

Bakalářská práce

# Vliv nýtovacích parametrů na pevnost spoje

Jméno autora:

Jan Juřina

Rok odevzdání:

2021

# Zadání bakalářské práce

Student:

**Jan Juřina**

Studijní program:

B3923 Materiálové inženýrství

Studijní obor:

3911R034 Materiály a technologie pro automobilový průmysl

Téma:

Vliv nýtovacích parametrů na pevnost spoje  
Influence of riveting parameters on joint strength

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky nýtování polodutými nýty.
2. Faktory ovlivňující pevnost nýtových spojů.
3. Popis technologie a zařízení.
4. Nýtovací parametry.
5. Zhodnocení a závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] DANĚK, Otakar a Nikolaj Markovič GORBATOV. Nýtování v letectví a v podobné výrobě: Příručka pro praxi a pro odborné školení. Praha: Práce, 1951.
- [2] Ajax Rivets Handbook, Issue 99, Braeside Victoria: Ajax Cooke Pty. Ltd., 1999
- [3] ČERMÁKOVÁ, Adriana. Ověření technologií lepení pro hliníkové slitiny [online]. Ostrava, 2017 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/119487>. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [4] Polodutý nýt TOX® PRESSOTECHNIK. (2020). (©TOX® PRESSOTECHNIK GmbH & Co.KG) Získáno 30. 09 2020, z ©TOX® PRESSOTECHNIK: <https://cz.tox-pressotechnik.com/aplikace/spojovani-s-prvky/poloduty-nyt/>
- [5] Riveting Systems - Custom Riveting Equipment | TOX® PRESSOTECHNIK. (2020). (©TOX® PRESSOTECHNIK GmbH & Co.KG) Získáno 1. 10 2020, z ©TOX® PRESSOTECHNIK: <https://us.tox-pressotechnik.com/applications/riveting-joining/riveting-systems/>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Miroslav Suchánek**

Datum zadání: 30.11.2020

Datum odevzdání: 30.04.2021

---

doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.  
*vedoucí katedry*

---

prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.  
*děkanka fakulty*

## **Abstrakt**

Teoretická část bakalářské práce uvádí základní principy a způsoby nýtování. Navazují na to s tím související typy nýtů a materiály, ze kterých jsou vyráběny. Dále jsou uvedeny výhody a nevýhody nýtování a faktory, které ovlivňují pevnost nýtových spojů.

V experimentální části bakalářské práce je pozorován vliv nýtovacích parametrů na pevnost spoje. Experimentální část se též zabývá volbou experimentálního plánu a s ním související postup a vyhodnocení výsledků.

### **Klíčová slova:**

nýt, nýtový spoj, nýtovací parametr, nýtovací síla, nýtovací rychlost

## **Abstract**

The theoretical part of the bachelor's thesis lists the basic principles and methods of riveting. This is followed by the related types of rivets and the materials which they are made of. The advantages and disadvantages of riveting and the factors that influence the strength of rivet joints are also listed.

In the experimental part of the thesis, the effect of riveting parameters on joint strength is observed. The experimental part also deals with the choice of the experimental plan and the related procedure and evaluation of the results.

### **Key words:**

Rivet, riveted joint, riveting parameter, riveting force, riveting velocity

## **Poděkování**

Zde bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce, Ing. Miroslavu Suchánkovi, za vstřícný přístup, vedení a doporučení při vypracovávání práce. Další poděkování patří Ing. Radimu Trojanovi Ph.D. za pomoc při nastavení nýtovacího zařízení. V poslední řadě chci poděkovat mé rodině za pevné nervy a podporu po celou dobu mého studia.

# Obsah

|   |          |
|---|----------|
| <b>ÚVOD .....</b>                                     | <b>8</b> |
| 1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY NÝTOVÁNÍ POLODUTÝMI NÝTY ..... | 9        |
| 1.1 Princip spojení.....                              | 9        |
| 1.1.1 Přímé nýtování .....                            | 10       |
| 1.1.2 Nepřímé nýtování.....                           | 10       |
| 1.2 Metody nýtování .....                             | 11       |
| 1.2.1 Metoda Self-rivet piercing .....                | 11       |
| 1.2.1.1 C-rám.....                                    | 12       |
| 1.2.1.2 Matrice .....                                 | 13       |
| 1.2.2 TOX Clinching.....                              | 14       |
| 1.2.3 Metoda Rivtac .....                             | 15       |
| 1.3. Výhody a nevýhody nýtovaných spojů .....         | 16       |
| 1.3.1 Výhody nýtovaných spojů.....                    | 16       |
| 1.3.2 Nevýhody nýtovaných spojů.....                  | 17       |
| 1.4 Základní typy nýtu .....                          | 17       |
| 1.4.1 Plné nýty.....                                  | 17       |
| 1.4.2 Slepé nýty.....                                 | 18       |
| 1.4.3 Duté nýty .....                                 | 18       |
| 1.4.4 Poloduté nýty.....                              | 19       |
| 1.5 Používané materiály .....                         | 20       |
| 1.5.1 Ocel .....                                      | 20       |
| 1.5.2 Hliník.....                                     | 20       |
| 1.5.3 Duraly.....                                     | 21       |
| 1.5.4 Mosaz .....                                     | 21       |
| 1.5.5 Měď .....                                       | 21       |
| 1.5.6 Alpaka .....                                    | 21       |
| 1.5.7 Plast .....                                     | 21       |
| 1.5.8 Nerezová ocel.....                              | 21       |
| 2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ PEVNOST NÝTOVÝCH SPOJŮ .....    | 22       |
| 2.1 Tloušťka součástí .....                           | 22       |
| 2.2 Spojovaný materiál.....                           | 22       |
| 2.3 Směr propíchnutí (pořadí nýtování) .....          | 22       |
| 2.4 Výběr nýtu a materiálu .....                      | 23       |
| 2.5 Vliv geometrie konce nýtu .....                   | 24       |
| 2.6 Počet nýtových řad .....                          | 24       |
| 3 POPIS TECHNOLOGIE A ZAŘÍZENÍ .....                  | 26       |
| 3.1 Nýtovací zařízení.....                            | 26       |
| 3.1.1 Rozvaděč .....                                  | 27       |
| 3.1.2 C-rám.....                                      | 27       |
| 3.1.3 Sloup .....                                     | 27       |
| 3.1.4 Servoválec .....                                | 28       |
| 3.2 Upevnění vzorků .....                             | 28       |
| 3.3 Ruční podavač nýtů.....                           | 28       |
| 3.4 Nýty.....   | 29       |
| 3.5 Vzorky.....                                       | 29       |
| 3.6 Trhací stroj .....                                | 31       |

|   |           |
|---|-----------|
| 4 NÝTOVACÍ PARAMETRY .....  | 33        |
| 4.1 Nýtovací síla.....  | 33        |
| 4.2 Nýtovací rychlost .....   | 33        |
| 4.3 Maximální síla.....   | 34        |
| 4.4 Nastavení nýtovacích parametrů .....                                    | 34        |
| 5 EXPERIMENTÁLNÍ PLÁN .....   | 36        |
| 5.1 Report nýtování slitiny EN AW-5083 H111 .....                           | 36        |
| 5.2 Zkoušení doporučených nýtovacích parametrů.....                         | 36        |
| 5.3 Zvolení nýtovacích parametrů.....                                       | 39        |
| 5.3.1 Sada 1-4, stejná nýtovací síla 55 kN, různá nýtovací rychlost.....    | 39        |
| 5.3.2 Sada 5-8, stejná nýtovací rychlost 15 mm/s, různá nýtovací síla ..... | 39        |
| 6 VÝSLEDKY A HODNOCENÍ .....  | 40        |
| 6.1 Výsledky a porovnání jednotlivých sad .....                             | 40        |
| 6.1.1 Sada 1–55 kN, 1 mm/s .....  | 40        |
| 6.1.2 Sada 2–55 kN, 20 mm/s .....   | 42        |
| 6.1.3 Sada 3–55 kN, 40 mm/s .....   | 44        |
| 6.1.4 Sada 4–55 kN, 60 mm/s .....   | 46        |
| 6.1.5 Sada 5–15 mm/s, 15 kN .....   | 48        |
| 6.1.6 Sada 6–15 mm/s, 25 kN .....   | 51        |
| 6.1.7 Sada 7–15 mm/s, 35 kN .....   | 53        |
| 6.1.8 Sada 8–15 mm/s, 45 kN .....   | 55        |
| 6.2. Porovnání nýtovaných sad dohromady .....                               | 57        |
| 6.3 Typ porušení jednotlivých sad .....                                     | 58        |
| 6.4 Zhodnocení.....   | 58        |
| <b>ZÁVĚR .....</b>  | <b>61</b> |
| <b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>   | <b>62</b> |
| <b>SEZNAM TABULEK .....</b>   | <b>64</b> |
| <b>SEZNAM POUŽITÝCH LITERÁRNÍCH ZDROJŮ .....</b>                            | <b>65</b> |
| <b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>  | <b>68</b> |

# Úvod

Technologii nýtování znali již naši pradávni předkové. V Egyptě zhruba před pěti tisíci lety tehdejší lidé spojovali nýtováním rukojeti k hliněným nádobám. V době antického Říma byly nýty hojně využívány ve stavebnictví. Nebo například v sedmém století připevňovali Vikingové dřevěné desky k lodím pomocí nýtů.

V teoretické části práce je popsán základní princip a způsoby nýtování, tak jak ho známe dnes. Jsou zde také popsány modernější metody využívané v leteckém či automobilovém průmyslu a hlavní výhody a nevýhody technologie nýtování. Ty jsou důležité pro pochopení, v čem je tato technologie vhodná a proč si nevybrat technologii jinou, například lepení či svařování. V porovnání se svarovými spoji je nýtování šetrnější k životnímu prostředí. Na druhou stranu oproti technologii lepení má výsledný nýtový spoj větší hmotnost, což může být nežádoucí.

Experimentální část bakalářské práce, již podle názvu, pojednává o vlivu nýtovacích parametrů na pevnost nýtového spoje. Parametry, které jsou nastavovány na nýtovacím zařízení, jsou nýtovací síla a nýtovací rychlost. Je zde popsáno, jakou metodou byly spoje v experimentální části spojovány a také zařízení, které pro tento účel bylo použito.

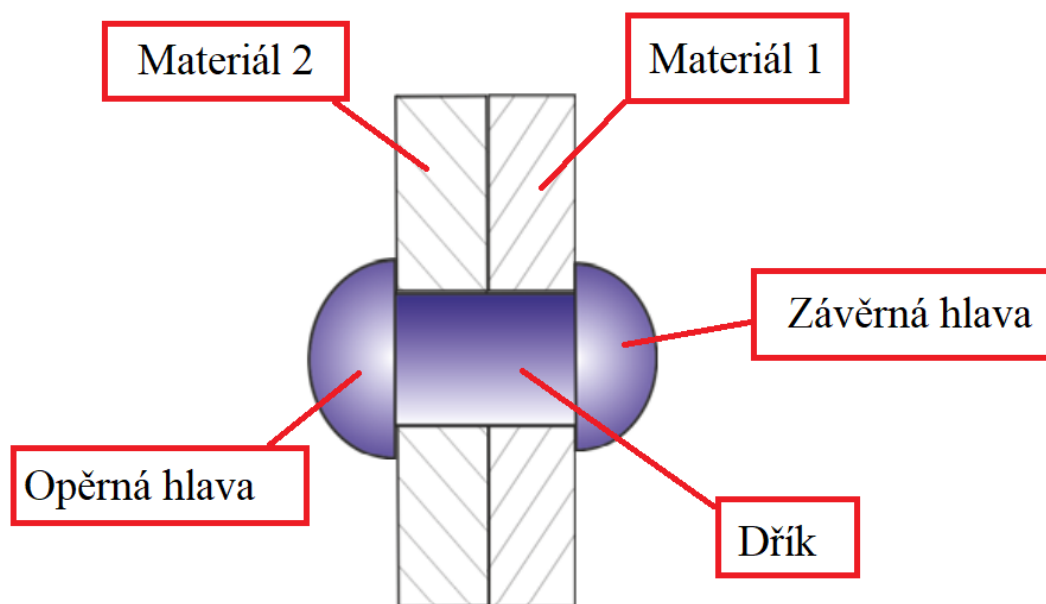


# 1 Úvod do problematiky nýtování polodutými nýty

Nýtování je jednou z nejstarších technologií, při které dochází ke spojení dvou materiálů. Touto technologií vzniká nerozebíratelné spojení. Pokud bychom chtěli materiály oddělit, museli bychom poškodit materiál nebo nýt, kterým je tento materiál spojen. [1]

## 1.1 Princip spojení

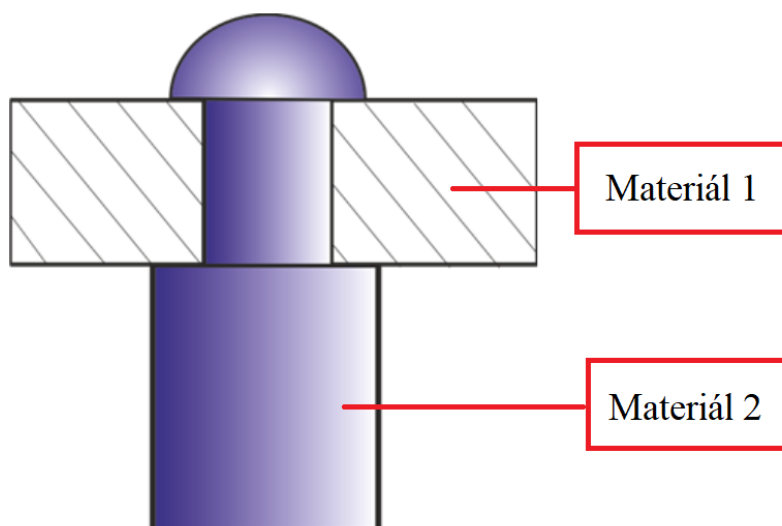
Princip nýtového spoje spočívá ve spojení dvou či více součástí nýtem. Dřík nýtu je prostrčen otvorem v materiálu (otvor je ve většině případů o 0,1 mm větší, než je průměr dříku nýtu) a je vypěchován tak, aby otvor vyplnil. Opakovanými údery při nýtování nárazy nebo tlakem při nýtování lisováním pak vytvoříme potřebnou energii k vytvoření závěrečné hlavy (Obr. 1). Pokud je spoj dobře proveden, je zvýšeno vzájemné tření spojovaných součástí a minimalizuje se namáhání spoje ve střihu. Pro dosažení nejlepšího možného stažení materiálů k sobě dosáhneme použitím nýtu tvořených za tepla. Nýt se při ochlazování smrští a nýtovaný materiál je stahován velkou silou k sobě. [1] [2]



Obr. 1 Schéma nýtovaného spoje. Dostupné z [1]

### 1.1.1 Přímé nýtování

Nýtování dělíme podle způsobu na dvě základní kategorie. Je to nýtování přímé a nepřímé. U přímého nýtování (Obr. 2) se nepoužívá nýtů. U tohoto způsobu se místo nýtu využívá část jednoho ze spojovaných dílů. Spojení se využívá jen u málo namáhaných součástí.

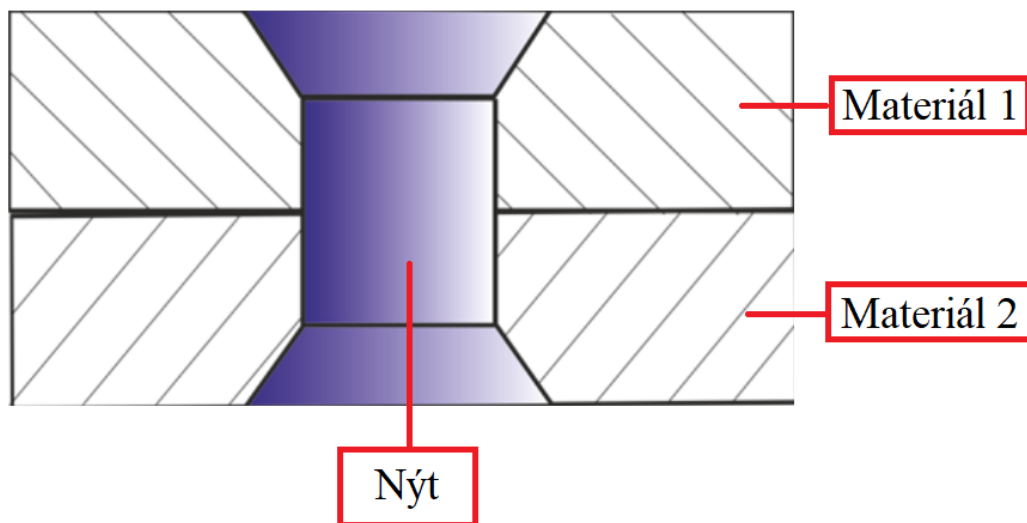


Obr. 2 Schéma přímého nýtování. Dostupné z [1]

### 1.1.2 Nepřímé nýtování

Při nepřímém nýtování (Obr. 3) se využívá nýtů. Nýt je vložen do předvrtaného otvoru v materiálu. Závěrná hlava nýtu je vytvořena úderem na opěrnou hlavu nýtu. Tohoto způsobu využíváme v případě možnosti kmitání spojovaných součástí čili tenkostěnných plechů. Kdyby byly plechy příliš tuhé, vznikla by slabá závěrná hlava z důvodu využití většiny energie na rozkmitání tuhých spojovaných součástí a na vypěchování dřívku do závěrné hlavy by zbyla již jen malá část energie. Používá se zde těžšího kladiva s větším zdvihem za účelem dosažení

co nejmenšího počtu úderů. Čím vyšší počet úderů, tím je větší šance, že se opěrná hlava příliš rozklepe nebo poškodí. Vznikl by pak vadný spoj.



Obr. 3 Schéma nepřímého nýtování. Dostupné z [1]

## 1.2 Metody nýtování

Níže je popsána metoda Self-rivet piercing, která byla použita na experimentální části bakalářské práce a metody TOX Clinching a Rivtac. U každé metody je zde obecný popis, jak proces nýtování danou metodou probíhá a určité výhody či nevýhody jednotlivých metod.

### 1.2.1 Metoda Self-rivet piercing

V současné době je self-rivet piercing nýtování hlavní technologií používanou v automobilovém průmyslu, a to ke spojování hliníkových slitin a vysoce pevných ocelí.

Proces self-piercing nýtování je velice rychlý, levný a jednoduchý. K provedení spoje touto technologií se používají poloduté nýty. Nejběžněji používaný systém pro self-piercing nýtování je složen z řídicí a pohonné jednotky, C-rámu, razníku, matrice a zásobníku nýtů. Celý proces se dělí do čtyř částí. Těmi jsou upnutí, prořezání, roztažení a uvolnění.

Na Obr. 4 lze vidět jednotlivé fáze procesu. V první fázi dochází k upnutí nýtu s materiálem k sobě. Ve druhé fázi tlačí razník nýt dolů a dochází pouze k průchodu nýtu materiálem, zatím bez roztažení dříku. V této fázi závisí průchod na materiálu. U hliníkových slitin je nýt schopen beze změny tvaru projít hlouběji, než u tvrdších materiálů jako je například vysokopevnostní ocel. Svou roli hraje také materiál nýtu, čím měkčí je materiál nýtu, tím větší tendenci rozpínat se dříve bude mít. V předposlední fázi dochází k roztažení dříku nýtu. Nýt je protlačován skrze

materiál a postupně se roztahuje dřík nýtu. Díky tomu vzniká mechanický zámek, který vytváří spoj. Finální fází je uvolnění. Rzník se vrátí do své původní polohy a materiál je připraven na vyjmutí. [3]



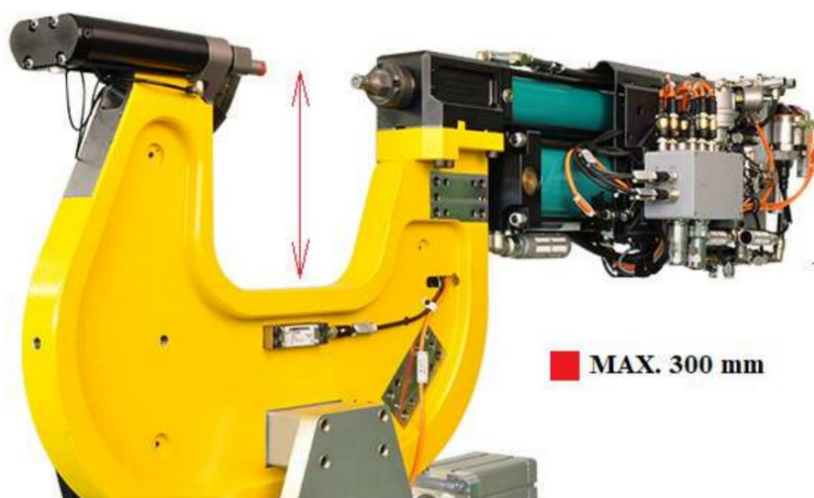
Obr. 4 Proces self-piercing nýtování. Dostupné z [4]

Metoda Self-piercing nýtování nevyžaduje předvrtaný otvor pro zasunutí nýtu. Hlavní nevýhodou této technologie je fakt, že je zapotřebí mít přístup ke spoji z obou stran.

#### 1.2.1.1 C-rám

Při procesu self-piercing nýtování se používá nastavovací síla, která je o mnoho větší než nastavovací síla používaná pro bodové svařování. Proto jsou vysoká pevnost a tuhost hlavními požadavky na C-rám. Dalšími parametry, které jsou důležité pro C-rám, je délka hrdla (na Obr. 5 červená oboustranná šipka) a jeho hmotnost. Hmotnost je důležitá pro schopnost

automatizace rámu. Ovlivňuje možnost jeho pohybu a cenu automatizace. Délka hrdla určuje schopnost přístupu z boku. [3]



Obr. 5 C-rám. Dostupné z [3]

### 1.2.1.2 Matrice

Matrice používané pro self-piercing nýtování jsou obvykle vyrobeny z nástrojové oceli. Mohou mít různé průměry, různé hloubky a geometrie dutin (Obr. 6). Dutina matrice může být zploštělá nebo může mít uprostřed špičku. Stěny dutiny mohou být naprosto svislé nebo lehce nakloněné. Dutina matrice musí mít větší průměr než dřík nýtu z důvodu bezproblémového roztažení dříku a kvalitního utažení spoje. S délkou matrice je to však naopak. Ta by měla být menší než délka nýtu, protože pokud by byla matrice příliš dlouhá, nedošlo by k dostatečnému přenosu tlaku na spodní díl spojovaného materiálu. [3]

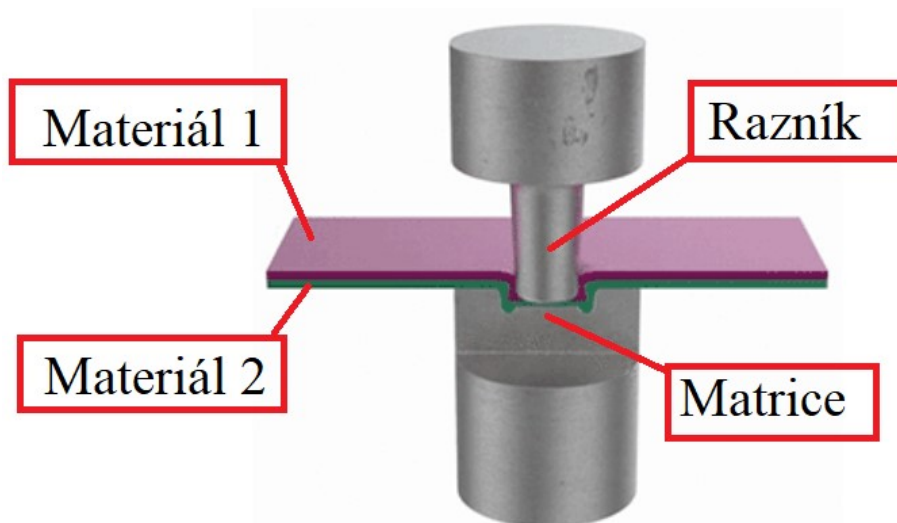


Obr. 6 Typické příklady používaných matic pro metodu Self-piercing. Dostupné z [11]

### 1.2.2 TOX Clinching

Metoda je vyvinuta společností Tox Pressotechnik. „TOX®-Clinching: jednoduchá spojovací technika bez dalších prvků a bez potřeby tepla. Při tomto procesu spojování vzniká knoflíkovité pozitivní spojení dvou nebo tří vrstev plechů tvářením za studena. [4]

Princip metody spočívá v působení razníku na spojovaný materiál. Razník pomocí tlaku protlačuje horní plech a ten zatéká do spodního. (Obr. 7) Oba plechy pak tvarují spoj zatékáním do vytvarované matrice. Znamená to tedy, že k této metodě není potřeba nýt jako takový, ale spoj vzniká pouze za použití spojovaného materiálu. [4]



Obr. 7 Schéma metody TOX Clinching. Dostupné z [4]

V porovnání s metodou bodového svařování je statická pevnost spojů TOX obdobná, zatímco dynamická pevnost u TOX spojů je vyšší. To je zapříčiněno tím, že při tvářením není změněna struktura spojovaného materiálu a nevznikají žádné mechanické trhliny, jako tomu někdy bývá u bodového svařování.

Antikorozi vlastnosti materiálu spojovaného touto metodou jsou výborné. Při spojování totiž nedochází k přestřížení či narušení povrchu plechu, a tudíž povrchová úprava plechu zůstává stejná jako před začátkem spojování. [4]

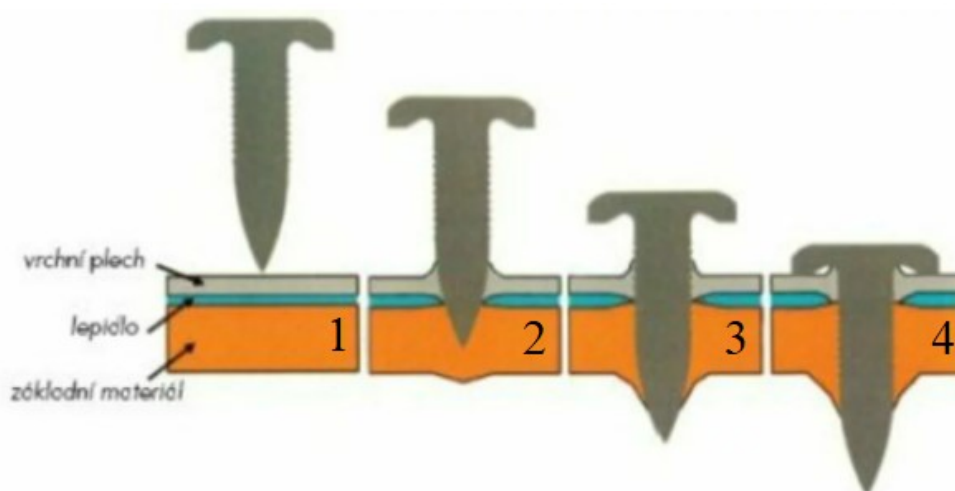
Z ekonomického hlediska je oproti bodovému svařování TOX clinching cenově efektivnější. Také nezatěžuje životní prostředí, je tiché a čisté a šetří energii. Není zde potřeba použití nýtů, materiál lze spojovat pouze ze zdrojového materiálu. U technologie je také možnost používat mezivrstvy jako je papír či lepidlo. [4]

Využití této metody nalezneme například v automobilovém průmyslu, kde se metoda také používá v kombinaci s lepením. TOX spoje jsou využívány pro přední a zadní víka, dveře, stahovací střechy, sedačky nebo stahování oken. Automobilový průmysl není jediný, ve kterém se tato metoda uplatňuje. Svě místo má také ve spojování takzvané bílé elektroniky. Spojování dveří praček a lednic a různých domácích spotřebičů. Metodu si výrobci v těchto odvětvích volí hlavně pro výhodu výborné odolnosti proti korozi a pro její vysokou dynamickou pevnost. [4]

### 1.2.3 Metoda Rivtac

Tato technologie byla vyvinuta společností Böllhoff. Jde o tváření probíhající za studena. Materiál je spojen svorníkem-nýtem, vysokorychlostním nastřelením. Svorník (či nýt) má tvar hřebíku. To, jaké množství energie je potřeba k prostřelení obou materiálů a vytvoření spoje je závislé na pevnosti materiálů a jejich celkové tloušťce. energii lze regulovat a nastavit pomocí tlaku v pneumatickém válci. Vzájemné ideální spojení dvou materiálů a přilnutí se dosahuje krátkodobým zvýšením teploty v místě spojení, díky čemuž se zvýší plasticita a dojde k zatlačení materiálu do rýhování na dřívku nýtu.

Proces technologie Rivtac se skládá ze čtyř částí. Které lze vidět na Obr. 8. V první části upřesníme, kde chceme svorníkem plech spojit. Ve druhé části je svorník částečně natlačen do materiálu. Poté, ve třetí pozici, dojde k úplnému protlačení svorníku spojovaným materiálem. V poslední, čtvrté, části je spoj utažen, takto vypadá kompletní zhotovený spoj. Na obrázku je zobrazena metoda Rivtac společně s lepením, které se používá pro zlepšení těsnosti spoje.



Obr. 8 Schéma procesu metody Rivtac. Dostupné z [5]

Při srovnání například s bodovým svařováním obsahuje metoda Rivtac určité výhody. První výhodou je fakt, že ke spojení materiálu potřebujeme přístup pouze z jedné jeho strany, což nám umožňuje spojovat také plechy složitějších tvarů. Tato technologie má výrazně nižší energetickou spotřebu, je tudíž také šetrnější k životnímu prostředí, také zde nedochází k úniku žádných toxických výparů. Výhoda, kterou sdílí tato technologie s technologií Self-piercing i TOX Clinching, je nepotřebnost vyvrtat otvor v materiálu pro nýt. Tato výhoda šetří čas a také zvyšuje produktivitu práce. Nevýhoda této technologie je její estetická stránka, na materiálu při dokončeném spoji vyčnívá ostrý konec nýtu. Nedá se tedy použít, pokud je zapotřebí, aby byly vzhledově pěkné obě strany spoje. [5]

### **1.3. Výhody a nevýhody nýtovaných spojů**

#### **1.3.1 Výhody nýtovaných spojů**

- Lze spojovat různorodé materiály
- Rychlost provozu je 1nýt/s
- Jednoduchost provedení
- Snadná automatizace a robotizace
- Při technologii nýtování nejsou produkovány žádné emise
- Nevznikají tepelné deformace materiálu
- Při procesu není potřeba aplikace ochranného plynu jako například u svařování
- Nízká energie procesu
- Životnost nástrojů je  $10^3$ - $10^4$  nýtů [6]



### 1.3.2 Nevýhody nýtovaných spojů

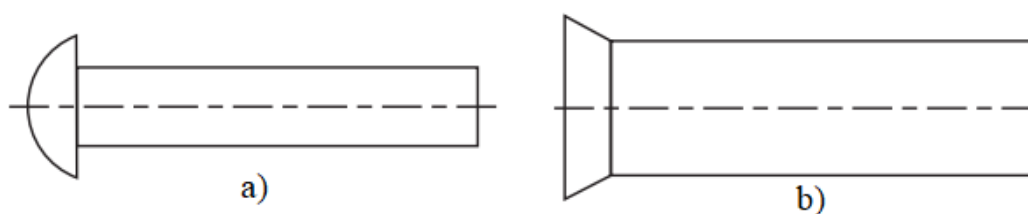
- Velikost nýtovacího nástroje může omezovat přístup k některým plochám spojovaných součástí
- U některých technologiích nýtování je potřebný přístup z obou stran budoucího spoje
- Ve srovnání s technologiemi lepení má výsledný nýtovaný spoj větší hmotnost [6]

## 1.4 Základní typy nýtu

Nelze uplatnit pouze jeden typ nýtu na všechny spoje ve všech odvětvích. Proto jsou vyráběny různé druhy nýtů, aby bylo dosaženo požadovaných vlastností nebo aby byla vůbec technologie nýtování dostupná. Spoj může být například dostupný pouze z jedné strany a některé druhy nýtů je možno použít pouze v případě, že máme k dispozici obě strany budoucího spoje. Níže jsou uvedeny základní typy používaných nýtů.

### 1.4.1 Plné nýty

Tento typ nýtů je v dnešní době stále méně a méně používaný. Spoje, kde se používá plných nýtů jsou nahrazovány technologií lepení a svařování. Jak již název napovídá, jsou to nýty s plným dříkem. Plné nýty mohou mít hlavu zápustnou nebo hlavu kulatou (Obr. 9). Nýty s kulatou či zápustnou hlavou jsou hojně používány pro spoje v leteckém průmyslu. Zápustná hlava nalézá využití ve spojích, které vyžadují vysokou aerodynamickou účinnost.



Obr. 9 a) kulatá hlava, b) zápustná hlava. Dostupné z [7]

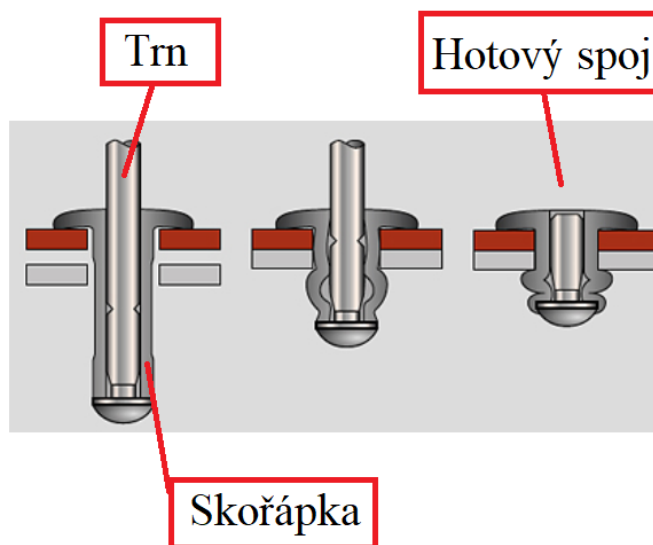
Typickým materiálem používaným pro výrobu plných nýtů jsou slitiny na bázi hliníku, titanu či niklu. Aby bylo možné rozeznat, z jakého materiálu je daný nýt vyroben, je na hlavě nýtu vyrytý kód, který nýt identifikuje.

Použití plných nýtů vyžaduje přístup z obou stran k nýtovaným součástem a proces nýtování je prováděn pomocí hydraulického, pneumatického či elektromagnetického nástroje. [7]

### 1.4.2 Slepé nýty

Pro slepé nýty se používá také název pop nýty a jsou používány převážně pro spoje, u kterých nemáme nebo je obtížný přístup k zadní „slepé“ straně. Nýty mají dvoudílnou konstrukci, první část je tělo nýtu, taky nazývána jako skořápka a druhou částí je trn. Konstrukce nýtu je předem složena a připravena k přímému použití. Aplikace slepých nýtu je provedena nýtovacím nástrojem, který táhne trn směrem k sobě, což způsobí deformaci těla nýtu a stažení spoje. Po deformaci a stažení spoje je trn ustřížen a spoj je kompletní.

Pro použití slepých nýtu musí být nejprve vyvrtán otvor do nýtovaného materiálu. Nýt je prostrčen otvorem a pomocí nástroje tažen směrem k hlavě. Díky tažení se skořápka deformuje do stran směrem k nýtovanému materiálu (Obr. 10). Aby bylo možné tělo nýtu deformovat, je trn na konci s tělem nějakým způsobem spojen nebo je zde dosaženo většího průměru trnu než těla nýtu. Jakmile je dosaženo stažení nýtu s materiálem, tlak, který působí již jen na trn, způsobí ulomení trnu a zůstane pouze tělo nýtu, které spojuje materiál. [8]



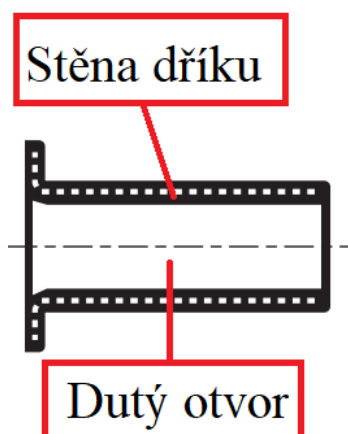
Obr. 10 Schéma nýtování slepým nýtem. Dostupné z [9]

### 1.4.3 Duté nýty

Také nazývané jako trubkové nýty (Obr. 11) se používají nejčastěji pro spojování tenkých plechů. Aplikují se v situacích, kdy jsou od sebe nýtované součásti vzdálené a použití plných nýtů by s sebou neslo značná rizika. Dřík nýtu by mohl při tváření závěrné hlavy, kde je potřeba použití velkého tlaku, vybočit nebo by mohla být poškozena konstrukce. Závěrná hlava dutého nýtu je vytvořena rozvalením konce nýtu, jenž klade daleko nižší odpor než u nýtu plného.

Vedle spojů tenkých plechů můžeme najít využití kupříkladu u nýtování dřevěných konstrukcí. Trubkových nýtů se zde využívá, jelikož při tvoření závěrné je dostatečná poměrně malá síla a není zde riziko poškození dřevěného otvoru. Dále jsou využívány pro nýtování řemenů, textilií a umělých hmot. Při nýtování tvrdších materiálů se pod hlavy aplikují podložky.

Mezi materiály používané k výrobě dutých nýtů patří ocel i lehké kovy. Lze je použít pro spoje dostupné pouze z jedné strany, ale jejich použití v tomto případě není příliš výhodné. Na tyto aplikace jsou vyvinuty speciální nýty, které mají naproti dutým nýtům kratší nýtovací čas a vyšší smykovou pevnost. [2]

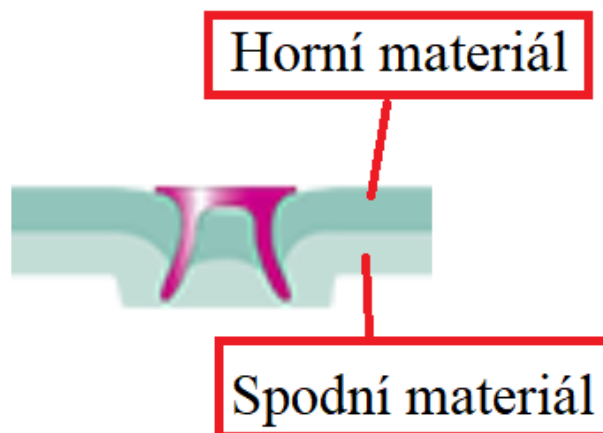


Obr. 11 Dutý nýt. Dostupné z [7]

#### 1.4.4 Poloduté nýty

Tento typ nýtů je jeho vzhledem obdobný jako plný nýt, jen s tím rozdílem, že je v dříku na protější straně hlavy vyroben částečný otvor. Otvor je zde za účelem snížení potřebné síly, která rozšiřuje válcovou část. Stěny válcového otvoru se při aplikaci nýtu rozšiřují ve spodním spojovaném materiálu do stran a vytvářejí zpevňující prvek a stažení materiálu (Obr. 12). K aplikaci není zapotřebí vyvrtat do materiálu průchozí otvor. Polodutý nýt si při aplikaci vytváří průchod sám. Proces spojování je díky tomu výhodný z hlediska jeho snadného a rychlého provedení. Mezi výhody patří vytvoření pevného spojení, které je tvořeno bez tepla a deformace a které lze opticky kontrolovat. Dále také možnost rychlých a automatických procedur. Proces nýtování polodutými nýty nezatěžuje životní prostředí, což je v dnešní době velice žádané. Oproti slepým nýtům je potřeba mít ke spojovaným materiálům přístup z obou stran. [9] Pro výrobu polodutých nýtů se používá ocel, hliník, nerezová ocel, mosaz nebo měď.

Jejich využití nalezneme v automobilovém nebo lékařském průmyslu, ve stavebnictví či při výrobě nábytku. [10]



Obr. 12 Schéma aplikace polodutého nýtu. Dostupné z [10]

## 1.5 Používané materiály

Použitý materiál nýtu by měl mít ideálně stejné mechanické vlastnosti jako materiál, který spojujeme. Používá se široká škála materiálů jako například Ocel hliník, Duraly, alpaka, plast, jejichž vlastnosti jsou uvedeny níže. Použití odlišného materiálu nýtu a spojovaného materiálu je možné, avšak jsou zde různá rizika. Přijdou-li dva různé kovy do styku v prostředí náchylném na korozi, dojde ke galvanickému působení, které zapříčiní korozi jednoho materiálu rychlejším tempem než korozi materiálu druhého. [11]

### 1.5.1 Ocel

Ocelové nýty se používají převážně pro nýtování ocelových konstrukcí. Používají se měkčí druhy ocelí ve složení 0,12 % uhlíku, 0,06 % fosforu a 0,06 % síry. Nýty mívají průměr do 10 milimetrů. V případě použití ocelových nýtů na součásti z lehkých slitin musí být nýty nejprve kadmiovány. Zabrání se tím korozi lehkých slitin. [11]

### 1.5.2 Hliník

Materiál se využívá pro výrobu nýtů pro jeho malou hmotnost a hustotu, velice dobrou tvárnost a odolnost proti korozi. Má však nízkou smykovou pevnost a jeho mechanické a chemické vlastnosti má velký vliv jeho čistota. Nýty z hliníku se používají v leteckém průmyslu, automobilovém průmyslu a pro nýtování potřebné v klimatizačních systémech. [11]

### **1.5.3 Duraly**

Duraly mají vysokou smykovou pevnost při jejich malé hustotě. Nýty vyrobené z duralu mají poměrně malou odolnost proti korozi, proto se v prostředí náchylném na korozi používají duralové nýty plátované hliníkem nebo slitinou Al-Mg-Si. [11]

### **1.5.4 Mosaz**

Slitina Mědi a Zinku. Je to tvárný materiál s nízkým třením, který nevytváří jiskry. Používá se pro spoje používané v plynových spotřebičích jako jsou například plynové trouby, grily. [11]

### **1.6.5 Měď**

Velmi dobře tepelně a elektricky vodivý materiál. Spoje, pro které se tento materiál používá, nalezneme v různých elektrických spotřebičích. [11]

### **1.5.6 Alpaka**

Slitina Mědi a Niklu s vysokou odolností proti napěťové korozi a vysokou odolností proti teplotě. Nýty z Alpacky se používají ve výrobě lodí nebo spotřebičů používaných v korozním prostředí. [11]

### **1.5.7 Plast**

Využívá se pro spojení nekovových materiálů jako je například guma, Urethany nebo jiné měkké materiály. Plastové nýty se uplatňují pro spoje ve výrobě nábytku. [11]

### **1.5.8 Nerezová ocel**

Pevný a tvrdý materiál odolný proti korozi a opotřebení. Nýty z nerezové oceli se využívají pro spoje v leteckém, automobilovém a železničním průmyslu. [2] [11]

## **2 Faktory ovlivňující pevnost nýtových spojů**

Zde budou popsány faktory, které ovlivňují pevnost nýtových spojů za použití polodutých nýtů. Abychom mohli využít potenciálně největší pevnost nýtového spoje, je důležité, abychom prvky ovlivňující jeho pevnost znali.

### **2.1 Tloušťka součástí**

Pevnost spoje může být ovlivněna jejich tloušťkou či pevností materiálu, ze kterého jsou vyrobeny. S přirůstající tloušťkou plechu se prodlužuje únavová životnost spoje a polohy poruch se přesunují z horního plechu do dolního. Luigi Calabrese et. al [12] studovali vliv tloušťky materiálu na pevnost spoje a zaměřili se konkrétně na horní materiál. Ve studii byla použita slitina hliníku (AA6082), čtyři různé tloušťky plechu (1, 1,5, 2 a 3 milimetry) a nýt o velikosti 6,5 milimetrů. U tenkého plechu došlo k vytažení hlavy nýtu a u tlustého plechu došlo k vytažení konce nýtu. Podle vědců vznikly chyby v důsledku stárnutí materiálu, které vedlo ke změkčení, a nakonec k ovlivnění pevnosti spoje. [3]

### **2.2 Spojovaný materiál**

Pevnost spoje může ovlivnit také materiál spojovaných součástí. Základní požadavek na materiál je dobrá tažnost, obzvláště u spodního materiálu, který je položen na matrici. Díky dobré tažnosti spodního materiálu nebudou ve spoji vznikat trhliny. Materiál musí mít menší tvrdost a pevnost než nýt, aby mohl nýt projít skrz materiál a vytvořit tak dostatečně silný mechanický zámek bez nadměrného stlačení nebo vybočení. [3]

### **2.3 Směr propíchnutí (pořadí nýtování)**

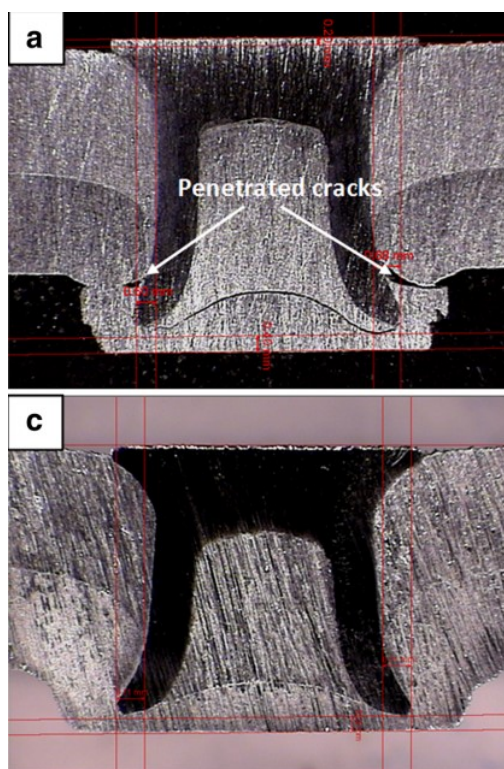
Důležité je také si určit z jaké strany budeme nýt aplikovat. Správné určení strany nýtování může v některých případech výrazně ovlivnit pevnost spoje a jeho funkčnost. Studie Y. Abeho [14] z Japonska tvrdí, že pokud budeme spojovat hliníkový plech s plechem ocelovým, je nutné určit, kterým plechem projde nýt první. V tomto případě je lepší. Když bude ocelový plech nahoře, protože se konec nýtu na konci aplikace, tedy v plechu hliníkovém lépe roztáhne do stran a zajistí lepší spojení. Podobně to platí také u jiných materiálu. Studie X. Hea [13] zkoumala spojení plechu z titanu s hliníkovými a měděnými plechy o tloušťce jeden a půl milimetru. Rozšíření nýtu bylo větší a spojení pevnější, když jím nýt procházel jako prvním. [14]

## 2.4 Výběr nýtu a materiálu

Spoje, které nemají stejné nýty mohou mít častokrát rozdílnou pevnost spoje, díky rozdílnému průměru, tvrdosti či délce nýtu. Nýty s větším průměrem vykazují větší pevnost v tahu a ve smyku. Je to způsobeno tím, že nýty o průměru pěti milimetrů mají oproti nýtům o průměru tří milimetrů větší pevnost, vzdálenost mezi nimi je větší a mají větší velikost hlavy. Vliv délky nýtu na pevnost spočívá v tom, že delší nýt má hlavu výš a liší se minimálním množstvím materiálu, ze kterého je tvořena závěrná hlava. Spoje s delšími nýty jsou často pevnější a absorbují lépe nárazy díky větší vzájemné vzdálenosti.

Za účelem snižování hmotnosti vozidel byly vyvinuty nové nízko-hmotnostní nebo vysokopevnostní materiály. Studie však ukázaly, že některé z nich jsou více náchylné na prasknutí při nýtovém spojení. Kvůli velkému ohybu a deformaci v tahu vznikají v některých maticích s hlubokou dutinou nebo ostrými rohy praskliny. Jako například u vysokopevnostní hliníkové slitiny, která účinkuje jako spodní materiál nýtované součásti. (Obr. 13)

Nýty a matrice jsou základní parametry k tomu, abychom vytvořili pevný a dobrý spoj. Jejich výběr musíme již dopředu v průběhu plánování procesu pečlivě promyslet a skloubit dohromady jejich pro a proti. [3]

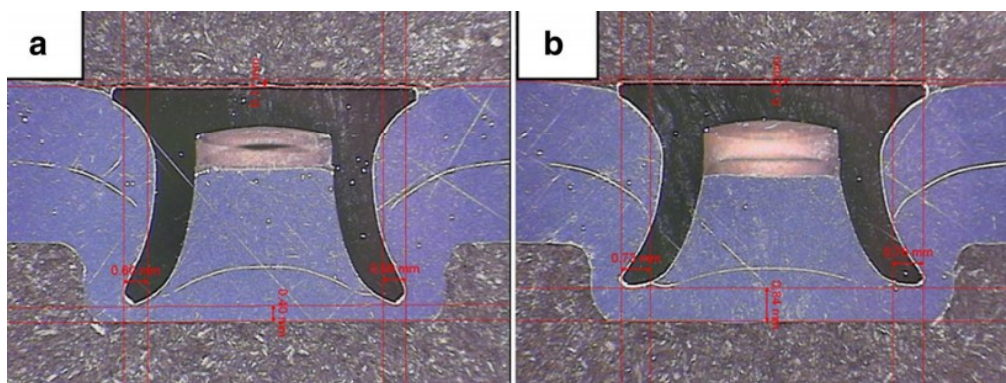


Obr. 13 a) matrice s ostrými rohy c) matrice s mírnými rohy. Dostupné z [3]

## 2.5 Vliv geometrie konce nýtu

Geometrie konce nýtu je také složkou, která ve výsledku ovlivňuje nýtový spoj. Pokud na spoj zvolíme stejný nýt pouze s jinou geometrií konce nýtu, vznikne spoj s vcelku odlišnými funkcemi. Těmito funkcemi je myšlena výška hlavy nýtu, vzdálenost mechanického zámku a taky různé pevnosti spoje. Pokud zvolíme nýt se stejnou kombinací parametrů, jako je průměr, velikost a délka nýtu, ale změním geometrii jeho hrotu, může se spoj změnit z vyhovujícího na nevyhovující a naopak.

Dezhi Li a další zkoumali vliv geometrie konce nýtu na vlastnosti spoje. Obr. 14 znázorňuje porovnání dvou typů geometrie konce nýtů na spoji se stejným horním i spodním materiálem. Při použití ostřejších konců nýtu se při procesu nýtování v materiálu nýt více ohýbá, a to má za následek větší vzdálenost mechanického zámku a větší tloušťku zbývajícího materiálu. Spoje s ostrými konci nýtů vykazují díky větší vzdálenosti mechanického zámku větší smykovou pevnost než spoje, kde jsou použity konce nýtů tupé. [3]



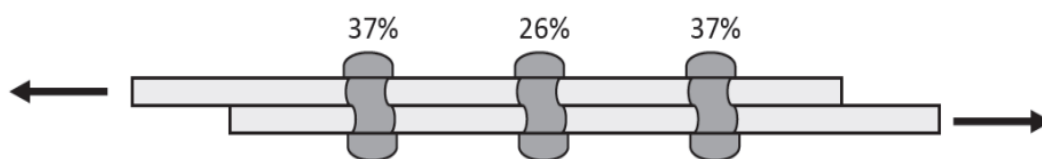
Obr. 14 a) tupé zakončení konce nýtu b) ostré zakončení konce nýtu. Dostupné z [3]

## 2.6 Počet nýtových řad

Pokud je potřeba pevnějšího spoje z důvodu většího zatížení na součásti, je třeba zvětšit tloušťku materiálu a velikost nýtů. V některých případech nám to však nedovoluje například místo, ve kterém používáme spojené součásti a tlustší plechy si nemůžeme dovolit použít. V tomto případě je možné pro zlepšení pevnosti využít vyšší počet nýtových řad. Pokud má každá řada stejný počet nýtů a stejnou rozteč, jsou nejvíce zatěžovány nýty na vnější straně (Obr. 15). Pokud je aplikována pouze jedna řada, dochází k největšímu sekundárnímu ohybu nýtového spoje. Sekundární ohyb je při použití více řad, než jedné s dodržením stejné rozteče



mezi nýty snižován. V případě, že by rozteč mezi jednotlivými nýty nebyla důkladně dodržena je zde riziko vzniku trhlin mezi otvory pro nýty. [15]



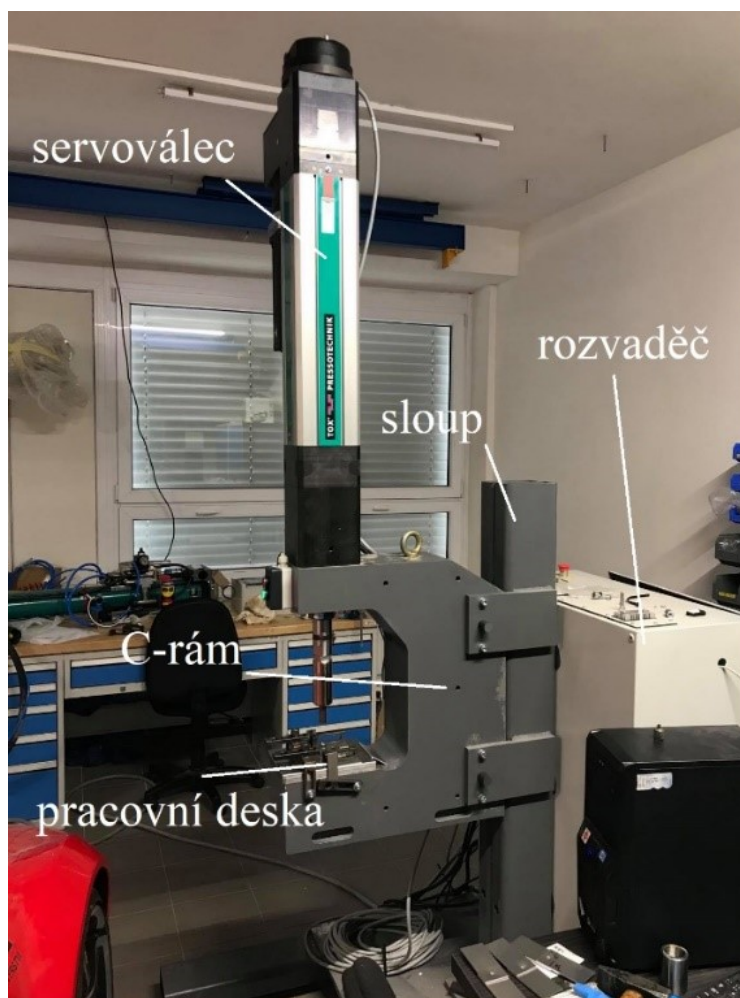
*Obr. 15 Schéma zatěžování nýtu na vnější straně. Dostupné z [15]*

### 3 Popis technologie a zařízení

Kapitola popisuje technologie a zařízení použité pro experimentální část bakalářské práce. Je zde popsáno nýtovací zařízení, kterým byly prováděny spoje. Jakého typu nýtů a vzorků bylo použito a popis trhačího stroje, který byl použit pro finální zkoumání vzorků, co se týče jejich závislosti síly na prodloužení.

#### 3.1 Nýtovací zařízení

Pro nýtování vzorků byl použit nýtovací stroj, který byl navrhnout a sestaven na Vysoké škole Báňské. Zařízení využívá C-rám a samotný proces nýtování uskutečňuje elektrický servoválec od firmy TOX® PRESSOTECHNIK. Zařízení využívá technologii Self-rivet piercing. Celé zařízení je popsáno na Obr. 16. Skládá se z elektrického servoválece, C-rámu, sloupu, rozvaděče a nosného rámu, na kterém je upevněn sloup.



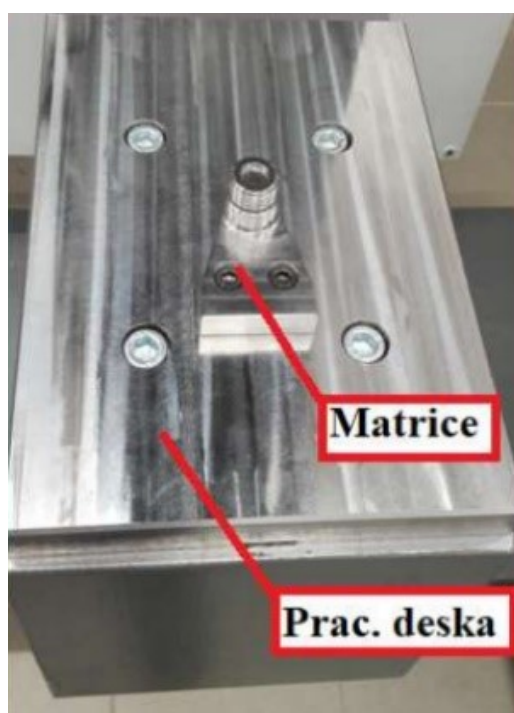
Obr. 16 Nýtovací zařízení pro metodu self-rivet piercing

### 3.1.1 Rozvaděč

Rozvaděč propojuje servoválec s počítačem, ve kterém je systém s možností nastavení potřebných parametrů. Skříňka rozvaděče je prachotěsná (s krytím IP 5X), zabraňuje tak prachu ve vniknutí dovnitř skříňky a způsobení možných komplikací. Rozvaděč obsahuje například ovládací relé, které slouží k zapnutí zařízení a k nouzovému vypnutí, servo controller, který po připojení k počítači ovládá servomotor a další elektrické komponenty sloužící ke správnému chodu zařízení a zabezpečení při manipulaci. Z rozvaděče rovněž vede vodič k ovládání mechanické brzdy servoválce.

### 3.1.2 C-rám

C-rám byl navrhnout v CAD systému a vyroben včetně pracovní desky pomocí pětiosého frézovacího centra Litz LU-800. Na C-rámu je připevněna pracovní deska, na které je uchycena matrice (Obr. 17), díky které dostává nýtový spoj finální tvar.



Obr. 17 Pracovní deska a matrice nýtovacího zařízení. Dostupné z [16]

### 3.1.3 Sloup

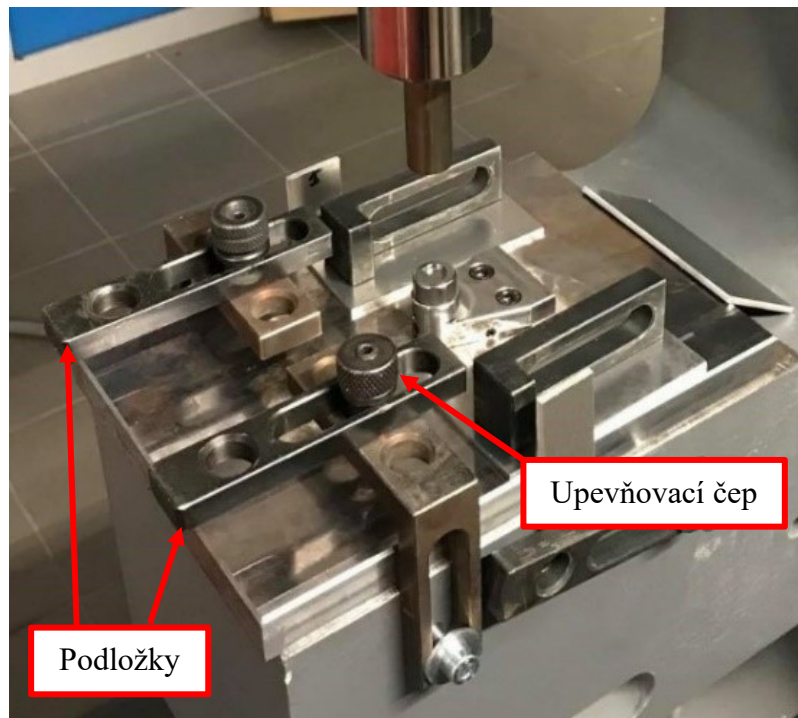
Servoválec a Rozvaděč odděluje sloup, který má nosnou a spojovací funkci. Sloup má velice robustní konstrukci vzhledem k váze C-rámu (cca 430 kg) a na něj připevněnému servoválci (196 kg). Na sloupu jsou umístěny úchyty za účelem uchycení C-rámu.

### 3.1.4 Servoválec

Elektrický servoválec s označením EX-K 200.004.300.000.A.007, jež zajišťuje samotný proces nýtování má maximální zdvih 300 mm, tlačnou sílu 200 kN, tažnou sílu 60 kN a maximální rychlost pístu 120 mm/s. Servoválec nenajde uplatnění pouze v nýtování. Lze s ním také provádět operace jako je lemování, děrování, proražení, značkování, ražení, lisování nebo klinčování. [16]

### 3.2 Upevnění vzorků

Pro výzkum bylo potřeba udělat několik sad vzorků, nebylo tedy vhodné, aby se každý vzorek při nýtování přidržel na matrici. Pro upevnění, které zajistilo nýtování vzorků vždy na stejném místě, byly použity podložky a čepy, které byly uchyceny ze strany C-rámu a na pracovní desce (Obr. 18), kde jsou pro tyto případy vyvrtané závity a otvory.



Obr. 18 Upevnění pro vzorky

### 3.3 Ruční podavač nýtů

Stroj není vybaven automatickým doplňováním nýtů. Jelikož se jedná o akademickou laboratoř, není potřeba jej na stroji mít z důvodu různorodého testovacího nýtování. Nýty byly tedy podávány do nástroje ručně za pomoci ručního podavače nýtů (Obr. 19). Nýt se vloží

do horního otvoru hlavou nýtu nahoru a poté se vsune do nástroje. Bez nýtu v nástroji není možnost nýtovat.



*Obr. 19 Ruční podavač nýtů*

### 3.4 Nýty

Pro nýtování vzorků byly použity poloduté nýty pro self-piercing nýtování o průměru 5,3 mm a délce 8 mm, které lze vidět na Obr. 20, Typ nýtu je SPR 5,30x8,00H4AM H K50844AY00-G02DP.



*Obr. 20 Poloduté nýty*

### 3.5 Vzorky

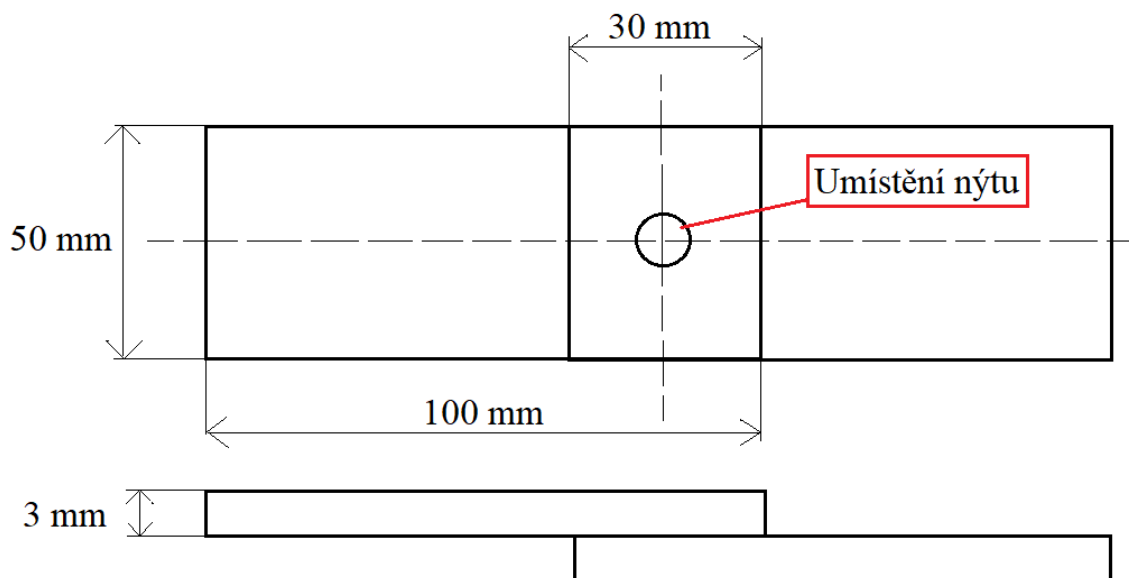
Nýtovány byly plechy ze slitiny EN AW 5754 H111. jedná se o slitiny hliníku s výbornou odolností vůči korozi způsobenou mořskou solí či atmosférou průmyslového prostředí. Slitina nalézá uplatnění nejen při nýtování, ale také při stavbě lodí, v automobilových konstrukcích,

při výrobě rybářského náčiní nebo se z ní vyrábí svařované jaderné a chemické struktury. Mechanické vlastnosti slitiny EN AW 5754 H111 jsou uvedeny v Tab. 1.

| Mez pevnosti Rm | Mez kluzu Rp0,2 | Tažnost   | Tvrдость |
|-----------------|-----------------|-----------|----------|
| 160 – 200 MPa   | Min. 60 MPa     | Min. 12 % | 44 HB    |

Tab. 1 Mechanické vlastnosti slitiny EN AW 5754 H111. Dostupné z [17]

Stejně jako umístění vzorků na matrici je důležité přeplátování jednotlivých vzorků přes sebe. Po dohodě s vedoucím bakalářské práce byly vzorky označeny 30 mm od kraje (Obr. 21). Poté přeplátovány a umístěny do upevnění na pracovní desce.



Obr. 21 Přeplátování vzorků

### 3.6 Trhací stroj

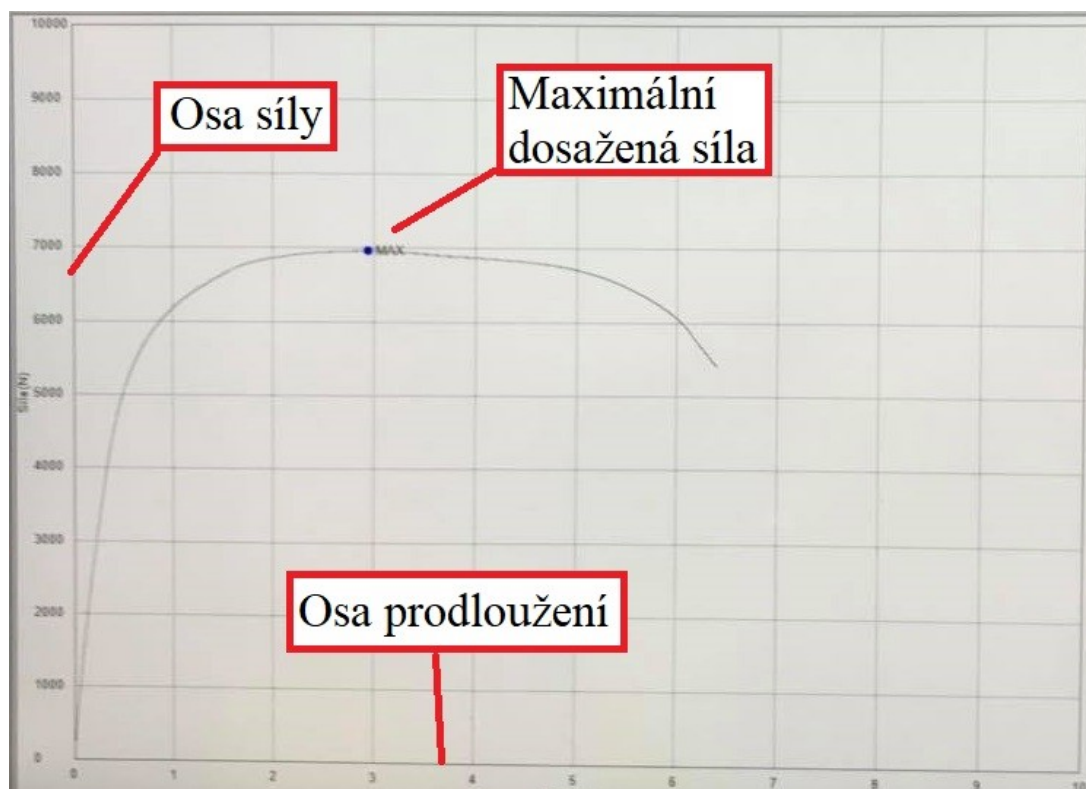
Pro zkoušení vytvořených nýtovaných spojů byl použit univerzální trhací stroj Shimadzu AG-X 50kN. Výstupem z trhacího stroje je závislost síly na prodloužení spoje. Vzorky se upnuly do manuálních čelistí s vložkami s pyramidovým povrchem (Obr. 22).



*Obr. 22 Upevnění vzorku do čelistí na trhacím stroji*

Vlivem upnutí vzorků do čelistí došlo k jejich prvotnímu stlačení. Softwarově bylo toto vyřešeno pre-testem, což znamená, že před samotným spuštěním testu došlo k posunutí příčnicku pomalou rychlostí 1 mm/min, čímž se vzorek začal natahovat do hodnoty 200 N. Po dosažení této síly začal samotný test rychlostí posuvu příčnicku 10 mm/min. Na počítači byl

grafem (Obr. 23) zaznamenáván a vykreslen průběh zkoušky na trhacím stroji, který udává závislost síly na zdvihu, respektive prodloužení vzorku.



Obr. 23 Proces na trhacím stroji



## 4 Nýtovací parametry

Má bakalářská práce se zabývá vlivem nýtovacích parametrů nastavitelných na použitém zařízení viz kapitola „Popis technologie a zařízení“. Těmito parametry byla nýtovací síla a nýtovací rychlost. Nýtovací síla je na zařízení nastavena v kN a nýtovací rychlost v mm/s.

### 4.1 Nýtovací síla

Parametr nýtovací síly představuje sílu, která slouží k protlačení nýtu do materiálu. Při nýtování self-piercing metodou, tedy metodou používanou v experimentální části bakalářské práce je aplikována poměrně velká síla, v rozmezí od 15 do 55 kN, k vytvoření spoje. Velikost zvolené nýtovací síly ovlivňuje výsledné geometrické a silové kritéria. Těmito kritérii je myšlena smyková pevnost, oblast rozšíření konce dřívku a minimální tloušťka zbývajícího materiálu. Proto je důležité nýtovací sílu zvolit pečlivě, pokud zvolíme sílu příliš velkou nebo naopak příliš malou, nedošlo by k požadovaným vlastnostem spoje. Pokud zvolíme příliš nízkou nýtovací sílu, spoj nebude mít požadovanou pevnost. Dalším rizikem je, že by nemuselo dojít k dosednutí hlavy nýtu na materiál a vznikla by zde mezera, která by vedla k netěsnosti spoje. Spoj by tedy nebyl vodotěsný a byl daleko více náchylný na korozi. Vytažená hlava nýtu v takovém případě také narušuje kosmetické vlastnosti spoje. Když bude, v opačném případě, síla příliš velká, může nastat situace, kdy bude nýt zatlačen příliš hluboko a zdeformuje horní stranu spoje. [3]

### 4.2 Nýtovací rychlost

Nýtovací rychlost je druhým pozorovaným nýtovacím parametrem, nastavovaným na nýtovacím zařízení, s vlivem na pevnost nýtových spojů. Maximální nýtovací rychlost, kterou lze nastavit na nýtovacím zařízení pro zkoušení našich vzorků je 120 mm/s. [16] Nýtovací rychlost není vhodné zvolit příliš velkou nebo příliš malou. Pokud zvolíme velkou nýtovací rychlost, nýt, kterým spojujeme materiál, bude zasazen hluboko do spoje a vznikne tak důlek v horním materiálu. Mechanický zámek však bude širší. Pokud na druhou stranu zvolíme nýtovací rychlost příliš malou, nýt nebude zasazen do materiálu dostatečně a hlava nýtu bude vyčnívat z horního plechu. Při zkoušce na trhacím stroji se u spoje, u kterého byla použita příliš vysoká nýtovací rychlost, stane, že nýt není dostatečně upevněn do horního plechu, vypadne ze spodní strany horního plechu a spoj se rozdělí. [3]

### **4.3 Maximální síla**

Na nýtovacím zařízení, používaném pro nýtování pozorovaných vzorků, je nastavena maximální síla. Pokud je tato maximální síla v průběhu nýtovacího procesu překročena z důsledku velké nýtovací rychlosti, dojde k zastavení procesu nýtování. Zařízení se pozastaví a nástroj je potřeba navrátit do původní polohy nýtování.

### **4.4 Nastavení nýtovacích parametrů**

Nýtovací parametry pozorované v bakalářské práci bylo potřeba nastavit v softwaru počítače (Obr. 24). Byla měněna pouze nýtovací síla a rychlost. Maximální síla byla vždy nastavena na 70 kN. Jakmile byly nastaveny požadované nýtovací parametry, zařízení bylo připraveno k nýtování.

| Č. | Popis                    |
|----|--------------------------|
| 1  | Kontrola převodníku      |
| 2  | Záznam křivky            |
| 3  | ↓ zdvih                  |
| 4  | zaistiť medzihodnotu 1   |
| 5  | ↓ zdvih                  |
| 6  | ↓ nalisovanie            |
| 7  | zaistiť koncové hodnoty  |
| 8  | Relativní zdvih          |
| 9  | ↑ Zpětná vazba           |
| 10 | stopnutie záznamu krivky |

| Property                        | Value                               |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| Cílová hodnoty                  | Síla                                |
| skontrolovať maximálne hranice  | <input checked="" type="checkbox"/> |
| maximálna hodnota sily [kN]     | 70,00                               |
| síla [kN]                       | 55,00                               |
| Min hodnota sily [kN]           | 0,00                                |
| monitorovanie polohy            | <input type="checkbox"/>            |
| maximálna hodnota polohy [mm]   | 169,00                              |
| poloha [mm]                     | 45,00                               |
| Min hodnota polohy [mm]         | 155,00                              |
| rýchlosť [mm/s]                 | 120,00                              |
| Přechodová rychlost             | <input type="checkbox"/>            |
| Přenosová rychlost [mm/s]       | 0,00                                |
| prerušovací kontakt             | <input type="checkbox"/>            |
| Otočení směru pohybu            | <input type="checkbox"/>            |
| Časové hlídání                  | <input type="checkbox"/>            |
| Monitorování času [ms]          | 0                                   |
| Uživatelské proměnné            | 0_0_0_0                             |
| Min/Max Force active            | <input type="checkbox"/>            |
| zádržný čas [ms]                | 0                                   |
| regulácia rýchlosti             | <input type="checkbox"/>            |
| Startovací bod v % síly         | 0,00                                |
| Force holding speed [mm/s]      | 0,00                                |
| Max. force holding accuracy [%] | 0,00                                |
| Min. force holding accuracy [%] | 0,00                                |
| Force check position            | target position                     |
| Analýza okna                    | 0                                   |

Obr. 24 Software pro nastavení nýtovacích parametrů

## 5 Experimentální plán

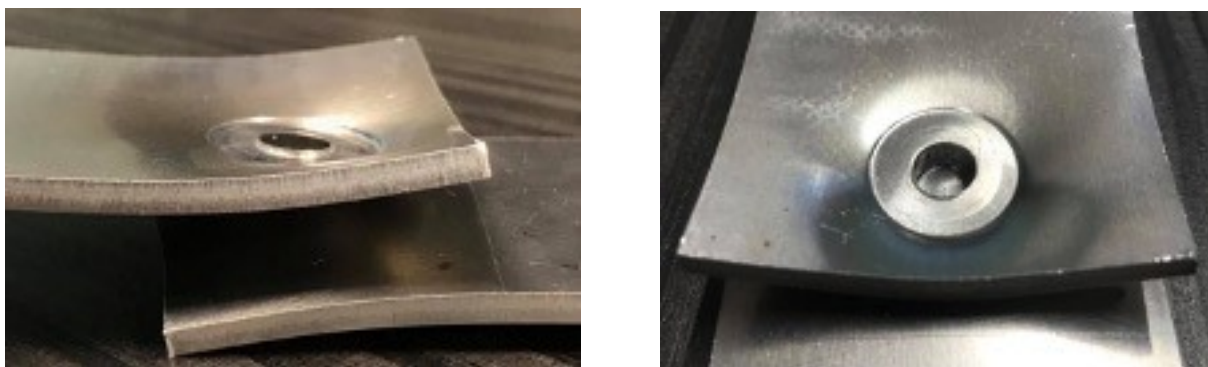
Zde bude popsáno, jakým způsobem byl experimentální plán zvolen a z jakého důvodu byly zvoleny nýtovací parametry.

### 5.1 Report nýtování slitiny EN AW-5083 H111

Před samotnou experimentální částí byl poskytnut report (viz Příloha č. 1) nýtování plechu ze slitiny hliníku EN AW-5083 H111. Dokument uvádí doporučené nastavení nýtovacích parametrů pro plechy tloušťky 3 mm, stejnou tloušťku plechů jsem používal ve své práci. Toto doporučené nastavení bylo zvolit nýtovací sílu 55 kN a nýtovací rychlost 120 mm/s.

### 5.2 Zkoušení doporučených nýtovacích parametrů

Po ověření doporučeného nastavení z dokumentu byly vytvořeny zkušební vzorky. Pro první zkušební vzorek byly nastaveny doporučené nýtovací parametry z dokumentu. Při nýtovací síle 55 kN a 120 mm/s se však plechy velmi zdeformovaly a nýt byl zapuštěn příliš hluboko do horního materiálu (Obr. 25). Bylo tedy potřeba nýtovací rychlost snížit.



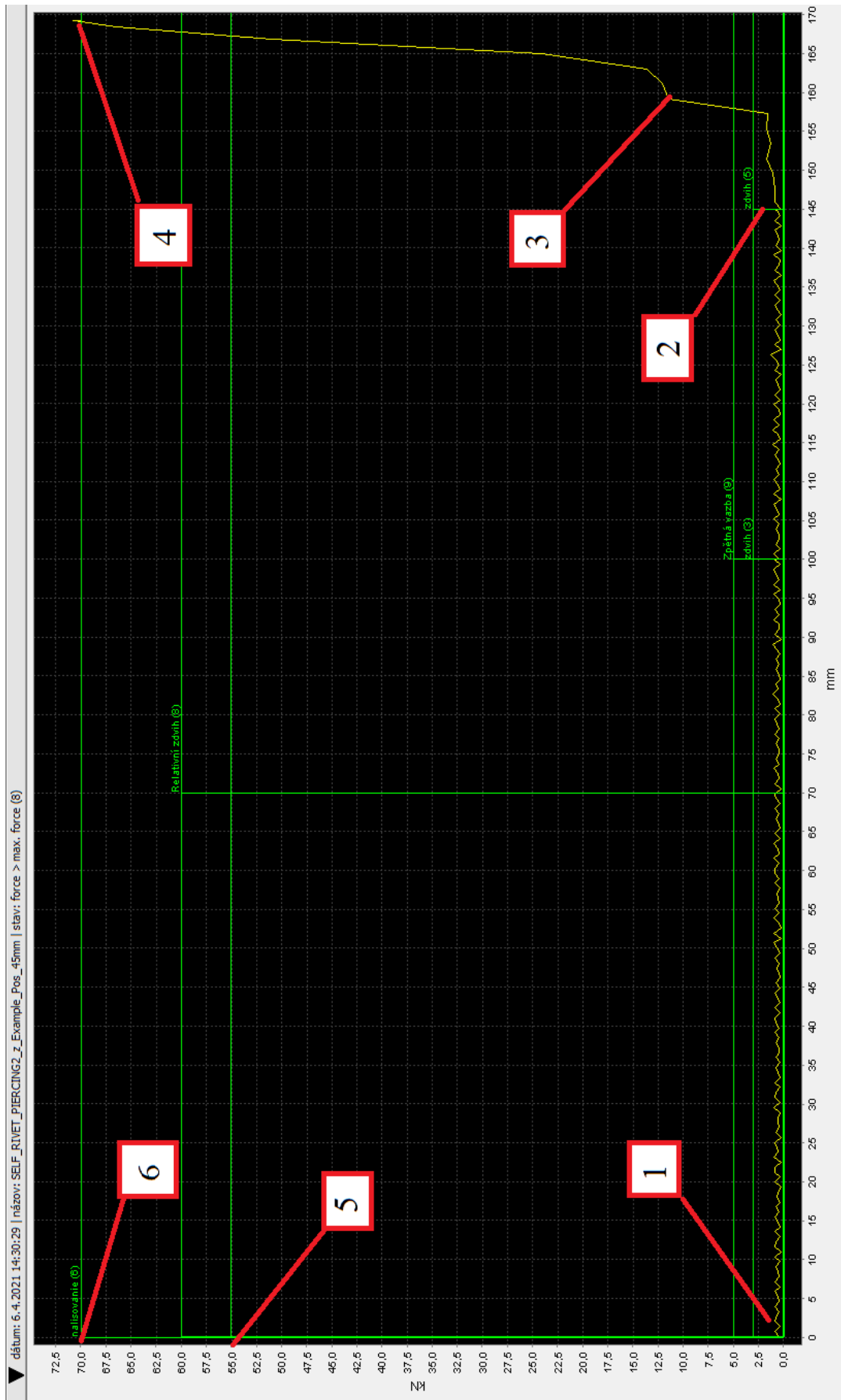
*Obr. 25 Zdeformovaný spoj při použití 55kN a 120 mm/s*

Nýtovací síla druhého zkušební vzorku byla nastavena na 55 kN, nýtovací rychlost na 15 mm/s, abychom měli představu, jak se spoj bude chovat při malé rychlosti. Při nýtovací rychlosti 15 mm/s se při procesu pronýtování maximální síla nedostala přes 70 kN. Při použití vyšší nýtovací rychlosti, konkrétně 60 mm/s, u třetího zkušební vzorku k překročení maximální síly 70 kN došlo. Proces se zastavil a bylo potřeba program restartovat a nástroj vrátit do původní polohy.

Proces nýtování, tedy závislost nýtovací síly na posuvu nástroje, zkušební vzorku s parametry 55 kN a 60 mm/s lze vidět s číselným popisem na Obr. 26. Čísla 1–4 popisují jednotlivé kroky v procesu.

1. Nástroj se spouští dolů k plechům
2. Nástroj dosedá na spojované součásti
3. V tomto bodě začíná proces nýtování plechů
4. Zde je překročena maximální síla a nástroj je zastaven
5. Nýtovací síla
6. Maximální síla

Na hotový spoj nemělo zastavení nástroje vliv. Pouze bylo před dalším procesem nýtování nutno navrátit nástroj do původní polohy. Podobný průběh nýtování bude zmiňován i níže, obrázky procesu nýtování z jednotlivých sad lze nalézt v přílohách.



Obr. 26 Proces nýtování vzorku s parametry 55 kN, 60 mm/s

### 5.3 Zvolení nýtovacích parametrů

Pro zjištění, při jakých nýtovacích parametrech bude spoj nejpevnější, bylo zkoumáno 8 sad vzorků po 3 kusech. Nejvyšší nýtovací síla byla 55 kN a nejvyšší nýtovací rychlost 60 mm/s. Jednotlivé sady jsou popsány níže.

#### 5.3.1 Sada 1-4, stejná nýtovací síla 55 kN, různá nýtovací rychlost

První 4 sady měly nastavenou stejná nýtovací sílu 55 kN podle doporučení. Lišila se pouze nýtovací rychlost. Ta byla vždy měněna po třech nýtovacích procesech. Byla zvolena nýtovací rychlost 1, 20, 40 a 60 mm/s. Důvod nastavení rychlosti maximálně 60 mm/s je vysvětlen v kapitole „5.2 zkoušení doporučených nýtovacích parametrů“. Rozdělení vzorků je uvedeno v Tab. 2.

| Sada | Nýtovací síla [kN] | Nýtovací rychlost [mm/s] |
|------|--------------------|--------------------------|
| 1    | 55                 | 1                        |
| 2    | 55                 | 20                       |
| 3    | 55                 | 40                       |
| 4    | 55                 | 60                       |

Tab. 2 Rozdělení vzorků

#### 5.3.2 Sada 5-8, stejná nýtovací rychlost 15 mm/s, různá nýtovací síla

U druhých 4 sad byla nastavená stejná nýtovací rychlost 15 mm/s. Cílem je zkoumat závislost nýtovacích parametrů čili mít stejnou nýtovací rychlost a poté už jen měnit nýtovací sílu. Nýtovací síla byla tedy nastavena 15, 25, 35 a 45 kN. V Tab. 3 je uvedeno rozdělení vzorků.

| Sada | Nýtovací rychlost [mm/s] | Nýtovací síla [kN] |
|------|--------------------------|--------------------|
| 5    | 15                       | 15                 |
| 6    | 15                       | 25                 |
| 7    | 15                       | 35                 |
| 8    | 15                       | 45                 |

Tab. 3 Rozdělení vzorků

## 6 Výsledky a hodnocení

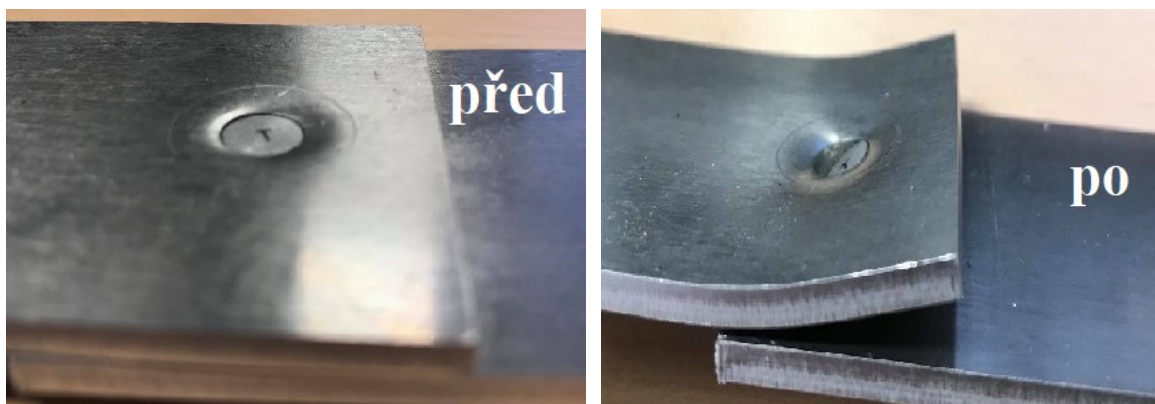
V kapitole jsou zhodnoceny a popsány nejprve jednotlivé sady po třech vzorcích. Dále jsou uvedeny typy porušení jednotlivých sad vzorků a všechny sady porovnány v grafu.

### 6.1 Výsledky a porovnání jednotlivých sad

Níže jsou vyhodnoceny a popsány jednotlivé sady. U každé sady je popis nýtového spoje před a po zkoušce na trhacím stroji. Je zde také popis řezu spoje. Dále je vždy uveden obrázek grafu z trhací zkoušky, který je následován jejími výsledky.

#### 6.1.1 Sada 1–55 kN, 1 mm/s

První sada vzorků (Obr. 27) byla nýtována silou 55 kN a nýtovací rychlostí 1 mm/s. Proces nýtování probíhal vzhledem k nízké nastavené rychlosti opravdu pomalu. Při zkoušce na trhacím stroji se začala půlka nýtu vyloupávat z materiálu a horní plech se deformoval směrem od spoje. Nýtovací rychlost byla dostatečná. Při pohledu na řez spojem lze vidět, že nýt je dostatečně vtlačen do materiálu (Obr. 28). Vzorky s těmito parametry měly při zkoušce jedny z nejlepších výsledků

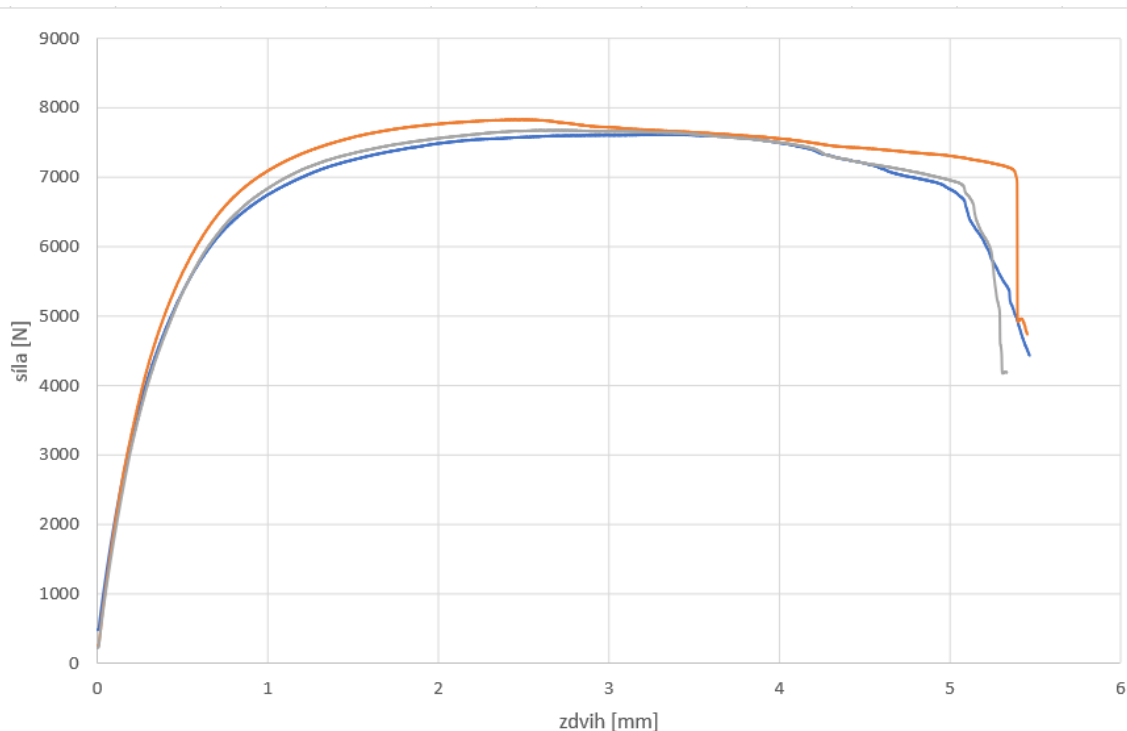


Obr. 27 Porovnání první sady před a po zkoušce na trhacím stroji



Obr. 28 Řez spojem nýtovaným parametry 55 kN, 1 mm/s





Obr. 29 Závislost zdvihu na napětí u první sady vzorků

Nejvyšší pevnosti bylo dosaženo u vzorku 1\_1. Hodnota maximální síly, které vzorek dosáhl je 7829,3 N při prodloužení 2,46 mm. Nejmenší maximální síly pak dosahuje vzorek 1\_0, 7615,7 N. Všechny tři vzorky ale dosahují podobných výsledků. Hodnoty všech tří vzorků jsou v Tab. 4 níže.

| Vzorek č. | Maximální dosažená síla [N] | Střední hodnota maximální síly [N] |
|-----------|-----------------------------|------------------------------------|
| 1_0       | 7615,7                      | 7707,7 ± 89.7                      |
| 1_1       | 7829,3                      |                                    |
| 1_2       | 7677,9                      |                                    |

Tab. 4 Maximální dosažené síly jednotlivých vzorků první sady

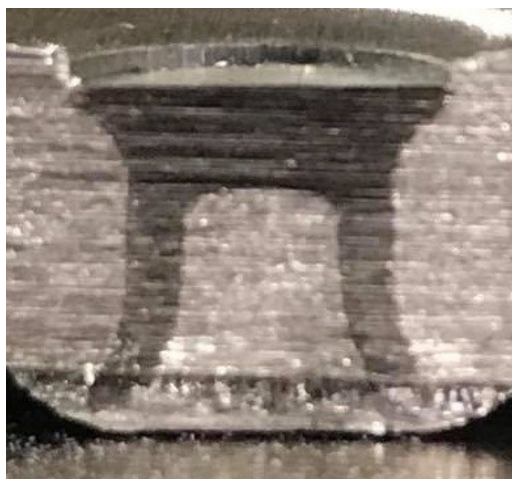
Křivka procesu nýtování (viz Příloha č. 2) Udává závislost nýtovací síly na poloze nástroje. Vzhledem k nastavené nýtovací rychlosti 1 mm/s nedošlo k dosažení nastavené síly 55 kN. Maximální síla dosáhla při procesu nýtování vzorků první sady pouze 11 kN. Po dosažení této síly byl spoj hotov a nástroj se vrátil do původní polohy.

### 6.1.2 Sada 2–55 kN, 20 mm/s

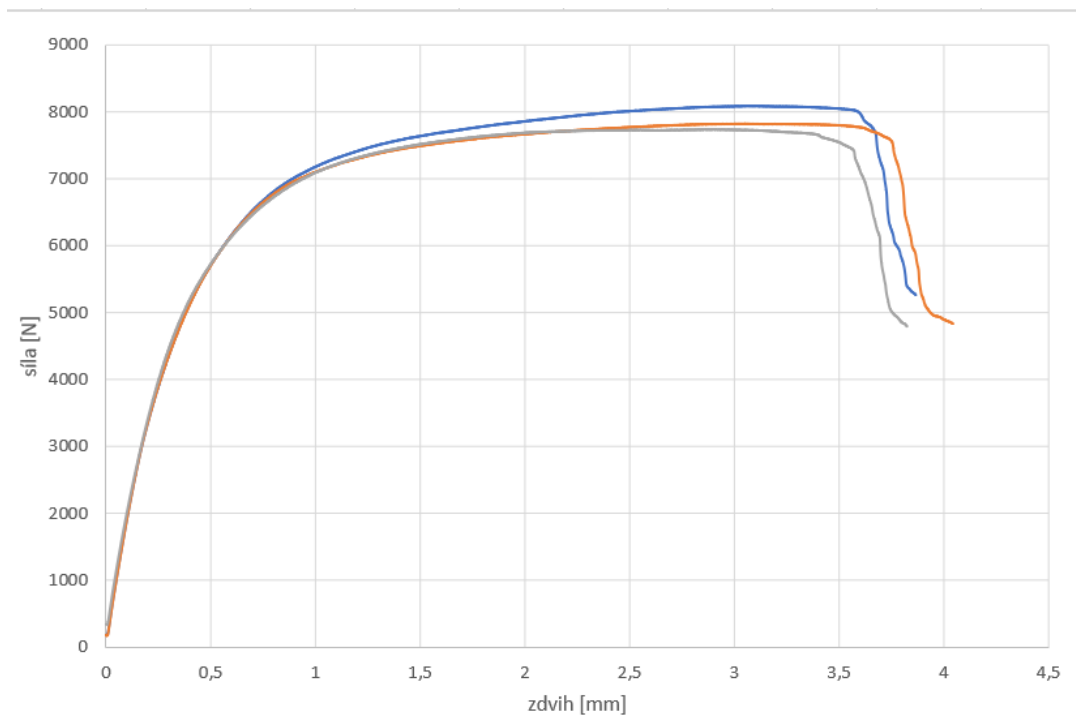
Druhá sada vzorků byla nýtována silou 55 kN nýtovací rychlostí 20 mm/s. Z obrázku provedeného spoje (Obr. 30) bylo patrné lehké zatlačení nýtu do materiálu. Při zkoušce na trhacím stroji došlo k mírnému vyloupnutí nýtu z materiálu. V porovnání s první sadou vzorků je toto vyloupnutí menší. Z řezu spoje (Obr. 31) jde detailněji vidět zatlačení nýtu do materiálu. Oproti první sadě vzorků se konec nýtu ve spodním materiálu více rozšiřuje do stran.



Obr. 30 Porovnání druhé sady před a po zkoušce na trhacím stroji



Obr. 31 Řez spojem nýtovaným parametry 55 kN, 20 mm/s



Obr. 32 Závislost zdvihu na napětí u druhé sady vzorků

Nejvyšší pevnosti bylo dosaženo u vzorku 2\_0. Hodnota maximální síly, které vzorek dosáhl je 8088 N při prodloužení 3,09 mm. Nejmenší maximální síly pak dosahuje vzorek 2\_2, 7736,6 N. Hodnoty všech tří vzorků ze sady 2 jsou v Tab. 5.

| Vzorek č. | Maximální dosažená síla [N] | Střední hodnota maximální síly [N] |
|-----------|-----------------------------|------------------------------------|
| 2_0       | 8088                        | 7882,2 ± 149,6                     |
| 2_1       | 7822,1                      |                                    |
| 2_2       | 7736,6                      |                                    |

Tab. 5 Maximální dosažené síly jednotlivých vzorků druhé sady

Nastavení nýtovací rychlosti 20 mm/s způsobilo, že hodnota maximální síly byla překročena a nástroj se zastavil v dolní pozici. Program bylo potřeba restartovat a nástroj navrátit do základní polohy. (viz Příloha č. 3)

### 6.1.3 Sada 3–55 kN, 40 mm/s

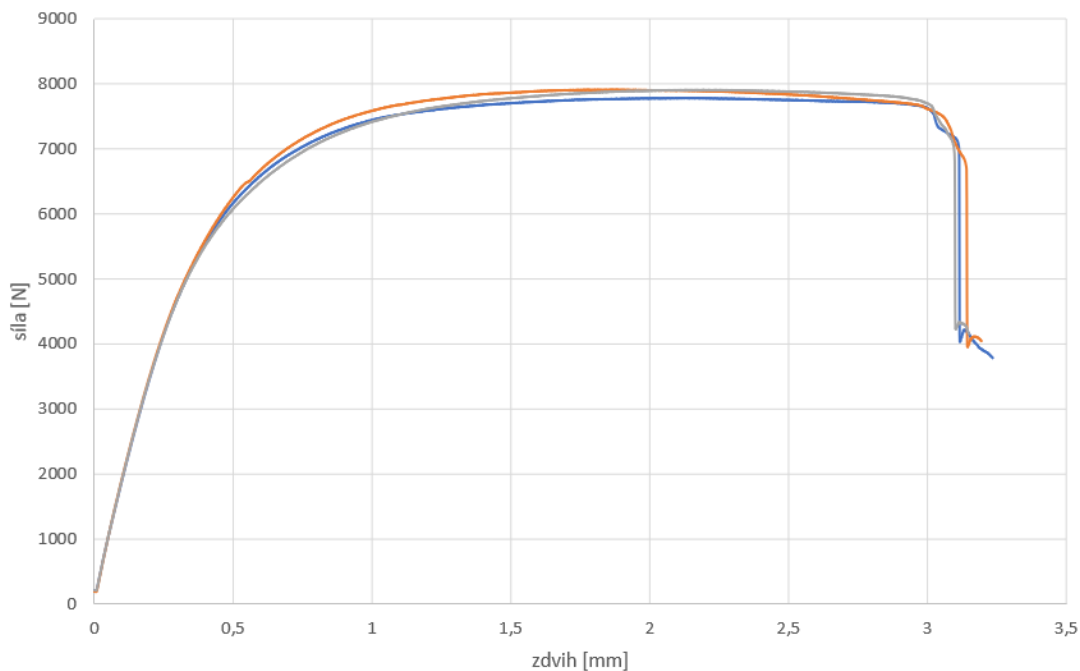
Třetí sada vzorků byla nýtována silou 55 kN nýtovací rychlostí 40 mm/s. Nýtovací rychlost byla příliš velká, nýt je zatlačen hlouběji do materiálu (Obr. 33) než nýt u vzorku z předchozí sady. Po zkoušce na trhacím stroji byla hlava nýtu vyloupenuta z horního materiálu. Na Obr. 34 je v řezu spoje vidět zatlačení nýtu do materiálu. V řezu je také patrné větší roztáhnutí nýtu.



Obr. 33 Porovnání třetí sady před a po zkoušce na trhacím stroji



Obr. 34 Řez spojem nýtovaným parametry 55 kN, 40 mm/s



Obr. 35 Závislost zdvihu na napětí u třetí sady vzorků

Nejvyšší pevnosti vzorků ze sady 3 bylo dosaženo u vzorku 3\_1. Hodnota maximální síly, které vzorek dosáhl je 7908,7 N při prodloužení 1,88 mm. Nejmenší maximální síly pak dosahuje vzorek 3\_0, a to 7781,2 N. Hodnoty všech tří vzorků jsou v Tab. 6.

| Vzorek č. | Maximální dosažená síla [N] | Střední hodnota maximální síly [N] |
|-----------|-----------------------------|------------------------------------|
| 3_0       | 7781,2                      | 7864,6 ± 59                        |
| 3_1       | 7908,7                      |                                    |
| 3_2       | 7903,9                      |                                    |

Tab. 6 Maximální dosažené síly jednotlivých vzorků třetí sady

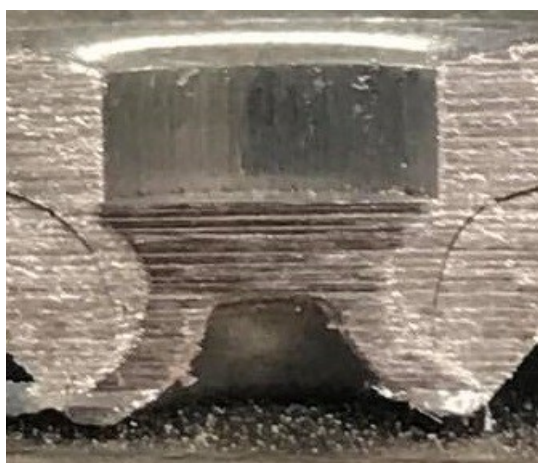
Při procesu nýtování třetí sady (viz Příloha č. 4) vznikl stejný problém, jako u nýtování předchozí sady. Vlivem vysoké nýtovací rychlosti byla překročena maximální síla a nástroj se zastavil ve spoji. Poté bylo opět nutné restartovat program a nástroj navrátit do základní polohy. Nástroj jel dolů k materiálu z polohy 0 mm, jelikož v předchozím procesu nýtování bylo potřeba nástroj vrátit do základní polohy.

#### 6.1.4 Sada 4–55 kN, 60 mm/s

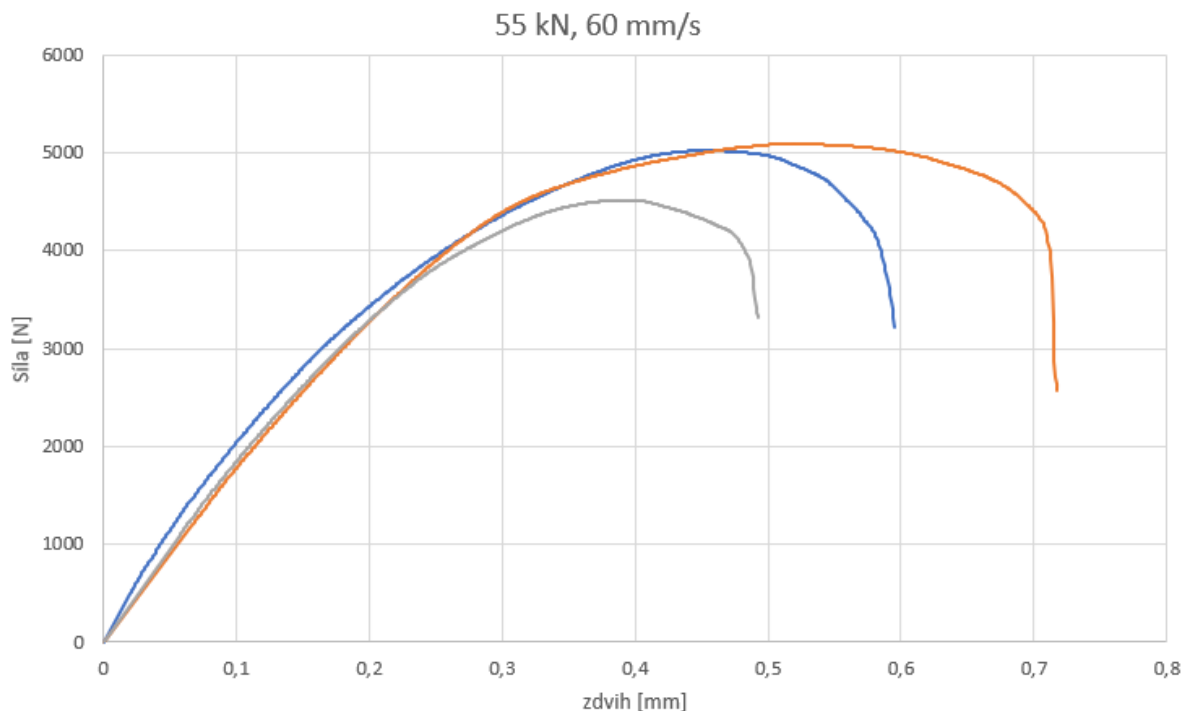
Čtvrtá sada vzorků (Obr. 36) byla nýtována silou 55 kN nýtovací rychlostí 60 mm/s. Takto vysoká rychlost způsobila zatlačení nýtu nejhlouběji do materiálu ze všech čtyř sad s nýtovací silou 55 kN. Hluboké zatlačení nýtu způsobilo, že při zkoušce na trhacím stroji nebylo možné dosáhnout takových hodnot maximální síly jako u předchozích vzorků s menší nýtovací rychlostí. Na Obr. 37 je detailněji vidět zatlačení nýtu do materiálu. Vlivem tohoto zatlačení je konec nýtu více rozšířený do stran. Vzorky ze čtvrté sady dosahují nejhorších výsledků z prvních čtyř sad.



Obr. 36 Porovnání čtvrté sady před a po zkoušce na trhacím stroji



Obr. 37 Řez spojem nýtovaným parametry 55 kN, 60 mm/s



Obr. 38 Závislost zdvihu na napětí u čtvrté sady vzorků

Nejvyšší pevnosti dosahoval vzorek 4\_1, jehož křivka je na Obr. 38 znázorněna oranžovou barvou. Hodnota maximální síly, které vzorek dosáhl je 5098,8 N při prodloužení 0,48 mm. Nejmenší maximální síly pak dosahuje vzorek 4\_2. Hodnoty všech tří vzorků jsou v Tab. 7.

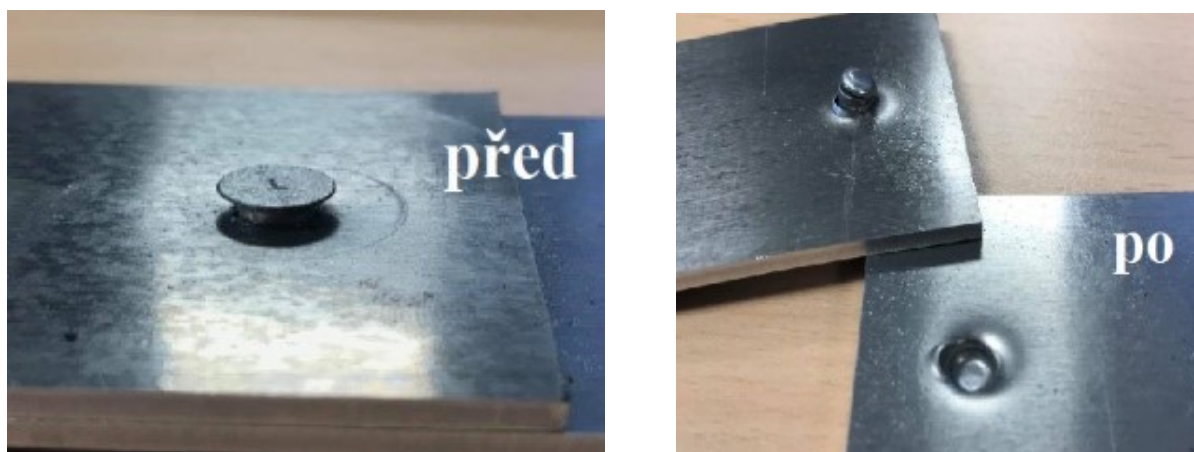
| Vzorek č. | Maximální dosažená síla [N] | Střední hodnota maximální síly [N] |
|-----------|-----------------------------|------------------------------------|
| 4_0       | 5024,8                      | 4881,2 ± 257,3                     |
| 4_1       | 5098,8                      |                                    |
| 4_2       | 4519,9                      |                                    |

Tab. 7 Maximální dosažené síly jednotlivých vzorků čtvrté sady

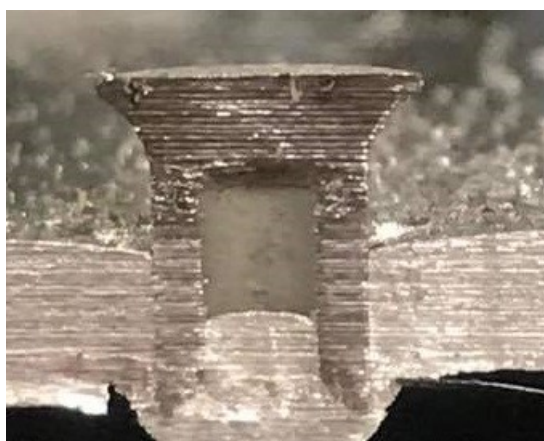
Stejně jako u předchozích dvou sad byla vlivem vysoké nýtovací rychlosti překročena maximální síla nastavená na nýtovacím zařízení a nástroj se v dolní části zastavil (viz Příloha č. 5). Opět bylo potřeba program restartovat a nástroj navrátit do základní polohy.

### 6.1.5 Sada 5–15 mm/s, 15 kN

U páté sady byla nastavena rychlost nýtování na 15 mm/s a byla změněna nýtovací síla na 15 kN. Nýt není dostatečně zatlačen do materiálu vzhledem k malé nýtovací síle. (Obr. 39). Při zkoušce na trhacím stroji došlo k vyloupení nýtu ze spodního materiálu. Z řezu spoje na Obr. 40 je vidět, že se konec nýtu nezačal rozšiřovat a je v materiálu pouze lehce natlačen.

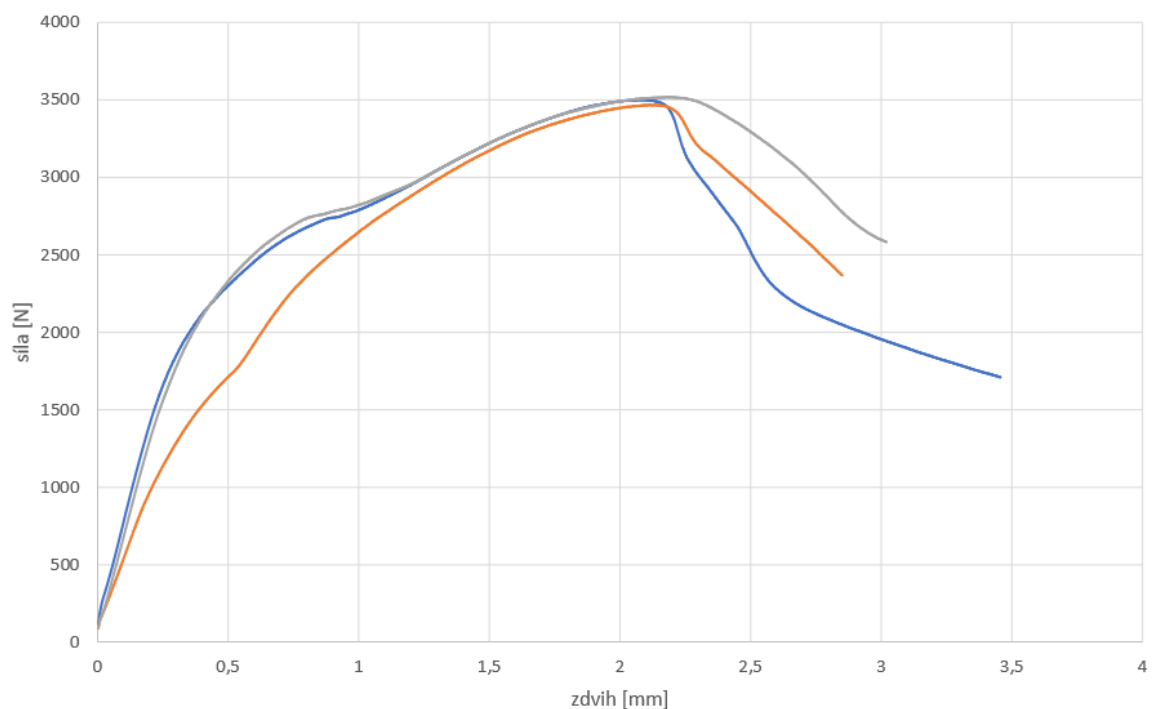


*Obr. 39 Porovnání páté sady před a po zkoušce na trhacím stroji*



*Obr. 40 Řez spojem nýtovaným parametry 15 kN, 15 mm/s*





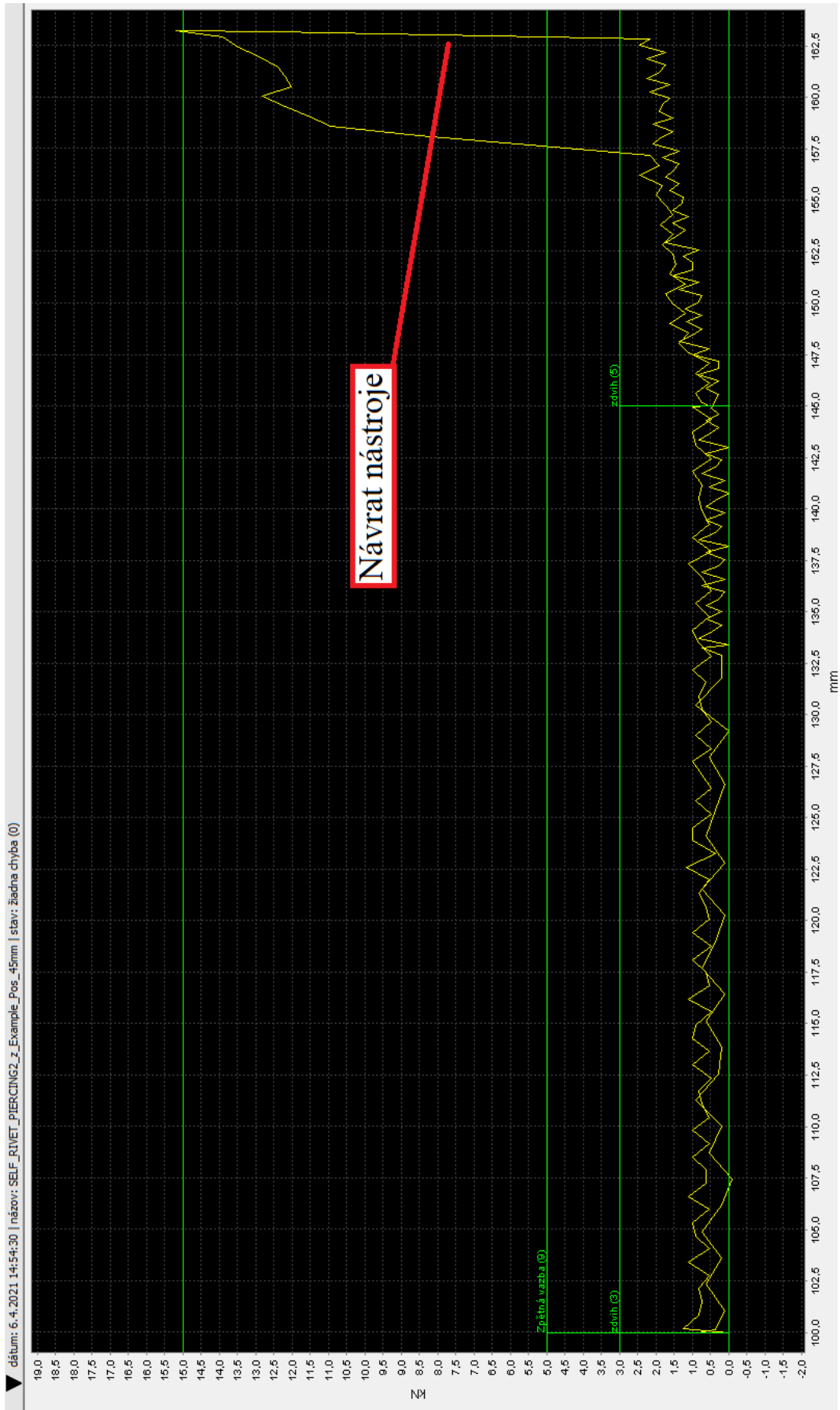
Obr. 41 Závislost zdvihu na napětí u páté sady vzorků

Nejvyšší pevnosti bylo dosaženo u vzorku 5\_2. Hodnota maximální síly, které vzorek dosáhl je 3517,2 N při prodloužení 2,18 mm. Nejmenší maximální síly pak dosahuje vzorek 5\_1. Hodnoty všech tří vzorků jsou v Tab. 8 níže.

| Vzorek č. | Maximální dosažená síla [N] | Střední hodnota maximální síly [N] |
|-----------|-----------------------------|------------------------------------|
| 5_0       | 3499,6                      | 3494,6 ± 20,7                      |
| 5_1       | 3467,2                      |                                    |
| 5_2       | 3517,2                      |                                    |

Tab. 8 Maximální dosažené síly jednotlivých vzorků páté sady

Na křivce nýtování páté sady vzorků (Obr. 42) lze vidět také křivku návratu nástroje do původní polohy. S nastavenými nýtovacími parametry nebyla překročena hodnota maximální síly a proces nýtování proběhl bez komplikací.



Obr. 42 Křivka procesu nýtování vzorku z páte sady

### 6.1.6 Sada 6–15 mm/s, 25 kN

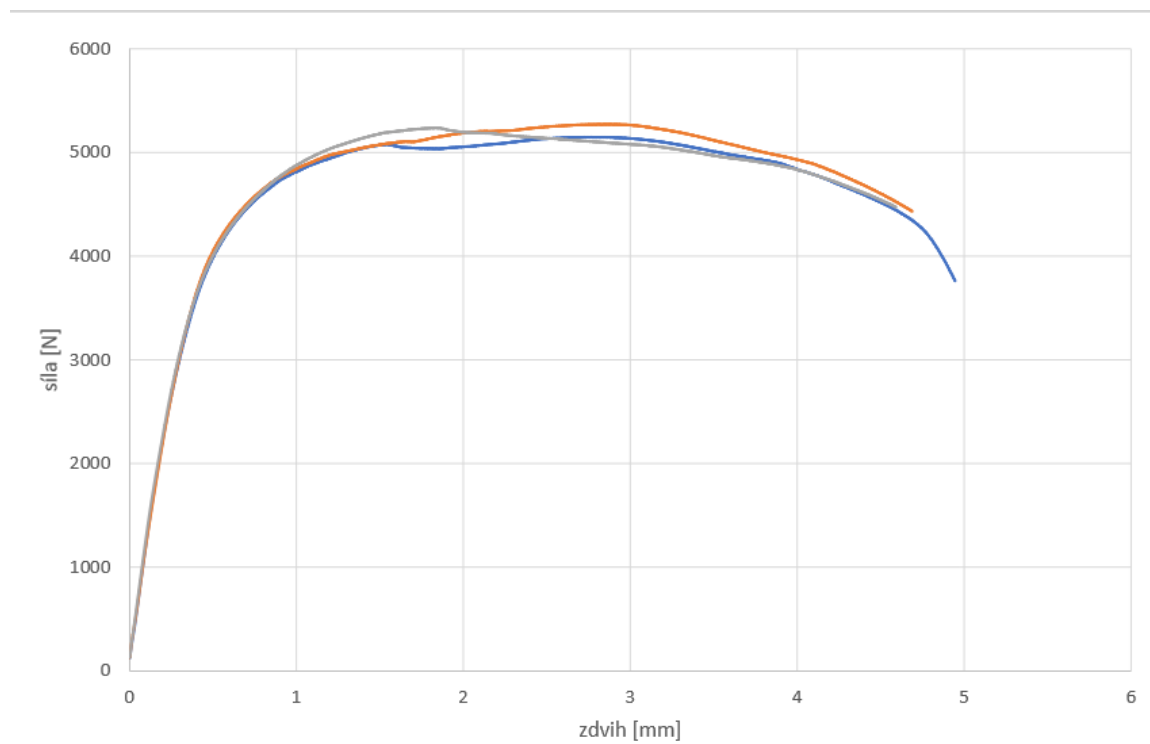
V této sadě vzorků zůstává stejná nýtovací rychlost 15 mm/s a nýtovací síla je změněna na 25 kN (Obr. 43). Nýt je již vlivem nastavení vyšší nýtovací síly než u předchozí sady zatlačen hlouběji do materiálu. Stále zde ale vzniká mezera mezi horním materiálem a hlavou polodutého nýtu. Při zkoušce na trhacím stroji došlo také k vyloupnutí nýtu ze spodního materiálu. Z řezu spoje (Obr. 44) je patrné, že je nýt oproti předchozí sadě více zatlačen do materiálu.



Obr. 43 Porovnání šesté sady před a po zkoušce na trhacím stroji



Obr. 44 Řez spojem nýtovaným parametry 15 kN, 25 mm/s



Obr. 45 Závislost zdvihu na napětí u šesté řady vzorků

Nejvyšší pevnosti bylo dosaženo u vzorku 6\_1. Hodnota maximální síly, které bylo u vzorku dosaženo je 5272,87 N při prodloužení 2,87 mm. Nejmenší maximální síly pak dosahuje vzorek 6\_0. Hodnoty všech tří vzorků jsou v Tab. 9.

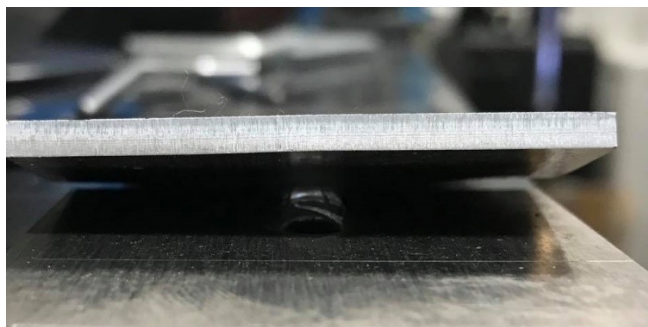
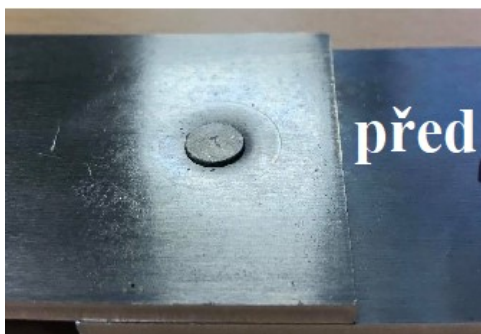
| Vzorek č. | Maximální dosažená síla [N] | Střední hodnota maximální síly [N] |
|-----------|-----------------------------|------------------------------------|
| 6_0       | 5148,3                      | 5219,5 ± 52,4                      |
| 6_1       | 5272,9                      |                                    |
| 6_2       | 5237,3                      |                                    |

Tab. 9 Maximální dosažené síly jednotlivých vzorků šesté sady

Při procesu nýtování šesté sady (viz Příloha č. 6) došlo k začátku nýtování plechů při 13 kN a bylo dosaženo nejvyšší nýtovací síly 26,5 kN. Nástroj se poté navrátil do původní polohy.

### 6.1.7 Sada 7–15 mm/s, 35 kN

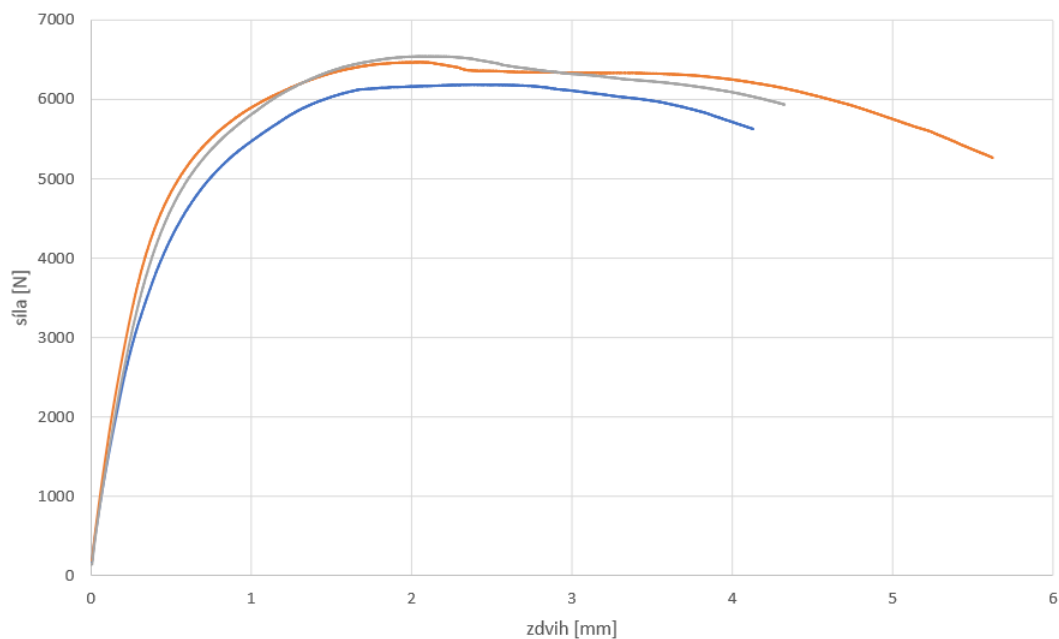
V sedmé sadě vzorků zůstává stejná nýtovací rychlost 15 mm/s a nýtovací síla je změněna na 35 kN. Oproti předchozím dvěma sadám je nýt zatlačen více do materiálu. (Obr. 46). Při detailnějším pohledu, na řez spojem (Obr. 47) je však vidět, že nýt není zatlačen dostatečně a je zde mezera mezi horním materiálem a hlavou nýtu. Při zkoušce na trhacím stroji se začal nýt vyloupávat ze spodního materiálu.



*Obr. 46 Porovnání sedmé sady před a po zkoušce na trhacím stroji*



*Obr. 47 Řez spojem nýtovaným parametry 15 kN, 35 mm/s*



Obr. 48 Závislost zdvihu na napětí u sedmé řady vzorků

Nejvyšší pevnosti bylo dosaženo u vzorku 7\_2. Hodnota maximální síly, které vzorek dosáhl je 6542,9 N při prodloužení 2,15 mm. Nejmenší maximální síly pak dosahuje vzorek 7\_0. Hodnoty všech tří vzorků jsou v Tab. 10.

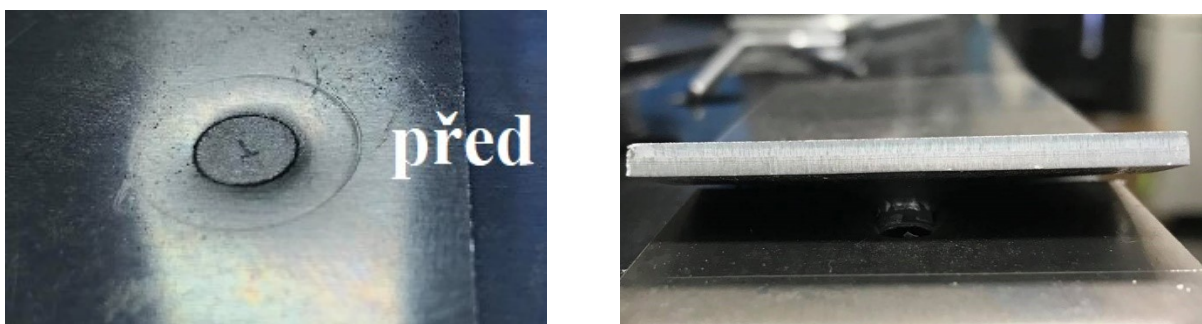
| Vzorek č. | Maximální dosažená síla [N] | Střední hodnota maximální síly [N] |
|-----------|-----------------------------|------------------------------------|
| 7_0       | 6187                        | 6400,4 ± 153,7                     |
| 7_1       | 6471,2                      |                                    |
| 7_2       | 6542,9                      |                                    |

Tab. 10 Maximální dosažené síly jednotlivých vzorků sedmé sady

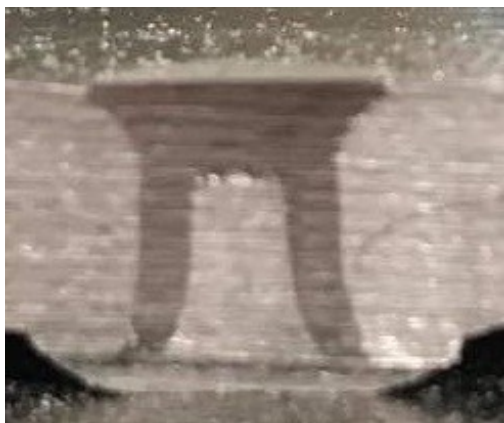
Nejvyšší síla při procesu nýtování (viz Příloha č. 7) dosahuje hodnoty 38 kN. V tomto bodě je spoj hotov a nástroj se vrací zpět do původní polohy.

### 6.1.8 Sada 8–15 mm/s, 45 kN

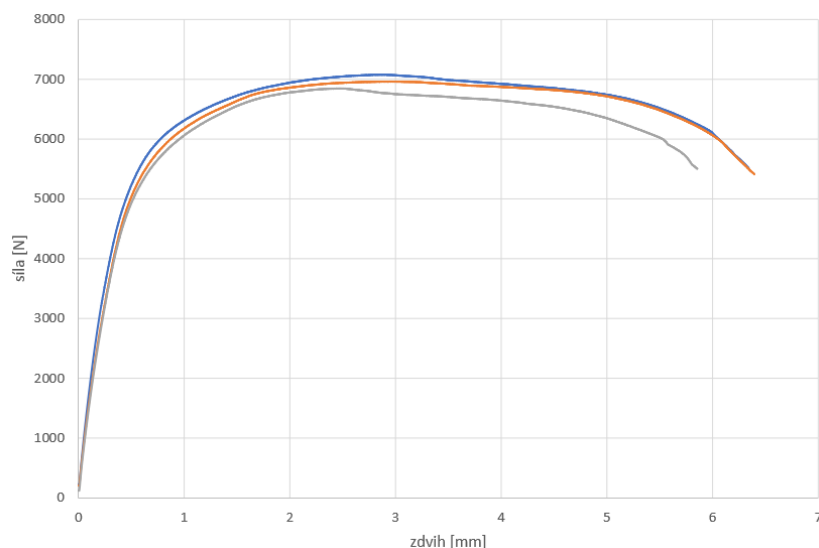
V poslední, osmé, sadě vzorků zůstává nýtovací rychlost 15 mm/s a nýtovací síla je nastavena na 45 kN. Na Obr. 49 lze vidět, že spoj vypadá opticky dobře. V řezu spoje (Obr. 50) lze vidět, že hlava nýtu je dobře zatlačena do materiálu a nevzniká zde žádná mezera mezi horním materiálem a hlavou nýtu. Při zkoušce na trhacím stroji se spoj choval podobně jako předchozí sada s nastavenou silou 35 kN. Nýt se začal vyloupávat ven ze spodního materiálu. U tohoto spoje se však vyloupal méně než u spoje z předchozí sady.



Obr. 49 Porovnání osmé sady před a po zkoušce na trhacím stroji



Obr. 50 Řez spojem nýtovaným parametry 15 kN, 45 mm/s



Obr. 51 Řez spojem nýtovaným parametry 15 kN, 45 mm/s

Nejvyšší pevnosti bylo dosaženo u vzorku 8\_0. Hodnota maximální síly, které vzorek dosáhl je 7078 N při prodloužení 2,86 mm. Nejmenší maximální síly pak dosahuje vzorek 8\_2. Hodnoty všech tří vzorků jsou v Tab. 11.

| Vzorek č. | Maximální dosažená síla [N] | Střední hodnota maximální síly [N] |
|-----------|-----------------------------|------------------------------------|
| 8_0       | 7078                        | 6962,5 ± 94,4                      |
| 8_1       | 6962,9                      |                                    |
| 8_2       | 6846,7                      |                                    |

Tab. 11 Maximální dosažené síly jednotlivých vzorků osmé sady

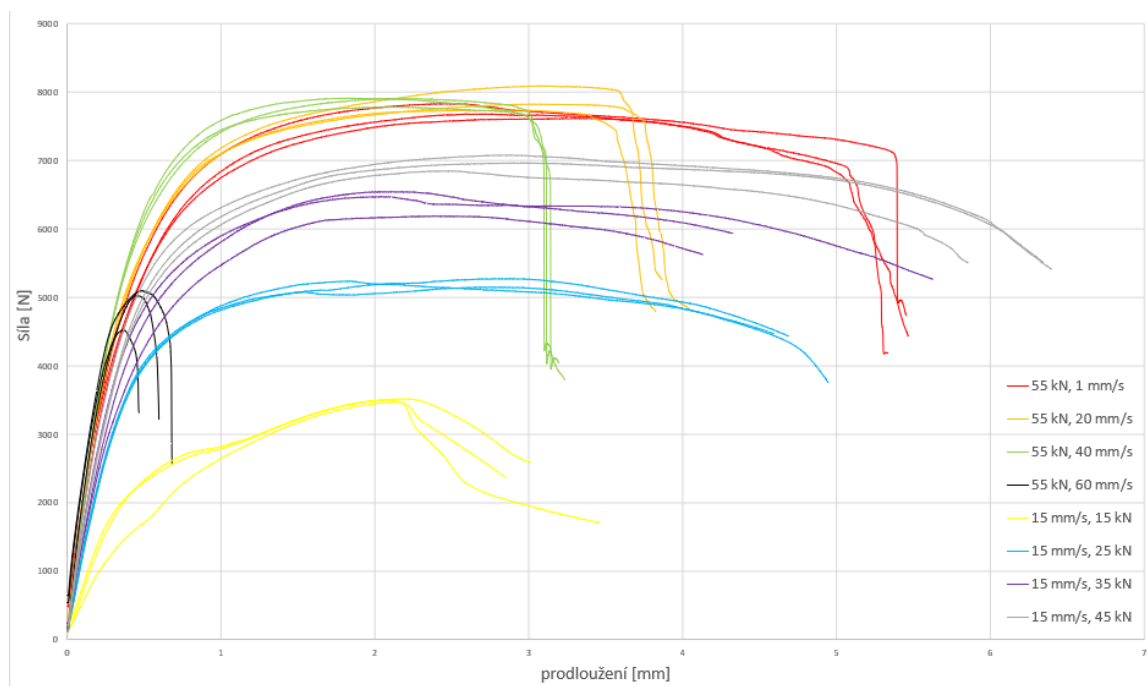
Při procesu nýtování vzorku s nýtovací rychlostí 15 mm/s a nýtovací silou 45 kN (viz Příloha č. 8) se nástroj po dosažení hodnoty síly 47 kN vrací zpět do původní polohy.



## 6.2. Porovnání nýtovaných sad dohromady

| Sada              | Maximální síla [N] | Při prodloužení |
|-------------------|--------------------|-----------------|
| 1. 55 kN, 1 mm/s  | 7829,3             | 2,46            |
| 2. 55 kN, 20 mm/s | 8088               | 3,09            |
| 3. 55 kN, 40 mm/s | 7908,7             | 1,88            |
| 4. 55 kN, 60 mm/s | 5098,8             | 0,48            |
| 5. 15 mm/s, 15 kN | 3517,2             | 2,18            |
| 6. 15 mm/s, 25 kN | 5272,9             | 2,87            |
| 7. 15 mm/s, 35 kN | 6542,9             | 2,15            |
| 8. 15 mm/s, 45 kN | 7078               | 2,86            |

Tab. 12 Porovnání naměřených hodnot z trhacího stroje



Obr. 52 Porovnání všech sad vzorků v grafu

### 6.3 Typ porušení jednotlivých sad

Na následující tabulce (Tab. 13) lze vidět slovní hodnocení spojů po procesu nýtování a po zkoušce na trhacím stroji

| SADA               | PO NÝTOVÁNÍ   | PO ZKOUŠCE NA TRHACÍM STROJI                       |
|--------------------|---|--|
| 1 – 55 kN, 1 mm/s  | Vizuálně dobrý spoj                                   | Polovina hlavy nýtu vyloupnuta ze spoje            |
| 2 – 55 kN, 20 mm/s | Nýt mírně zatlačen do horního plechu                  | Čtvrtina nýtu vyloupnuta ze spoje                  |
| 3 – 55 kN, 40 mm/s | Nýt zatlačen hluboko do horního plechu                | Téměř celý nýt vyloupnut ze spoje                  |
| 4 – 55 kN, 60 mm/s | Nýt zatlačen příliš hluboko do horního plechu         | Téměř bez změny                                    |
| 5 – 15 mm/s, 15 kN | Příliš velká mezera mezi hlavou nýtu a horním plechem | Rozdělení spoje, nýt se vyloupl ze spodního plechu |
| 6 – 15 mm/s, 25 kN | Velká mezera mezi hlavou nýtu a horním plechem        | Rozdělení spoje, nýt se vyloupl ze spodního plechu |
| 7 – 15 mm/s, 35 kN | Malá mezera mezi hlavou nýtu horním plechem           | Značné vyskočení dřívku nýtu ze spodního plechu    |
| 8 – 15 mm/s, 45 kN | Vizuálně dobrý spoj                                   | Mírné vyskočení dřívku nýtu ze spodního plechu     |

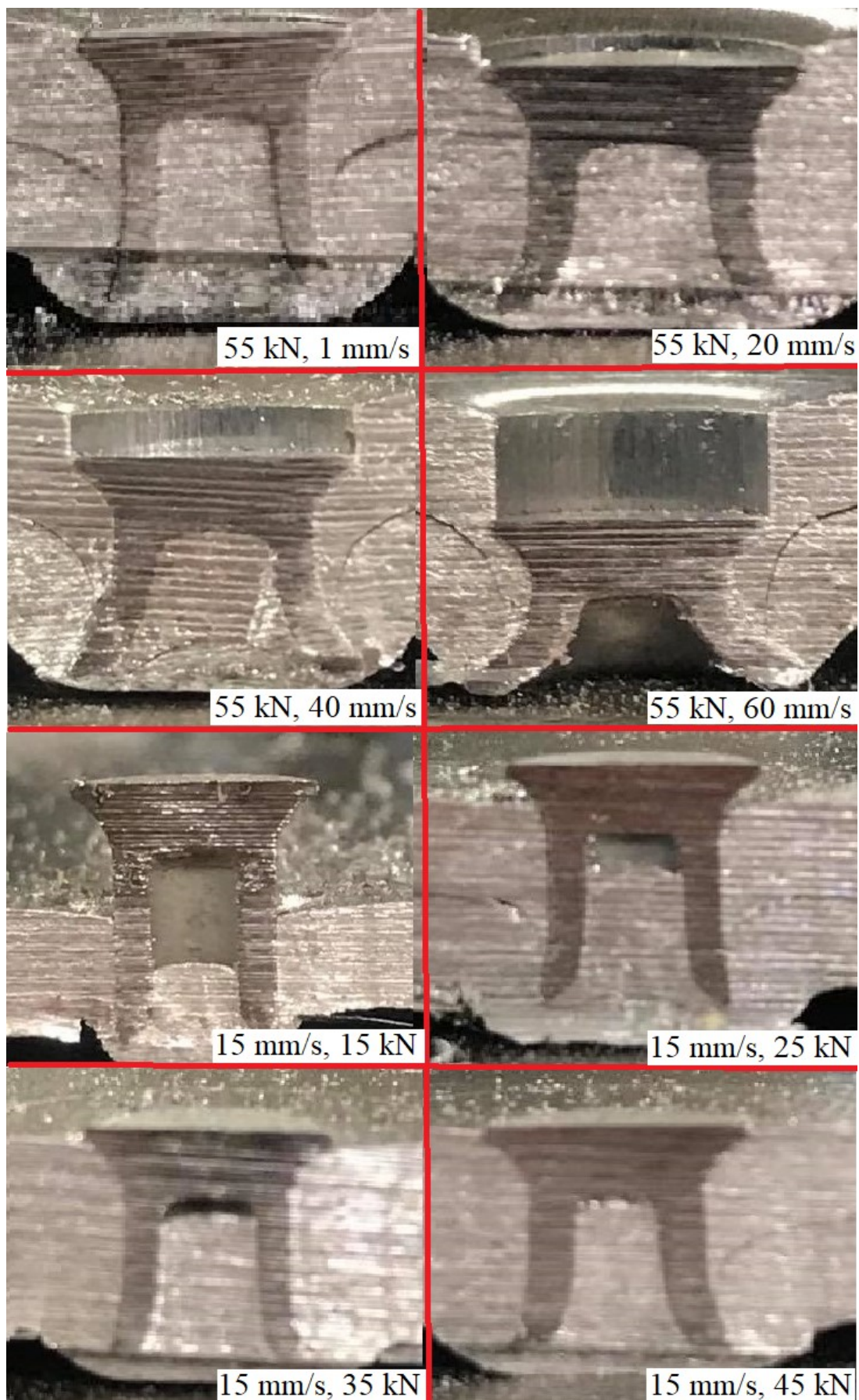
Tab. 13 Typy porušení jednotlivých sad

### 6.4 Zhodnocení

Na nýtovacím zařízení a trhacím stroji bylo testováno celkem osm sad vzorků. Nejlepších výsledků dosahovaly sady s nastavenou nýtovací silou 55 kN a nýtovací rychlostí 20 mm/s. U těchto vzorků byla naměřena nejvyšší maximální síla, a to 8088 N. Při nýtovací rychlosti 60 mm/s vzorky dosahovaly nejmenší maximální síly, jelikož byl nýt až příliš zatlačen do spoje, a tudíž spoj neměl takovou pevnost. Sada 2 dosahuje nejlepších výsledků, přestože vizuálně vypadaly nejlépe spoje ze sady 8. Je to způsobeno tím, že konec nýtu se v materiálu se více roztáhl u sady 2 a vytvořil tak pevnější mechanický zámek. Nejvhodnějšími nýtovacími parametry z experimentálního plánu mé bakalářské práce byla určitě nýtovací síla 55 kN a 20 mm/s, ačkoli vizuálně nevypadal spoj nejlépe ze všech vzorků, na trhacím stroji dosahovaly vzorky této sady nejlepších výsledků. Plechy také nebyly zdeformovány tolik, jako u ostatních sad. Pro další výzkum bych doporučil změnu maximální síly na nýtovacím zařízení, při kterém se proces nýtování přeruší.

Při pohledu na řezy sadami vzorků se stejnou nýtovací silou 55 kN a měnící se nýtovací rychlostí na Obr. 53 vidět, že se s přibývajícím rychlostí nýt zatlačoval hlouběji do materiálu. S přibývajícím jde rychlostí také docházelo k vytvoření širšího mechanického zámku spoje. Zatímco při použití rychlosti 1 mm/s se konec nýtu téměř nezačal rozšiřovat, při použití rychlosti 60 mm/s je konec nýtu rozšířen až moc, jelikož nýt končí na samotné hraně spodního materiálu.

V případě použití stejné nýtovací síly 15 mm/s a změně nýtovacích rychlostí došlo ve třech ze čtyř sad k nedostatečnému zatlačení nýtu do materiálu. Pouze u poslední sady, která měla nastavenou nýtovací sílu na 45 kN, došlo k dostatečnému zatlačení nýtu, k mírnému roztažení konce nýtu a vytvoření dobrého mechanického zámku spoje.



Obr. 53 Porovnání řezů spoje

## Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo pozorovat vliv nýtovacích parametrů na pevnost nýtového spoje. Pozorovanými nýtovacími parametry byla nýtovací síla a nýtovací rychlost.

Proces nýtování byl proveden na zařízení, určeném pro metodu self-rivet piercing, zkompletovaném na VŠB při zpracovávání jeho diplomové práce. Nýtovací zařízení využívá elektrický servoválec, který je upevněn v C-rámu.

Pro vyhotovení spojů byly použity vzorky ze slitiny hliníku s označením EN AW 5754 H111 s tažností min. 12 %. Tažnost je důležitým požadavkem na materiál při nýtování metodou self-rivet piercing. Vzorky byly poskytnuty firmou TOX® PRESSOTECHNIK. Firma také dodala report nýtování slitiny hliníku EN AW-5083 H111 o tloušťce 3 mm. Stejnou tloušťku měly vzorky použité v mé bakalářské práci.

V praktické části bakalářské práce byl vyhotoven zkušební vzorek dle doporučených nýtovacích parametrů. Nastavení doporučených nýtovacích parametrů však nebylo vhodné. Po zhotovení spoje byly plechy příliš zdeformované a nýt byl zatlačen příliš hluboko do materiálu. Nýtovací parametry tedy byly upraveny a bylo vytvořeno osm sad, přičemž každá sada obsahovala tři vzorky.

Dále byly vzorky podrobeny testu na univerzálním trhacím stroji Shimadzu AG-X. Průběh testu byl vykreslován na počítači formou grafu závislosti síly na prodloužení.

Nejlepších výsledků bylo dosaženo u sady vzorků s nýtovací silou 55 kN a nýtovací rychlostí 20 mm/s. Ty dosahovaly při zkoušce na trhacím stroji maximální hodnoty síly až 8088 N a spoj byl po zkoušce nejméně deformovaný, vykazoval tedy největší pevnost. Naopak pro představu nejhorších výsledků dosáhly vzorky s nýtovací silou 15 kN a nýtovací rychlostí 15 mm/s. Zde při zkoušce nýt vyklouzl ze spoje a celý spoj se rozpadl.

Pro další výzkum by bylo jistě zajímavé použít lepidlo jako přídavný prvek spoje, který by mohl mít vliv na zlepšení pevnosti. Další variantou výzkumu by mohlo být upravení nastavení maximální síly na nýtovacím zařízení, aby nedocházelo k zastavení procesu nýtování.

# SEZNAM OBRÁZKŮ

|   |    |
|---|----|
| Obr. 1 Schéma nýtovaného spoje. Dostupné z [1] .....                                      | 9  |
| Obr. 2 Schéma přímého nýtování. Dostupné z [1] .....                                      | 10 |
| Obr. 3 Schéma nepřímého nýtování. Dostupné z [1] .....                                    | 11 |
| Obr. 4 Proces self-piercing nýtování. Dostupné z [4] .....                                | 12 |
| Obr. 5 C-rám. Dostupné z [3] .....  | 13 |
| Obr. 6 Typické příklady používaných matic pro metodu Self-piercing. Dostupné z [11] ..... | 13 |
| Obr. 7 Schéma metody TOX Clinching. Dostupné z [4] .....                                  | 14 |
| Obr. 8 Schéma procesu metody Rivtac. Dostupné z [5] .....                                 | 15 |
| Obr. 9 a) kulatá hlava, b) zápustná hlava. Dostupné z [7] .....                           | 17 |
| Obr. 10 Schéma nýtování slepým nýtem. Dostupné z [9] .....                                | 18 |
| Obr. 11 Dutý nýt. Dostupné z [7] .....  | 19 |
| Obr. 12 Schéma aplikace polodutého nýtu. Dostupné z [10] .....                            | 20 |
| Obr. 13 a) matrice s ostrými rohy c) matrice s mírnými rohy. Dostupné z [3] .....         | 23 |
| Obr. 14 a) tupé zakončení konce nýtu b) ostré zakončení konce nýtu. Dostupné z [3] .....  | 24 |
| Obr. 15 Schéma zatěžování nýtu na vnější straně. Dostupné z [15] .....                    | 25 |
| Obr. 16 Nýtovací zařízení pro metodu self-rivet piercing .....                            | 26 |
| Obr. 17 Pracovní deska a matrice nýtovacího zařízení. Dostupné z [16] .....               | 27 |
| Obr. 18 Upevnění pro vzorky .....   | 28 |
| Obr. 19 Ruční podavač nýtů .....  | 29 |
| Obr. 20 Poloduté nýty .....   | 29 |
| Obr. 21 Přeplátování vzorků .....   | 30 |
| Obr. 22 Upevnění vzorku do čelistí na trhacím stroji .....                                | 31 |
| Obr. 23 Proces na trhacím stroji .....  | 32 |
| Obr. 24 Software pro nastavení nýtovacích parametrů .....                                 | 35 |
| Obr. 25 Zdeformovaný spoj při použití 55kN a 120 mm/s .....                               | 36 |
| Obr. 26 Proces nýtování vzorku s parametry 55 kN, 60 mm/s .....                           | 38 |
| Obr. 27 Porovnání první sady před a po zkoušce na trhacím stroji .....                    | 40 |
| Obr. 28 Řez spojem nýtovaným parametry 55 kN, 1 mm/s .....                                | 40 |
| Obr. 29 Závislost zdvihu na napětí u první sady vzorků .....                              | 41 |
| Obr. 30 Porovnání druhé sady před a po zkoušce na trhacím stroji .....                    | 42 |
| Obr. 31 Řez spojem nýtovaným parametry 55 kN, 20 mm/s .....                               | 42 |
| Obr. 32 Závislost zdvihu na napětí u druhé sady vzorků .....                              | 43 |
| Obr. 33 Porovnání třetí sady před a po zkoušce na trhacím stroji .....                    | 44 |
| Obr. 34 Řez spojem nýtovaným parametry 55 kN, 40 mm/s .....                               | 44 |
| Obr. 35 Závislost zdvihu na napětí u třetí sady vzorků .....                              | 45 |
| Obr. 36 Porovnání čtvrté sady před a po zkoušce na trhacím stroji .....                   | 46 |
| Obr. 37 Řez spojem nýtovaným parametry 55 kN, 60 mm/s .....                               | 46 |
| Obr. 38 Závislost zdvihu na napětí u čtvrté sady vzorků .....                             | 47 |
| Obr. 39 Porovnání páté sady před a po zkoušce na trhacím stroji .....                     | 48 |
| Obr. 40 Řez spojem nýtovaným parametry 15 kN, 15 mm/s .....                               | 48 |
| Obr. 41 Závislost zdvihu na napětí u páté sady vzorků .....                               | 49 |
| Obr. 42 Křivka procesu nýtování vzorku z páté sady .....                                  | 50 |
| Obr. 43 Porovnání šesté sady před a po zkoušce na trhacím stroji .....                    | 51 |
| Obr. 44 Řez spojem nýtovaným parametry 15 kN, 25 mm/s .....                               | 51 |

|   |    |
|---|----|
| Obr. 45 Závislost zdvihu na napětí u šesté řady vzorků.....           | 52 |
| Obr. 46 Porovnání sedmé sady před a po zkoušce na trhacím stroji..... | 53 |
| Obr. 47 Řez spojem nýtovaným parametry 15 kN, 35 mm/s .....           | 53 |
| Obr. 48 Závislost zdvihu na napětí u sedmé řady vzorků .....          | 54 |
| Obr. 49 Porovnání osmé sady před a po zkoušce na trhacím stroji.....  | 55 |
| Obr. 50 Řez spojem nýtovaným parametry 15 kN, 45 mm/s .....           | 55 |
| Obr. 51 Řez spojem nýtovaným parametry 15 kN, 45 mm/s .....           | 56 |
| Obr. 52 Porovnání všech sad vzorků v grafu.....                       | 57 |
| Obr. 53 Porovnání řezů spoje .....                                    | 60 |

## SEZNAM TABULEK

|   |    |
|---|----|
| Tab. 1 Mechanické vlastnosti slitiny EN AW 5754 H111. Dostupné z [17] ..... | 30 |
| Tab. 2 Rozdělení vzorků.....  | 39 |
| Tab. 3 Rozdělení vzorků.....  | 39 |
| Tab. 4 Maximální dosažené síly jednotlivých vzorků první sady .....         | 41 |
| Tab. 5 Maximální dosažené síly jednotlivých vzorků druhé sady .....         | 43 |
| Tab. 6 Maximální dosažené síly jednotlivých vzorků třetí sady .....         | 45 |
| Tab. 7 Maximální dosažené síly jednotlivých vzorků čtvrté sady .....        | 47 |
| Tab. 8 Maximální dosažené síly jednotlivých vzorků páté sady .....          | 49 |
| Tab. 9 Maximální dosažené síly jednotlivých vzorků šesté sady .....         | 52 |
| Tab. 10 Maximální dosažené síly jednotlivých vzorků sedmé sady .....        | 54 |
| Tab. 11 Maximální dosažené síly jednotlivých vzorků osmé sady .....         | 56 |
| Tab. 12 Porovnání naměřených hodnot z trhacího stroje .....                 | 57 |
| Tab. 13 Typy porušení jednotlivých sad .....                                | 58 |



# SEZNAM POUŽITÝCH LITERÁRNÍCH ZDROJŮ


- [1] SLIDE PLAYER. *Nýtování - vlastnosti a druhy nýtových spojů* [online]. [cit. 24.1.2021]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2593766/>
- [2] DANĚK, Otakar a Nikolaj Markovič GORBATOV. *Nýtování v letectví a v podobné výrobě: Příručka pro praxi a pro odborné školení*. Praha: Práce, 1951.
- [3] LI, D. CHRYSANTHOU, A. *Self-Piercing Riveting-A review* [online] June 2016 [cit. 1. 2. 2021]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/303944012\\_Self-Piercing\\_Riveting-A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/303944012_Self-Piercing_Riveting-A_review)
- [4] TOX® PRESSOTECHNIK. *TOX®-Clinching: Nýtování bez nýtů!* [online]. Brno. [cit. 27. 3. 2021]. Dostupné z: <https://cz.tox-pressotechnik.com/aplikace/klincovani/spojovani-technologie-tox/?fbclid=IwAR02IqYGxmYEj95vtf2GP-RM3V0gLh8xxNpoqif2XC4FwYGeW8sjTE3ZXdE>
- [5] ČAJAN, Tomáš. *Moderní technologie tváření ve strojírenství*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [6] ČERMÁKOVÁ, Adriana. *Ověření technologií lepení pro hliníkové slitiny* [online]. Ostrava, 2017 [cit. 28.3.2021]. Dostupné z <http://hdl.handle.net/10084/119487>. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
- [7] WURTH. *Rivet technology - 10. RIVETING*. [online] [cit. 3. 2. 2021]. Dostupné z: [https://www.wuerth-industrie.com/web/media/en/pictures/wuerthindustrie/technikportal/din-okapitel/Kapitel\\_10\\_DINO\\_tech Teil.pdf?fbclid=IwAR3UheFIPHnoxqQxFIIXOY2icto6PyM048JL8d5aWu\\_2MP7TW6SyveKmGCs](https://www.wuerth-industrie.com/web/media/en/pictures/wuerthindustrie/technikportal/din-okapitel/Kapitel_10_DINO_tech Teil.pdf?fbclid=IwAR3UheFIPHnoxqQxFIIXOY2icto6PyM048JL8d5aWu_2MP7TW6SyveKmGCs)
- [8] Albany County Fasteners. *What Is A Blind Rivet?* [online]. 2021. [cit. 3. 2. 2021]. Dostupné z: [https://www.albanycountyfasteners.com/Fastener-Education-and-Information-s/Rivet-Guide-s/1158.htm?fbclid=IwAR1PfoAfcBL5\\_6f4pVzGWEsejFuQJfOC1KifeReloTe bWRgcN7Fcra7b\\_mE](https://www.albanycountyfasteners.com/Fastener-Education-and-Information-s/Rivet-Guide-s/1158.htm?fbclid=IwAR1PfoAfcBL5_6f4pVzGWEsejFuQJfOC1KifeReloTe bWRgcN7Fcra7b_mE)

- [9] MARSHALL SALES, INC. *Rivets and Installation Tools* [online]. 2009 [cit. 1.4.2021]. Dostupné z: [http://www.marshallsales.com/pr\\_rivets.php?fbclid=IwAR2pURkYetIqhHI7VMxnKRCIPYnL4Y0ehHIgGrBIItS6TV\\_hBEJR0r4Byw5Y](http://www.marshallsales.com/pr_rivets.php?fbclid=IwAR2pURkYetIqhHI7VMxnKRCIPYnL4Y0ehHIgGrBIItS6TV_hBEJR0r4Byw5Y)
- [10] Le Rivet Fore. *Semi-tubular Rivets (Drilled rivets/bored rivets)*. [online]. 2012 - 2021. [cit. 3. 2. 2021]. Dostupné z: [http://www.rivet-fore.fr/en/products/semi-tubular-rivets.php?fbclid=IwAR3UheFIPHnoxqQxFIIXOY2icto6PyM048JL8d5aWu\\_2MP7TW6Sylv eKmGCs](http://www.rivet-fore.fr/en/products/semi-tubular-rivets.php?fbclid=IwAR3UheFIPHnoxqQxFIIXOY2icto6PyM048JL8d5aWu_2MP7TW6Sylv eKmGCs)
- [11] ESSENTRA COMPONENTS. *Rivets: which material is best for you?* [online]. 24. 9. 2018 [cit. 28. 1. 2021]. Dostupné z: <https://www.essentracomponents.com/en-gb/news/product-resources/rivets-which-material-is-best-for-you?fbclid=IwAR0gQZd4ZRSvc4zzG7gbEubC1SRgXORGV3e6tw43CQ3GzgYKh7xi8edOsoU>
- [12] CALABRESE, L. BONACCORSI, L. et al. Durability on alternate immersion test of self-piercing riveting aluminium joint. *Materials & Design* [online]. Elsevier, April 2013, **46**, 849–856. [cit. 24. 3. 2021]. ISSN 0261-3069. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2012.11.016>
- [13] HE, X., WANG, Y., LU, Y. et al. Self-piercing riveting of similar and dissimilar titanium sheet materials. *Int J Adv Manuf Technol* [online]. Springer Link, 2015, **80**, 2105–2115. [cit. 24.3.2021]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7174-3>
- [14] HAQUE, Rezwanul. DURANDET, Yvonne. Strength prediction of self-pierce riveted joint in cross-tension and lap-shear. *Materials & Design* [online]. Elsevier, 15 October 2016, **108**, 888–678. [cit. 2. 3. 2021]. ISSN 0264-1275. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.07.029>
- [15] ŠTĚPÁN, Pavel. *Predikce únavové životnosti nýtových spojů*. Praha, 2017. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [16] MELICHAŘÍK, Ondřej. Vliv technologie výroby na pevnostní vlastnosti nýtového spoje. Ostrava, 2019. Diplomová práce. Vysoká škola Báňská – technická Univerzita Ostrava.

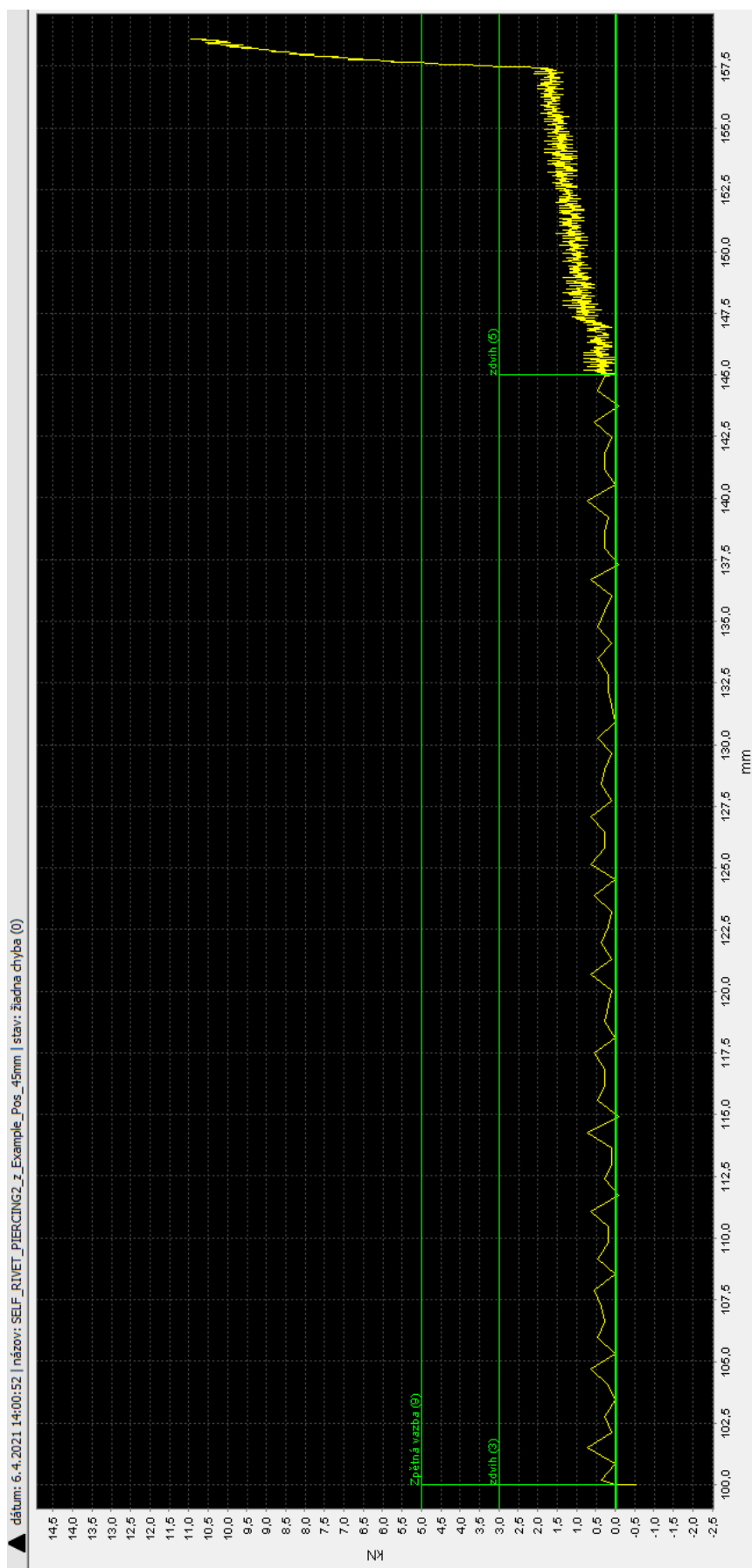
[17] Aalco Metals Limited. *Aluminium Alloy - Commercial Alloy - 5754 - H111 Treadplate* [online]. 2021 [cit. 27.3.2021]. Dostupné z: [https://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy-5754-H111-Treadplate\\_142.ashx?fbclid=IwAR2V9dKegrYvMiHi9eGqF44BrRWIYio6aNLsNRpX6p4pBFk3-PDTThvwAKY](https://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy-5754-H111-Treadplate_142.ashx?fbclid=IwAR2V9dKegrYvMiHi9eGqF44BrRWIYio6aNLsNRpX6p4pBFk3-PDTThvwAKY)

## SEZNAM PŘÍLOH

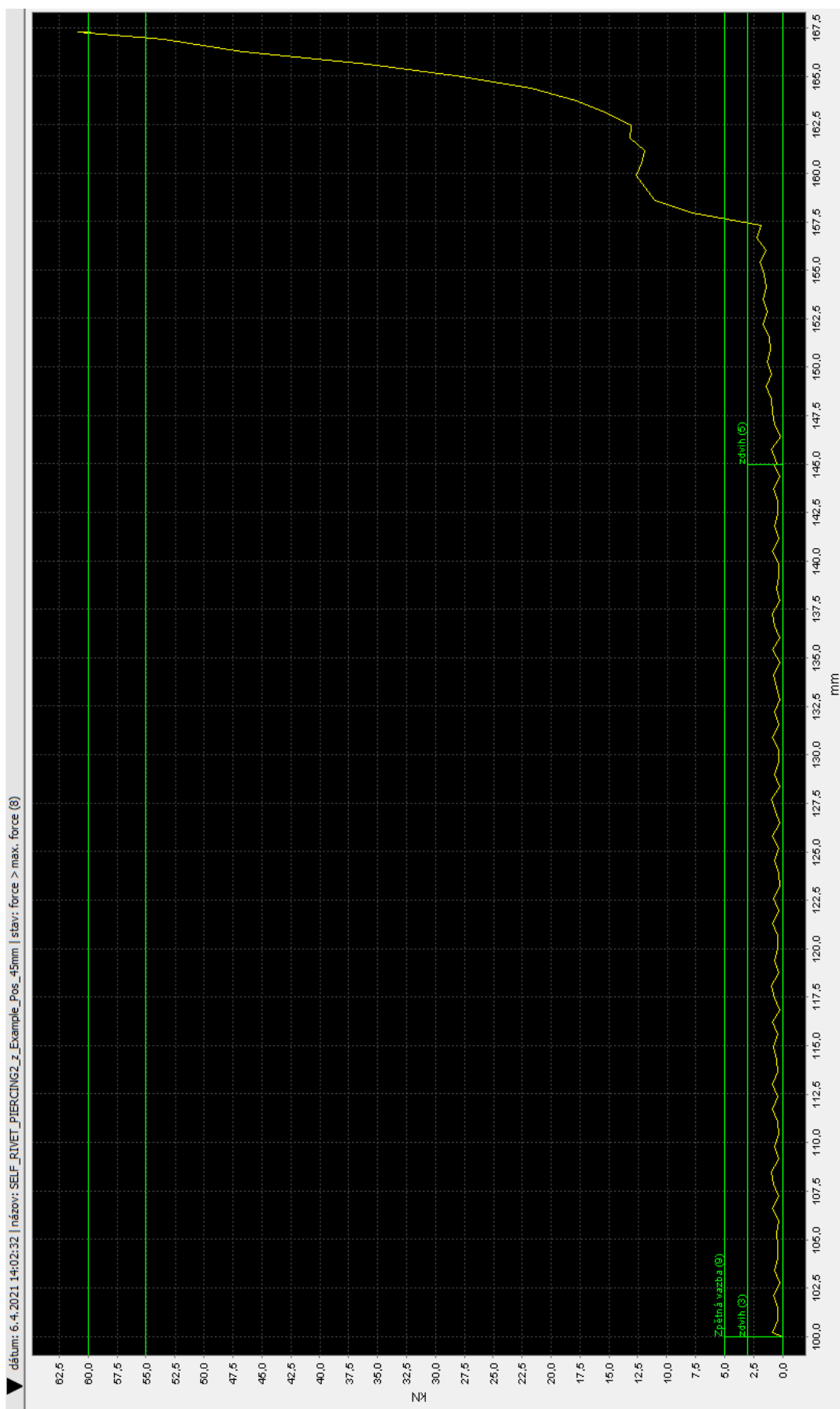
|   |    |
|---|----|
| Příloha č. 1 Report nýtování slitiny EN AW-5083 H111 .....    | 69 |
| Příloha č. 2 Průběh procesu nýtování první sady vzorků .....  | 70 |
| Příloha č. 3 Průběh procesu nýtování druhé sady vzorků.....   | 71 |
| Příloha č. 4 Průběh procesu nýtování třetí sady vzorků .....  | 72 |
| Příloha č. 5 Průběh procesu nýtování čtvrté sady vzorků ..... | 73 |
| Příloha č. 6 Průběh procesu nýtování šesté sady vzorků.....   | 74 |
| Příloha č. 7 Průběh procesu nýtování sedmé sady vzorků .....  | 75 |
| Příloha č. 8 Průběh procesu nýtování osmé sady vzorků .....   | 76 |

| TOX® PRESSOTECHNIK   |                                      | TOX®-Test report   |                                       |
|--|--------------------------------------|--|---------------------------------------|
| VŠB-TU Ostrava - FMMI<br>Katedra materiálů a technologií<br>pro automobily<br>17. listopadu 2172/15<br>708 33 Ostrava - Poruba |                                      | <b>Self-Pierce Rivet</b><br>Contact person:<br>Stefan Tepper |                                       |
| <b>Test Report: 18850016.01DE</b>  |                                      | Version 1 / 08.05.2018                                       |                                       |
| Project:   | Studentcar                           |  |                                       |
| Project component:   |                                      |  |                                       |
| Project component designat.:   |                                      |  |                                       |
|  | <b>Thickness:</b>                    | <b>Coating:</b>  | <b>Thick coating:</b> <b>Surface:</b> |
|  Joining direction                            | Material: EN AW-5083 H111    3.00 mm |  | washed<br>washed                      |
|  | Adhesive: 3M DP460NS Off-White       |  |                                       |
|  | Material: EN AW-5083 H111    3.00 mm |  | washed<br>washed                      |
| Hardened glue:   | yes                                  |  |                                       |
| <b>Test results: Self-Pierce Rivet</b>   |                                      |  |                                       |
| The strengths determined during the test TOX®-by guidelines:   |                                      |  |                                       |
| Pull strength:   | 4700 N                               |  |                                       |
| Shear strength:  | 9500 N                               |  |                                       |
| Press force incl. hold-down force:   | 55 kN                                |  |                                       |
| Joining speed:   | 120 mm/s                             |  |                                       |
| Element name:  | SPR 5,30x8,00H4AM H K50844AY00-G02DP |  |                                       |
| Rivet diameter:  | 5.30 mm                              |  |                                       |
| Rivet length:  | 8.00 mm                              |  |                                       |
| <b>Remarks:</b>  |                                      |  |                                       |

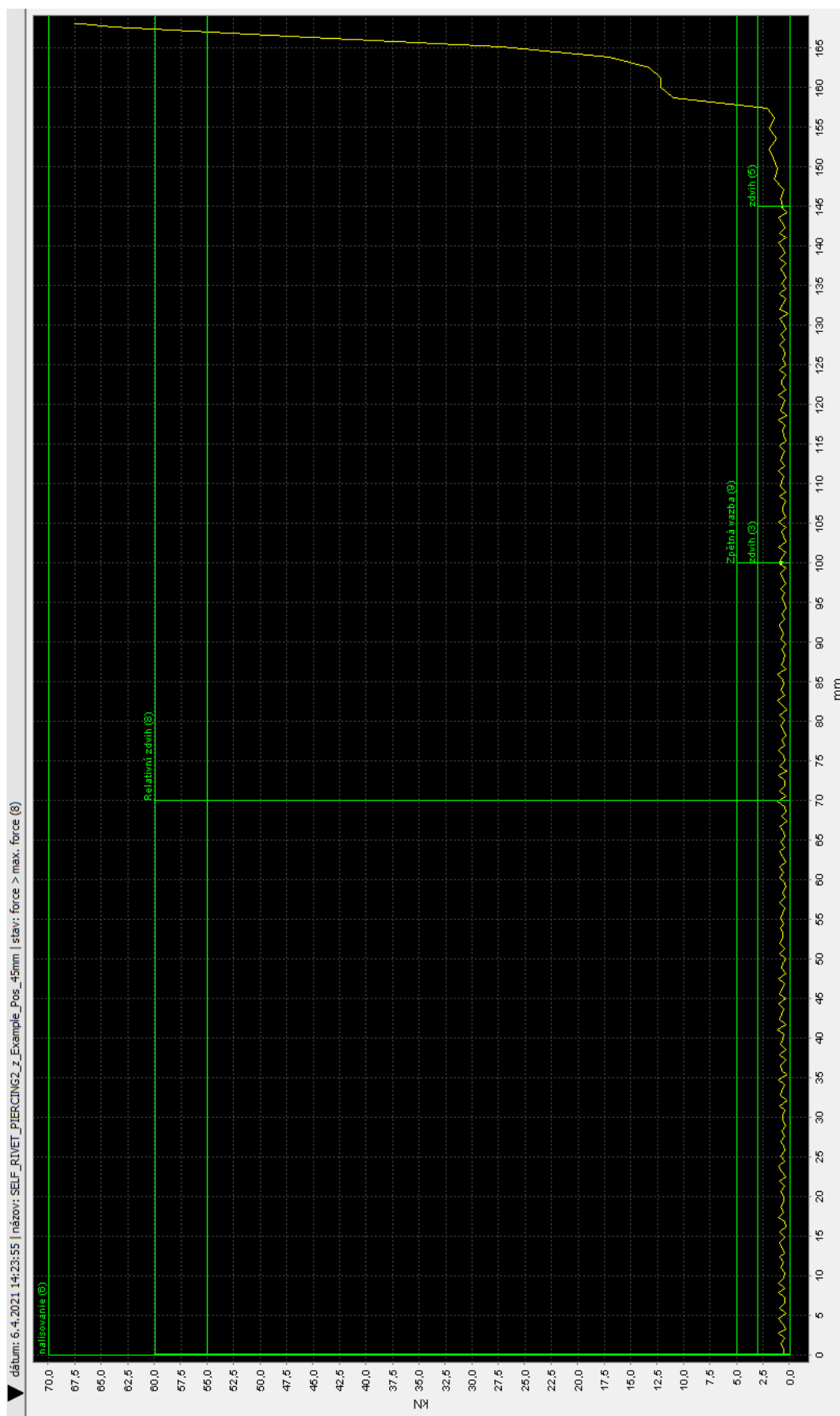
Příloha č. 2 Průběh procesu nýtování první sady vzorků



Příloha č. 3 Průběh procesu nýtování druhé sady vzorků

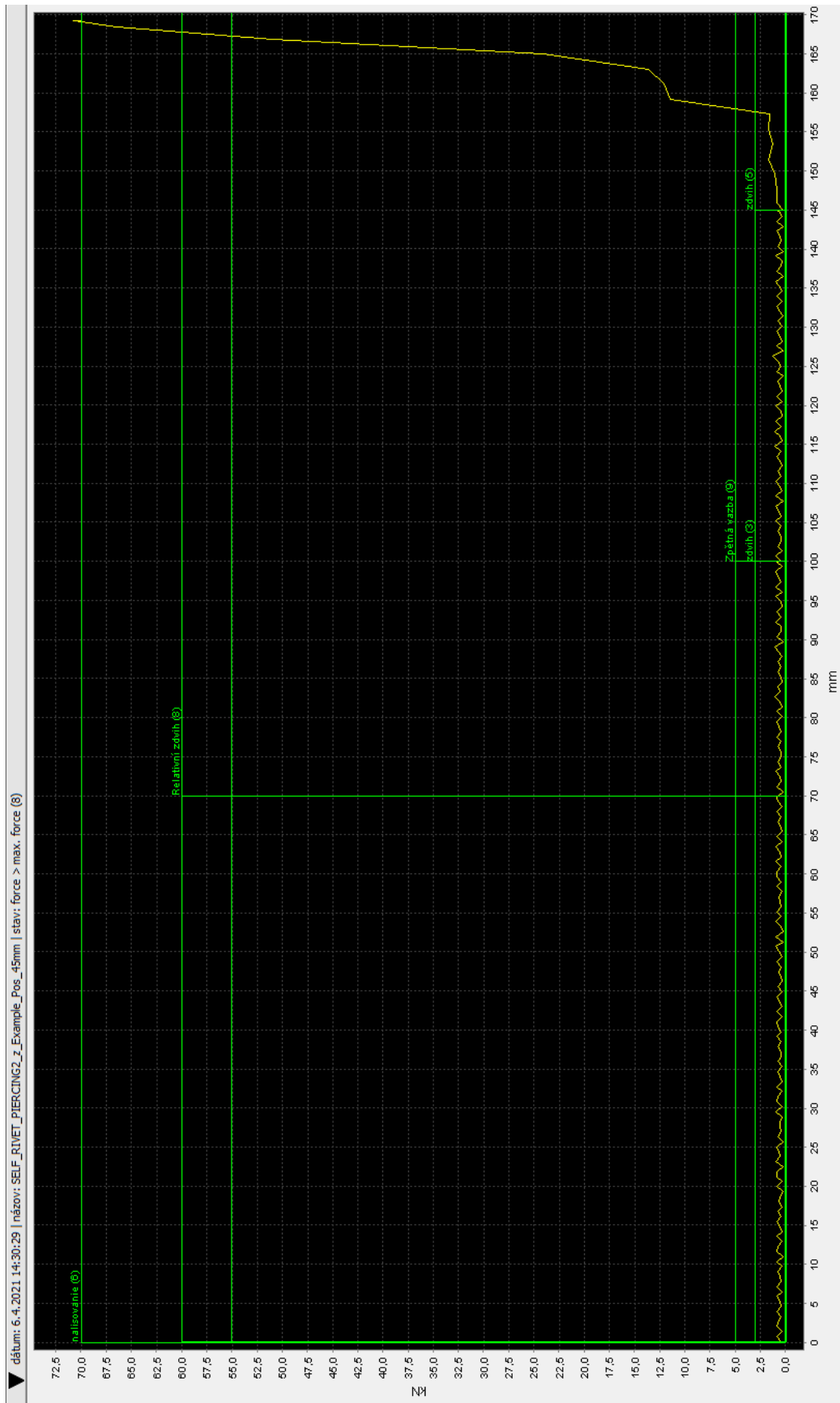


Příloha č. 4 Průběh procesu nýtování třetí sady vzorků

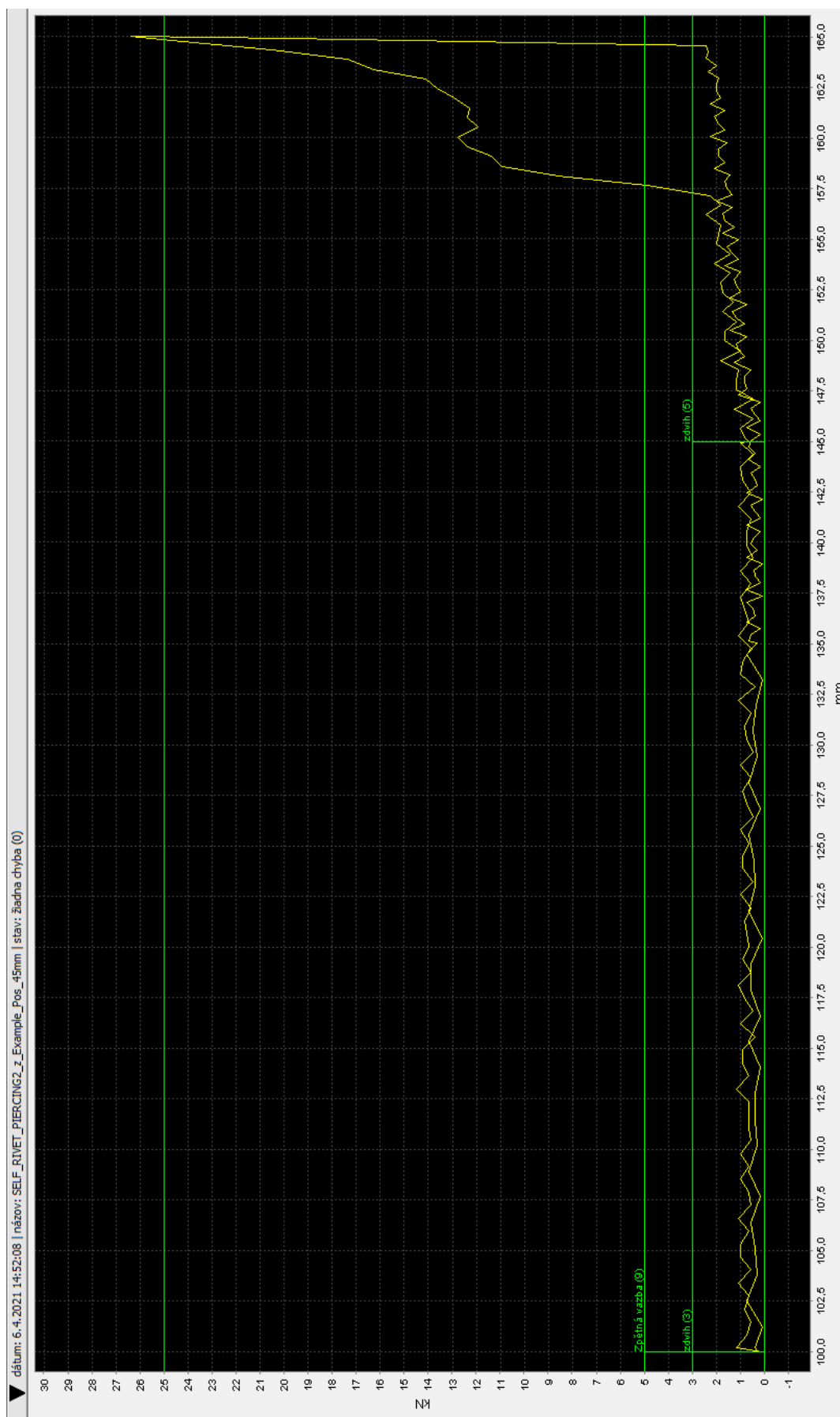




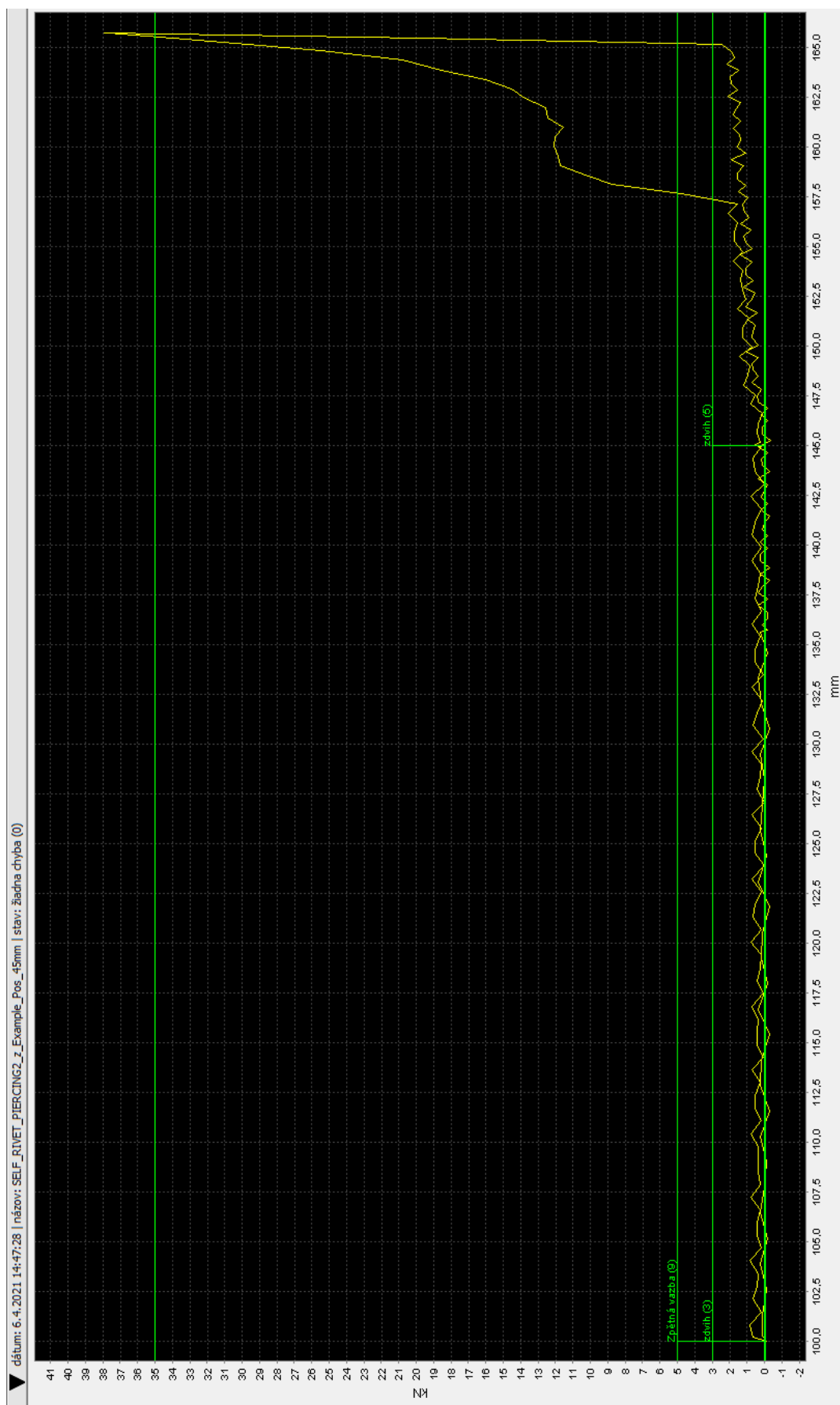
Příloha č. 5 Průběh procesu nýtování čtvrté sady vzorků



Příloha č. 6 Průběh procesu nýtování šesté sady vzorků



Příloha č. 7 Průběh procesu nýtování sedmé sady vzorků



Příloha č. 8 Průběh procesu nýtování osmé sady vzorků

