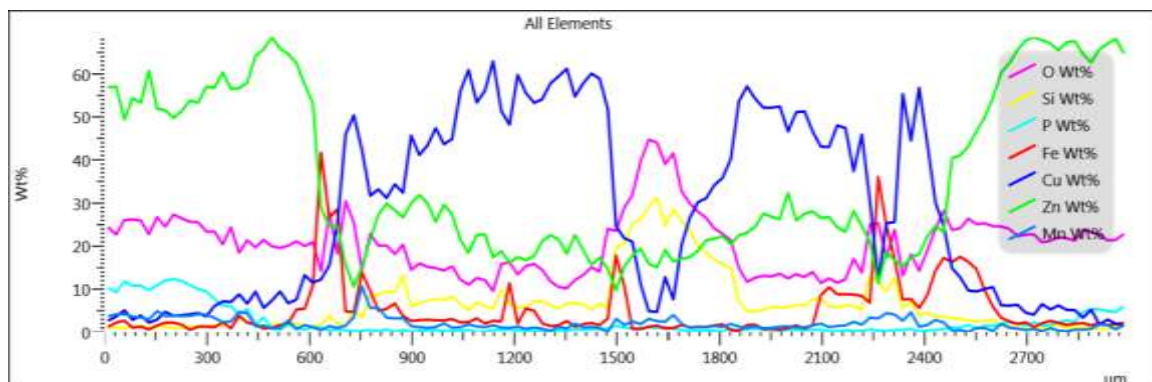
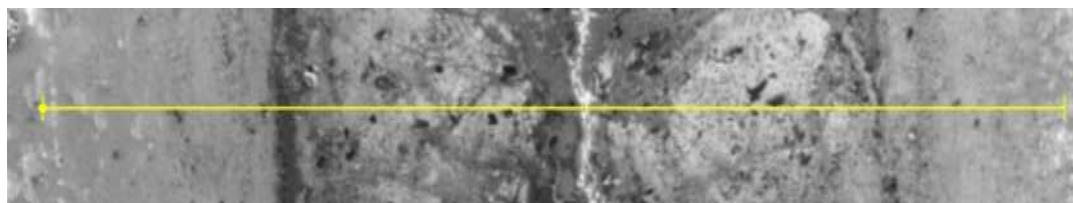
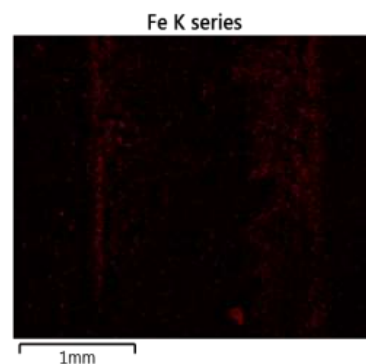
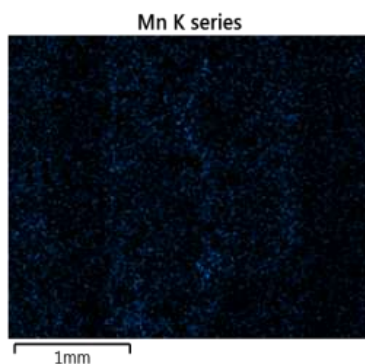
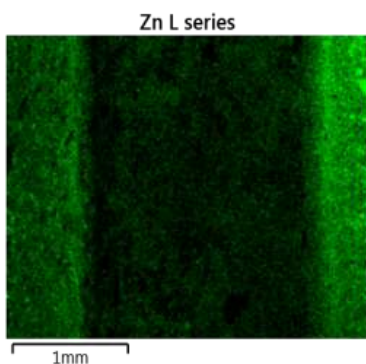
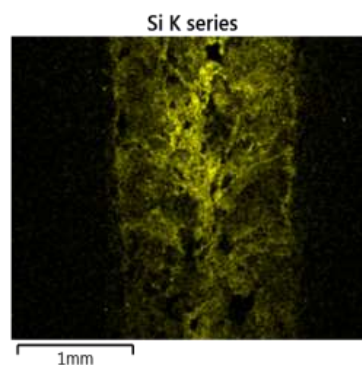
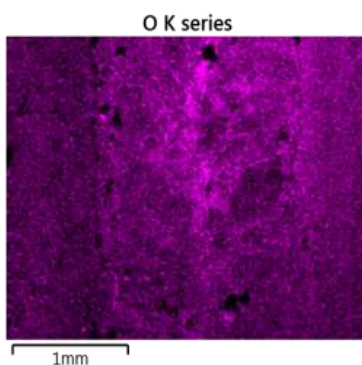
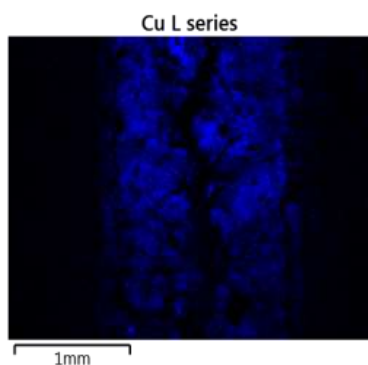
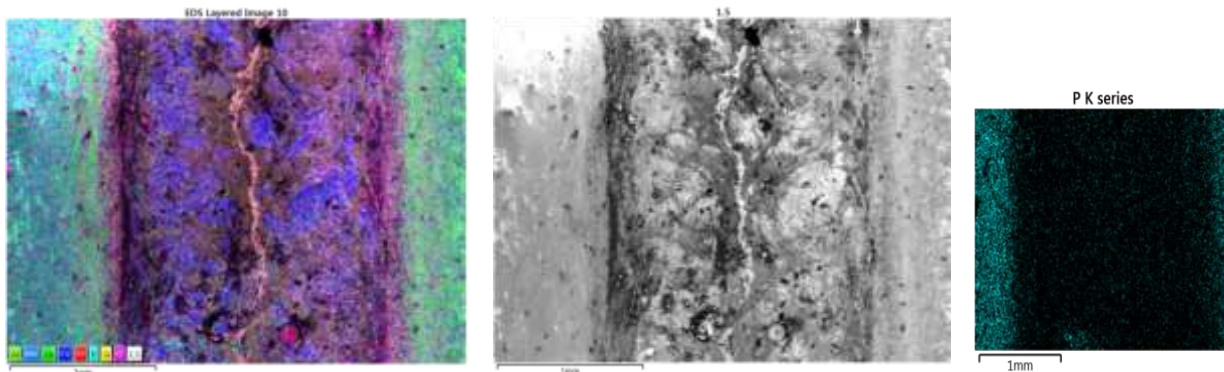
Příloha 7 : EDS VZORKU 1.4



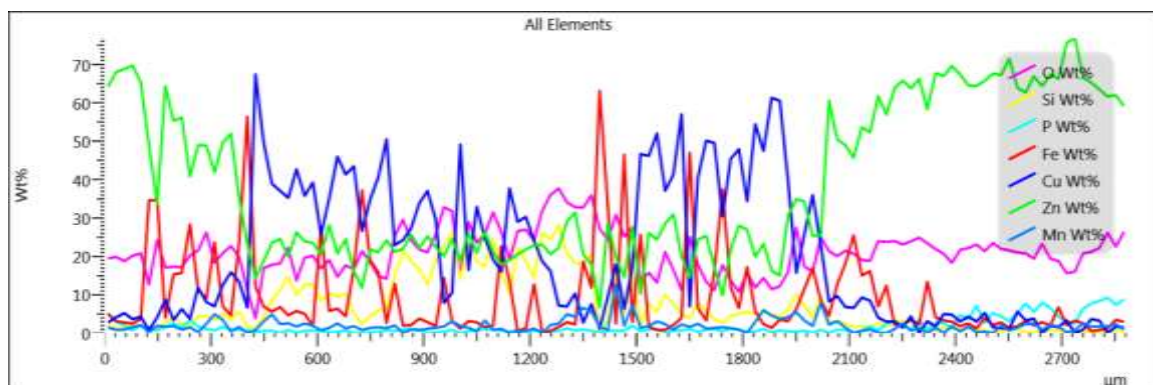
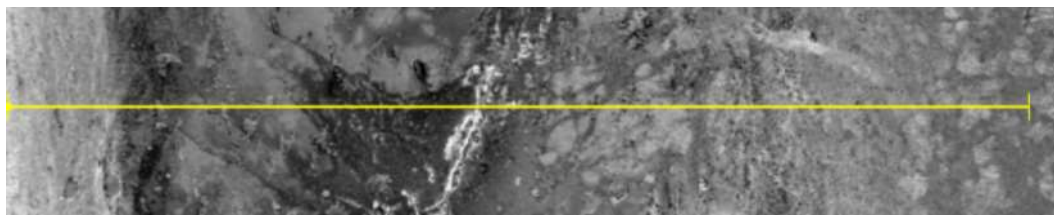
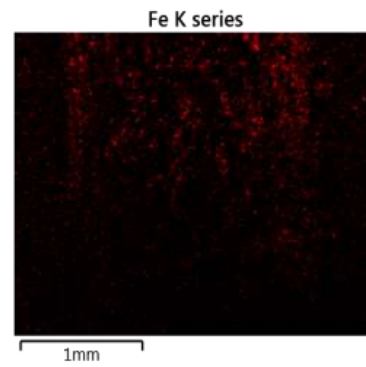
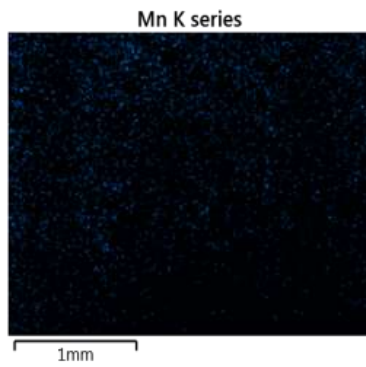
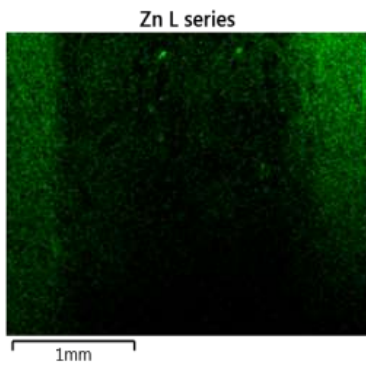
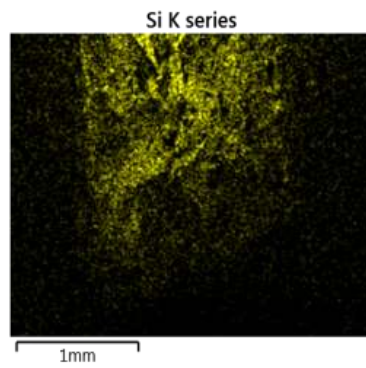
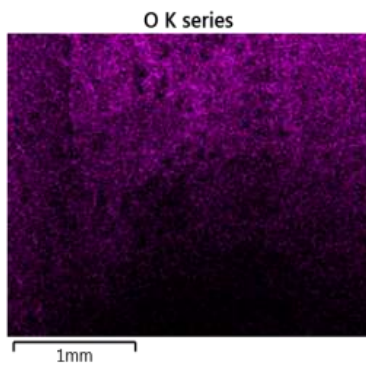
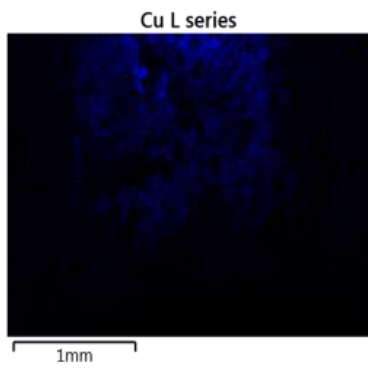
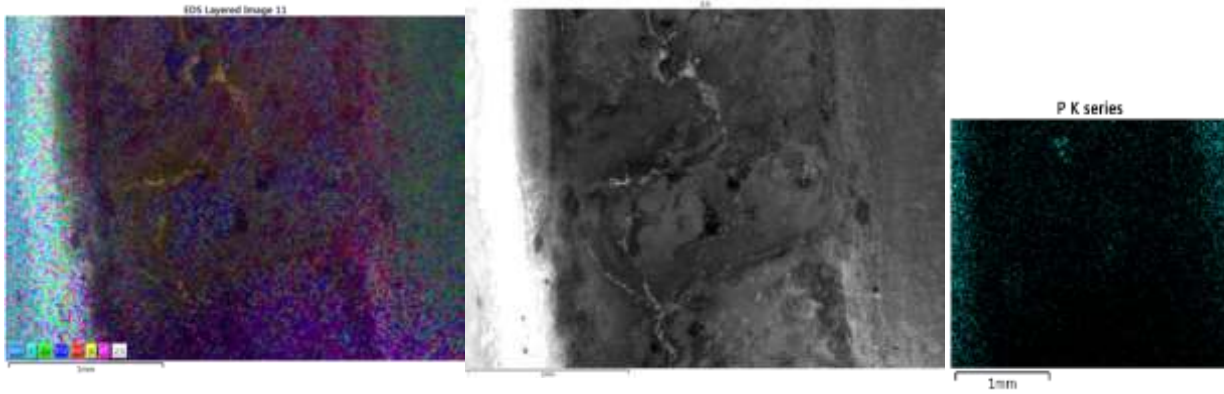
Příloha 8 : EDS VZORKU 2.4



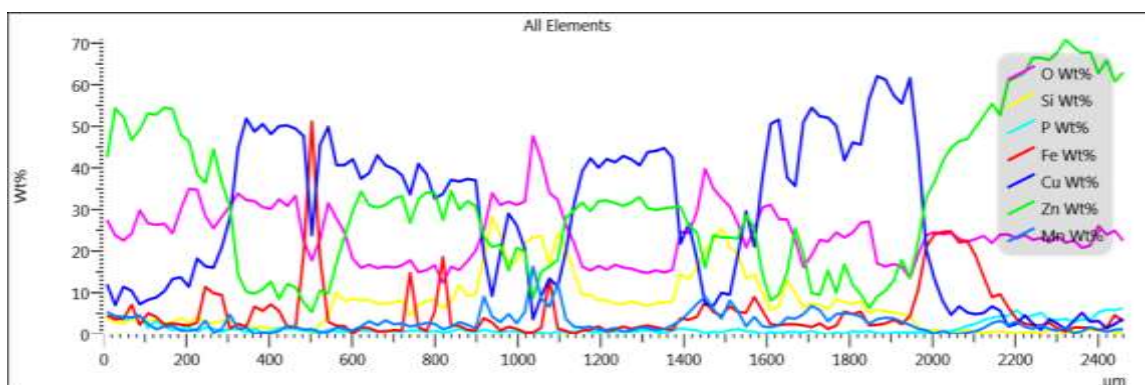
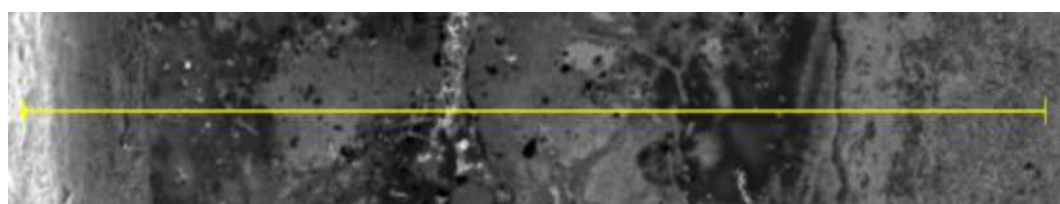
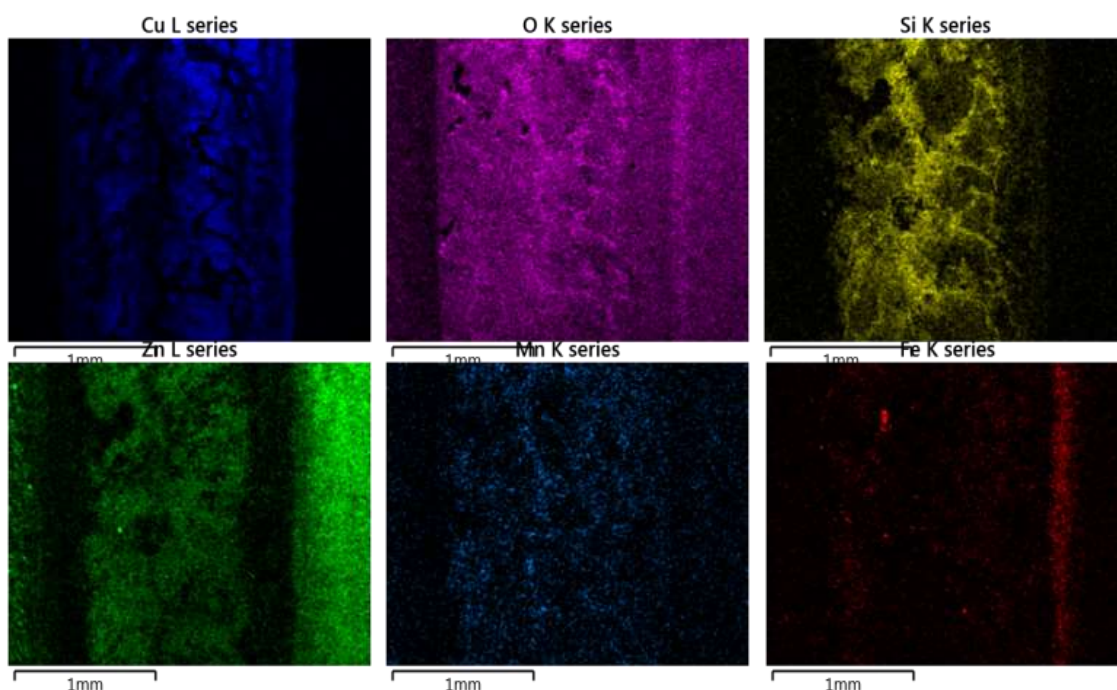
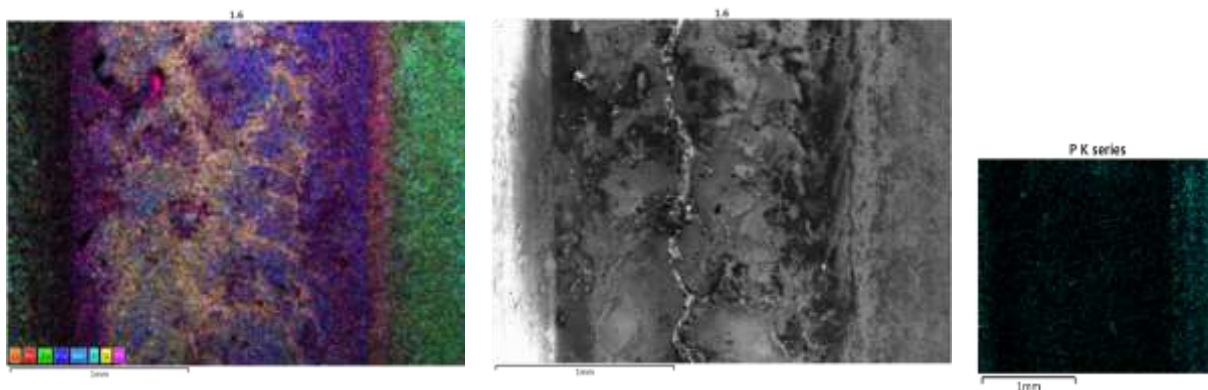
Příloha 9 : EDS VZORKU 1.5



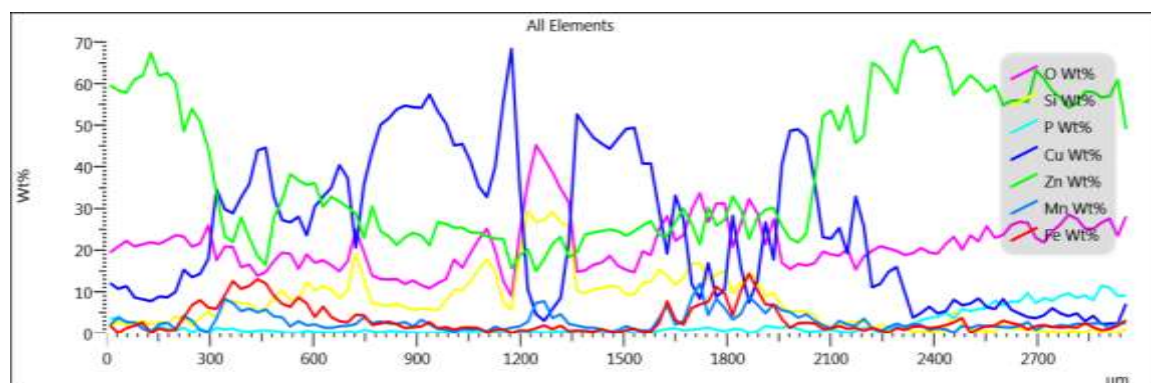
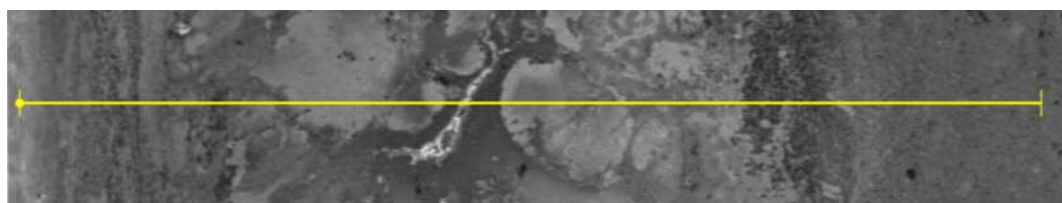
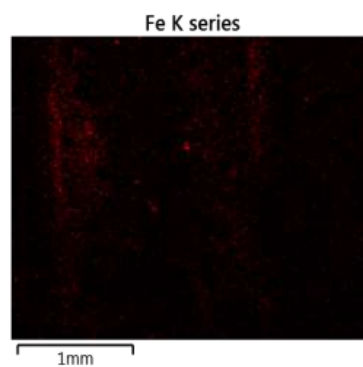
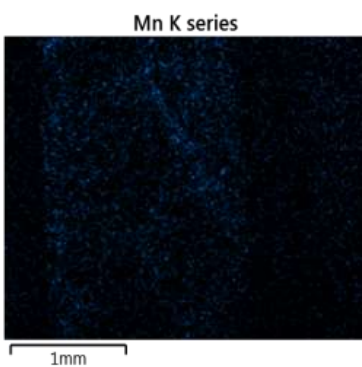
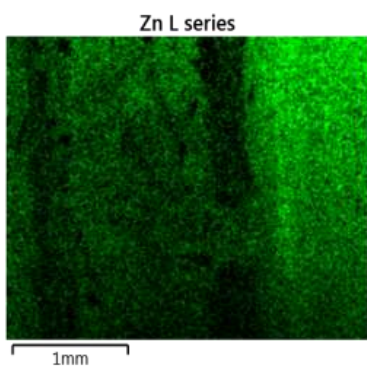
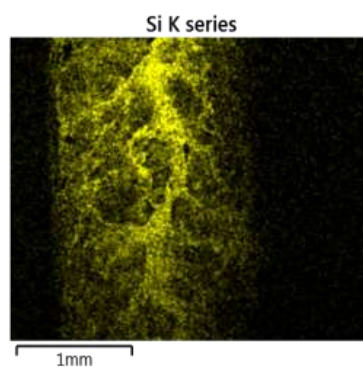
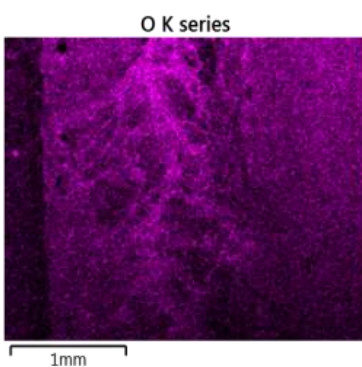
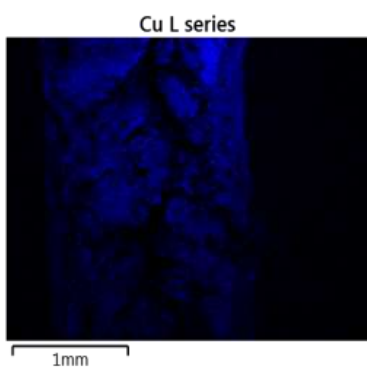
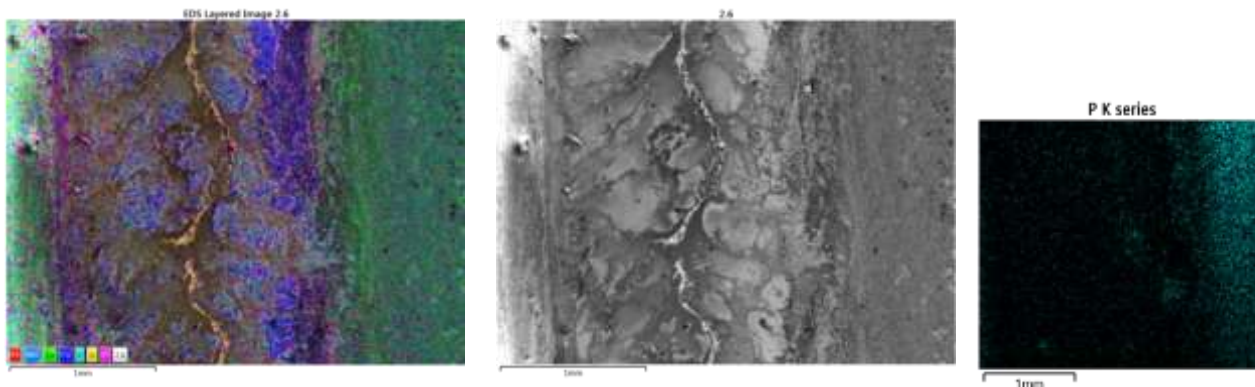
Příloha 10 : EDS VZORKU 2.5



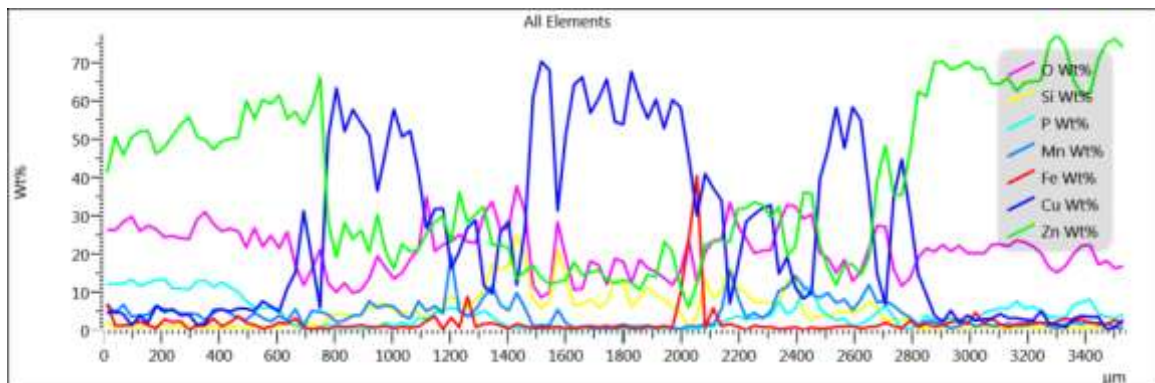
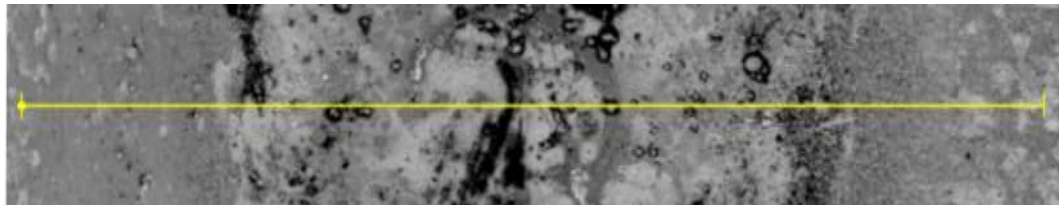
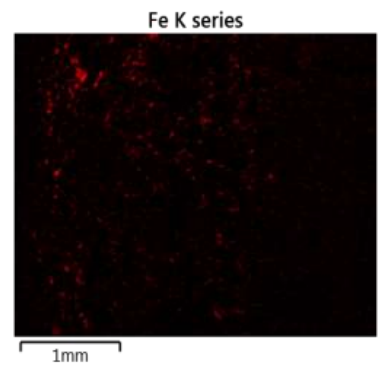
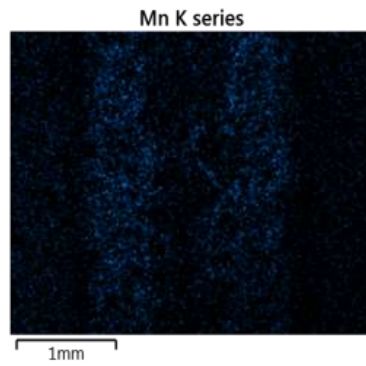
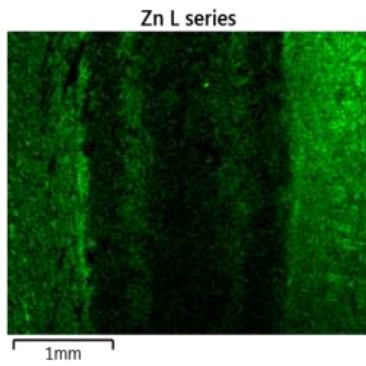
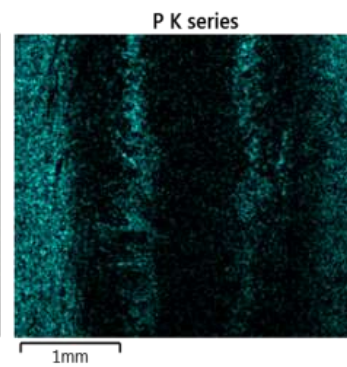
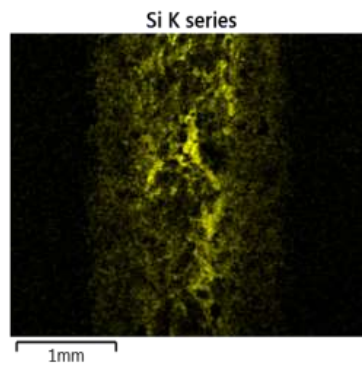
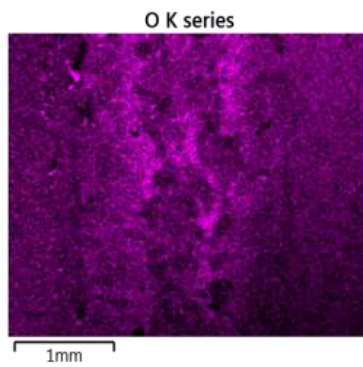
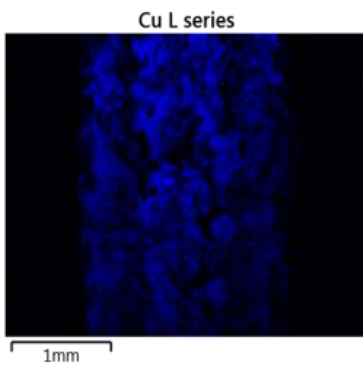
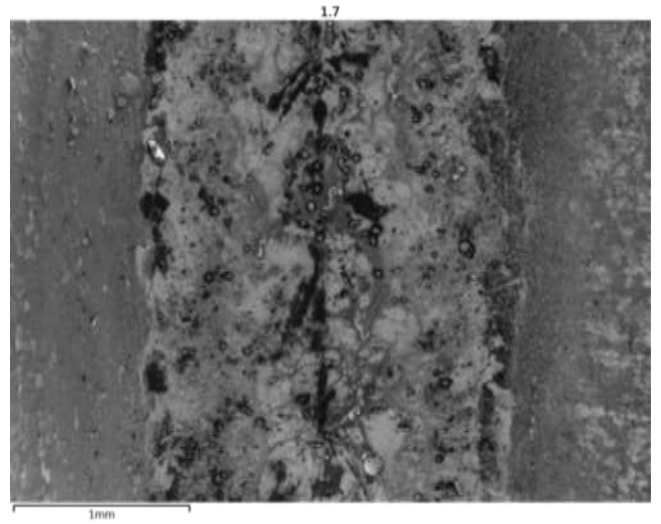
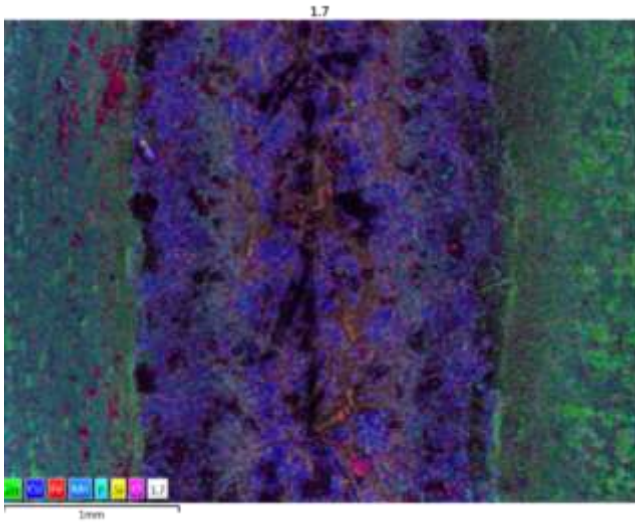
Příloha 11 : EDS VZORKU 1.6



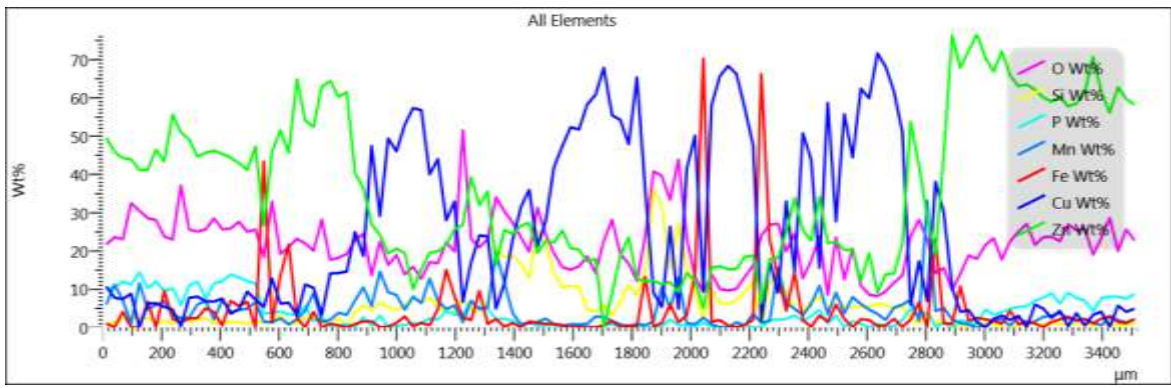
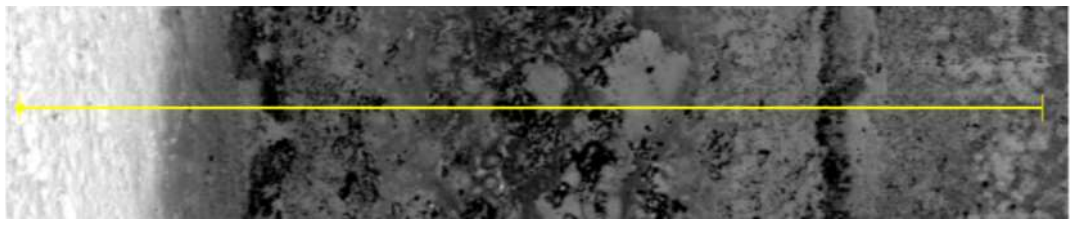
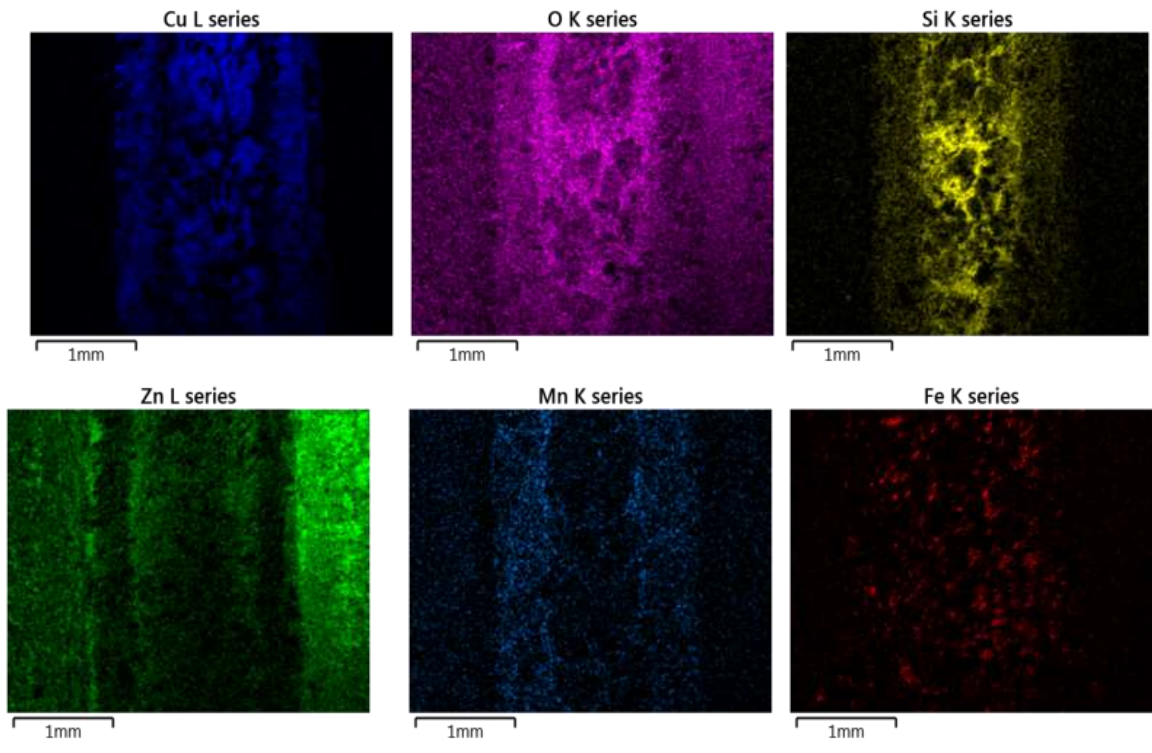
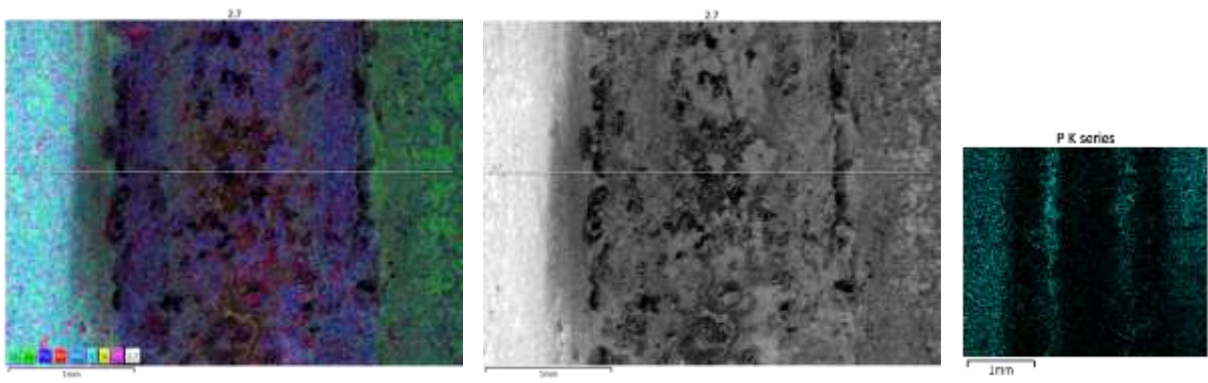
Příloha 12 : EDS VZORKU 2.6



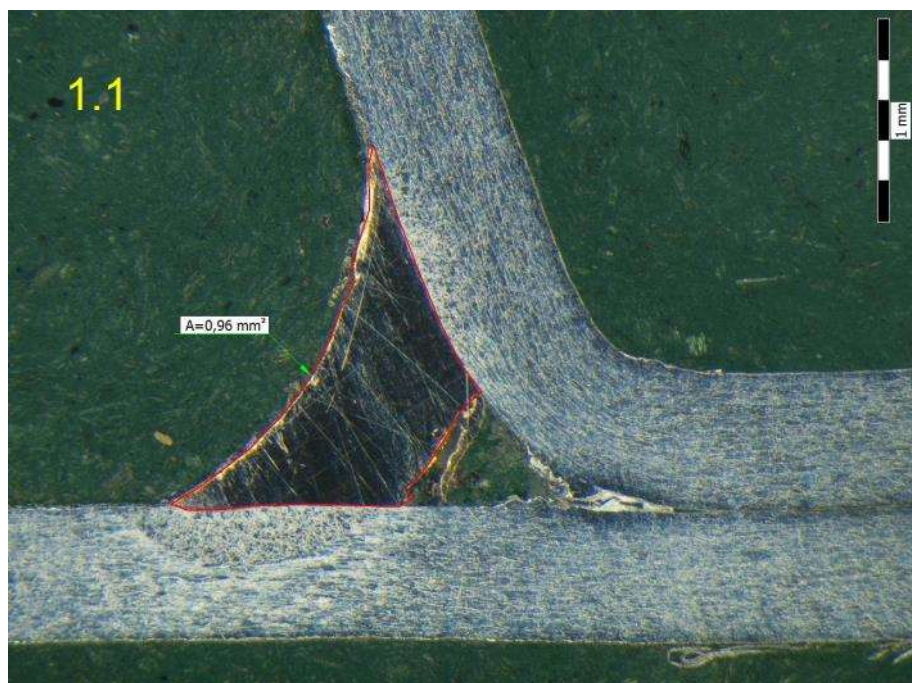
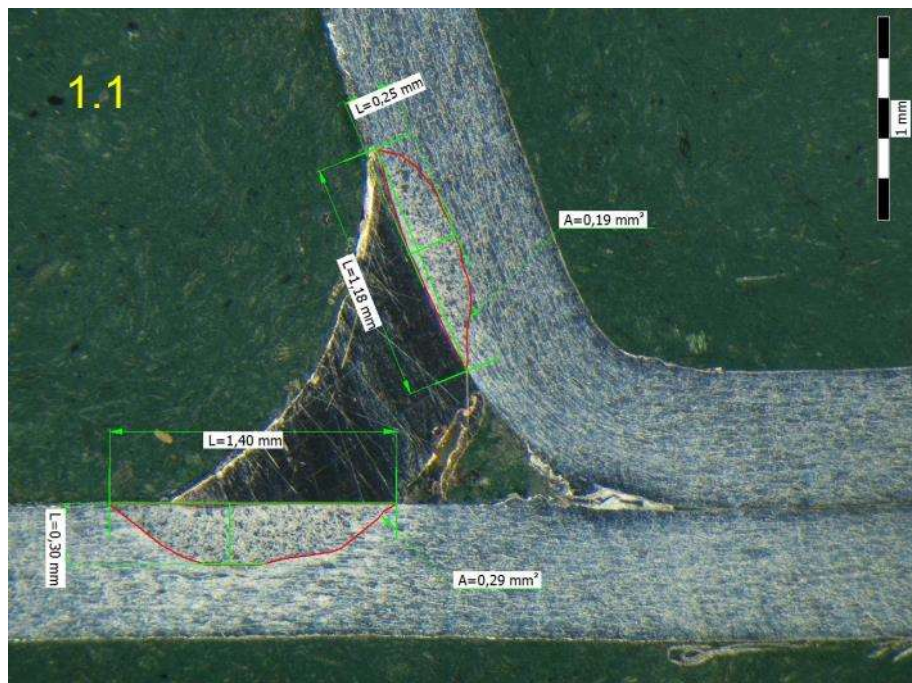
Příloha 13 : EDS VZORKU 1.7



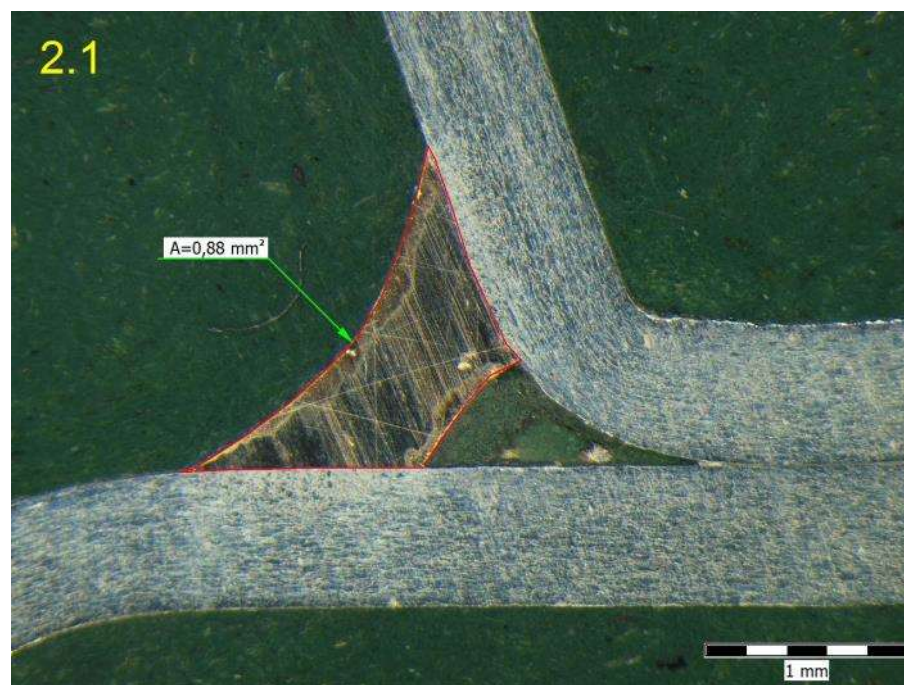
Příloha 14 : EDS VZORKU 2.7



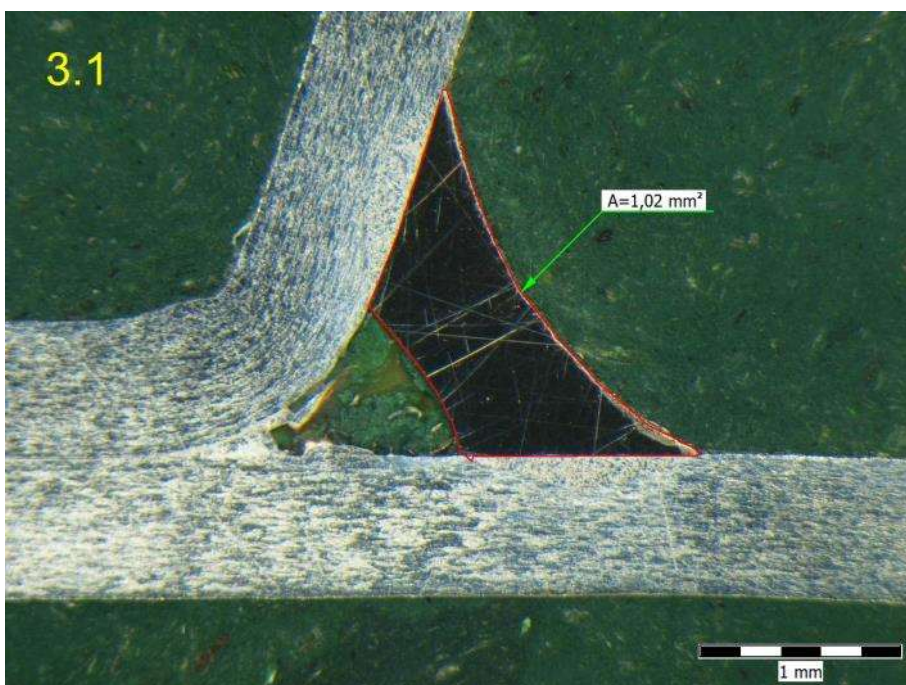
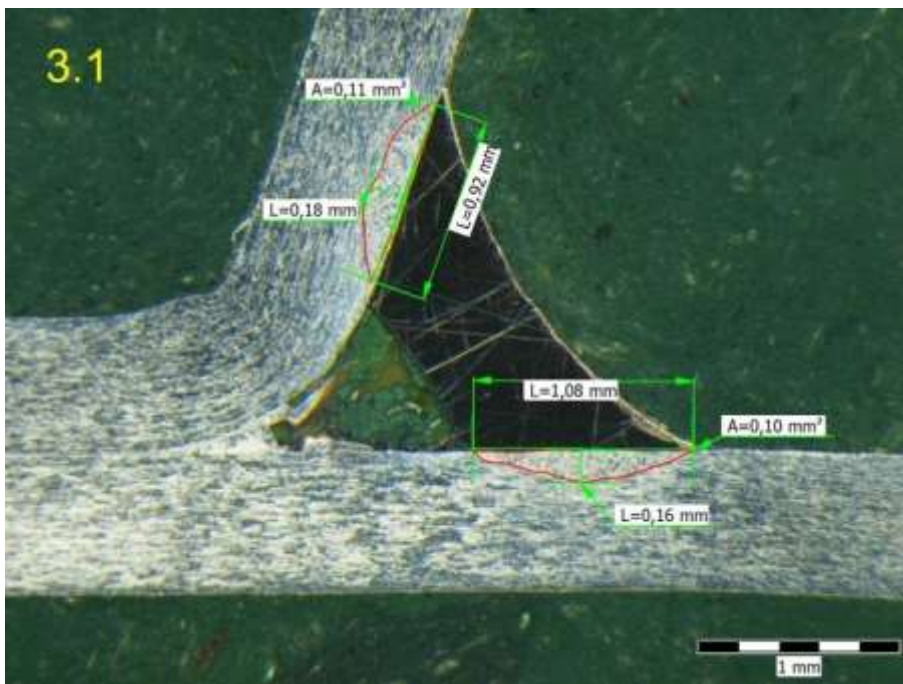
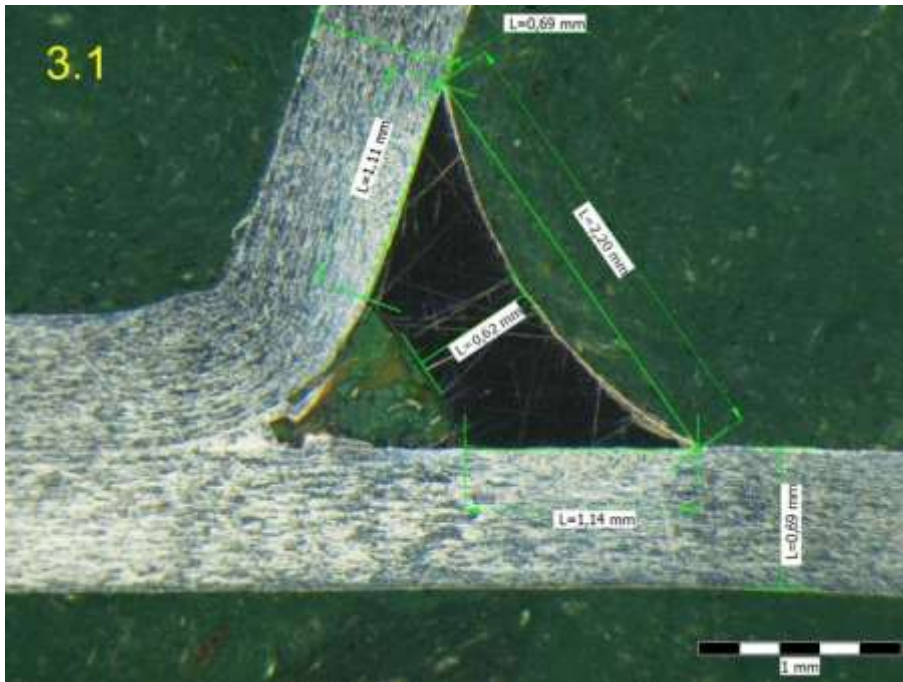
Příloha 15: 1. Víko, sériový stav: metalografický výbrus, vzorek 1.1



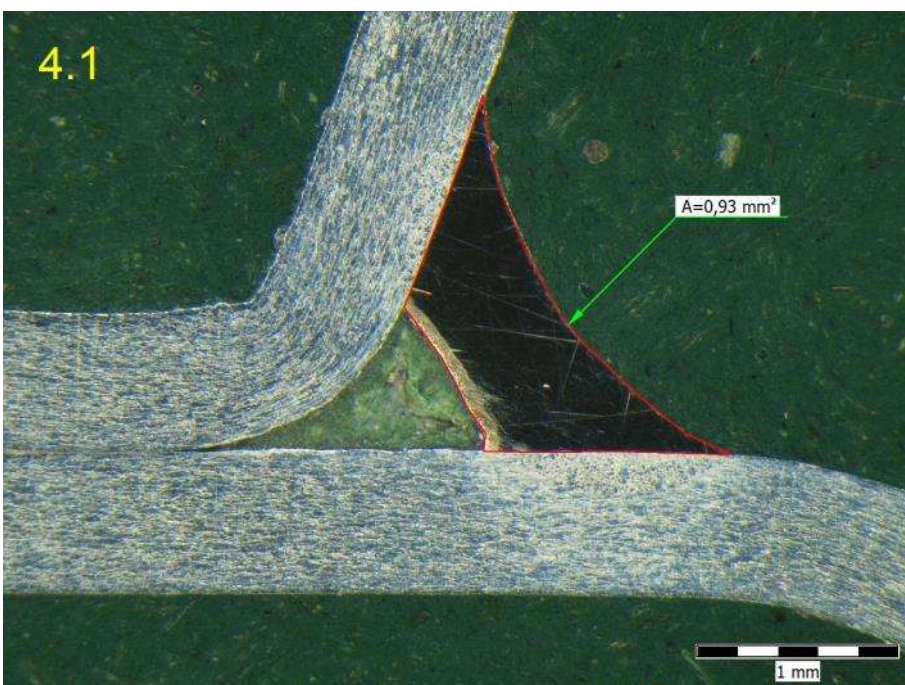
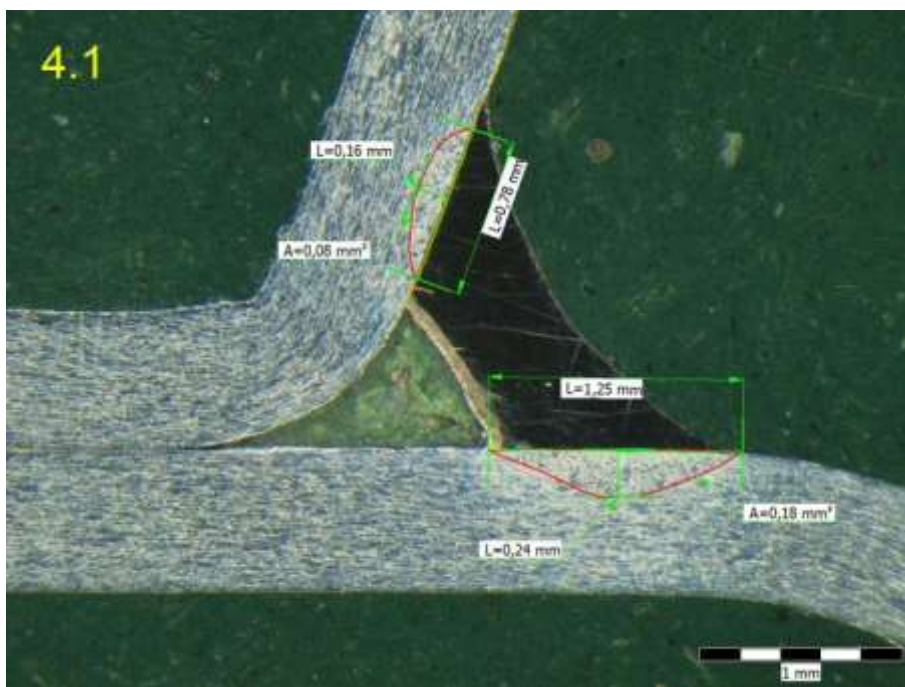
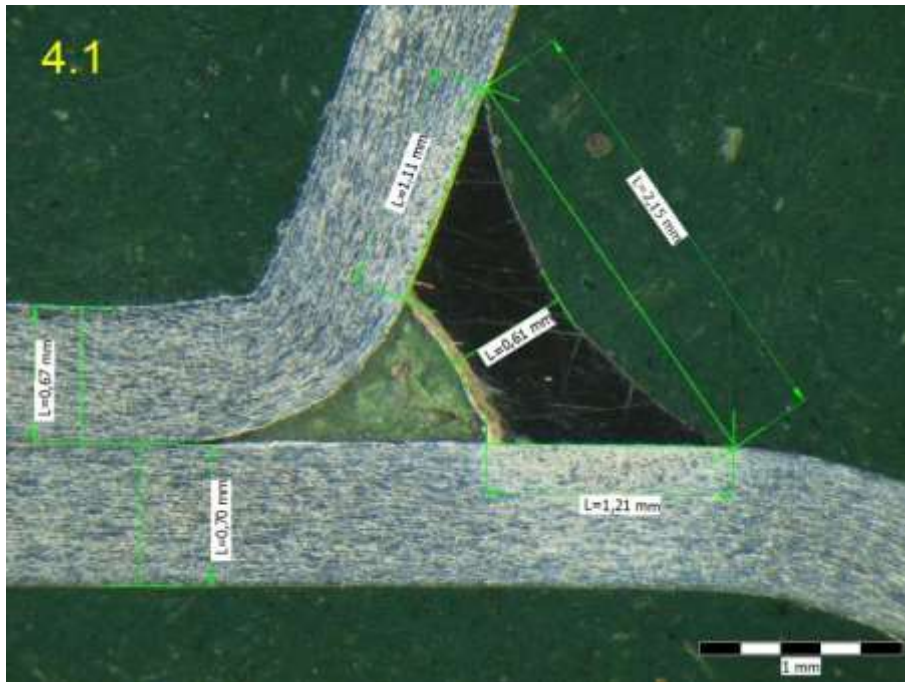
Příloha 16: 1. Víko, sériový stav: metalografický výbrus, vzorek 2.1



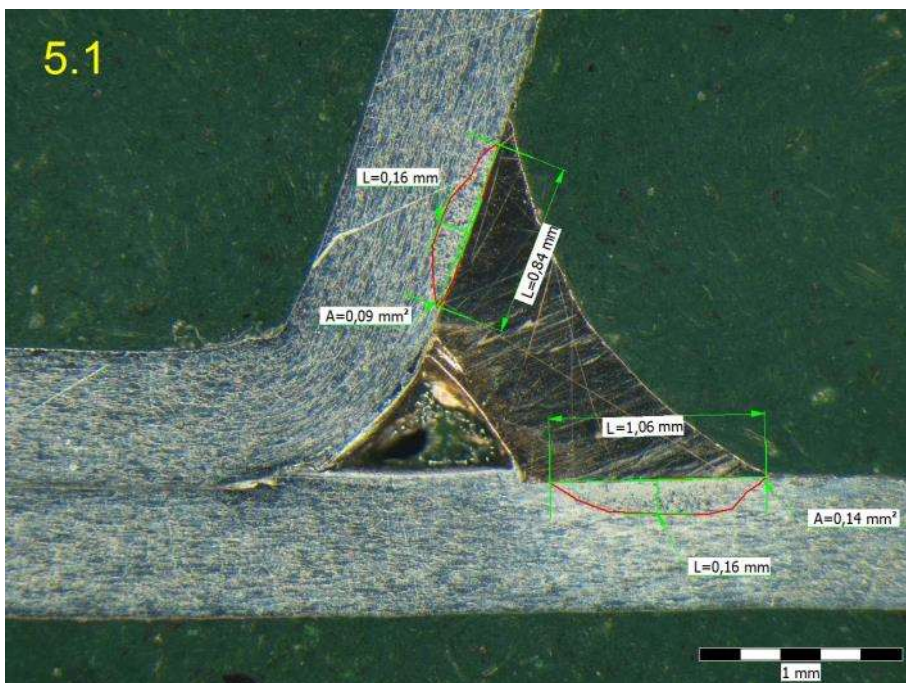
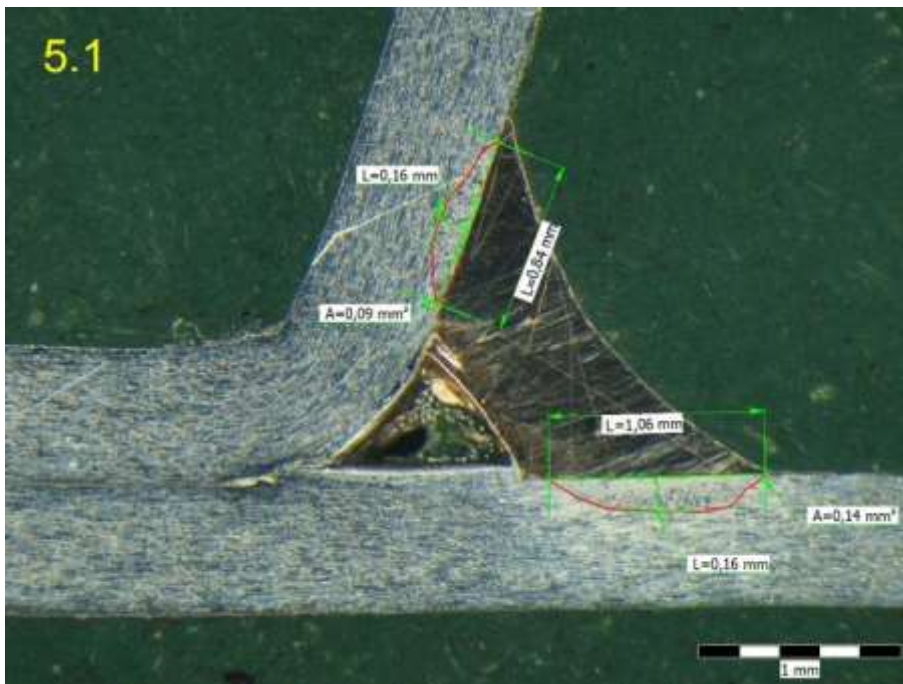
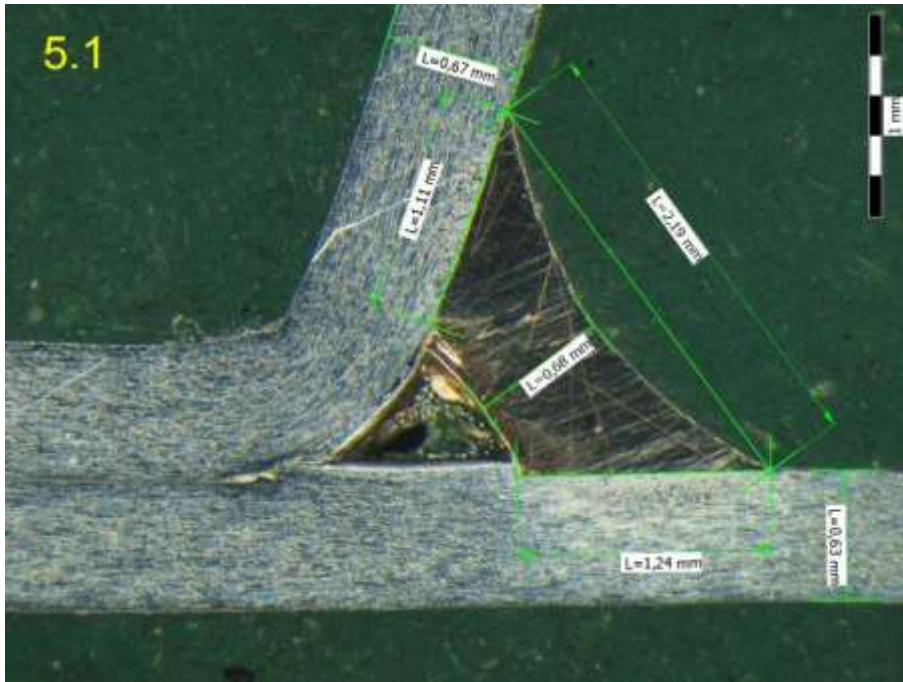
Příloha 17: 1. Víko, sériový stav: metalografický výbrus, vzorek 3.1



Příloha 18: 1. Víko, sériový stav: metalografický výbrus, vzorek 4.1



Příloha 19: 1. Víko, sériový stav: metalografický výbrus, vzorek 5.1



Příloha 20: 1. Víko, sériový stav: metalografický výbrus pohled na TOO

HORNÍ VÝLISKY

SPODNÍ VÝLISKY

1.1



2.1



3.1



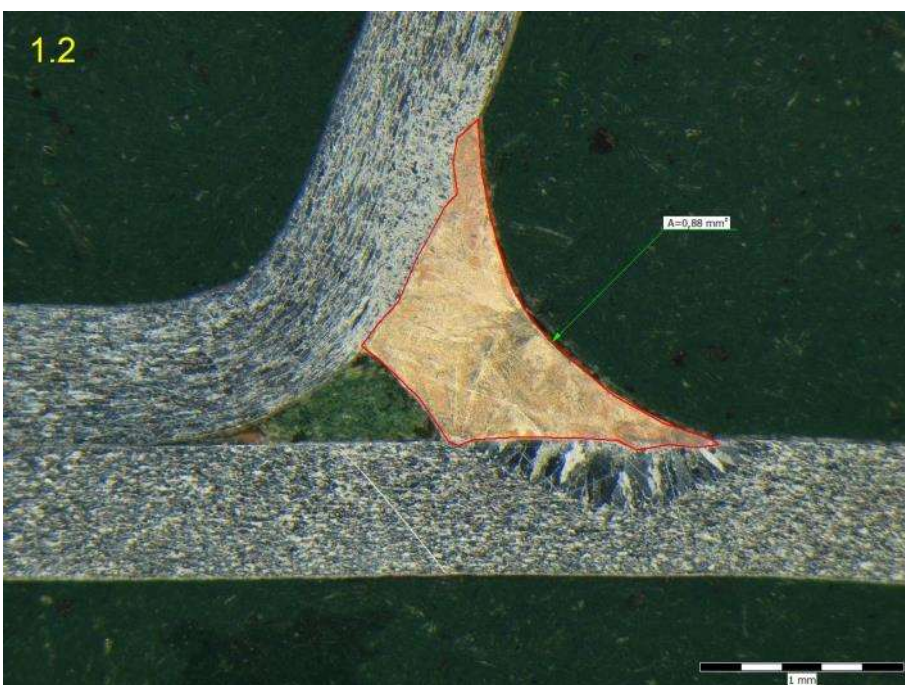
4.1



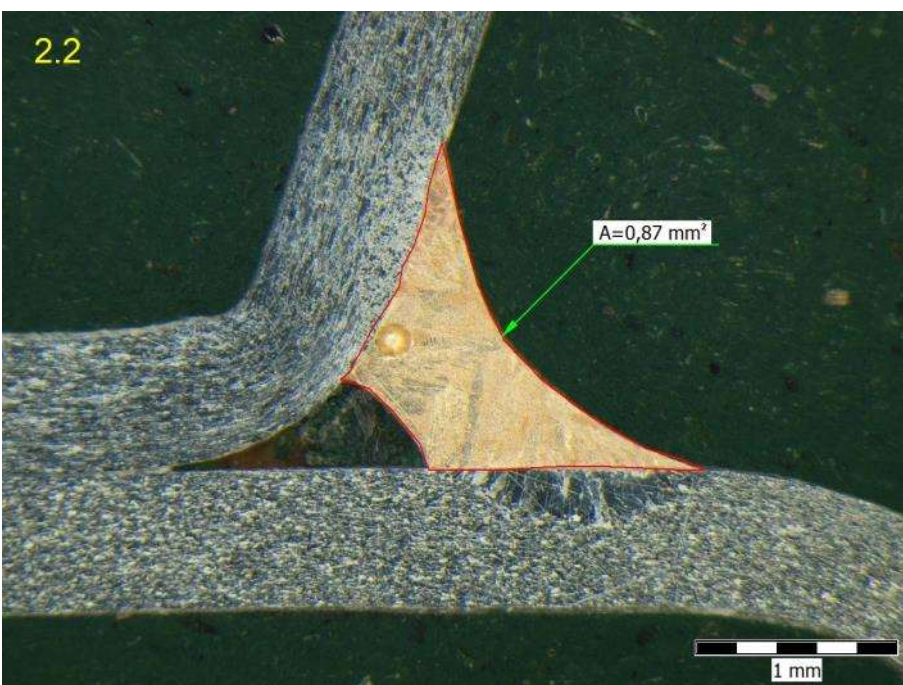
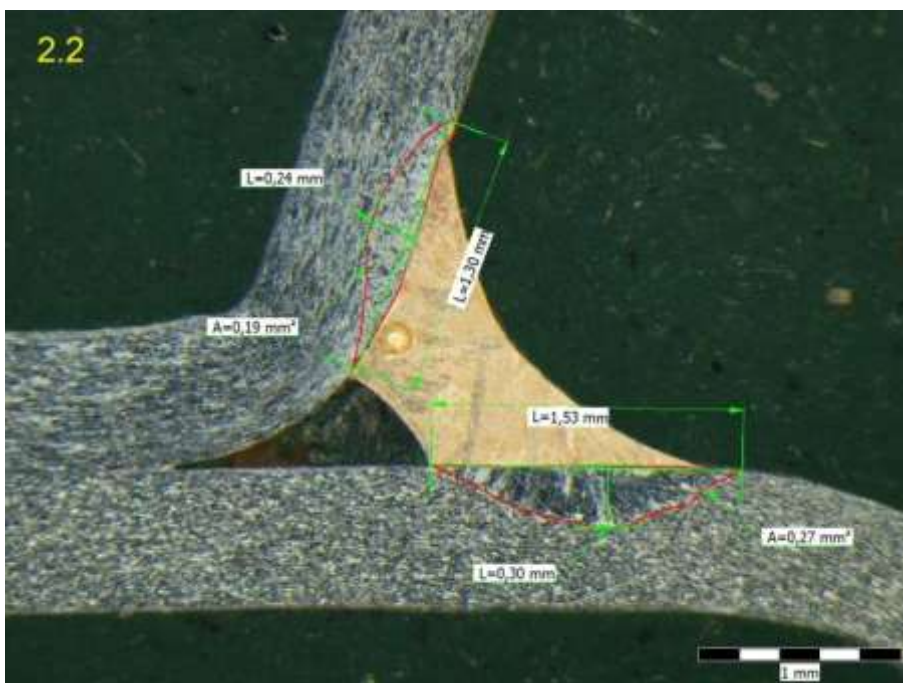
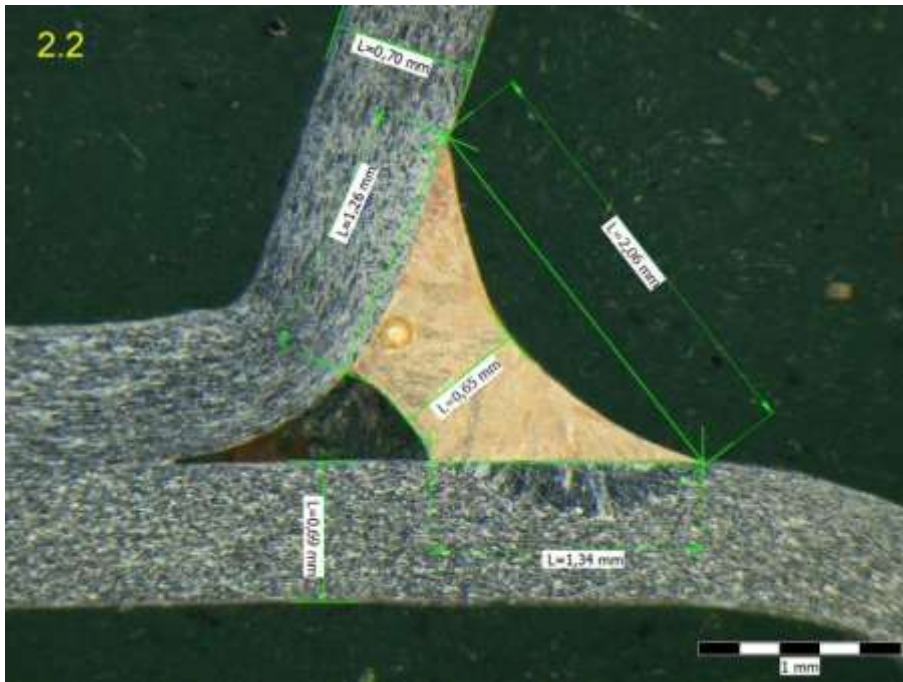
5.1



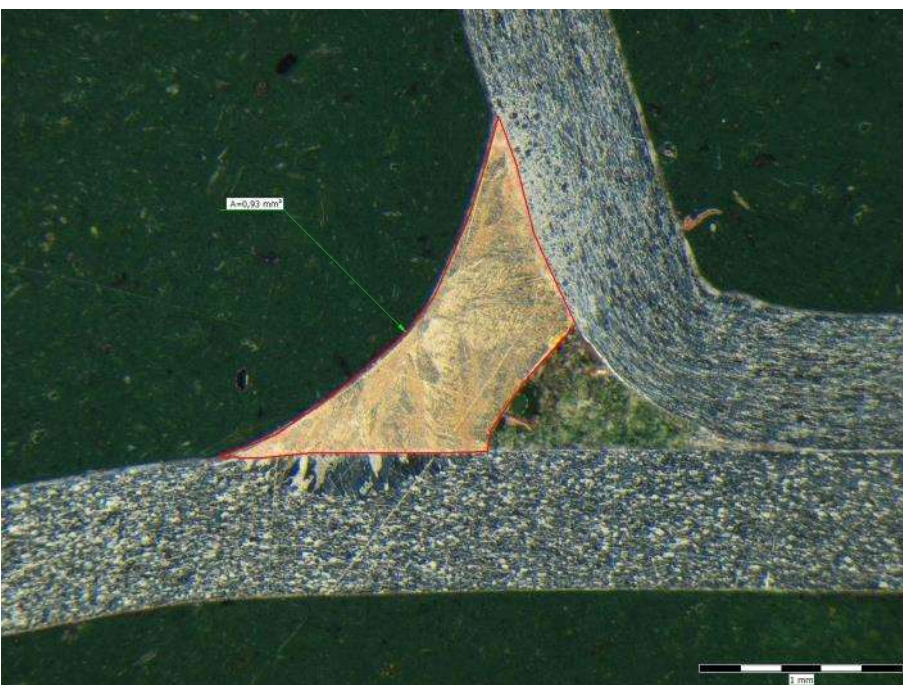
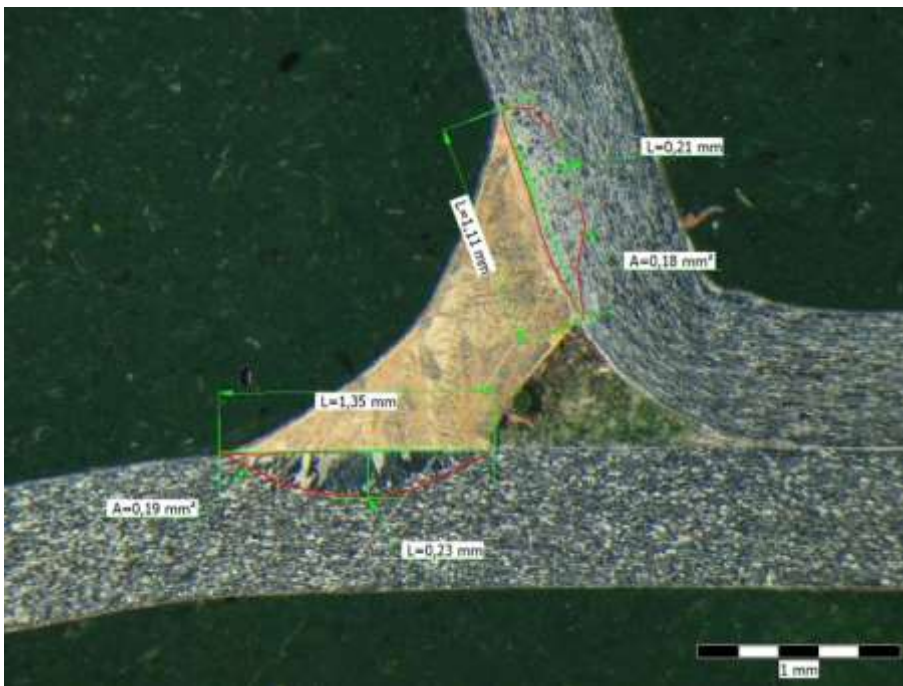
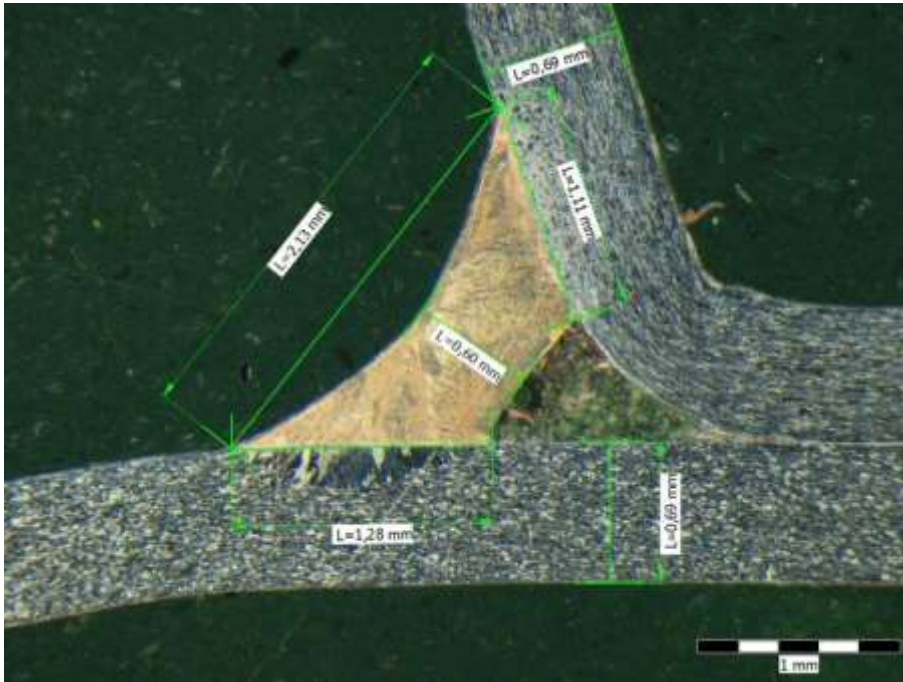
Příloha 21: 2. Víko, + 15% výkon: metalografický výbrus, vzorek 1.2



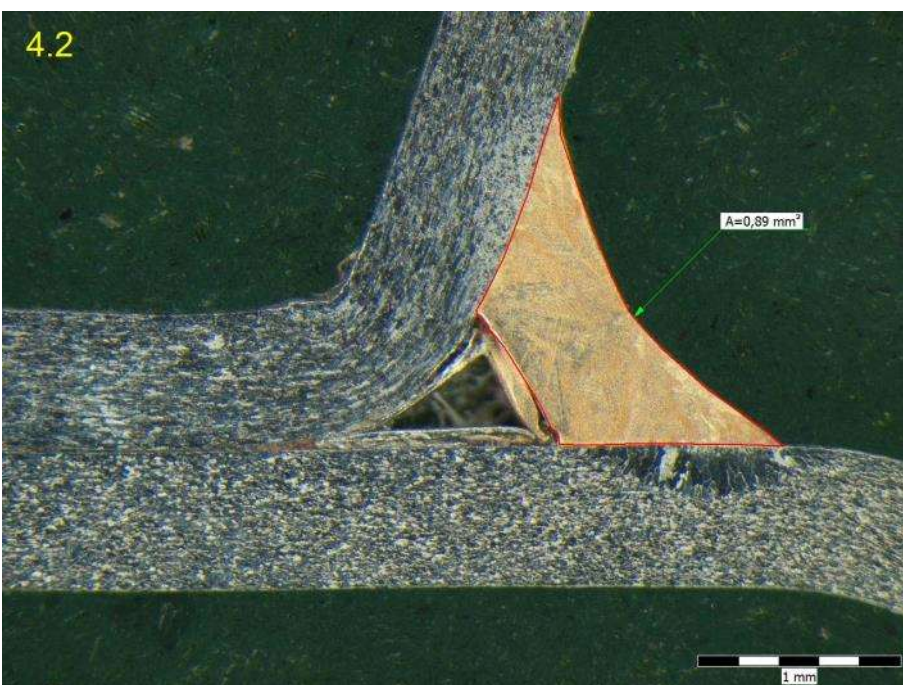
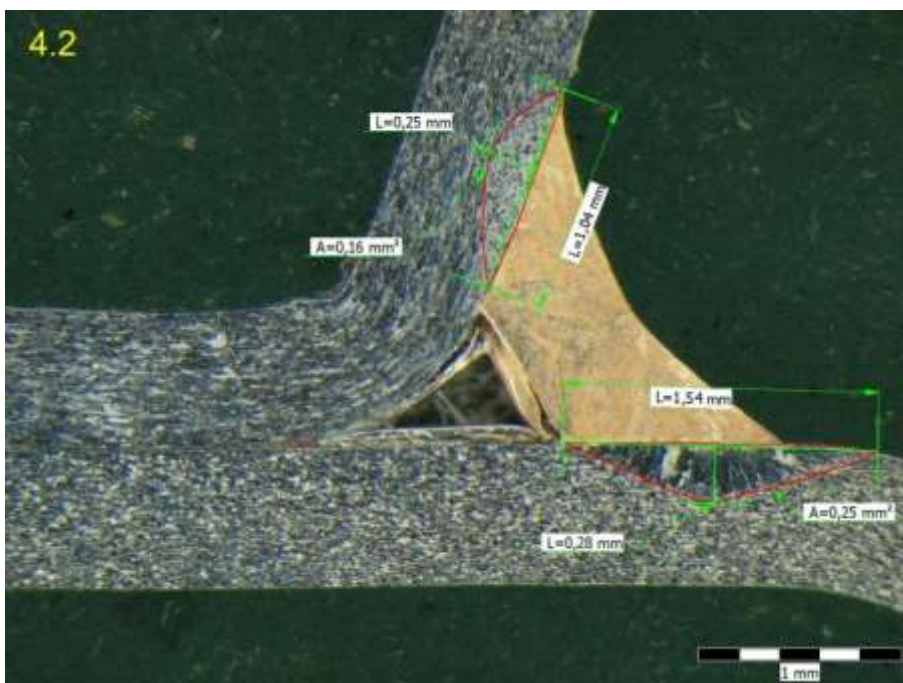
Příloha 22: 2. Víko, + 15% výkon: metalografický výbrus, vzorek 2.2



Příloha 23: 2. Víko, + 15% výkon: metalografický výbrus, vzorek 3.2



Příloha 24: 2. Víko, + 15% výkon: metalografický výbrus, vzorek 4.2



Příloha 25: 2. Víko, + 15% výkon: metalografický výbrus, vzorek 5.2



Příloha 26: 2. Víko, + 15% výkon: metalografický výbrus pohled na TOO

HORNÍ VÝLISKY

SPODNÍ VÝLISKY

1.2



2.2



3.2



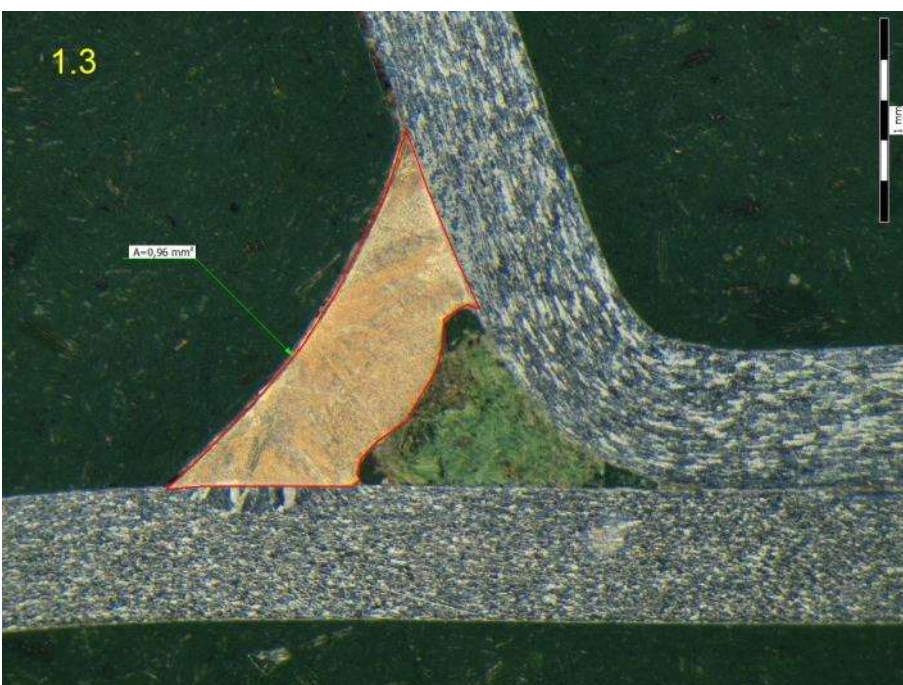
4.2



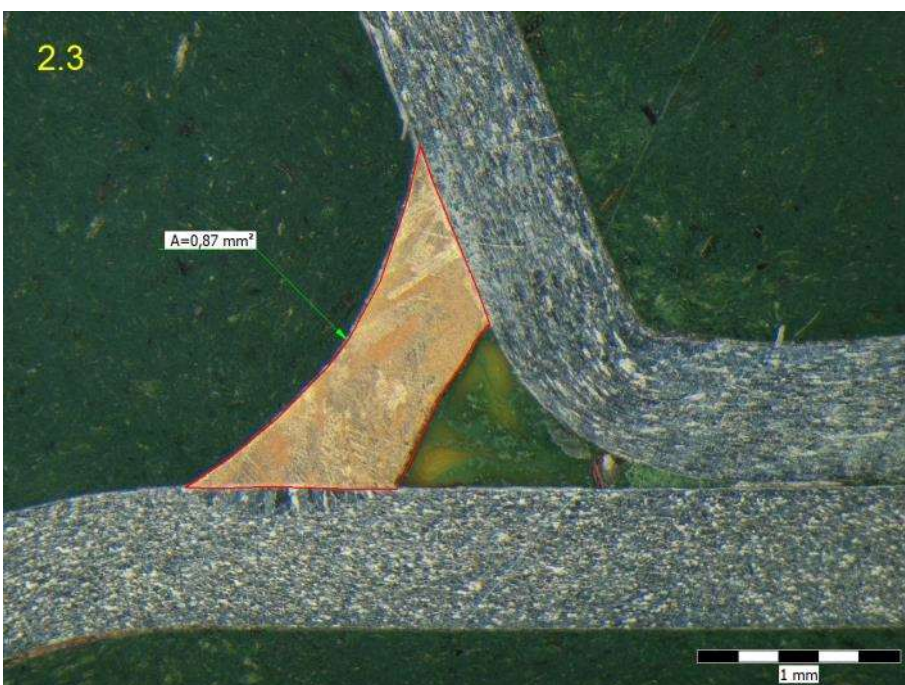
5.2



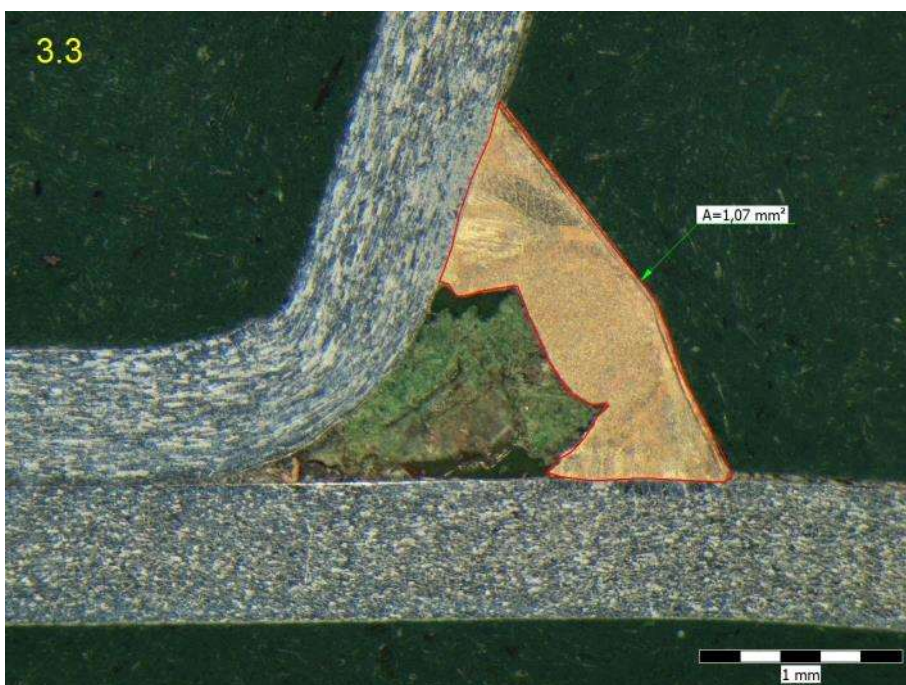
Příloha 27: 3. Víko, - 15% výkon: metalografický výbrus, vzorek 1.3



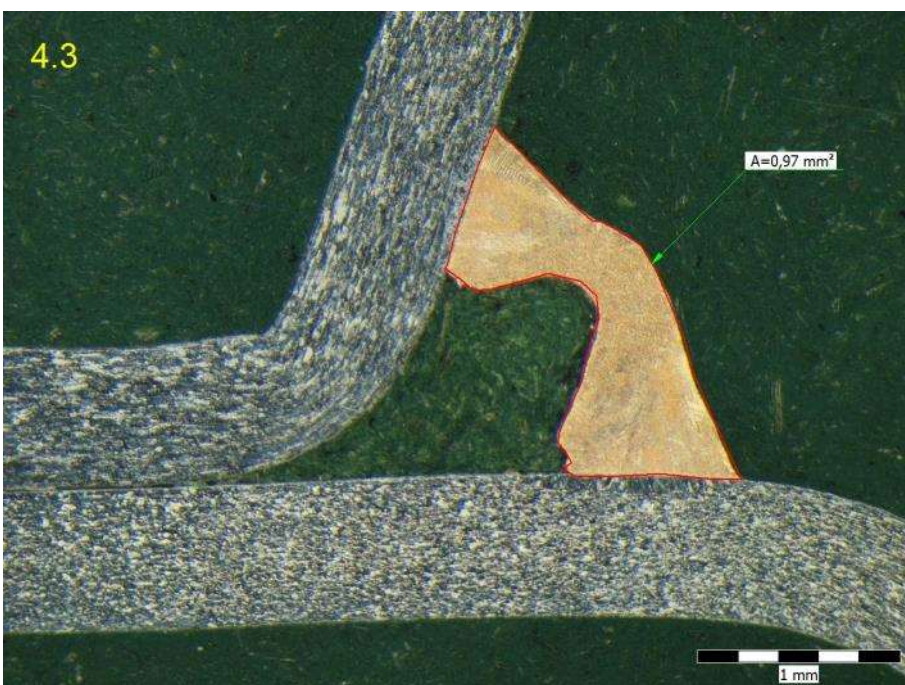
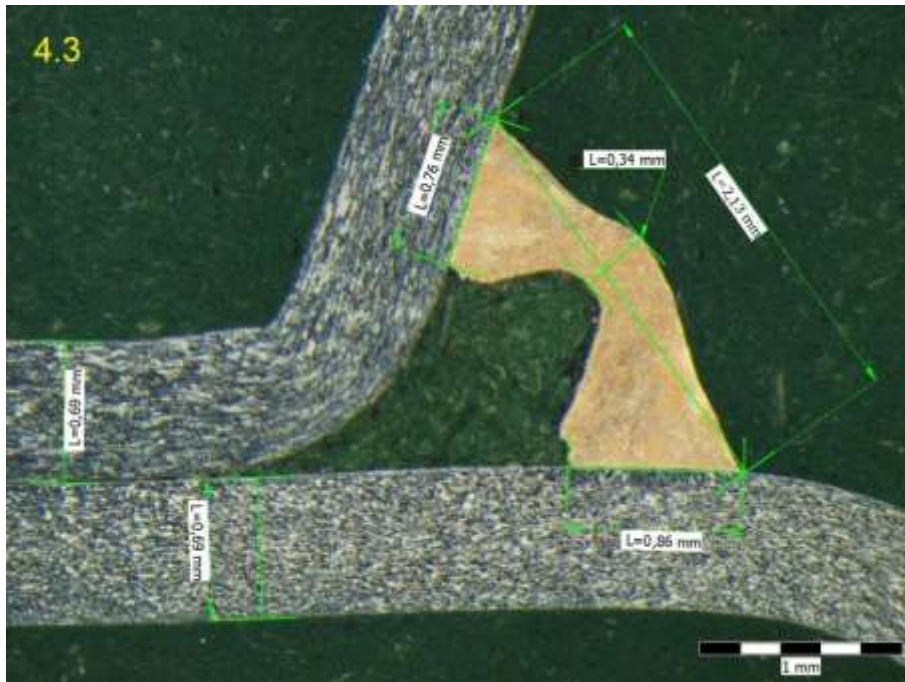
Příloha 28: 3. Víko, - 15% výkon: metalografický výbrus, vzorek 2.3



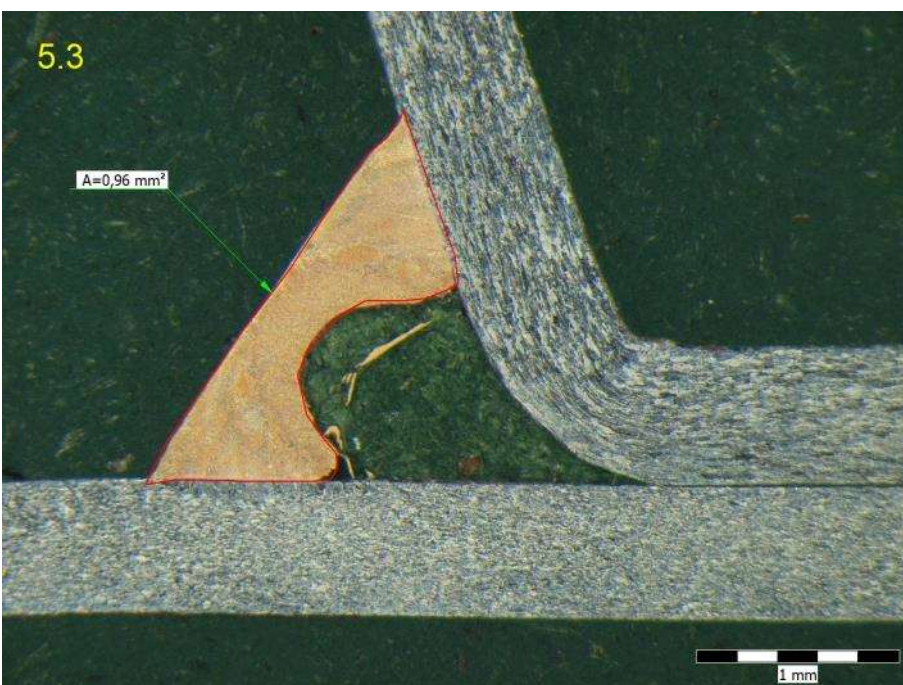
Příloha 29: 3. Víko, - 15% výkon: metalografický výbrus, vzorek 3.3



Příloha 30: 3. Víko, - 15% výkon: metalografický výbrus, vzorek 4.3



Příloha 31: 3. Víko, - 15% výkon: metalografický výbrus, vzorek 5.3



Příloha 32: 3. Víko, - 15% výkon: metalografický výbrus pohled na TOO

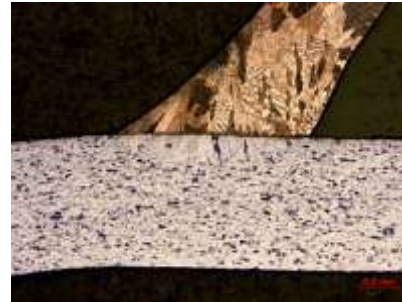
HORNÍ VÝLISKY

SPODNÍ VÝLISKY

1.3



2.3



3.3



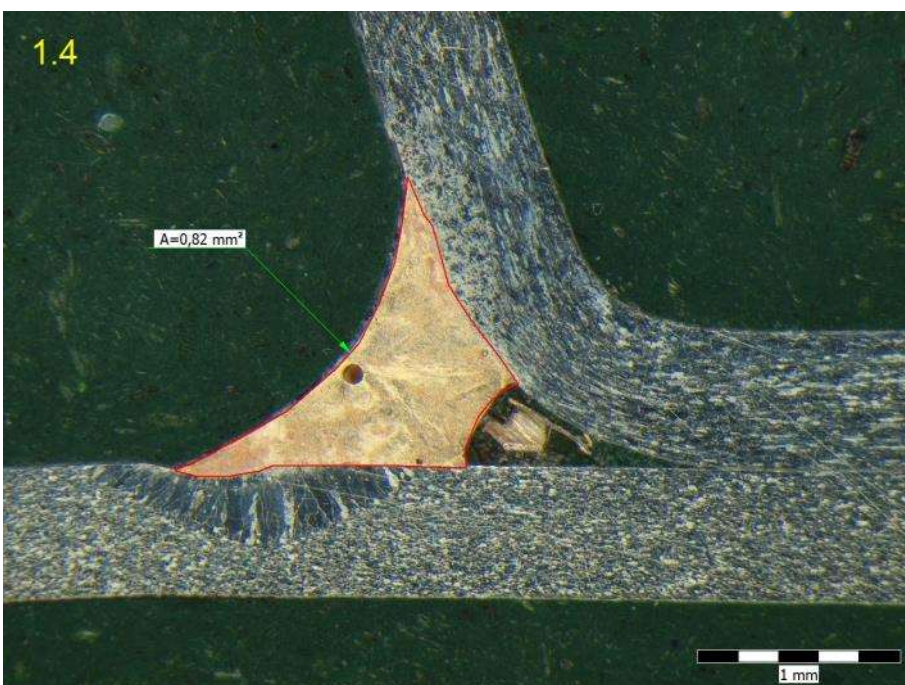
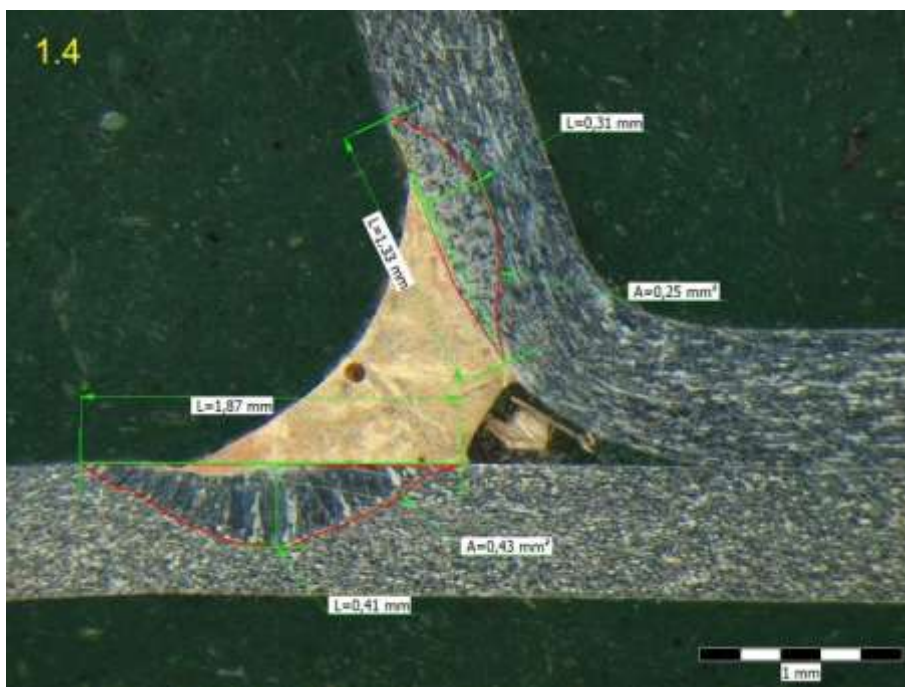
4.3



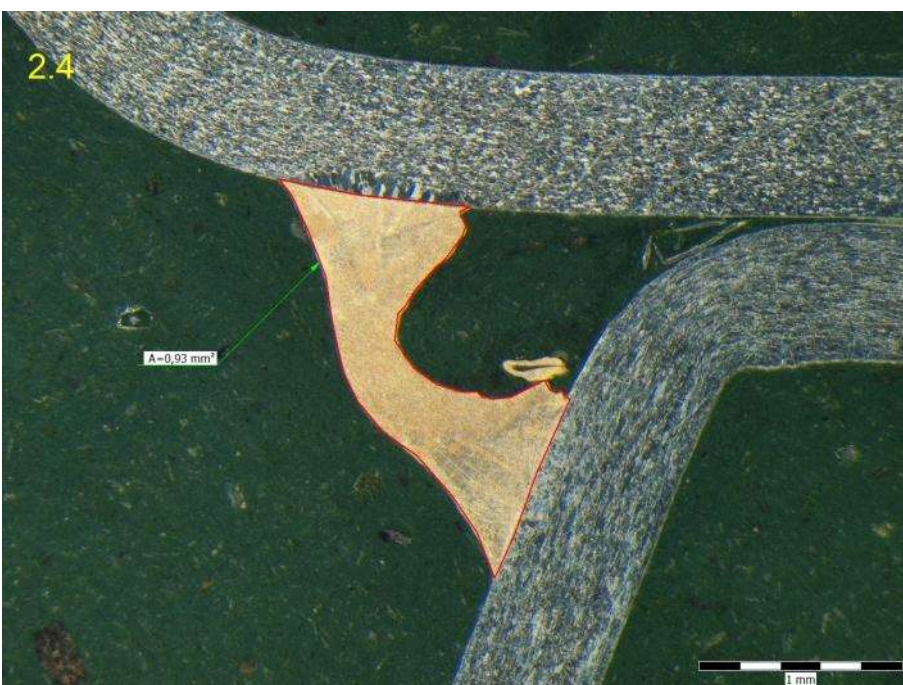
5.3



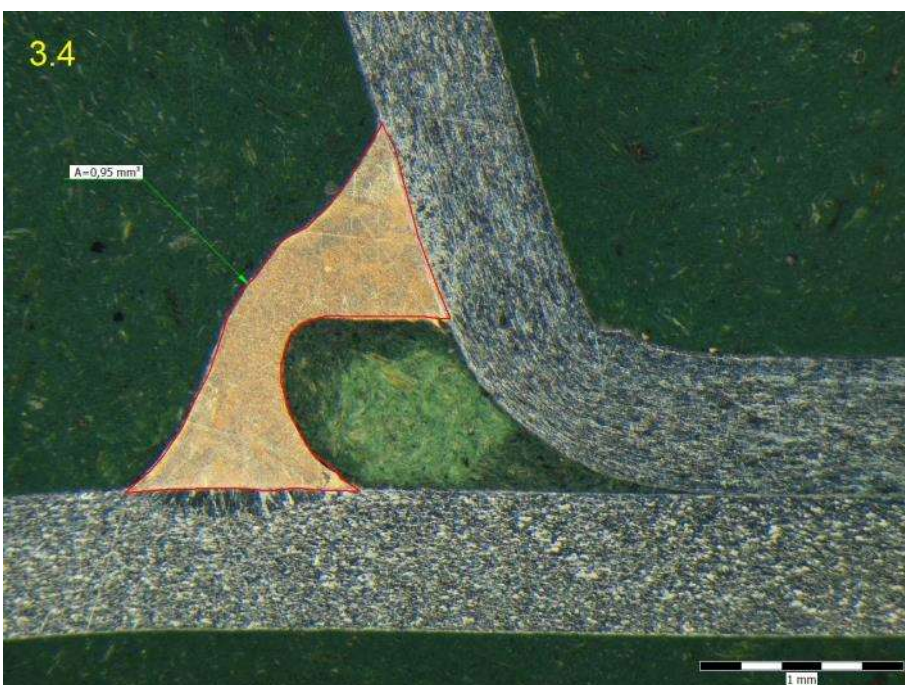
Příloha 33: 4. Víko, + 20% posuv drátu: metalografický výbrus, vzorek 1.4



Příloha 34: 4. Víko, + 20% posuv drátu: metalografický výbrus, vzorek 2.4



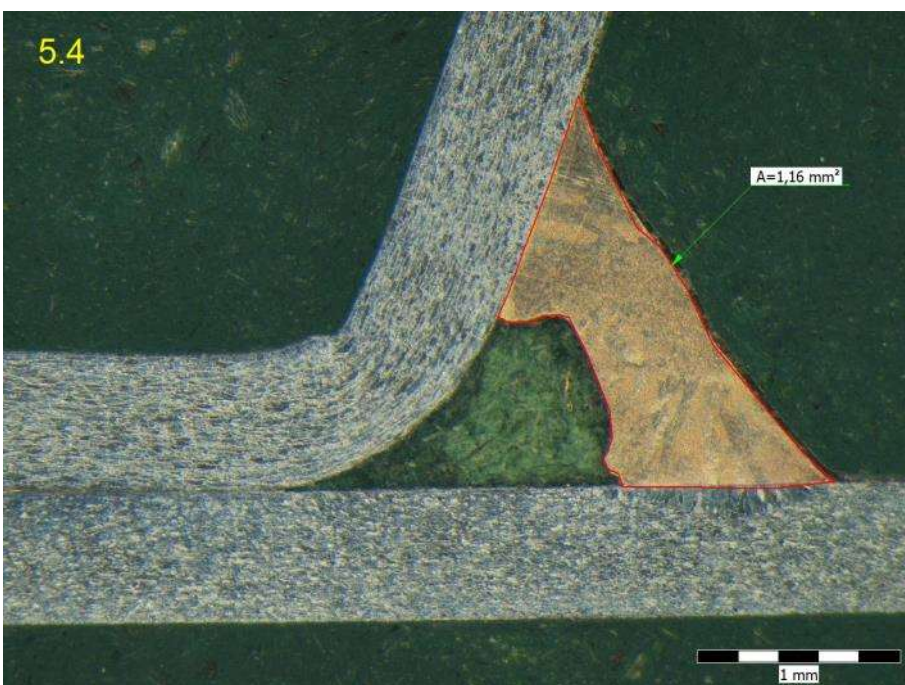
Příloha 35: 4. Víko, + 20% posuv drátu: metalografický výbrus, vzorek 3.4



Příloha 36: 4. Víko, + 20% posuv drátu: metalografický výbrus, vzorek 4.4



Příloha 37: 4. Víko, + 20% posuv drátu: metalografický výbrus, vzorek 5.4



Příloha 38: 4. Víko, + 20% posuv drátu: metalografický výbrus pohled na TOO

HORNÍ VÝLISKY

SPODNÍ VÝLISKY

1.4



2.4



3.4



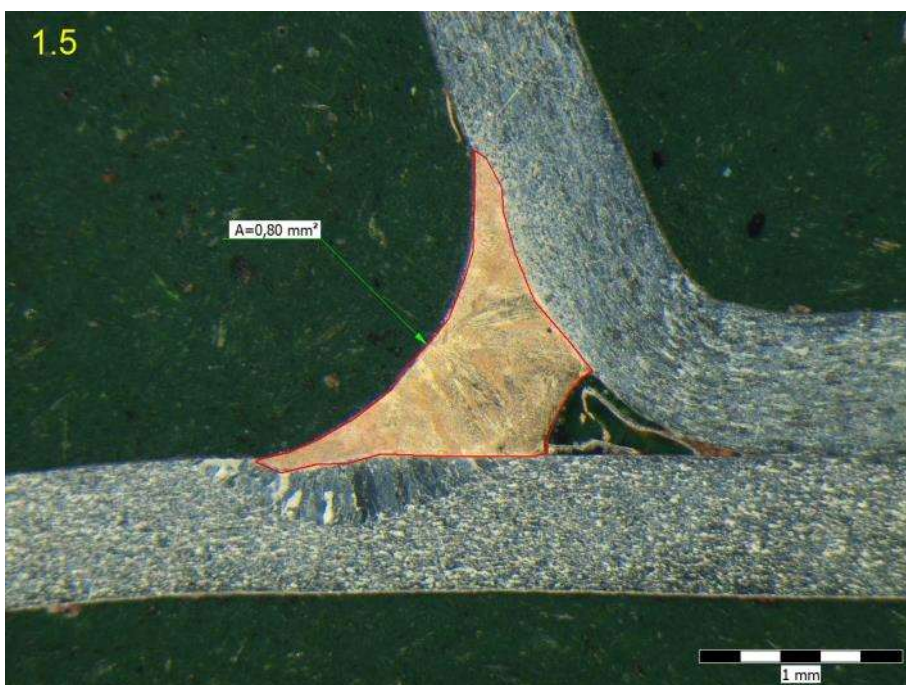
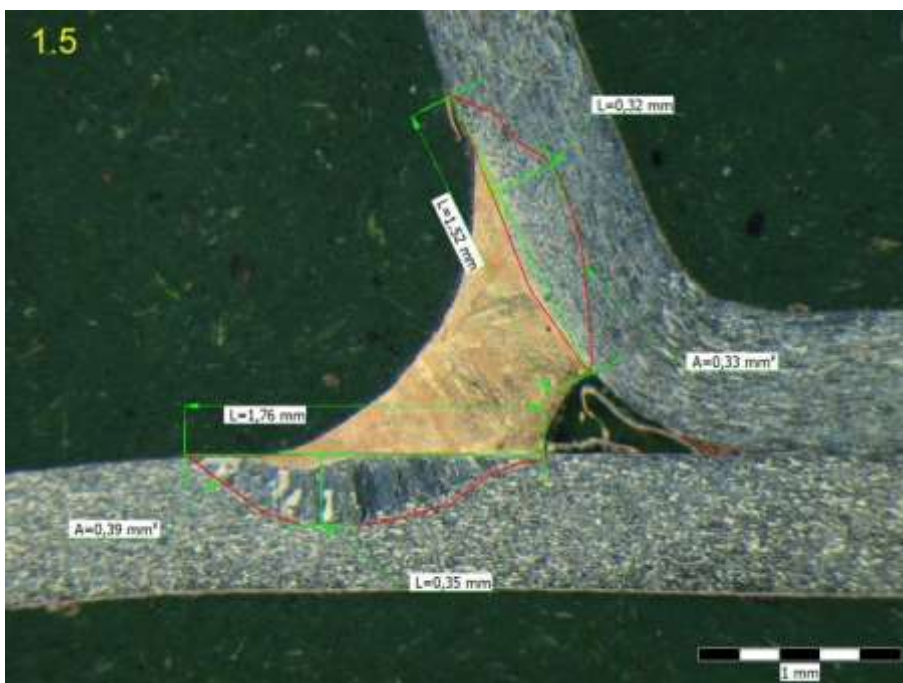
4.4



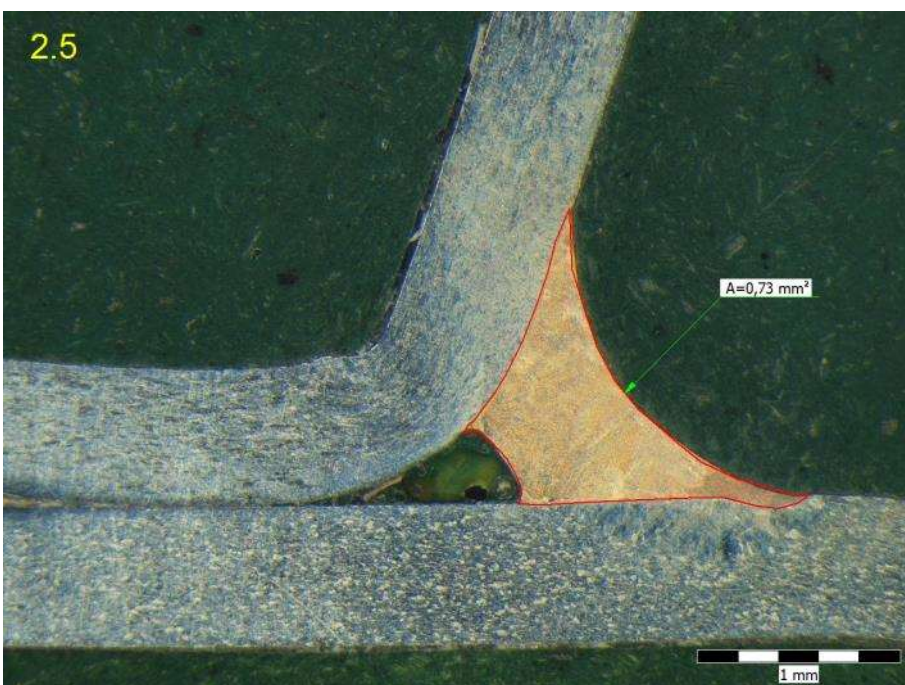
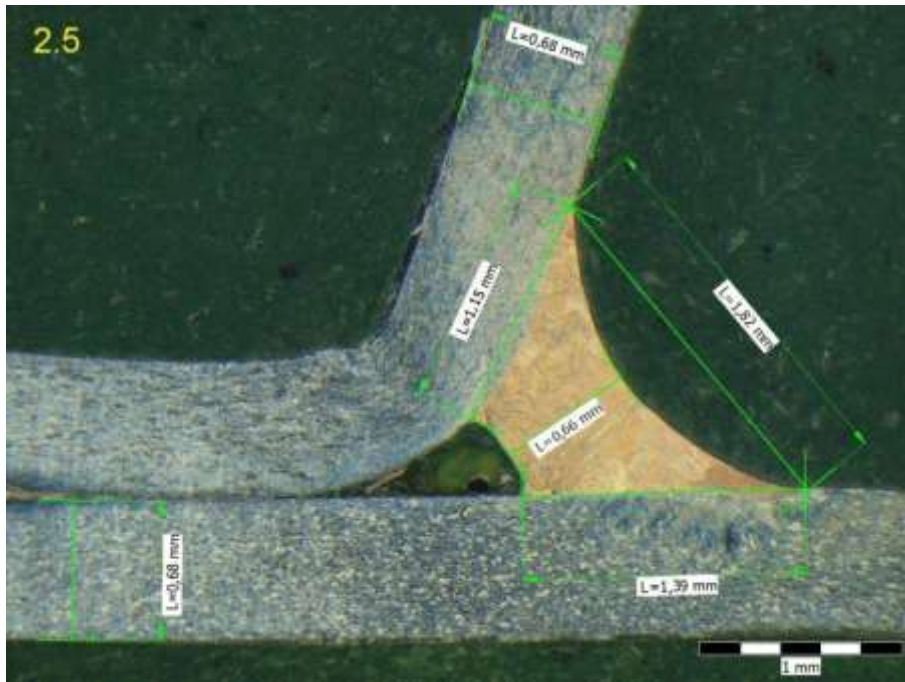
5.4



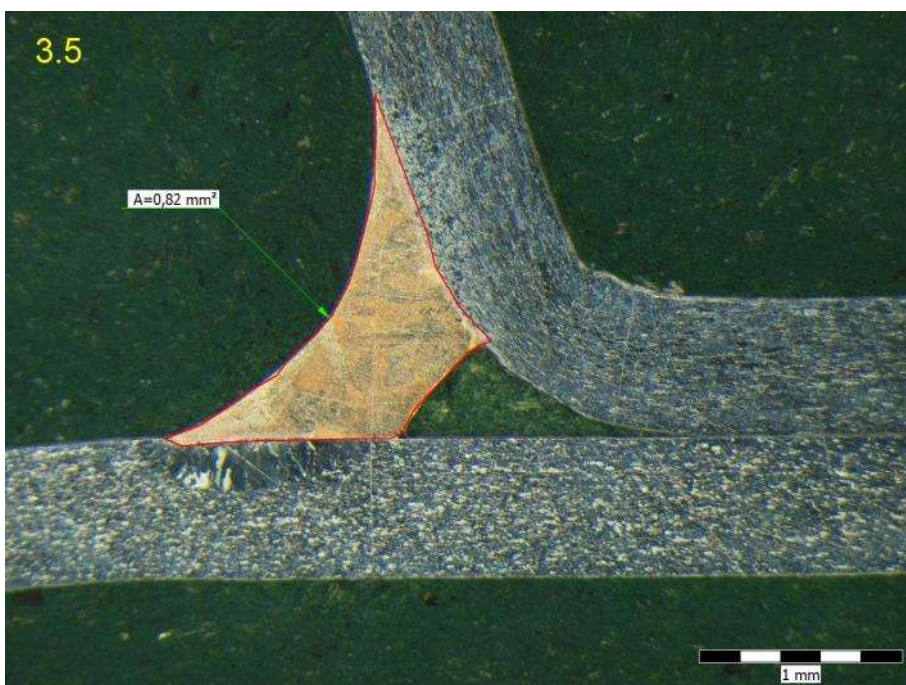
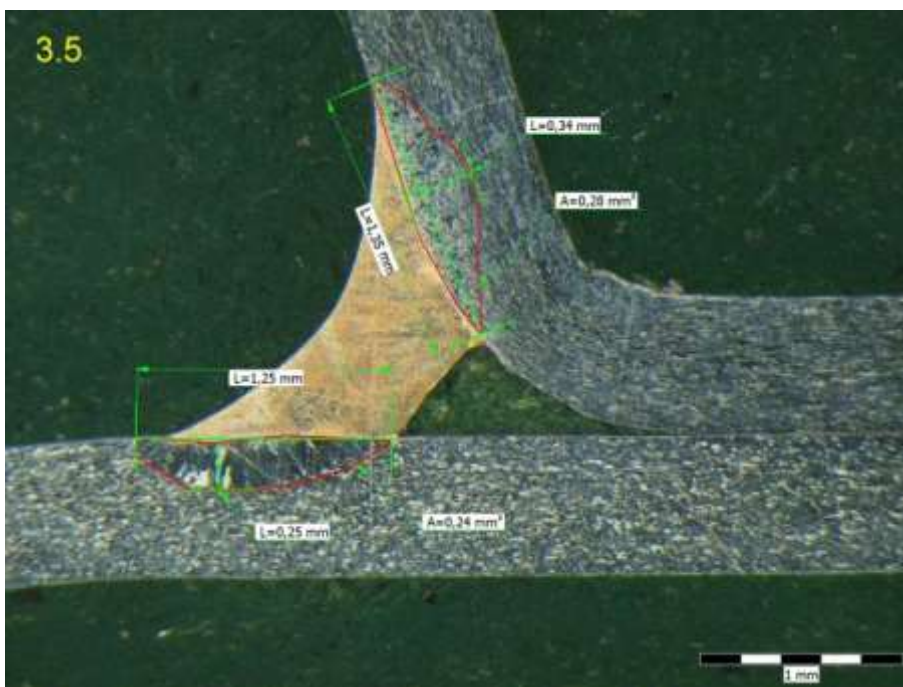
Příloha 39: 5. Víko, - 20% posuv drátu: metalografický výbrus, vzorek 1.5



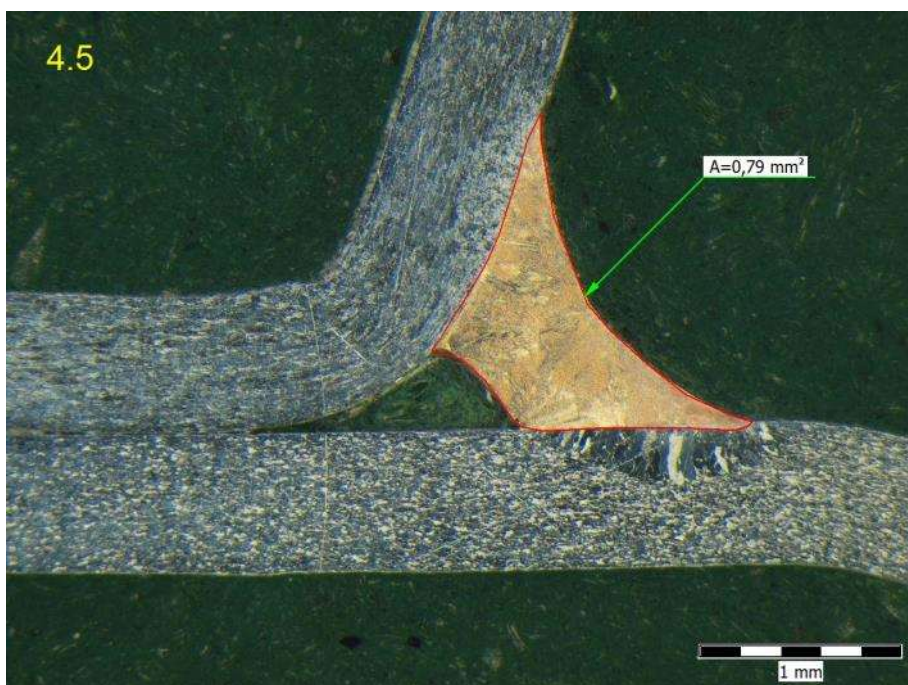
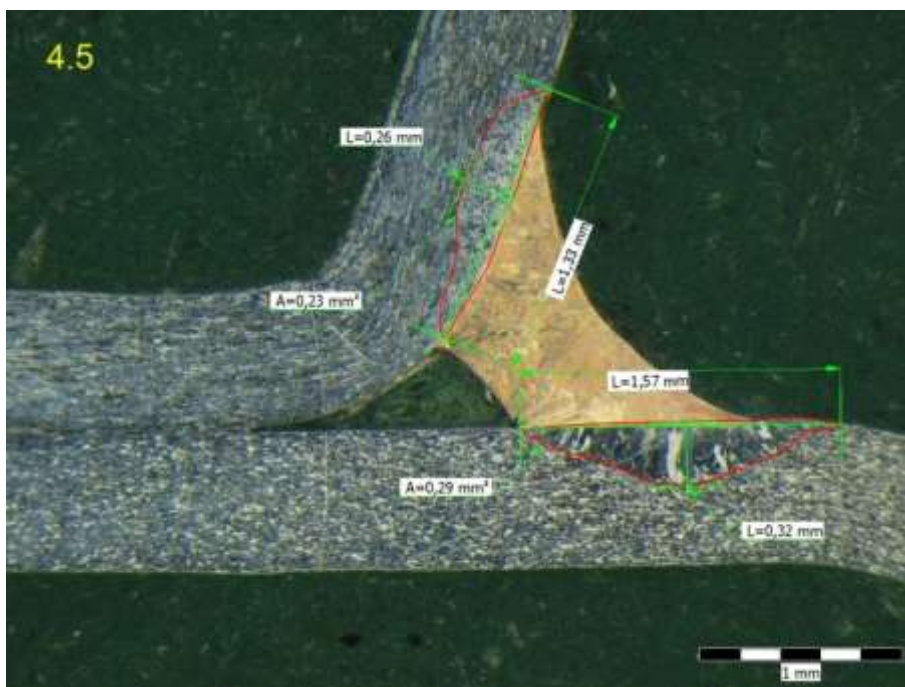
Příloha 40: 5. Víko, - 20% posuv drátu: metalografický výbrus, vzorek 2.5



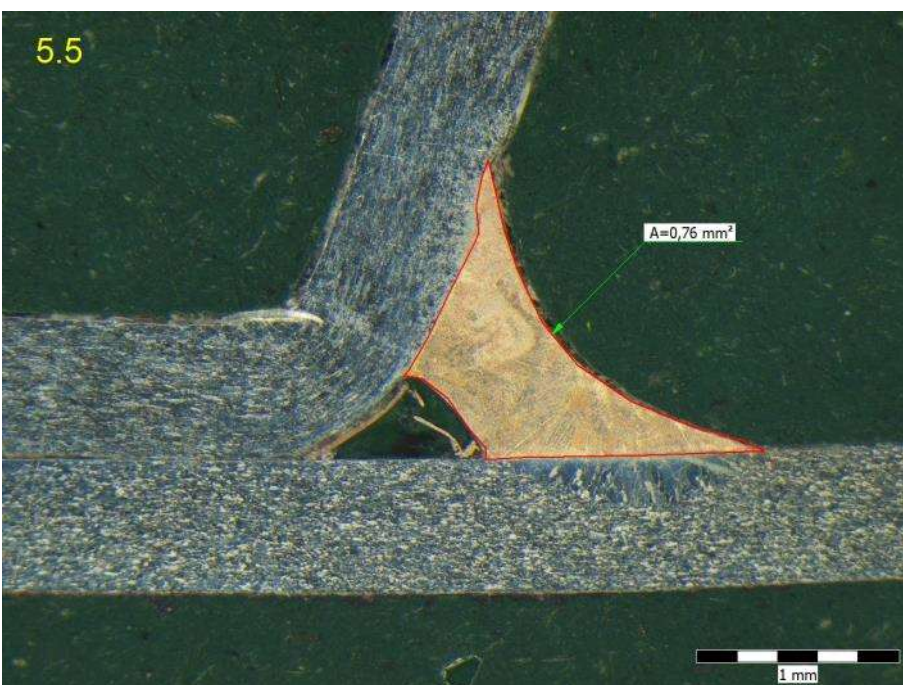
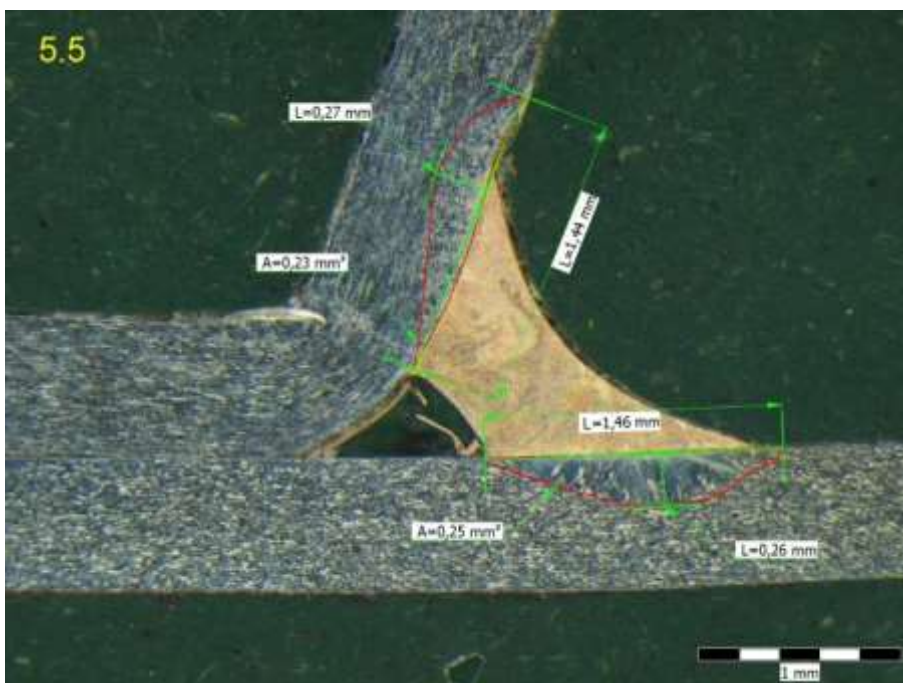
Příloha 41: 5. Víko, - 20% posuv drátu: metalografický výbrus, vzorek 3.5



Příloha 42: 5. Víko, - 20% posuv drátu: metalografický výbrus, vzorek 4.5



Příloha 43: 5. Víko, - 20% posuv drátu: metalografický výbrus, vzorek 5.5



Příloha 44: 5. Víko, - 20% posuv drátu: metalografický výbrus pohled na TOO

HORNÍ VÝLISKY

SPODNÍ VÝLISKY

1.5



2.5



3.5



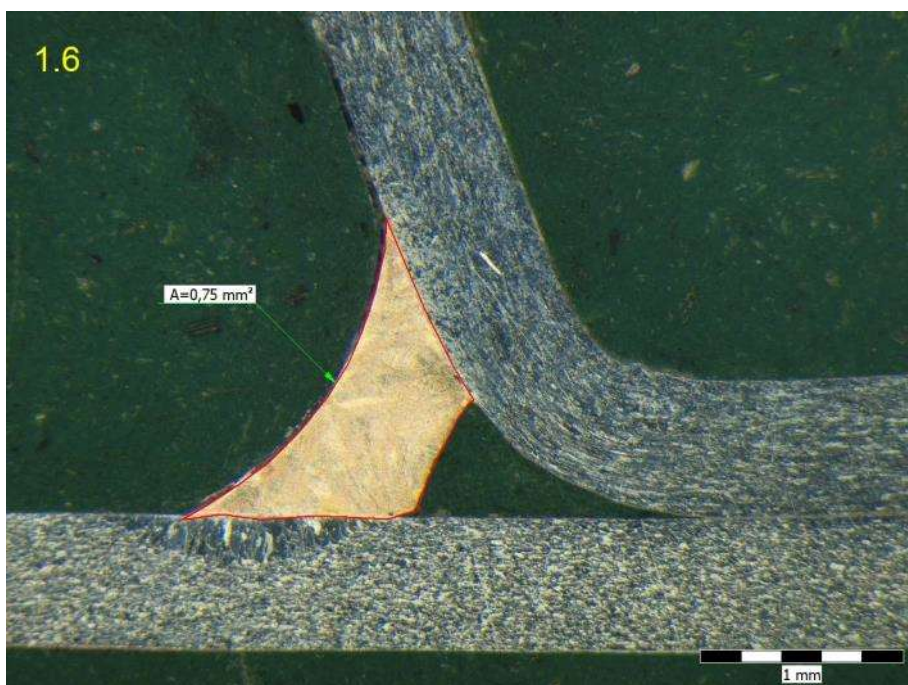
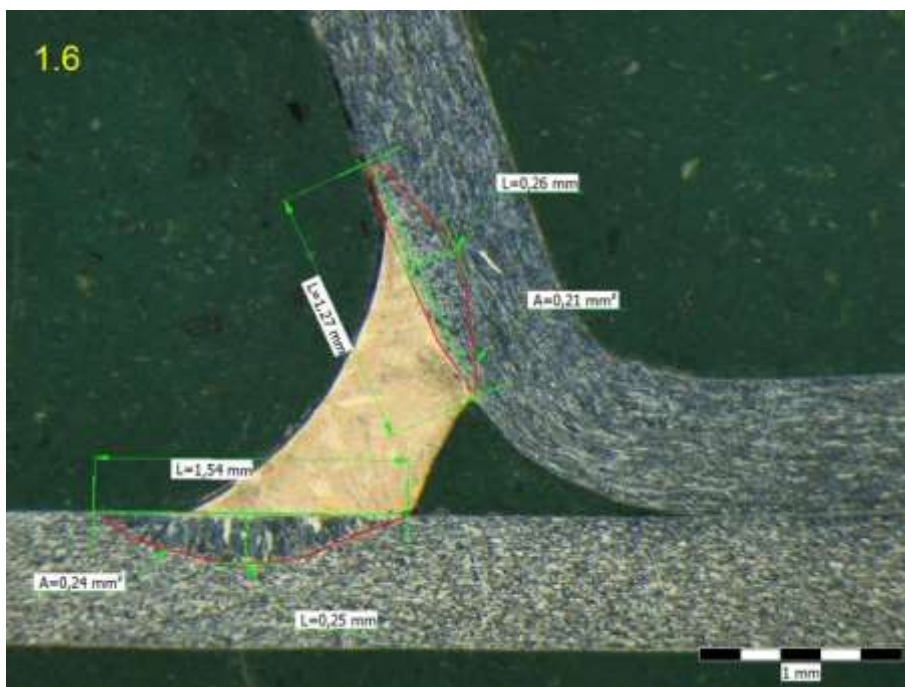
4.5



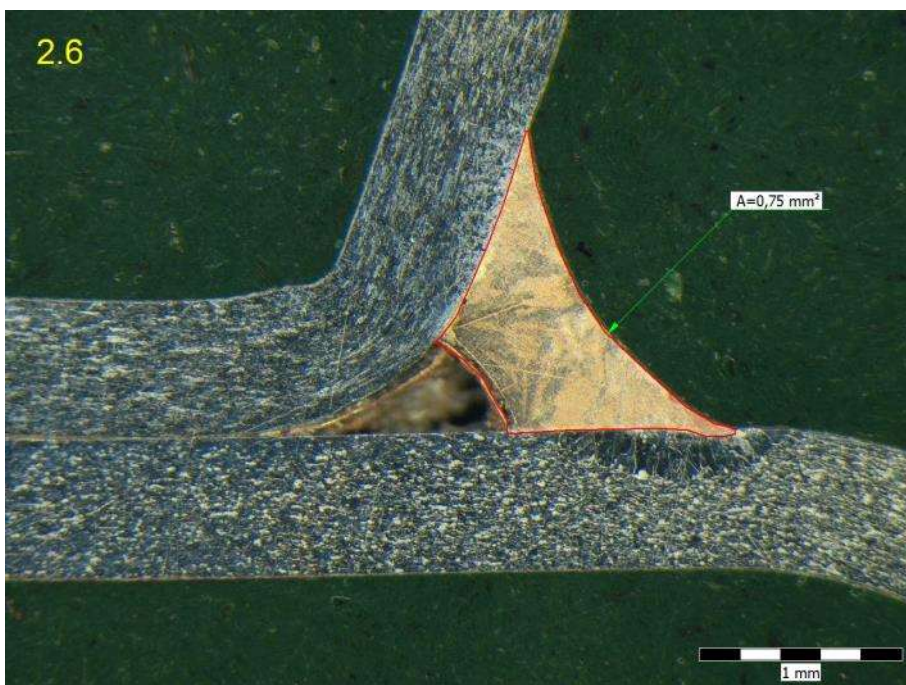
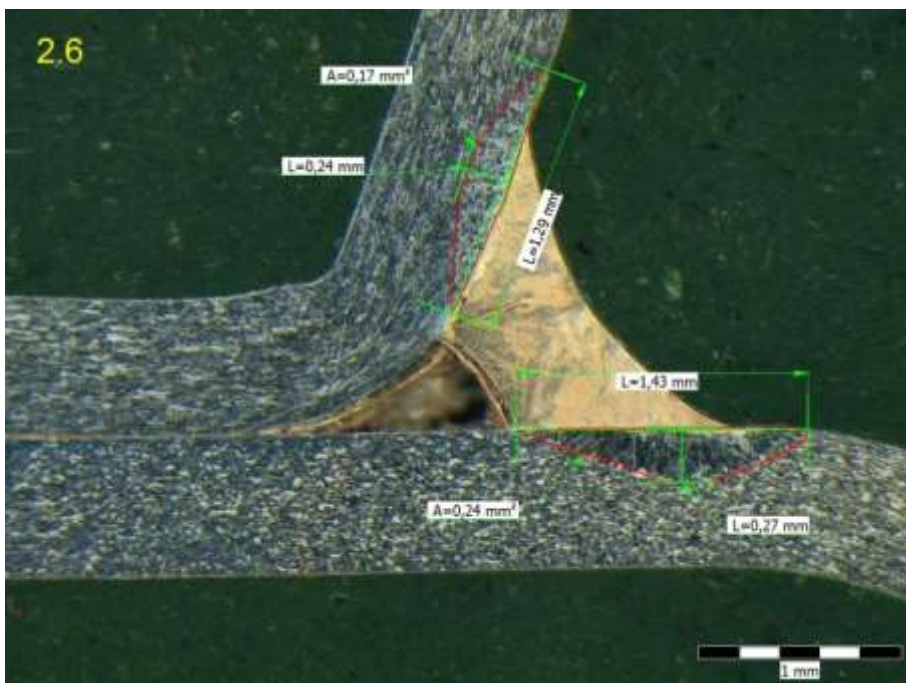
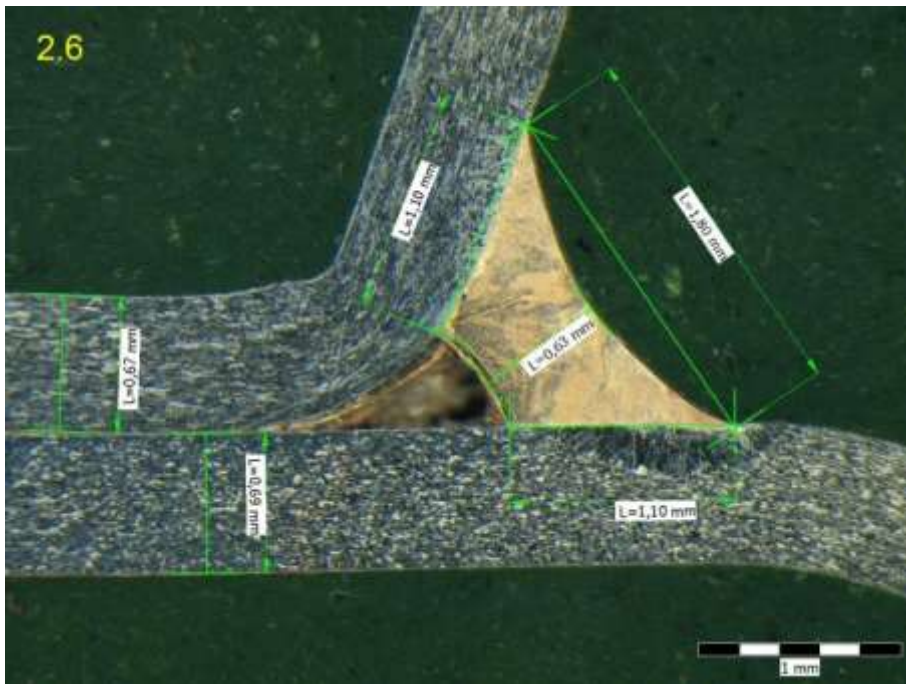
5.5



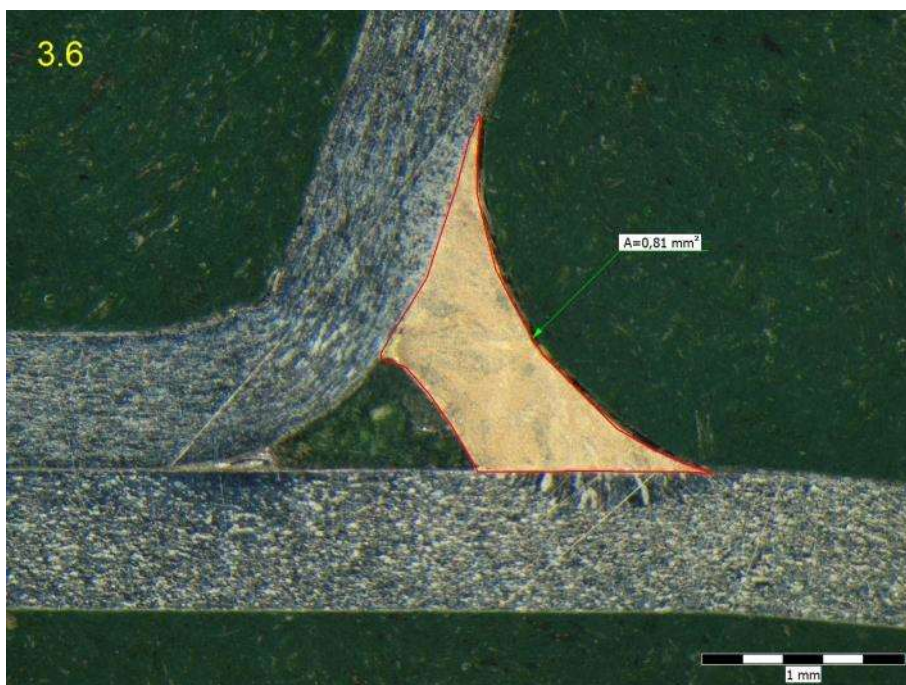
Příloha 45: 6. Víko, + 20% rychlost robota: metalografický výbrus, vzorek 1.6



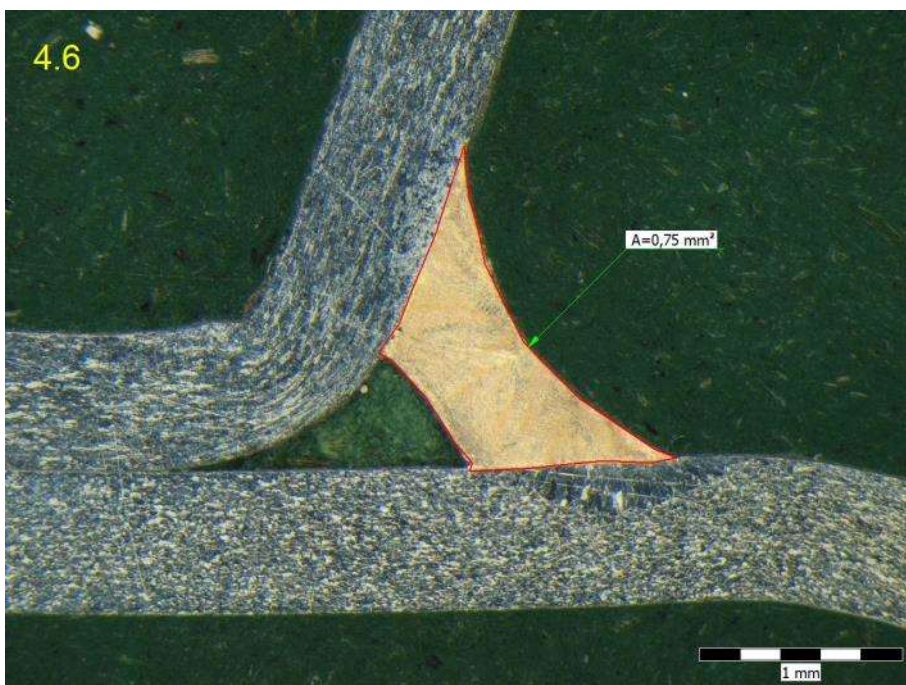
Příloha 46: 6. Víko, + 20% rychlost robota: metalografický výbrus, vzorek 2.6



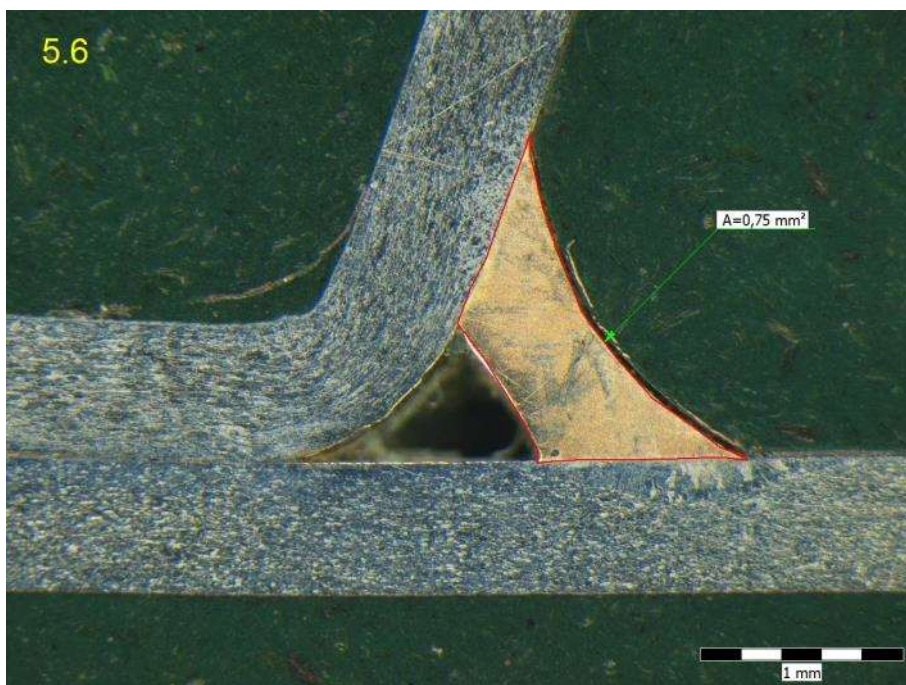
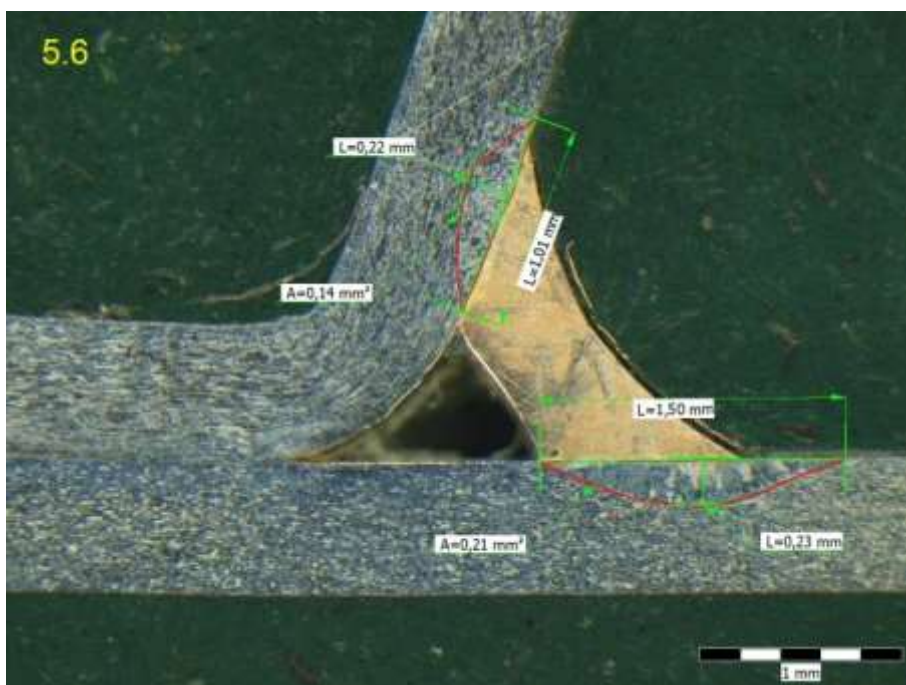
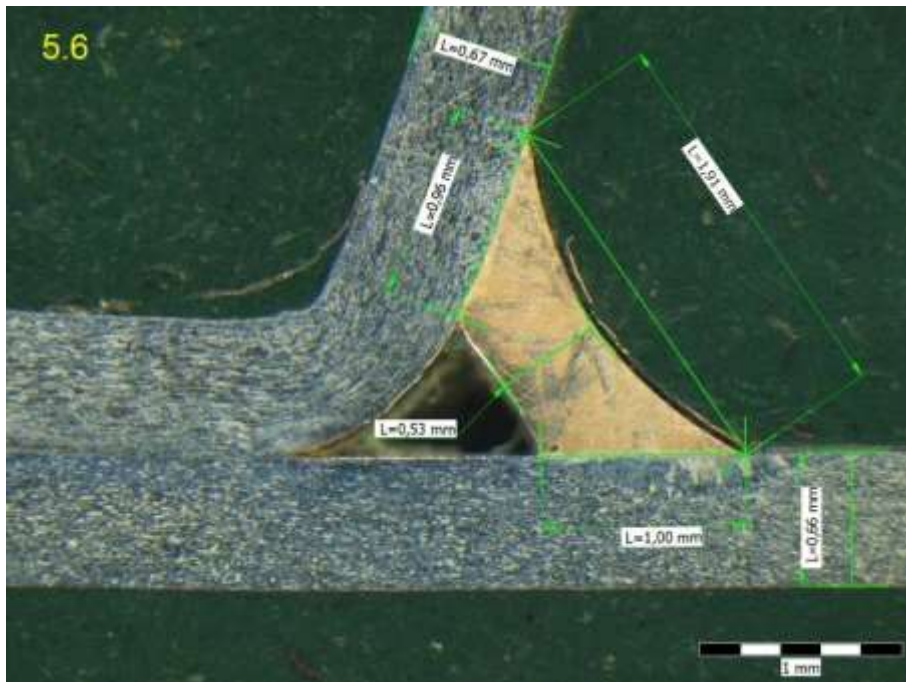
Příloha 47: 6. Víko, + 20% rychlost robota: metalografický výbrus, vzorek 3.6



Příloha 48: 6. Víko, + 20% rychlost robota: metalografický výbrus, vzorek 4.6



Příloha 49: 6. Víko, + 20% rychlost robota: metalografický výbrus, vzorek 5.6



Příloha 50: 6.Víko + 20% rychlost robota: metalografický výbrus pohled na TOO

HORNÍ VÝLISKY

SPODNÍ VÝLISKY

1.6



2.6



3.6



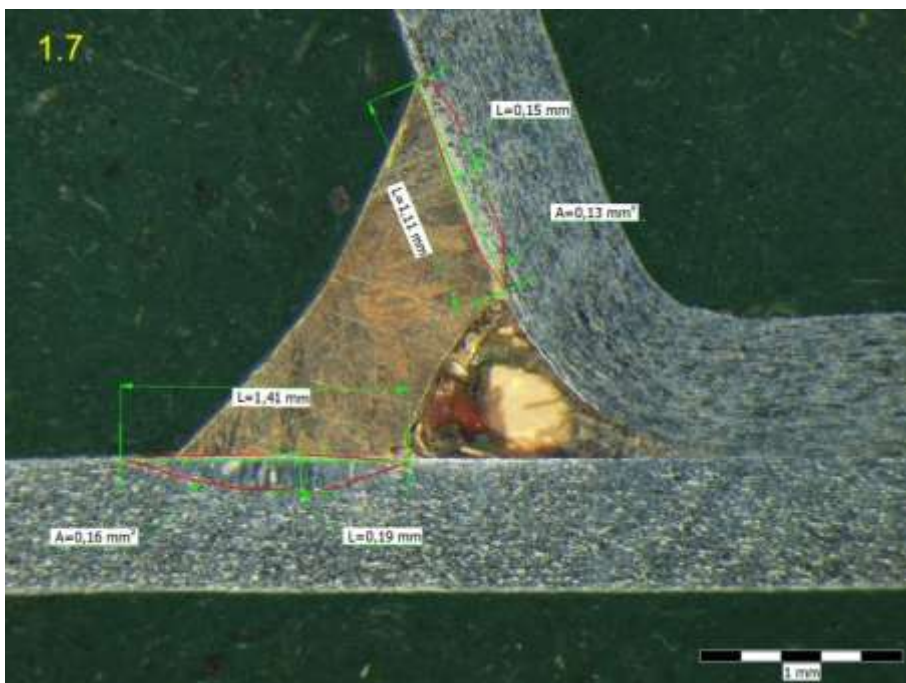
4.6



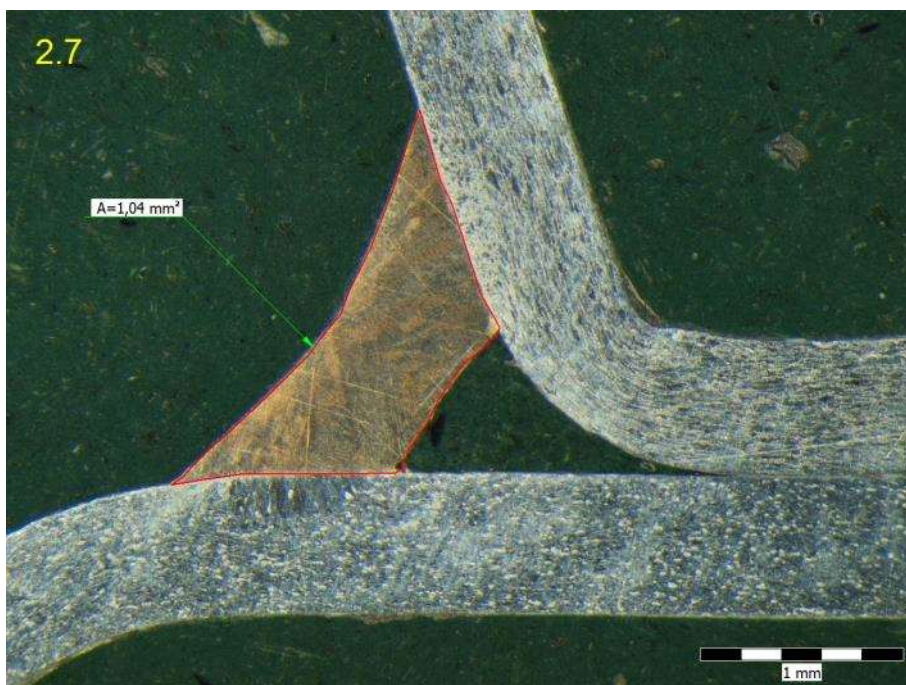
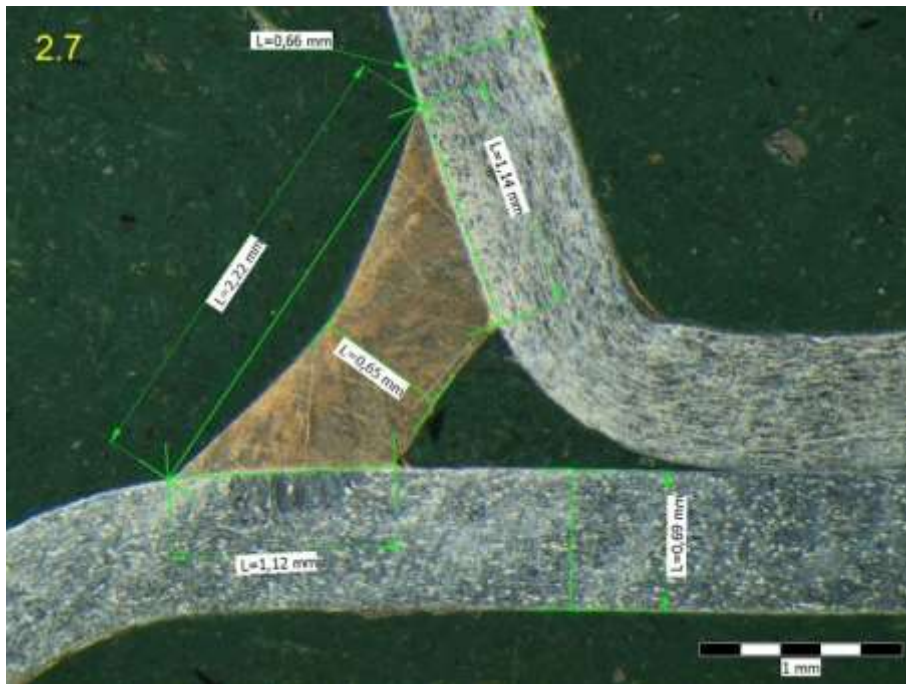
5.6



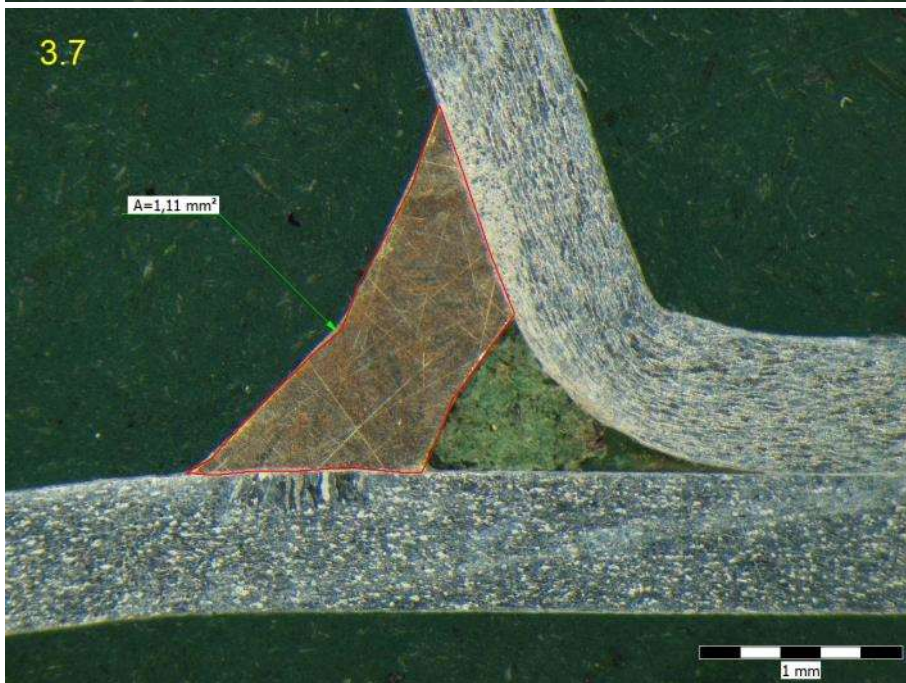
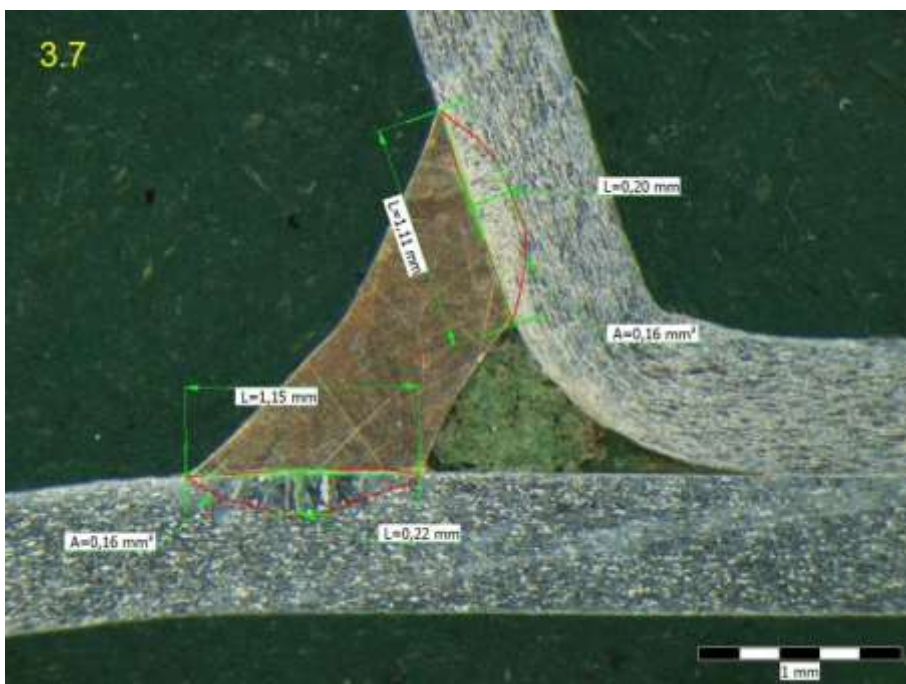
Příloha 51: 7. Víko, - 20% rychlost robota: metalografický výbrus, vzorek 1.7



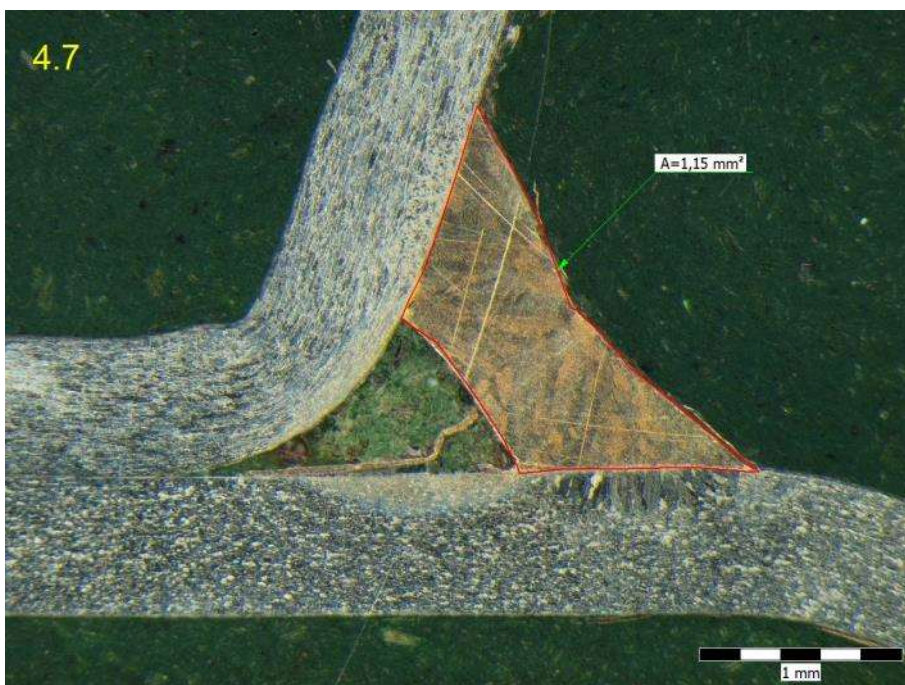
Příloha 52:7. Víko, - 20% rychlost robota: metalografický výbrus, vzorek 2.7



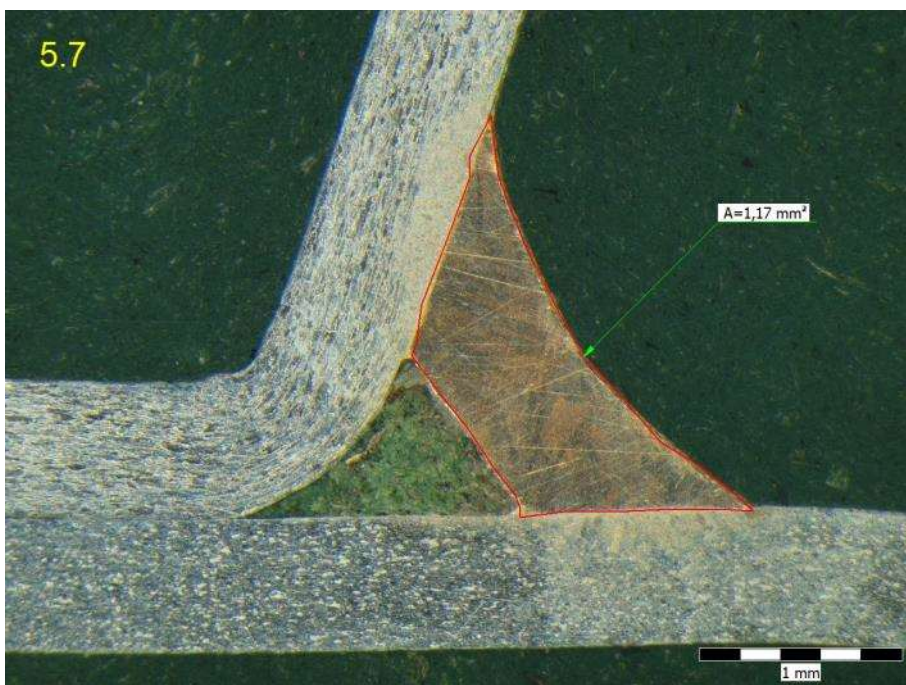
Příloha 53: 7. Víko, - 20% rychlost robota: metalografický výbrus, vzorek 3.7



Příloha 54: 7. Víko, - 20% rychlost robota: metalografický výbrus, vzorek 4.7



Příloha 55: 7. Víko, - 20% rychlost robota: metalografický výbrus, vzorek 5.7



Příloha 56: 7.Víko - 20% rychlost robota: metalografický výbrus pohled na TOO

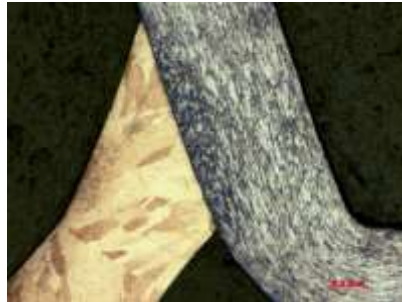
HORNÍ VÝLISKY

SPODNÍ VÝLISKY

1.7



2.7



3.7



4.7



5.7

