

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

Katedra materiálu a strojírenské technologie



**Výzkum nýtovaných spojů využívaných
při konstrukčních spojích**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Autor práce: Bc. Jakub Kužel

PRAHA 2017

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jakub Kužel

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Výzkum nýtovaných spojů využívaných při konstrukčních spojech

Název anglicky

Research on riveted joints used in structural bonds

Cíle práce

Student zpracuje informace o problematice využití technologie nýtování v oblasti konstrukčních spojů. Vyvodí možnosti a limity při současném přihlédnutí ke všem aspektům spojeným s jejich aplikací a využíváním v praxi.

Těchto poznatků využije při plánování a následném provedení laboratorních experimentů s důrazem na přínos pro technickou praxi v oblasti aplikace technologie nýtování. Na základě vlastních poznatků vysloví tvrzení o mezním stavu v oblasti aplikace nýtování. Cílem výzkumu bude zejména hodnocení mechanických vlastností nýtovaných spojů.

Metodika

Současný stav řešeného problému (literární rešerše).

Cíl práce a metody jejího zpracování.

Řešení podstaty dané problematiky.

Přínos a závěry práce.

Doporučený rozsah práce

cca 60 stran

Klíčová slova

konstrukce, modelování, nýt, pevnost

Doporučené zdroje informací

ADAMS, R. D., COMYN, J., WAKE, W. C.: Structural adhesive joints in engineering. 2nd ed. London: Chapman & Hall, 1997.

BRANDON, D., KAPLAN, W. D.: Joining Processes: An introduction. Chichester: Wiley, 1997.

Časopis: International Journal of Adhesion and Adhesives, Composite structures, Research in Agricultural Engineering, International Journal of Solids and Structures, Journal of Materials Processing Technology, Surface and Coating Technology, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Strojírenská technologie, The journal of adhesion, Journal of material science, The Journal of Physical Chemistry, International Journal of Fatigue, Journal of materials processing technology, Polymer Degradation and Stability, Manufacturing technology

DAVIES, G.: Materials for automobile bodies. Oxford: Butterworth – Heinemann, 2003.

MESSLER, R. W.: Joining of materials and structures from pragmatic process to enabling technology. Burlington: Elsevier, 2004.

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 15. 9. 2016

doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 9. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 02. 02. 2017

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Výzkum nýtovaných spojů využívaných při konstrukčních spojích vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne _____

Bc. Jakub Kužel

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Miroslavovi Müllerovi, Ph.D. za odbornou pomoc, jeho přístup a cenné rady, které mi poskytoval po dobu vedení mé diplomové práce.

Poděkování patří též mé přítelkyni Ing. Ladě Janečkové za její neutuchající podporu a nezměrnou trpělivost v průběhu celého mého studia. V neposlední řadě patří poděkování i mé rodině, která mi vždy byla velkou oporou.

Výzkum nýtovaných spojů využívaných při konstrukčních spojih

Abstrakt: Diplomová práce se zabývá problematikou technologie nýtování v oblasti konstrukčních spojů. Jejím cílem je provedení a vyhodnocení experimentu na základě znalostí shrnutých v literární rešerši. V literární části jsou definovány jednotlivé druhy nýtových spojů, typy nýtů, metody nýtování a výpočty nýtových spojů. Následně je ve zkrácené formě nastíněna numerická počítačová metoda konečných prvků. V závěru literární části jsou charakterizovány materiály nýtů a jejich využití v oblasti leteckého, automobilového a stavebního průmyslu. V experimentální části je analyzován postup celého experimentu, od postupu přípravy vzorků přes realizaci, až po zpracování výsledků. Experimentální část je rozdělena na praktickou část destrukční zkoušky nýtovaných spojů s různým geometrickým uspořádáním nýtů, z pohledu smykové pevnosti spoje. A na část teoretickou, kde je pomocí numerické metody konečných prvků posuzován vliv geometrického uspořádání nýtů v závislosti na rozložení napětí ve spoji. V závěrečné části práce jsou shrnuty výsledky experimentu a diskuze o vlivu jednotlivých faktorů na hodnocené parametry nýtových spojů.

Klíčová slova: Konstrukce, modelování, nýt, pevnost

Research on riveted joints used in structural bonds

Summary: This thesis examines riveting technology in the area of structural joints. Its objective is to undertake and evaluate an experiment based on knowledge summarized in the literature review. The literature review provides definitions of various kinds of riveted joints, types of rivets, riveting methods and calculations of riveted joints. Subsequently, computer implementation of finite element method is briefly outlined. At the end of the literature review, rivet materials and their use in the aerospace, automotive and construction industries are characterized. The experimental part of the thesis analyses the experiment process, from sample preparation process to implementation, to results processing. The experimental part is divided into practical destructive tests of riveted joints with different geometrical arrangement of the rivets, in terms of shear joint strength; and a theoretical part, where the effect of the geometrical arrangement of the rivets, depending on the stress distribution in the joint is assessed, using finite element method. The final part of the thesis summarizes the results of the experiment and a discussion of the impact of various factors on the evaluated parameters of riveted joints is presented.

Key words: Design, modelling, rivet, strength

OBSAH

1	ÚVOD.....	1
2	CÍLE PRÁCE A METODIKA	2
2.1	Cíl práce	2
2.2	Metodika	2
3	LITERÁRNÍ ČÁST - PROBLEMATIKA NÝTOVÝCH SPOJŮ	3
3.1	Základní rozdělení nýtových spojů	4
3.1.1	Přímé nýtování	4
3.1.2	Nepřímé nýtování	4
3.2	Druhy nýtů	6
3.2.1	Plné nýty	6
3.2.2	Duté a poloduté nýty	7
3.3	Metody nýtování	9
3.3.1	Nýtování plných nýtů.....	9
3.3.2	Nýtování nýtů pro spoje přístupné z jedné strany.....	13
3.3.3	Nýtování lisovacích nýtů SPR	14
3.4	Výpočty nýtových spojů	16
3.4.1	Mez pevnosti v tahu.....	16
3.4.2	Mez pevnosti ve smyku	16
3.4.3	Tažnost.....	17
3.4.4	Únosnost nýtového spoje	17
3.4.5	Deformační práce pro vytvoření závěrné hlavy plného nýtu.....	18
3.4.6	Princip zatížení nýtového spoje	20
3.5	Technologičnost nýtových spojů.....	21
3.6	Metoda konečných prvků.....	22
3.6.1	Liniové prvky.....	22
3.6.2	Plošné prvky	22
3.6.3	Objemové prvky	23
3.6.4	Speciální prvky	23
3.6.5	Teorie výpočtu	23
3.7	Nýty a nýtové spoje v leteckém průmyslu	25
3.7.1	Materiál nýtů.....	25

3.7.2	Nejčastější druhy nýtů v leteckém průmyslu	26
3.8	Nýtové spoje v automobilovém průmyslu	28
3.8.1	Materiál nýtů	28
3.8.2	Použití nýtů v automobilovém průmyslu	29
3.9	Nýtové spoje ve stavebním průmyslu	31
3.9.1	Materiál nýtů	31
4	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	33
4.1	Cíle experimentální části práce	33
4.2	Zkoušky jakosti materiálu vzorků	34
4.2.1	Materiál testovacích vzorků	34
4.2.2	Zkušební vzorky	34
4.2.3	Popis měřicího stroje LabTest 5.50 ST	35
4.2.4	Průběh trhací zkoušky vzorku plechu	36
4.2.5	Příprava nýtovaných vzorků	37
4.3	Destrukční zkouška nýtových spojů	41
4.4	Řez nýtový spojem	42
4.5	Metody zpracování výsledků	44
4.5.1	Aritmetický průměr	44
4.5.2	Směrodatná odchylka	44
4.5.3	Variační koeficient	44
4.6	Výsledky experimentu	45
4.6.1	Výsledky destrukční zkoušky materiálu vzorků	45
4.6.2	Výsledky nýtového spoje s trhacími nýty	46
4.6.3	Výsledky nýtového spoje s plnými leteckými nýty	49
4.6.4	Zkoušky MKP	53
4.7	Diskuse výsledků praktické a teoretické zkoušky	59
5	ZÁVĚR	60
6	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	62
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	67
8	SEZNAM OBRÁZKŮ	70
9	SEZNAM TABULEK	73
10	SEZNAM PŘÍLOH	74

1 ÚVOD

Konstrukční spojení dílů v celek je v naší době stále neodmyslitelnou částí většiny složitějších výrobků. Výroba dílů z plného materiálu a následné opracování je skoro ve všech případech neekonomické a u většiny dílů nereálné řešení. Nové technologie v oblasti vytváření dílů i celých sestav pomocí metody 3D tisku (Selective Laser Sintering) jde mílovými kroky kupředu, avšak stále jsou tu určitá omezení (pevnostní, materiálová, rozměrová atd.), která zamezují, aby tato technologie dokázala v dohledné době nahradit nutnost využití konstrukčních spojů.

Spoje lze rozdělit z pohledu demontáže na dva základní druhy a to rozebíratelné a nerozebíratelné. Rozebíratelné spoje je možné definovat jako konstrukční spojení dílů, u kterých lze provést demontáž a zpětnou montáž bez poškození spojovaných součástí (vyjma např. povrchové ochrany lakováním), odstraněním spojovacích prvků za pomoci předdefinovaných montážních operací. Mezi tyto prvky těchto spojů se řadí šrouby, čepy, kolíky, pera a svěrné spoje. Opakem jsou nerozebíratelné spoje. Do této skupiny lze zařadit pájení, lepení, mechanické spojování (Clinching, lemování), svařování a v neposlední řadě spojení nýty, o kterém tato diplomová práce pojednává. U těchto spojů je demontáž možná pouze s mechanickým porušením základních součástí, nebo spojovacího materiálu.

Spojování pomocí nýtového spoje mělo největší rozkvět v 19. století, kdy se ruku v ruce s rozvojem metalurgie implementovalo do všech průmyslových odvětví, hlavně však do loďařství a pozemního stavebnictví. Koncem druhé světové války jeho oblíbenost začala postupně klesat a docházelo k nahrazování jinými spojovacími metodami, nejčastěji svařováním. V určitých oborech nýtování přetrvalo až dodnes a zůstává dokonce hlavním spojovacím prvkem. Klasickým případem je obor letectví, kde i na nejmodernějších konstrukcích letadel je stále využíváno standardního nýtového spoje. Uvážíme-li, že počet nýtů na větším letadle dosahuje řádu stovek tisíc až milionů, dojdeme k názoru, že další vývoj této technologie, např. ve směru zjednodušení montáže či kvality nýtů, je stále prioritní otázkou.

Správná volba materiálu, tvaru nýtu, nýtové rozteče a průměru nýtu vede ke konstrukčním zjednodušením, ke zmenšení rozměrů, snížení váhy a k úspoře mnoha pracovních hodin. Zároveň správné provedení nýtování zjednodušuje kontrolu, počet zmetků, zaručuje bezpečnost konstrukce a prodlužuje její život. V případě dodržení těchto zásad je možné vytvářet nýtované spoje a následně konstrukce, které splňují nejvyšší jakostní a bezpečnostní požadavky kladené např. v oboru letectví a zároveň nezanedbatelné ekonomické aspekty, jež jsou v dnešní době také jedním z hlavních požadavků kladených na výrobky.

2 CÍLE PRÁCE A METODIKA

2.1 Cíl práce

V této diplomové práci budou zpracovány informace o problematice využití technologie nýtování v oblasti konstrukčních spojů. Budou vyvozeny možnosti a limity při současném přihlédnutí ke všem aspektům spojeným s jejich aplikací a využíváním v praxi. Bude využito poznatků pro rozvržení a následné provedení laboratorních experimentů se zaměřením i na přínos pro technickou praxi v oblasti aplikace technologie nýtování. V závěru budou na základě zjištěných poznatků v teoretické a experimentální části shrnuty mechanické vlastnosti při aplikaci nýtových spojů.

2.2 Metodika

V literární rešerši, která představuje první část práce, jsou shromážděny poznatky o problematice nýtových spojů a metod nýtování jak z pohledu druhu nýtů, tak i s přihlédnutím na využití v oboru leteckém, automobilovém a stavebnictví.

Druhá část práce řeší experimentální výzkum vlivu geometrického umístění trhacích nýtů a plných leteckých nýtů na únosnost jednostranně přeplátovaného spoje. Nýtované spoje jsou vytvořeny ve čtyřech variantách a to geometrické uspořádání nýtového spoje s jedním nýtem uprostřed, s uspořádáním tří nýtů podélně uprostřed, s uspořádáním tří nýtů příčně uprostřed a s uspořádáním tří nýtů do písmene „V“. Experimentální výzkum je proveden jak metodou destrukční zkoušky na trhacím stroji LabTest 5.50 ST ve vlastnictví Technické fakulty ČZU, tak i simulací pomocí metody konečných prvků v MKP editoru NX NASTRAN 10.0-64bit dle definovaných parametrů.

Přínosem a závěrem diplomové práce je grafické a písemné zhodnocení výsledků daných experimentů výzkumu únosnosti spoje v závislosti na geometrickém uložení nýtů s doporučením dalšího výzkumu v rámci této problematiky.

3 LITERÁRNÍ ČÁST - PROBLEMATIKA NÝTOVÝCH SPOJŮ

První zmínky o nýtování se objevují již okolo roku 3000 před Kristem a to na území Egypta. Egypťané je využívali ke spojování součástí pro výrobu jednoduchých strojů, náradí a zároveň jako dekorační prvek. V době Galské a Římské říše se nýtový spoj stal standardním spojovacím prvkem částí zbroje, oděvů, postrojů pro zvířata atd. Zároveň se už v této době objevují zmínky o tzv. „Bouterolle“, což je „předek“ nýtovacího nástroje hlavičkář, využívaný ke spojování kovových plátů v oboru kotlářství. Ve francouzsky mluvících zemích tento název přetrval až dodnes. V průběhu 7. až 8. století se dle dochovaných zpráv nýt hojně využíval u národu Vikingů, kteří s ním spojovali části svých lodí, kterými prováděli své obávané nájezdy na okolní národy. [13, 14, 15]

K největšímu rozkvětu nýtových spojů došlo okolo roku 1840, kdy vývoj nýtovací techniky zlepšil její použitelnost v praxi, a probíhal vývoj materiálů, ze kterých bylo možné nýty i konstrukce vyrobit. Hlavní parametry, které v minulosti omezovaly využitelnost nýtů, byla tloušťka nýtů a s tím spojená nutnost velkého otvoru pro vložení nýtu a zároveň jejich tvárnost. Odstranění těchto omezujících vlastností, díky rapidnímu pokroku v metalurgii oceli, mělo za následek, že se nýtování masově rozšířilo do všech průmyslových oblastí výroby. [13, 14, 15]

Od roku 1810 se v oblasti výroby kotlů poprvé zavedlo horké nýtování a to zahříváním nýtu před nýtováním. Parní stroje, kotle lokomotiv a lodí byly vyráběny díky této technice až do počátku 20. století. Nýtování se nevyhnulo ani oblasti železných a ocelových konstrukcí, kde ovlivnilo a přispělo k racionalizaci procesu výroby tohoto odvětví již ve fázi návrhu. Kromě toho nýtované spoje daly více možností jak inženýrům, tak i architektům, kteří díky tomu mohli začít využívat lehčí konstrukční materiály a zároveň doplňovat konstrukce jinými materiály, např. sklem, a to v závislosti na sociálních, ekonomických a kulturních požadavcích této doby. [13, 14, 15]

S nadsázkou by se dalo říct, že by se té době dalo říkat kromě století páry také období nýtování. Snižování masivního využití nýtování začalo okolo roku 1930, kdy tuto metodu započalo nahrazovat svařování elektrickým obloukem. V určitých oblastech průmyslu si však nýtování udrželo popularitu až dodnes, příkladem může být letectví, stavebnictví, elektrotechnika, oděvnictví či přesná mechanika. [13, 14, 15]

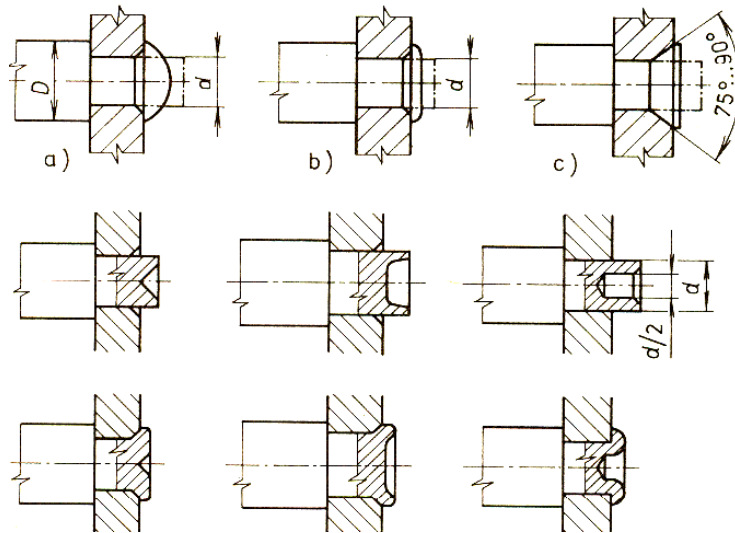
3.1 Základní rozdělení nýtových spojů

Nýtování je montážní operace, kterou se provádí pevné nebo pohyblivé nerozebíratelné spojování dvou a více součástí, přechováním čepu nýtu a tím vytvářením závěrné hlavy. Rozebrání daného spoje lze jen za pomoci poškození nýtu či spojovaných součástí. Spojovací metodu nýtování lze rozdělit na dvě hlavní skupiny a to přímé a nepřímé nýtování.

3.1.1 Přímé nýtování

Přímé nýtování je metoda, kdy není využíván ke spojení dvou dílů přídavný materiál, například nýt, ale spojení je provedeno pouze spojovanými díly. Na prvním dílu je vytvořen dřík a do druhého dílu je vrtán či vystřižen otvor pro vsunutí prvního dílu. Následně jsou díly spojeny vytvořením závěrné hlavy roznýtováním dříku (obr. 1). Tímto způsobem se spojují méně namáhané díly a dřík se nejčastěji roznýtovává za studena tak, aby nedošlo k tepelnému ovlivnění materiálu. Pro tento typ spoje je vyžadována dobrá tvárnost materiálu za studena. Příkladem použití můžou být součásti v přesné mechanice nebo stavební kování. [5]

Obr. 1 Příklady přímého nýtování [6]



3.1.2 Nepřímé nýtování

Nepřímé nýtování je metoda, kdy je využíván ke spojení dvou či více dílů přídavný materiál, který se označuje jako nýt. Spojované díly se netvarují, pouze se do nich vytvoří vrtáním či prorážením otvor a vloží nýt, kterému se tvářením vytvoří závěrná hlava. [5]

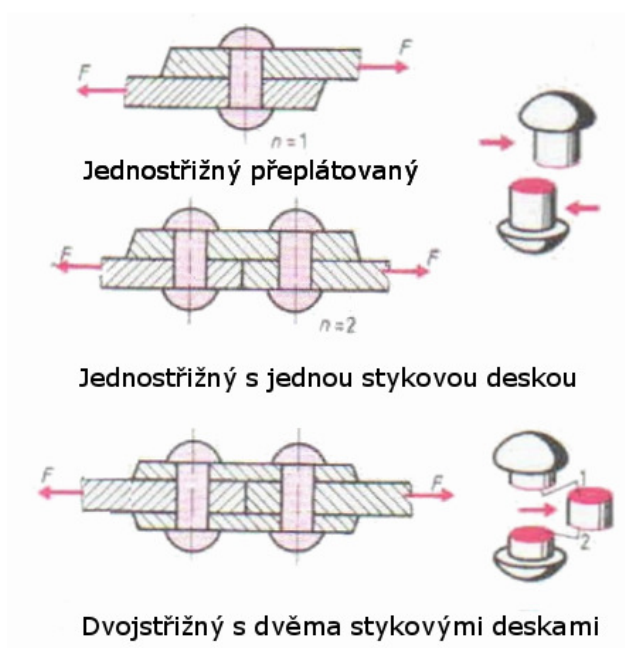
Nýtování podle účelu

Nýtování podle účelu lze rozdělit do tří skupin, které už svým názvem určují jejich vlastnosti a využití. Pevné nýtové spoje slouží ke spojení dílů, u kterých je potřeba zajistit velký přenos sil. Příkladem může být mostní konstrukce. Na nepropustné spojení jsou kladeny požadavky, které musí zajistit, aby přes nýt neunikala kapalina či plyn. Příkladem takové aplikace jsou například nádrže na vodu. Třetí skupina je kombinací prvních dvou, kdy na spoje jsou kladeny nároky, aby přenášely velké síly a zároveň byly těsné. Zde jsou příkladem součásti namáhané velkým tlakem, jako potrubí či kotlů. [5]

Nýtování podle počtu průřezů a vzájemné polohy plechů

Rozdělení nýtování dle počtu průřezů je definováno jako počet možných průřezů, kde může dojít ke střížení nýtu, což úzce souvisí se vzájemnou polohou plechů. Můžeme je rozdělit na jednostřížné, dvojtřížné, přeplátované, přeplátované s jednou stykovou deskou a se dvěma stykovými deskami (obr. 2). [5]

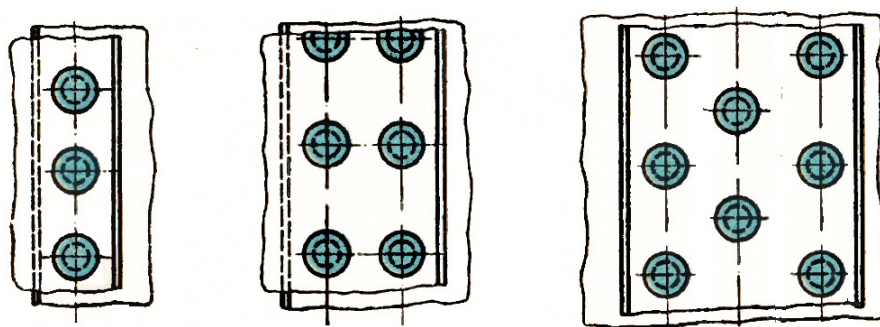
Obr. 2 Nýtování podle počtu průřezů a vzájemné polohy plechů [7]



Nýtování podle počtu nýtových řad

Dle počtu nýtových řad lze nýty rozdělit do tří kategorií a to jednořadé, dvořadé a víceřadé, v závislosti na vzájemné poloze nýtových spojů na jednom dílu. Nýty zároveň mohou být uspořádány rovnoběžně či střídavě při dvoj- a víceřadém uspořádání (obr. 3). [5]

Obr. 3 Jednořadé, dvouřadé a víceřadé uspořádání nýtů [3]



3.2 Druhy nýtů

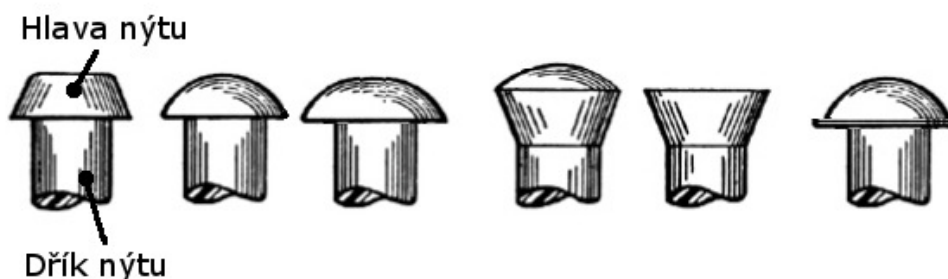
V průmyslovém odvětví se využívá velké množství druhů nýtů s různými účely použití. Nejčastěji je možné se setkat s plnými nýty, které se dělí na přesné, konstrukční, kotlové a lodní. Druhou kategorií jsou nýty duté, poloduté a pro spoje přístupné z jedné strany. Do třetí kategorie, tzv. speciálních nýtů, jsou řazeny speciální nýty, mezi které lze zahrnout lisovací nýty a výbušné nýty.

3.2.1 Plné nýty

Plné nýty se skládají z dříku a hlavy nýtu. Mezi přesné a konstrukční nýty se řadí nýty s plochou půlkulatou hlavou, půlkulatou hlavou a čočkovou hlavou (obr. 4). Tyto nýty se používají ve spojích, kde není omezení místa pro přiložení hlavičkáře, podpěrného hlavičkáře či hlava nebude konstrukčně překážet jinému dílu konstrukce. Zápustné nýty se dělí na nýty se zápustnou hlavou a se zápustnou čočkovou hlavou. Jejich konstrukce umožňuje zanýtování hlavy zároveň s plochou spojovaného materiálu. Úhel hlavy zápustných nýtů, respektive zahloubení pro ně, se pohybuje v rozmezí od 78° do 120° dle jejich využití a dle norem, podle kterých se vyrábí. Třetí skupinu tvoří kotlové nýty, jejichž dřík je kuželovitého tvaru a mají mírně větší hlavu s nákrůžkem, díky níž je utužením zajištěna těsnost spoje. [7]

Nýty mohou být z výroby osazeny tzv. kompenzátorem, což je výstupek přesně definovaného tvaru a rozměru, umístěný na hlavě nýtu. Funkce kompenzátoru spočívá ve zlepšení únavových vlastností nýtového spoje. Kompenzátor je při nýtování rozpěchován do hlavy nýtu a tím nastane ztužení povrchové vrstvy hlavy nýtu. Při cyklickém namáhání se často stává, že právě v místě hlavy dojde ke vzniku trhliny. V případě využití technologie kompenzátoru je možné zvýšit únavovou životnost nýtu až desetinásobně. Velký vliv na násobek zvýšení životnosti má však přesnost a správnost zanýtování spoje. [12]

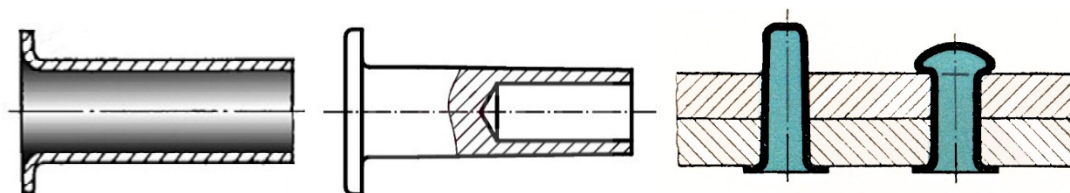
Obr. 4 Nýt s plochou, půlkulatou a čočkovou hlavou, nýt zapuštěný, nýt kotlářský [8]



3.2.2 Duté a poloduté nýty

Duté nýty se vyznačují tvarem trubičky, která má na jednom konci lem (obr. 5). Tento typ nýtů je možné použít pouze v místech, kde je přístup z obou stran, jako u plných nýtů. Výhodou dutých nýtů je oproti jiným nýtům nízký požadavek na sílu k vytvoření závěrné hlavy. Využití dutých nýtů je nejčastěji pro spojení dvou nekovových součástí s kovovými součástmi, nebo pro vytvoření zdiřky pro zasunutí konektoru v elektrotechnickém odvětví. Původní poloduté nýty měly tvar jako náprstek a dřík se roznýtoval přímo na závěrnou hlavu. Výhoda byla v jeho hmotnosti a zároveň do určité míry utěsněném spoji. Poloduté nýty, které jsou v současnosti vyráběny, svým tvarem připomínají konstrukční nýty, jen v dříku částečně dutina jejich stěny slouží k vytvoření závěrné hlavy. Tento druh nýtů se využívá v aplikacích, kde se předpokládají menší síly v ose nýtu. [3]

Obr. 5 Dutý nýt, polodutý nýt, původní polodutý nýt [3,11]

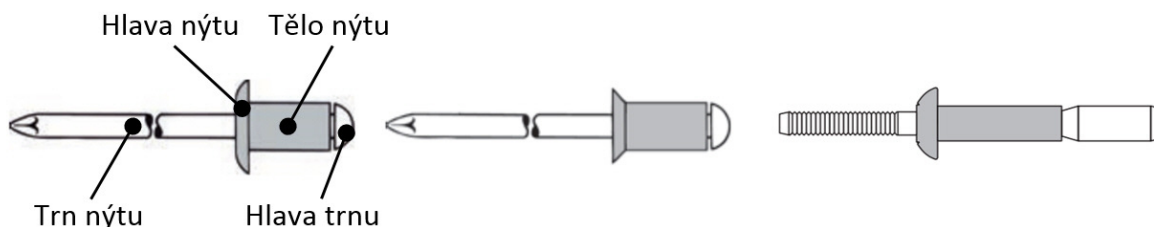


Speciální nýty a nýty pro spoje přístupné z jedné strany

Vývoj v technických oborech si vyžádal vyšší požadavky pro jednoduchost a přístup montáže v oblasti nýtování, jehož výsledkem jsou nýty pro spoje přístupné z jedné strany. Do této skupiny lze zařadit nýty, jejichž závěrná hlava se vytváří zaražením kolíku, nýty pro nýtování slepených spojů a zvláštní druh dutého nýtu, tzv. nýt s trnem. Nýt s trnem se skládá z dutého nýtu, který má část dosedací plochy hlavy a těla nýtu, následně pak trnu nýtu, který je rozdělen na hlavu trnu, místo záštipu a odtrhovací část trnu. Provedení samotných nýtů je dostupné ve velkém množství od hladkého, vroubkovaného či závitového trnu po hladké,

vroubkované, či uzavřené tělo nýtu (obr. 6). Jeho uplatnění je nejčastěji při spojování tenkých plechů, při výrobě kovového nábytku, v letectví či pro karosářské opravy. [7]

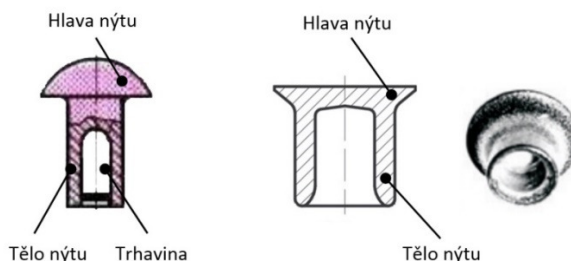
Obr. 6 Trhací nýt s plochou kulatou hlavou, se zápusťnou hlavou, se závitovým trnem [16]



Do kategorie speciální nýty lze zařadit nýty výbušné a lisovací nýty (obr. 7). Výbušný nýt je založen na principu plného nýtu, který má ze spodní části dříku vyvrtaný otvor s vloženým malým množstvím trhaviny, která je utemována a uzavřena v dříku. Při tepelném ovlivnění nýtu na teplotu okolo 120-130 °C dojde ke vznícení a detonaci trhaviny, která má za následek plastické přetvoření části nýtu na závěrnou hlavu. Proces odpálení je možné provést i elektrickým výbojem. Tento druh nýtů se využívá v letectví ke spojení tenkých plechů, avšak z důvodu specifických nároků na výrobu, přepravu a skladování je jeho využití nahrazováno stále častěji trhacími nýty. [7]

Historicky nejmladším druhem nýtů jsou lisovací nýty, tzv. Self-piercing rivets (SPR). Tento druh zavádí do oboru nýtování úplně novou technologii spojení plechů. Do spojovaných dílů, respektive plechů, není v tomto případě nutné předvrtávat otvor pro vložení nýtu. Nýt je konstrukčně založen na tvaru polodutých nýtů, či plných nýtu. Hlavní rozdíl při procesu nýtování je takový, že kromě plastické deformace nýtu dochází i k plastické deformaci spojovaných materiálů. Největší uplatnění mají tyto nýty v automobilovém průmyslu, kde se tato metoda velmi rychle rozvíjí a v některých oblastech nahrazuje metodu bodového svařování.

Obr. 7 Výbušný nýt a SPR narážecí nýt [18,7]



3.3 Metody nýtování

Metody nýtování jsou odlišné pro plné nýty, nýty s trnem, narážecí nýty i duté nýty. Jedno mají však společné, vždy je k roznýtování potřeba vnější energie, pomocí níž se část nýtu řízeně deformuje.

3.3.1 Nýtování plných nýtů

Při tvorbě nýtového spoje je nutné nejprve vypěchovat dřík tak, aby vyplnil otvor pro nýt, který se u přesnějších spojů vyvrtává či vysekává s přídávkem 0,1 mm větším nežli je vkládaný nýt. Ze zbývajících materiálu dříku, který vystupuje ze spoje plechů, se následně vytvoří závěrná hlava. Základní rozdělení dle druhu energie potřebné k zanýtování je možné na nýtování opakovanými údery a nýtování plynulým tlakem. [2]

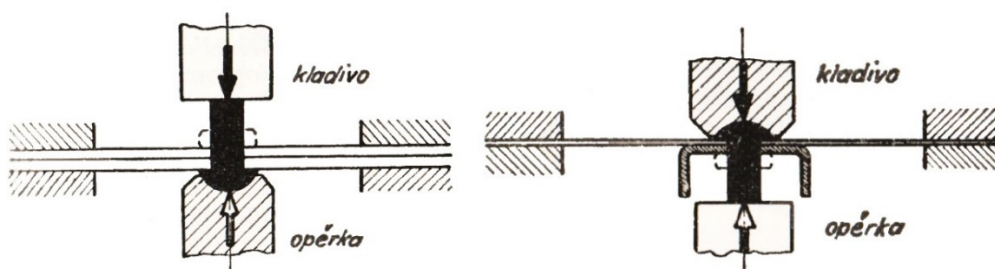
Nýtování opakovanými údery

Při tváření nýtového spoje pomocí rázů je potřeba deformační energie k napěchování dříku a vytvoření závěrné hlavy. Tato energie se dodává ve formě kinetické energie kmitající hmoty (frekvence a hmota pístu pneumatického kladiva či ručního kladívka a pružně uložené opěrky). Velikost práce je úměrná počtu kmitů kladiva či počtu úderů na nýt. [3]

Nýtování přímé a nepřímé

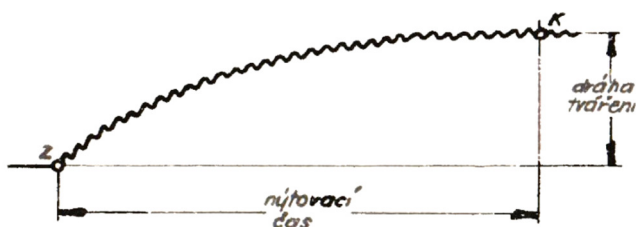
Nýtování opakovanými údery lze rozdělit na nýtování přímé a nepřímé. U přímého nýtování je spoj vytvářen úderem hlavičkáře na dřík nýtu (obr. 8). Většinou se tento druh nýtování využívá při ručním nýtování silnostěnných nepružných součástí, kdy je k zanýtování využito ruční kladivo. Pneumatické kladivo se v tomto případě nevyžívá z důvodu, že hlavičkář pneumatického kladiva špatně vede na dříku a může snadno sklouznout a vyboulit pak spojované plechy. Toto pravidlo neplatí u nýtování nýtů větších rozměrů na stavebních konstrukcích, kde dochází ke spojování tlustostěnných profilů.

Obr. 8 Popis metody přímého a nepřímého nýtování [3]



Druhým způsobem je nepřímé nýtování, kde se ráz směřuje na opěrnou hlavu nýtu a reakce opěrky přetváří pěchováním dřívka na závěrnou hlavu (obr. 8). Tato metoda má omezení v tom, že spojované součásti musí dovolit kmitání, tzn. tenkostěnný spoj. V případě, že spojované součásti vykazují vyšší tuhost, má to za následek, že se vytvoří slabá závěrná hlava, protože část přiváděné energie je zmařena na rozkmitání spojovaných součástí. Zároveň dochází kvůli většímu počtu úderů, které jsou potřeba k zanýtování, k tomu, že se příliš rozklepe opěrná hlava anebo dokonce popraská, což jsou nechtěné stavy a spoj je pak vadný. Závislost mezi nýtovacím časem a dráhou tváření je možné vidět na diagramu záznamu nýtování pneumatickým kladivem, kde každá vlnka označuje jeden úder kladiva (obr. 9). [3]

Obr. 9 Průběh záznamu nýtování pneumatickým kladivem [3]



Důležitým aspektem pro oba druhy nýtování je frekvence nýtování, hmotnost kladiva a zároveň hmotnost opěrného hlavičkáře. Při tváření postupnými rázy se tvářený materiál nýtu zpevňuje a tím roste i množství práce, které je nutné k překonání pružných deformací. Naopak práce pro vlastní tváření v plastickém stavu se snižuje, protože práce dodaná jedním úderem pneumatického kladiva je konstantní. K vytvoření závěrné hlavy je potřeba více práce při použití rychlorázných kladiv, nežli při použití pomalurázných kladiv. Správná hmotnost kladiva a hlavičkáře musí odpovídat rozměrům nýtu. V případě nedodržení této podmínky hrozí, že bude nýtovací kladivo odskakovat z důvodu malého odporu podpěry. [3]

Nýtování opakovanými úderů ruční a strojní

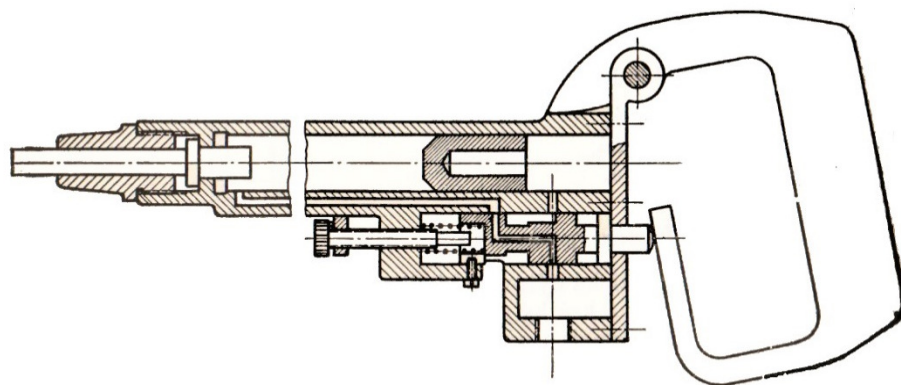
Ruční nýtování obyčejným kladívkem, hlavičkáři a přitažníkem se v sériové výrobě používá už velmi zřídka. Důvodem je jeho nízká rychlost a s tím spojená vyšší cena práce. Vytvoření závěrné hlavy je dáno hmotností, počtem úderů kladiva a velikostí vynaložené síly k tomuto úkonu. Mezi průměrem nýtu a hmotností použitého kladiva je určitý vztah, který je pro správně provedený nýtový spoj nutné dodržovat (např. pro průměr nýtu 2,6-3,5 mm je vhodné kladivo o hmotnosti 200 g). Maximální počet úderů pro vytvoření závěrné hlavy se dle dílenské praxe udává jako desetinásobek průměru nýtu v mm.

Nejvíce rozšířeným nástrojem, který se používá pro ruční nýtování, je pneumatické kladivo. Počet úderů za minutu je podstatně vyšší, nežli u nýtování kladívky. U pneumatického kladiva jsou konstrukcí většinou pevně dané tři parametry ze čtyř a to velikost čelní plochy pístu, hmota pístu a délka zdvihu. Z těchto faktů vyplývá, že pokud je potřeba změnit frekvenci úderů kladiva, pak to lze jen pomocí čtvrtého parametru, kterým je tlak vzduchu. Změna tlaku vzduchu je realizována stavitelným škrťacím šoupátkem. Změna tlaku je však přímo úměrná velikosti rázové síly a frekvenci a to v poměru 2:2:1. Tzn. snížením tlaku vzduchu o 10 % dojde ke snížení deformační energie o 10 % a frekvence kladiva o 5 %. [3]

Pneumatická kladiva lze rozdělit dle dvou hlavních parametrů:

- Dle druhu rozvodu:
- a) Bezventilová - rozvod řízen pístem
 - b) Ventilová - rozvod řízen samostatným ventilem, který je přestavován pístem
- Dle počtu úderů za minutu:
- a) Rychlorázná (3000-5000 úderů/min)
 - b) Pomalurázná (800 úderů /min)
 - c) Jednorázová (1 úder na jednu spoušť kladiva - obr. 10)

Obr. 10 Konstrukční schéma v řezu jednorázového nýtovacího kladiva [1]

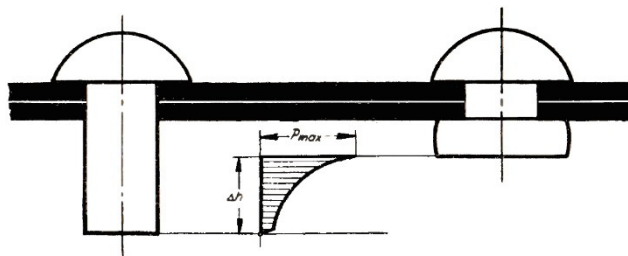


Strojní nýtování opakovanými údery pro nýtování plných nýtů se v současné době už nevyužívá. Jeho funkci plnohodnotně nahradilo strojní lisování.

Nýtování plynulým tlakem

Při tváření nýtového spoje tlakem je taktéž potřeba deformační energie k napěchování dříku a vytvoření závěrné hlavy. Tato energie se dodává ve formě tlaku přes hlavičkář lisu na nýtový dřík a opěrku, která je uchycena na pevném rameni lisu. Oproti nýtování rázem má tato metoda výhodu v kontinuálním průběhu pěchování a tím i snížení celkové práce pro zanýtování dříku nýtu, protože nedochází k opětovnému překonávání pružných deformací (obr. 11). Pěchovací tlak je podstatně vyšší nežli u nýtování rázovými kladivky a v průběhu tváření závěrné hlavy exponenciálně narůstá, např. u duralového nýtu průměru 3 mm je to až 1200 kg. [2]

Obr. 11 Průběh práce v závislosti na deformaci dříku [2]



Při lisování závěrné hlavy je nezanedbatelným faktorem rychlost lisování, která má vliv na jakost spoje. Výzkumy bylo dokázáno, že pokud proběhne nýtovací sekvence vyšší rychlostí (okolo 1300 mm/min), pak je kvalita spoje mnohem vyšší, nežli při pomalém lisování, kdy se vyskytovala poškození, jako např. roztržená hlava či trhlinky. Kladnými faktory metody lisování je odstranění rázů a hluku a dokonalé ovládnutí nýtovacího pochodu.

Nýtování ruční a strojní

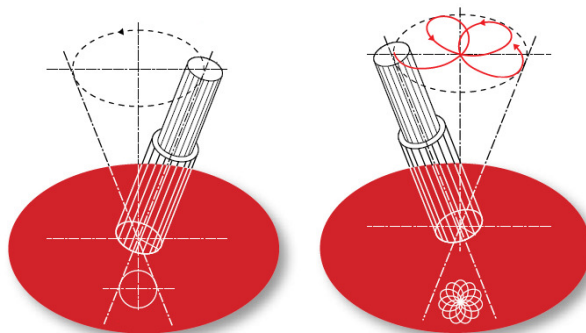
Nýtovací lisy se vyrábějí jako přenosné ve formě ručních lisů, které jsou určeny pro nýtování menších průměrů, a stabilní nýtovací stroje pro větší výkony. Dle způsobu generování pěchovacího tlaku je možné je rozčlenit ještě do čtyř podskupin:

- a) Pneumatické
- b) Excentrické
- c) Hydraulické
- d) Kombinované

Ruční nýtovací lisy jsou buď přepákované mechanickým převodem či na bázi stlačeného vzduchu, tzn. pneumatické. Pro větší průměry nýtů a pro nýtování spojů dále od kraje plechu se kvůli narůstající hmotnosti, která je s těmito aspekty spojena, využívá stabilních nýtovacích strojů. K vyvození lisovacího tlaku se nejčastěji využívá pneumaticko-hydraulický převod působící na horní posuvně uložený píst.

Nejmladší strojní nýtovací technologií je radiální a orbitální lisování nýtů. Obě metody jsou také založeny na plynulé deformaci dřívku nýtů působením tlaku hlavičkáře, který zároveň obíhá předem definovanou trajektorii (obr. 12). U orbitálního nýtování se jedná o trajektorii připomínající kopretinu a u radiálního nýtování se otáčí nástroj okolo vertikální osy a zároveň opisuje kužel, jehož vrchol je umístěn v těžišti hlavy nýtu. [20]

Obr. 12 Radiální a orbitální nýtování [20]



3.3.2 Nýtování nýtů pro spoje přístupné z jedné strany

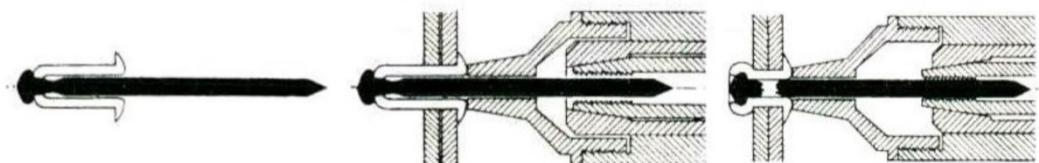
Hlavním představitelem nýtů pro spoje přístupné pouze z jedné strany jsou tzv. trhací nýty. Tyto nýty nahradily díky své jednoduchosti montáže a široké škále vlastností, se kterými se vyrábějí pro každý druh průmyslového odvětví, dříve využívané nýty. Mezi tyto představitele patřil např. Isemannův nýt, Brunetův nýt, Chaubertův nýt. Trhací nýt je založen na principu nýtu s dutým dřívkem, ve kterém je usazen protahovací trn s vypěchovaným kuželovitým či kulovým koncem tzv. hlavou trnu. Profil protahovacího trnu není po celé délce souměrný, v části kousek za hlavou trnu bývá zeštíhlen pro řízené utrnutí trnu při zanýtování nýtu. Otvor pro nýt se v plechu vyvrtává či vysekává s přídávkem 0,1 mm větším, nežli je vkládaný nýt. Tyto nýty mají zastoupení jak s vyčnívající hlavou, tak se zápustnou hlavou. [1]

Technologie nýtování trhacích nýtů

Nýtovací nástroj se přes redukční hlavicí nasadí na trn nýtu, který je vložený v otvoru spojovaných plechů, a pomocí kleštiny v nástroji se trn nýtu sevře. Přes pákový mechanismus,

či pneumatický píst dochází k posunu nýtovacího trnu a vtláčováním hlavičky do těla nýtu je tvářena závěrná hlava rozpěčováním těla dutého nýtu. Popřípadě u trhacích nýtů s odlišnou konstrukcí je deformována stěna nýtů působením namáhání na vzpěr, válcovou hlavičkou nýtovacího trnu přes spodní plochu těla dutého nýtu (obr. 13).

Obr. 13 Průběh nýtování trhacích nýtů [6]



Rozdělení nástrojů pro nýtování trhacích nýtů

Nýtovací nástroje pro trhací nýty lze rozdělit do několika skupin:

- a) Ruční nýtovací kleště
- b) Ruční nůžkové a pákové kleště (obr. 14)
- c) Elektromechanické pistole
- d) Pneumatické či pneumaticko-hydraulické pistole (obr. 14)

Obr. 14 Pneumaticko-hydraulická pistole a ruční nůžkové kleště [16]



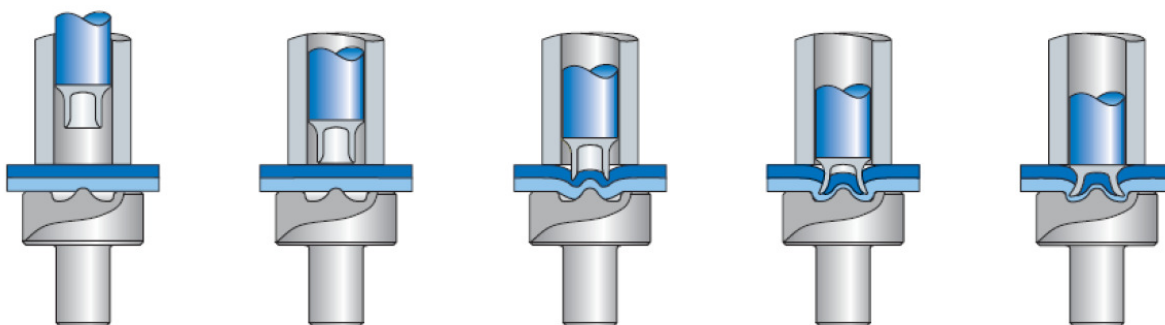
3.3.3 Nýtování lisovacích nýtů SPR

Při tvorbě nýtového spoje lisovací metodou SPR (Self-piercing riveting) lze vycházet ze dvou možných variant. První variantou je vlisování polodutého nýtu a druhou je vlisování plného nýtu s vystřihnutím otvoru ve spojovaných materiálech samotným nýtem.

Nýtování polodutých nýtů SPR

Proces nýtování polodutých nýtů začíná sevřením spojovaných plechů mezi čelisti nýtovacího stroje (obr. 15). Horní část čelistí má tvar trubkového profilu a její účel je jak stlačení nýtovaných plechů k sobě, tak i jako zásobník pro nýty. Dolní část čelistí je tvarová matrice, která při nýtování funguje jako opěrná část a zároveň určuje tvar plasticky deformovaných plechů a rozevření nýtu. Nýt uložený uvnitř trubkového profilu horní čelisti je postupně lisováním vtlačován beranem do vrchního materiálu. Dalším působením síly začíná nýt pronikat skrz vrchní materiál, až ho prostříhne, a v tento moment se přes nýt oba dva materiály začínají vtláčovat do spodní matrice, která udá tvar spodní straně spojení. Zaoblený kuželový střed matrice působí na materiál i nýt jako klín a díky němu je vytvořen silový zámek. [22]

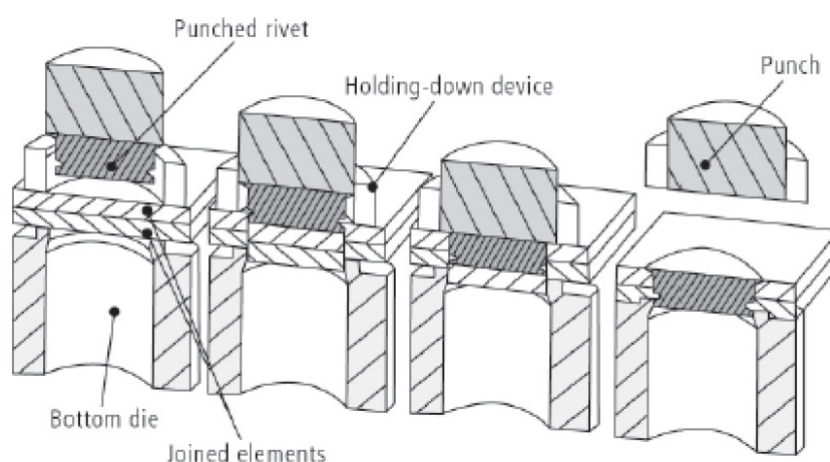
Obr. 15 Postup nýtování polodutých nýtů metodou SPR [22]



Nýtování plných nýtů SPR

Proces nýtování plných nýtů metodou SPR začíná stejným způsobem jako polodutých nýtů a to sevřením spojovaných plechů mezi čelisti nýtovacího stroje. Horní část čelistí má tvar trubkového profilu a její účel je jak stlačení nýtovaných plechů k sobě, tak i jako zásobník pro nýty. Nýt uložený uvnitř trubkového profilu horní čelisti je postupně lisováním vtlačován beranem do vrchního materiálu. Vtlačovaný nýt, na který působí síla od beranu, postupně přes osazení dolní čelisti prostříhne spojované materiály a je beranem dotlačen na střed spojovaných plechů. Dle druhu nýtu a stroje je pomocí dolní, nebo horní a dolní čelisti napěchován materiál okolo nýtu a tím je materiál zpevněn, čímž je nýt zajištěn přes silový zámek v dané pozici (obr. 16). [22]

Obr. 16 Postup nýtování plných nýtů metodou SPR [22]



3.4 Výpočty nýtových spojů

3.4.1 Mez pevnosti v tahu

Mez pevnosti v tahu R_m je maximální napětí, odpovídající největšímu zatížení tahem F_{max} v ploše průřezu a osovém směru, které předchází porušení materiálu. Napětí je v průřezu rozloženo teoreticky rovnoměrně. [24]

$$R_m = \frac{F_{max}}{S} \quad (1)$$

kde je: R_m ... mez pevnosti v tahu [MPa]

S ... plošný obsah průřezu [mm²]

F_{max} ... maximální zatěžující síla [N]

3.4.2 Mez pevnosti ve smyku

Mez pevnosti ve smyku τ_s je maximální napětí, odpovídající největšímu zatížení smykem F_{max} v ploše průřezu, které předchází porušení materiálu. Napětí je v průřezu rozloženo teoreticky rovnoměrně. [24]

$$\tau_s = \frac{F_{max}}{S} \quad (2)$$

kde je: τ_s ... mez pevnosti ve smyku [MPa]

S ... plošný obsah průřezu [mm²]

F_{max} ... maximální zatěžující síla [N]

3.4.3 Tažnost

Poměrné prodloužení při přetržení v rámci zkoušky tahem se nazývá tažnost materiálu A a obvykle se vyjadřuje v procentech.

$$A = \frac{l_u - l_o}{l_o} \cdot 100\% \quad (3)$$

kde je: A ... tažnost [%]

l_u ... délka po protažení [mm]

l_o ... počáteční měřená délka [mm]

3.4.4 Únosnost nýtového spoje

Přenášení síly z jednoho dílu plechu do druhého vyvolává v nýtu namáhání. Nejčastěji se pro zjednodušení složitosti výpočtů řeší únosnost jen ve smyku nýtu a otláčení. Nýty jsou zároveň namáhány i na ohyb, i když toho namáhání je znatelné, v praxi se s ním nepočítá. Při návrhu nýtového spoje se postupuje tak, že se stanoví únosnost nýtu ve smyku N_l , následně únosnost na otláčení N_o a pro dimenzování tloušťky plechů či průměru nýtu se zvolí hodnota, která vychází nižší.

Únosnost nýtu ve smyku

Únosnost jednostřížného nýtu N_l či vícestřížného nýtu N_n je rovna průřezové ploše S_o nýtu odporující smykem. Dle toho, kolika plochami nýt odporuje smyku, rozlišujeme nýty jednostřížné a vícestřížné. [1]

$$N_l = S_o \cdot \tau_s = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \tau_s \quad (4)$$

$$N_n = n \cdot S_o \cdot \tau_s = n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \tau_s \quad (5)$$

kde je: N_l ... únosnost jednostřížného nýtu [N]

N_n ... únosnost vícestřížného nýtu [N]

d ... průměr nýtu [mm]

n ... počet nýtů [-]

S_o ... plošný obsah průřezu nýtu [mm²]

τ_s ... dovolené napětí nýtu ve smyku [MPa]

Únosnost nýtu na otláčení

Únosnost na otláčení F_o , u spojení dvou plechů, je rovna násobku nejmenší tloušťky z obou plechů, průměru otvoru pro nýt a hodnoty dovoleného tlaku na otláčení p_o . [1]

$$F_o = d \cdot t \cdot p_o = S_o \cdot p_o = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot p_o \quad (6)$$

kde je:

- F_o ... únosnost na otláčení [N]
- d ... průměr nýtu [mm]
- t ... tloušťka plechu [mm]
- p_o ... dovolené napětí na otláčení [MPa]
- S_o ... plošný obsah průřezu nýtu [mm²]

V případě, že je zvolena podmínka (tak jak je to třeba u pozemního stavitelství), že dovolené napětí nýtu ve smyku τ_s je polovina hodnoty dovoleného tlaku na otláčení p_o , pak lze definovat vztah pro návrh tloušťky stěn [1]:

$$t \cong 0,4 n \cdot d \quad (7)$$

kde je:

- t ... tloušťka plechu [mm]
- n ... počet nýtů [-]
- d ... průměr nýtu [mm]

3.4.5 Deformační práce pro vytvoření závěrné hlavy plného nýtu

Elementární práce

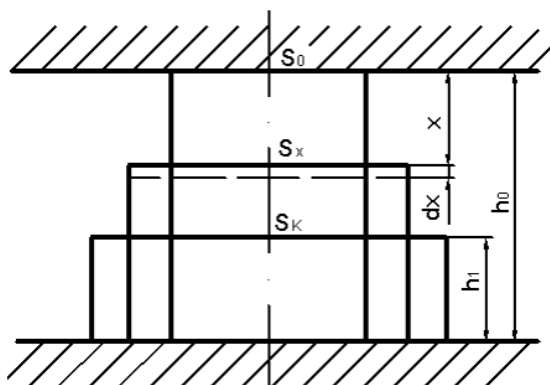
Při stlačení díku nýtu ve vzdálenosti x od počátku deformace o hodnotu dx vzniká elementární práce dA , kterou lze vyjádřit vztahem. [23]

$$dA = F \cdot dx = S_x \cdot p_o \cdot dx \quad (8)$$

kde je:

- dA ... elementární práce
- F ... přetvářecí síla [N]
- S_x ... průřez ve vzdálenosti x [mm²]
- p_o ... přetvárný odpor [MPa]

Obr. 17 Schéma práce při přetváření dříku plného nýtu [23]



Průřez ve vzdálenosti x

Velikost tvářeného průřezu S_x lze vyjádřit na základě podmínky stálosti objemu pěchovaného polotovaru (obr. 17). [23]

$$S_x = \frac{V_o}{h_o - x} \quad (9)$$

- kde je:
- S_x ... tvářený průřez [mm^2]
 - V_o ... objem pěchovaného dříku nýtu [mm^3]
 - h_o ... počáteční výška dříku nýtu [mm]
 - x ... proměnná vzdálenost [mm]

Ideální deformační práce

Pokud se vztah elementární práce dA integruje v mezích $x = 0$ až $x = h_o - h_1$, získá se vztah pro výpočet ideální deformační práce A k zanýtování dříku nýtu. [23]

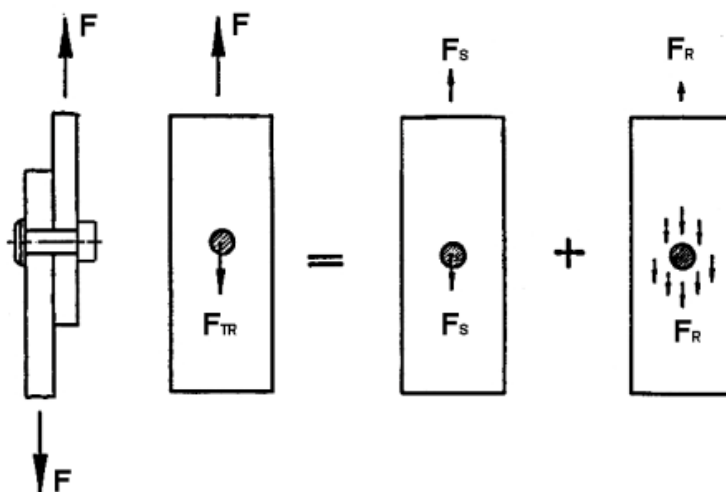
$$A = p_o \cdot V_o \cdot \int_0^{h_o - h_1} \frac{1}{h_o} \cdot dx = p_o \cdot V_o \cdot \ln \frac{h_o}{h_1} \quad (10)$$

- kde je:
- A ... ideální deformační práce [J]
 - h_1 ... konečná výška dříku nýtu [mm]
 - h_o ... počáteční výška dříku nýtu [mm]
 - V_o ... objem pěchovaného dříku nýtu [mm^3]
 - p_o ... přetvárný odpor [MPa]

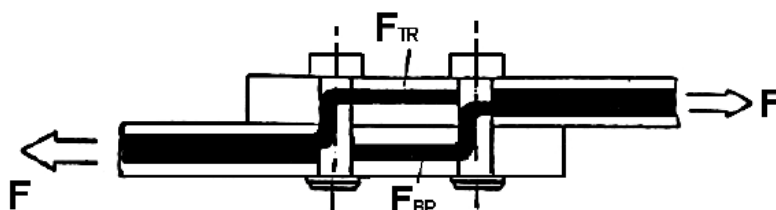
3.4.6 Princip zatížení nýtového spoje

Vlastní silový přenos v jednoduchém nýtovém spoji je nastíněn ve schématu uvedeném na obrázku 18 a 19. Celková přenášená síla F je složena ze dvou složek a to složky přenášené smykem F_S a složky přenášené třením F_R . [27].

Obr. 18 Složení sil v jednoduchém nýtovém spoji [28]



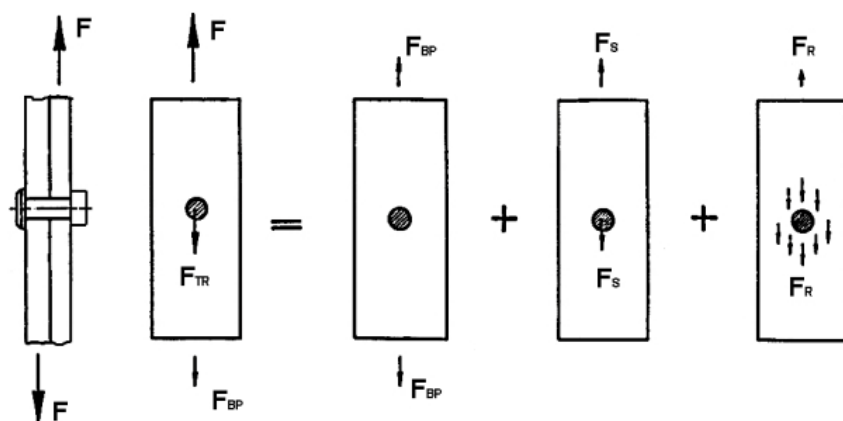
Obr. 19 Složení sil v jednoduchém nýtovém spoji [28]



Celková síla F , působící ve vícenásobném nýtovém spoji, je složena ze součtu složek síly přenesené nýtem F_{TR} a síly přenesené ostatními nýty F_{BP} . Silová složka F_{TR} je stejně jako u jednoduchého nýtového spoje složena ze dvou složek a to složky přenášené sílu smykem F_S a složky přenášené sílu třením F_R (obr. 20). V případě, že nýtový spoj obsahuje pouze spojení jedním nýtem, pak se složka přenosu síly ostatními nýty F_{BP} neuvažuje. [27].

Smyková síla F_S je přenášena mezi tělem nýtu a stěnou otvoru nýtu. Třecí síla F_R se vytváří mezi stykovými plochami dílů jako výsledek normálové síly vzniklé při zanýtování. Technologii nýtování lze velikost třecí síly ovlivnit. Třecí síla F_R je závislá na velikosti tvářecí síly, a na tom, zdali je spoj vytvořen nýtováním rázy či lisováním [27].

Obr. 20 Složení sil v jednom nýtu ve vícenásobném nýtovém spoji [28]



V případě skutečných nýtových spojů nelze však uvažovat pouze o působení smykového namáhání, které působí na poškození nýtu, ale je nutné skoro ve všech případech počítat i s namáháním ohybem. Namáhání ohybem je způsobeno tím, že střední osy plechů jsou odsazeny v určité vzdálenosti. Ohybové namáhání významně ovlivňuje únavovou životnost nýtového spoje [27, 28].

3.5 Technologičnost nýtových spojů

Pokud nýtované konstrukce, resp. nýtové spoje, mají být správně navrženy, musí splňovat dvě podmínky, a to podmínku požadavků na jakost spoje a provedení s co nejnižšími náklady. Na velikost nákladů má vliv jak cena spojovacího materiálu a náradí, tak i čas na vytvoření nýtového spoje. Zde je uvedeno několik pravidel, které mohou tyto podmínky přímo ovlivnit [25]:

- a) otvory pro vložení nýtů vytvořit ve spojovaných dílech současně
- b) nýtové spoje umístit tak, aby k nim byl dobrý přístup při nýtování
- c) při spojování dvou či více dílů různých tvrdostí vytvořit závěrnou hlavu na straně tvrdšího materiálu
- d) v případě spojování dvou či více dílů z různých materiálů vložit mezi materiály izolační vrstvu a použít materiál nýtu, který elektrochemicky nereaguje s materiálem součástí
- e) při spojování dílů s různou tloušťkou stěny vytvořit závěrnou hlavu na materiálu s větší tloušťkou
- f) nepoužívat nýty z materiálu o vyšší pevnosti, nežli jsou spojované materiály. [25]

3.6 Metoda konečných prvků

Metoda konečných prvků (MKP), neboli také nazývaná anglickou zkratkou FEM (Finite Element Method), je numerická počítačová metoda sloužící pro výpočtáře. Tato metoda umožňuje vypočítat napětí i u tvarově složitých součástí, kde by bylo nutné výpočet rapidně zjednodušit, či bychom klasickými prostředky pružnosti a pevnosti příliš neuspěli. Užitečnost metody konečných prvků lze však využít ve více směrech, nežli jen k propočtu napětí, a to například ke zjištění rozložení teplotního pole, elektromagnetických jevů, proudění kapaliny, vlastních frekvencí, stability konstrukcí atd. Pro konstruktéry, zabývající se návrhem nových součástí, je velkým pomocníkem možnost analyzovat součást ještě před jejím uvedením do výroby s případným odhalením slabých stránek součástí. [4, 26]

Zjednodušený princip této metody je založen v náhradě spojitého kontinua do určitého počtu (konečného) prvků, kdy zároveň zjišťované vlastnosti jsou analyzovány v jednotlivých uzlových bodech. Vyřešené vlastnosti v těchto uzlových bodech jsou následně sloučeny v celek, u kterého se vychází z podmínky, že těleso nadále zůstane v celku a nebudou se v něm tvořit žádné dutiny. [4, 26]

Základním krokem je rozdělení tělesa součásti na jednotlivé prvky tzv. node, které se označují jako elementy. Souřadnice a polohu prvku určují uzly, které se vyskytují v rozích či v krajních polohách prvků. Dle tvaru a zatížení součásti se vybere vhodný typ prvku, který se dělí na čtyři hlavní kategorie (obr. 21). [4, 26]

3.6.1 Liniové prvky

Tyto prvky jsou znázorněny úsečkou. Využívají se k zobrazení tlačných či tažených tyčí (ROD) popřípadě nosníků (BEAM či FRAME). Průřez těchto prvků není graficky znázorněn a určovaný je jen za pomoci parametrů (např. kvadratický moment, průřez). [4, 26]

3.6.2 Plošné prvky

Tyto prvky jsou určeny k vytváření plošných dílů s malým poměrem tloušťky vůči ostatním rozměrům. Grafické znázornění je jako rovinná ploška a určují se pomocí reálné konstanty. Tvar těchto prvků bývá od trojúhelníku po osmi-uzlový čtyřúhelník a jsou to prvky typu skořepina (SHELL). [4, 26]

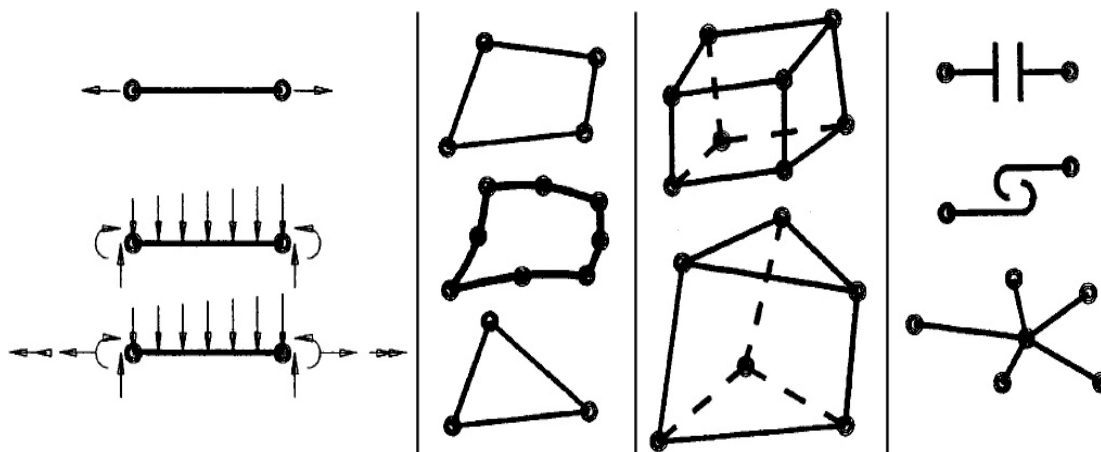
3.6.3 Objemové prvky

Tyto prvky se vyznačují tím, že už mají určitý objem. Jejich využití je v oblastech, kde nelze použít liniové či plošné prvky. Tvar těchto prvků bývá čtyřstěn, pětistěn či osmistěn a jsou to prvky typu SOLID. [4, 26]

3.6.4 Speciální prvky

Mezi tyto prvky patří GAP, HOOK a RIGID Tyto prvky jsou určeny ke speciálním vazbám mezi uzly. GAP slouží k definování volného pohybu dle předdefinované tlakové mezery. HOOK slouží k definování volného pohybu dle tahové mezery a RIGID k proměnnému tuhému omezení mezi uzly. [4, 26]

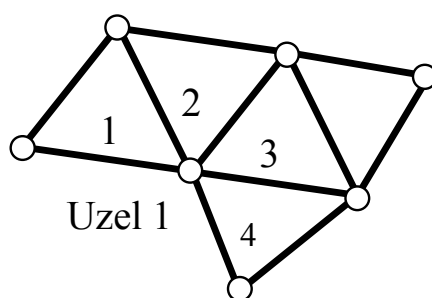
Obr. 21 Liniové, plošné, objemové a speciální prvky [26]



3.6.5 Teorie výpočtu

Prvním krokem při výpočtu pomocí MKP je vymodelování a vytvoření geometrie součásti ve 3D programu (body, křivky, plochy, objemy). Na vymodelované součásti se pomocí programu MKP vygeneruje síť konečných prvků. Obecná napjatost je pro výpočtáře stále velkou neznámou, proto se i trojúhelníkový plošný prvek musí zjednodušit. Zjednodušení je v určení vlastností prvku, např. prvek bude deformován pouze podle lineární funkce. Na základě této podmínky lze z deformace uzlů prvků definovat deformaci v kterémkoliv místě prvku. Každý uzel je deformován, respektive posouván, a natáčen ve třech osách, z čehož vyplývá šest stupňů volnosti. Velmi často bývá uzel společný pro více prvků (obr. 22). [26]

Obr. 22 Společný uzel pro více prvků [26]



Z definované podmínky, že se součásti nemohou rozpadnout, či se uvnitř nich nemohou tvořit dutiny, při působení deformační síly, lze uvažovat, že posuv uzlu počítaného z jednoho prvku se rovná posuvu druhého prvku, který je s prvním prvkem spojen stejným uzlem. Z těchto vztahů mezi prvky lze sestavit konečné množství rovnic, které se vloží do maticové rovnice vnitřní rovnováhy. Každý prvek má svoji vlastní charakteristickou fyzikální závislost, která je např. v mechanice pevného kontinua daná vztahem mezi zatížením (silou) a deformací, tzv. tuhost prvku, a která je reprezentovaná tzv. maticí tuhosti prvků. [4, 26]

$$\bar{K} \cdot \vec{u} = \vec{F} \quad (11)$$

kde je: \bar{K} ... matice tuhosti, závislá na uložení součásti, její geometrii a použitých elementech

\vec{u} ...vektor posuvů neznámých v uzlech

\vec{F} ... vektor vnějších sil

Pro řešitelnost soustavy musí být definovány okrajové podmínky, mezi které patří i ukotvení součásti. V případě, že se počítaná součást neukotví, vyjde ve výsledku rovnic, že soustava nemá řešení. V místech tohoto ukotvení se pak vypočtou reakce. Složitější součásti po rozložení na konečné prvky mohou obsahovat velké množství rovnic, až např. v řádech statisíců. Z důvodu zkrácení výpočtového času jsou v řešení maticových rovnic nahrazeny standardní Gaussovy eliminační metody metodami iteračního řešiče, který je schopen fungovat až stokrát rychleji. [4, 26]

Programy pro výpočet MKP jsou buď samostatné programy jako je např. Nastran, Ansys či COSMOS/M, nebo bývají součástí vyšších CAD programů jako je např. CATIA, Pro/E atd. Výhodou implementace programu MKP do samotného CAD programu je v tom, že programy tím, že jsou od jednoho výrobce, tak vůči sobě perfektně fungují a nejsou geometrické ztráty

při převodu do neutrálních 3D formátů (např. IGS, STEP). Stinnou stránkou bývá ten fakt, že tyto přidružené MKP programy často nejsou na tak vysoké úrovni v rámci analytických možností jako ty samostatně vyvíjené. [4, 26]

Teorie metody konečných prvků je známá už od roku 1940, její uplatnění bylo v té době limitováno výpočetní technikou a absencí 3D modelování. Tyto dva aspekty, které se v posledních 20 letech rapidně vyvíjely kupředu, povolily masovější rozšíření a využití metody konečných prvků na poli vývoje a výroby. [4, 26]

3.7 Nýty a nýtové spoje v leteckém průmyslu

Nýtování je v leteckém průmyslu stále nejpoužívanější způsob spojování plechů vůči sobě a uchycení plechů ke skořepinovému systému podélných a příčných přepážek. Jeden z hlavních důvodů, proč nelze složitější metodu nýtování nahradit svařováním, je, že při svařování slitin hliníku dochází ke změně struktury a ta přímo ovlivňuje snížení pevnosti materiálu. V případě, že by v budoucnu bylo možné tento negativní vliv svařování ovlivnit, či využít jiné alternativní metody spojování, např. lepení, je velká pravděpodobnost, že by částečně nahradily metodu nýtování. U cestovních letounů typu Boeing jde množství nýtových spojů do stovek tisíc, až milionů, s čímž jsou spojeny negativní aspekty typu zvýšení pracnosti při vytváření spojů a následně i ekonomická zátěž vyplývající z větší hmotnosti letounu.

3.7.1 Materiál nýtů

Nýty využívané v leteckém průmyslu jsou nejčastěji vyráběny ze slitin hliníku o různých mechanických vlastnostech. Slitiny hliníku se ukázaly jako nejlepší kompromis mezi pevností a hmotností nýtu. Kladný vliv pro výběr má i fakt, že většina plechů v letecké výrobě je taktéž ze slitin hliníku a tak se snižuje případný vznik koroze z důvodu spojení diametrálně rozdílných materiálů. Nýty pro spoje s nižším požadavkem na pevnost se vyrábějí ze slitin s vysokým obsahem hliníku. Naopak pro spoje s požadavkem na vyšší únosnost či tepelnou odolnost se využívá nýtů ze slitin titanu s niobem a niklu s mědí (viz tab. č. 1). [12]

Označení u plných nýtů je umístěné nejčastěji na hlavě nýtu a definuje materiál i základní vlastnosti nýtu. Rozdělují se do tří skupin dle tvrdosti a druhu tepelného zpracování a to na měkké, polotvrdé a tvrdé. Povrchová úprava nýtů je provedena metodou elektro-chemického eloxování.

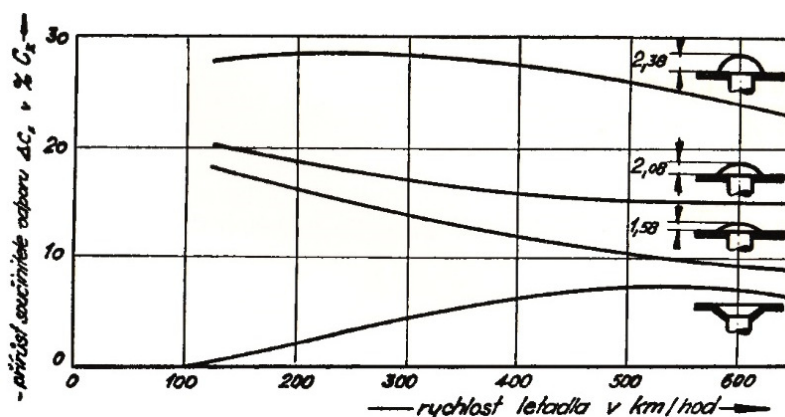
Tab. 1 Materiály nýtů pro letectví [34, 36, 38, 39, 40]

Označení materiálu	Materiál	Chemické složení	Mez pevnosti v tahu [MPa]
V 65	Slitina Al	94,1-95 % Al; 3,9-4,5 % Cu; 0,15-0,3 % Mg; do 0,2 % Fe	458
EN AW 2024-T351 (ČSN 42 4203)	Slitina Al	90,7-94,7 % Al; 3,8-4,9 % Cu; 1,2-1,8 % Mg; do 0,5 % Fe	401-440
Д 18	Slitina Al	92,1-94,2 % Al; 2,2-3 % Cu; 0,2 % Mg; do 0,7 % Fe	310
1050A-H14 (ČSN 42 4005)	Slitina Al	99,5 % Al; 0,4 % Fe; 0,25 % Si	105-145
N-U30, Monel 400	Slitina Ni-Cu	63 % Ni; 28-34 % Cu; 0,5-1,5 % Fe; 0,4-1,0 % Mn	552-600
Steel12x18H9T	Slitina Ni-Cr	8-9,5 % Ni; 0,6-0,8 % Ti; 17-19 % Cr; 0,4-1,0 % Mn	730

3.7.2 Nejčastější druhy nýtů v leteckém průmyslu

Na vnější povrch letadel jsou kladeny velké požadavky na dobré aerodynamické vlastnosti, jakékoliv výčnělky způsobují nechtěné víření vzduchu a tím zvyšují součinitel aerodynamického odporu C_x . Z tohoto důvodu se pro uchycení vnějších potahových plechů využívají nýty se zapuštěnou hlavou, jak je např. zobrazeno na přední části trupu letounu L-39C (obr. 24). Obrázek č. 23 znázorňuje procentuální přírůstek součinitele odporu C_x v případě použití jiného nežli zapuštěného nýtu v závislosti na rychlosti letadla.

Obr. 23 Vliv tvaru a výšky hlavy nýtu na součinitele odporu C_x [26]



Ve východních státech Evropy a v Rusku se nejčastěji využívá nýtů se zápuštěnou hlavou s úhlem zápuštění 90° či 120° , v západních zemích Evropy a v Americe je to úhel zápuštění 82° či 100° . Výběr úhlu je závislý na tloušťce spojovaného materiálu. U vrtulníků použití zápuštěných nýtů na vnějším potahu není vždy pravidlem. V případě, že jsou na potahu vrtulníků použity zápuštěné nýty, je účel spíše designový nežli z důvodu snížení

aerodynamického součinitele odporu C_x , protože vrtulník svojí konstrukcí už od základu není příliš aerodynamický stroj. [37]

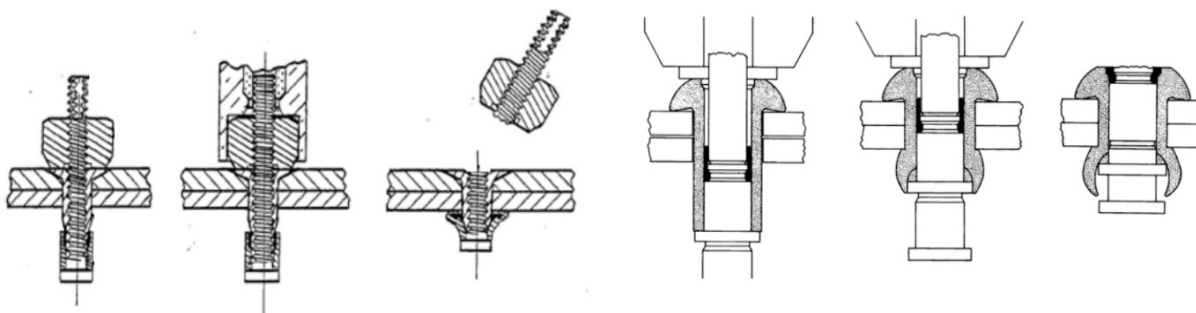
Obr. 24 Přední část trupu letounu L-39C [autor]



Nýty uvnitř trupu letounu či vrtulníku bývají standardně s půlkulatou hlavou, pouze v místech, kde je přes nýtový spoj montován jiný díl, se využívá zápusných nýtů. Pro spojení ocelových konstrukcí se používají pevnostní ocelové nýty či šroubové spoje.

V místech, kde konstrukce nedovoluje přístup z obou stran, se využívají v letectví trhací nýty. Pro více namáhané pevnostní spoje je nejrozšířenějším představitelem nýt typu Composi-Lok od společnosti Mono Grama Aerospace. Tento nýt má místo hladkého trnu závitový trn, který je při tváření závěrné hlavy vytahován působením krouticího momentu od maticového nástavce (obr. 25). Po ukončení procesu tváření závitové hlavy dojde k odlomení části dřívku vyčnívající nad povrch hlavy nýtu. Část závitového trnu zůstává v těle nýtu a plnohodnotně se podílí na přenosu zatížení nýtového spoje. Pro méně namáhané spoje je nejrozšířenějším představitelem trhací nýt typu Cherrymax od společnosti Cherry Aerospace. [41]

Obr. 25 Průběh tváření nýtového spoje - Composi - Lok vlevo a Cherrymax vpravo. [41]



3.8 Nýtové spoje v automobilovém průmyslu

Za posledních několik desetiletí spojování plechových součástí v automobilovém průmyslu prošlo rapidním vývojem díky expanzi automobilové výroby a s tím spojeným nárokem na nové technologie a materiály nýtů. Spojování plechových součástí lze rozdělit na dva druhy a to mechanické spojování metodami bez použití přídavného spojovacího materiálu a na metody mechanického spojování za použití spojovacího materiálu.

Mezi hlavní představitele spojování bez přídavného materiálu patří tzv. Clinching, kde jsou dva či více spojované plechové díly plasticky tvářeny tlakově pomocí lisovacího beranu působícího vůči tvarové matici, která určuje vnější výsledný tvar spoje a zároveň vytváří tzv. mechanický zámek. Druhou metodou je lemování, kde dochází k tváření ohybem konců spojovaných plechových dílů, popřípadě k tváření ohybem pouze jednoho konce plechu a vsazení druhého plechu do něj. Spoj vytvořený lemem je po tváření buď zajišťován zalisováním, lepidlem (polyuretanovým či polyvinylchloridovým) či bodovým svařováním. Pomocí přídavného materiálu může být spoj lemováním vytvořený i s vodotěsným požadavkem. [22]

Mezi hlavní druhy spojování s přídavným materiálem lze zařadit šroubové spoje, které se dělí na spoj pomocí matice, šroubu a podložky, samořezných šroubů a tvářecích šroubů. Druhým způsobem jsou spoje vytvořené pomocí závitových matic, které jsou po zalisování duté, či v nich zůstává závitový dřík. Třetí způsob je spojování pomocí plných nýtů, dutých nýtů, nýtů do slepých děr, mezi které patří trhací nýty, a tzv. Self-piercing rivets (SPR) nýty. [22]

3.8.1 Materiál nýtů

Pro většinu nýtových spojů se v automobilovém průmyslu využívají nýty ze slitin hliníku či ze slitin oceli. Obě tyto slitiny jsou zastoupeny ve velkém množství různých druhů složení závislých dle požadavků na vlastnosti nýtu při spojování součástí. Pro spoje součástí, které v automobilu přenášejí vyšší zatížení, či je na ně požadavek vyšší odolnosti proti korozi, se často využívají ocelové nýty, příkladem může být spojení přírub u dvojhmotového setrvačnicku. Naopak pro díly, kde únosnost nehraje prioritní roly, ale důležitější je např. hmotnost nýtu, tvárnost nýtu či zamezení vzniku elektrochemické koroze vlivem spojení materiálů z hliníkových slitin, se využívají nýty z hliníkové slitiny či jiných materiálů, včetně umělé hmoty. Příklady zastoupení materiálů nýtů jsou uvedeny v tabulce č. 2. [22]

Tab. 2 Materiály nýtů pro automobilový průmysl [9,22,43,44,45]

Označení materiálu	Materiál	Chemické složení	Mez pevnosti v tahu [MPa]
EN AW 5019 (ČSN 42 4415)	Slitina Al	95,1-96,2 % Al; 0,3 % Cr; 4-6 % Mg; do 0,4 % Fe	280-370
EN AW 2024-T351 (ČSN 42 4203)	Slitina Al	90,7-94,7 % Al; 3,8-4,9 % Cu; 1,2-1,8 % Mg; do 0,5 % Fe	401-440
SAE 1010	Slitina Oceli	0,5 % Cu ; 0,6 % Mn,	325
W. Nr. 1.4567	Slitina Oceli	3-3,5 % Cu; 17-19 % Cr; 1-2 % Mn; 8,5-9 % Ni	520 -720
W. Nr. 1.5502	Slitina Oceli	0,25 % Cu ; 0,3 % Cr; 0,6-0,9 % Mn	540
DX51D	Slitina Oceli	1,2 % Al; 0,4 % Cu ; 0,23 % Cr; 1,2 % Mn, 0,19 % Co	546
DC06	Slitina Oceli	0,55 % Al; 0,62 % Ti; 0,22 % Cr; 0,71 % Mn	270-330
H 220 PD	Slitina Oceli	0,41 % Al; 0,33 % Ti; 0,46 % Cr; 0,7 % Mn; 0,047 % Co	382

3.8.2 Použití nýtů v automobilovém průmyslu

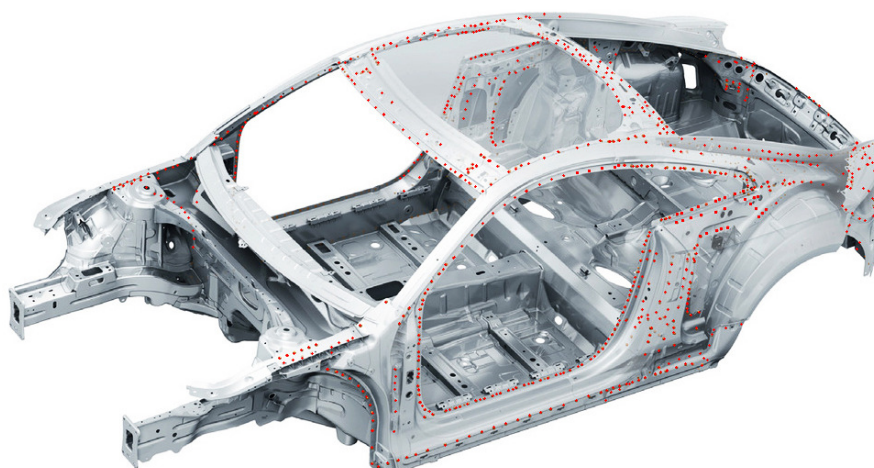
Vznik technologie spojení metodou nýtů typu SPR se datuje už k polovině minulého století, ale její využití, jako většiny nových metod, se váže až k 80-tým a 90-tým letům minulého století, kdy se v automobilovém průmyslu začal rozšiřovat požadavek na snížení celkové hmotnosti vozidla a s tím spojené větší využití alternativních lehčích materiálů nežli jen slitin ocelí. Snížení hmotnosti konstrukčních prvků vozidla má kladný vliv na spotřebu paliva vozidla, se kterou je svázané množství vzniku škodlivých emisí z výfukových plynů. První sériové využití bylo provedeno u celo-hliníkové konstrukce vozu Audi A8, která byla představena v roce 1993. Během několika let se tento nový trend spojení plechových součástí rozrostl do většiny výrobních společností zabývajících se montáží skeletů automobilů a stal se jednou z hlavních procedur. [46, 47]

Obr. 26 Řez nýtovým spojem vytvořeným nýtem SPR [49]



Postup vytvoření nýtového spoje za studena pomocí metody nýtů SPR je uveden v bodě 3.4.2. Na obrázku č. 26 je vyobrazen řez nýtovým spojem, kde je vidět jak vrchní vrstvy materiálu až k poslední jsou prostříženy a pomocí vlisovaného nýtu napěchovány vždy do nižší vrstvy spojovaných materiálů. Vizuální schéma množství spojení, které bylo nahrazeno u vozu Audi TT nýty SPR (červeně označené) místo jiného druhu spojení, jsou uvedeny na obrázku č. 27. [46, 47]

Obr. 27 Využití SPR nýtů na kostře vozidla Audi TT [48]



V tabulce č. 3 je uvedeno porovnání základních vlastností spojů plechových součástí při využití trhacích nýtů a nýtů SPR vůči jiným metodám v oblasti konstrukce automobilových skeletů. [46]

Tab. 3 Porovnání spojovacích metod v automobilové výrobě [46]

Vlastnost	Svařování	Trhací nýty	Lepení	Šroubové spoje	SPR nýty	Clinching
Nutnost vytvoření otvoru	Ne	Ano	Ne	Ano	Ne	Ne
Materiál odlišný od součásti	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Spojení lakovaných součástí	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Spojení více jak tří součástí	Špatně	Dobře	Možné	Dobře	Dobře	Špatně
Vodotěsný spoj	Částečný	Možný	Ano	Možný	Ano	Ano
Korozivzdorný spoj	Špatný	Dobry	Vynikající	Dobry	Dobry	Dobry
Počet stran přístupu při nýtování	2	1	1 i 2	1 i 2	2	2
Spolehlivost	Střední	Vysoká	Střední	Vysoká	Vysoká	Vysoká
Odstranitelnost spoje	Špatná	Možná	Špatná	Dobrá	Možná	Možná
Možnost automatizace	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Energetická náročnost	Vysoká	Nízká	Nízká	Nízká	Nízká	Nízká
Cena (technologie i nýtu)	Vysoká	Nízká	Vysoká	Nízká	Nízká	Nízká

V rámci výroby podsestav komponentů do automobilů je využíváno z větší části kompletní portfolio všech druhů nýtů. Plné nýty můžeme najít například v obložení přítlačného kotouče spojky. Trhací nýty mají nejčastější využití jako alternativa pro opravu poškozených původních spojů během využívání vozidla. Duté nýty mají největší zastoupení ve spojování měkkých součástí ať už textilních či plastových.[46]

3.9 Nýtové spoje ve stavebním průmyslu

Jak bylo uvedeno v úvodní kapitole využití nýtových spojů ve větším měřítku v rámci stavebnictví je datováno už k roku 1840, kdy došlo k velkému pokroku v oblasti metalurgie. Tento pokrok měl za následek celosvětové rozšíření výroby ocelových konstrukcí a vznik výzvy ve vyřešení otázky, jak části konstrukce nejrychleji, nejlevněji a bezpečně spojit. Nýty byly však v konstrukcích často doplňovány šrouby a to v místech, kde docházelo ke spojení litinové oceli s konstrukční ocelí, v místech, kde byl požadavek na možnost demontáže, a tam, kde šíře spojovaných součástí přesahovala vhodnou šířku. Výhody, které nýtové spoje oproti šroubovým nabízely, byly nízká cena, lepší tuhost spoje, úplné vyplnění předvrtaného otvoru a vyrovnání nepřesností sousostí otvorů. S pozvolným nárůstem ceny lidské práce začalo nýtování ustupovat, až přibližně do konce druhé světové války bylo ve velkém měřítku nahrazeno metodou šroubových spojů a svařováním. [50]

3.9.1 Materiál nýtů

Nýty pro konstrukční stavební účely jsou vyráběny z ocelové kulatiny lisováním. Pro různé druhy stavební oceli se využívá i různých druhů materiálů ocelových nýtů. Všeobecně je od pevného nýtového spoje požadováno, aby bez porušení snesl namáhání 80-150 MPa v tahu, 100-240 MPa na otláčení a 60-120 MPa na smykové zatížení. Příklady zastoupení materiálů nýtů jsou uvedeny v tabulce č. 4. [3]

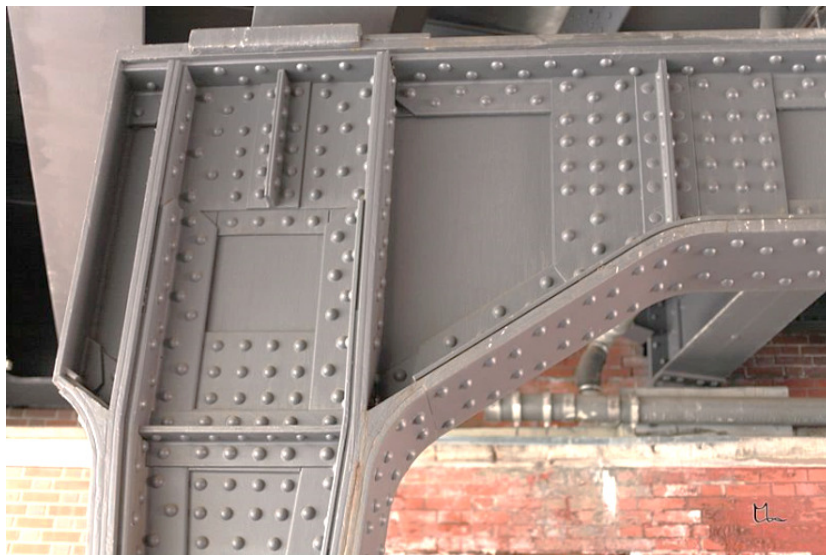
Tab. 4 Materiály nýtů pro stavební průmysl [2, 3]

Označení materiálu	Materiál	Chemické složení	Mez pevnosti v tahu [MPa]
ČSN 10 341	Slitina Oceli	Bez záruky obsahu P a S. Do 0,2 % C	340
W. Nr. 1.0036	Slitina Oceli	Bez záruky obsahu P a S. Do 0,2 % C	370
ČSN 10 451	Slitina Oceli	Bez záruky obsahu P a S. Do 0,2 % C	450

Tvar dosedací hlavy nýtu u stavebních konstrukcí je určen funkcí nýtu, popřípadě konstrukčními důvody. Standardně se využívají nýty plné s půlkulatou hlavou a v místech, kde by hlava překážela, tak nýty se zapuštěnou hlavou (nejčastěji 75° a 60°), v případě spoje s dlouhými nýty je využíváno hlavy polozapuštěné. Nejmenším nosným nýtem používaným u pozemních staveb by měl být nýt průměru 13 mm a u mostů průměru 17 mm. Naopak větší průměr nežli 25 mm už není často obvyklý. Obvykle se nýty do průměru 11 mm nýtují za studena a nad průměr 11 mm za tepla. [3]

Nýty používané pro stavební konstrukce se skoro vždy nýtují s předehřevem nýtu do bílého žáru, kde se teplota pohybuje okolo 1000-1100°C. Jejich zahřátí se provádí buď v koksové výhni, nebo elektrickým odporem, kdy nýtem prochází proud o nízkém napětí, ale velké intenzity. Rozžhavený nýt se vloží do předpřipraveného otvoru, kde se nejdříve spěchuje dřík, aby dobře vyplnil otvor a následně se vykove závěrná hlava. Závěrná hlava musí být vytvářena za tmavočerveného žáru (teplota okolo 600°), jinak se příliš ohřátý nýt vytáhne a nedojde k dobrému sevření. Po zanýtování nýtu za tepla dochází k postupnému chladnutí a smršťování nýtu. Smršťování vytváří předpětí ve spoji a mezi díly konstrukce vytváří velké tření, kterým se zvyšuje únosnost nýtového spoje. Předpětí může dosahovat hodnoty až 200 MPa. Příklad spojení detailů mostní konstrukce jsou znázorněny na obrázku č. 28. [3]

Obr. 28 Příklad spojení detailů mostní konstrukce [33]



V dnešní době se nýtování ve stavebnictví využívá jen velmi zřídka a spíše jen pro rekonstrukce původních staveb (mosty, věže atd.), známým příkladem je Eiffelova věž, s počtem nýtů jdoucím do milionů. Nýtování ve stavebním odvětví bylo nahrazeno metodou spojení svařováním a pomocí šroubového spojení s kombinací zalévání betonem. [3]

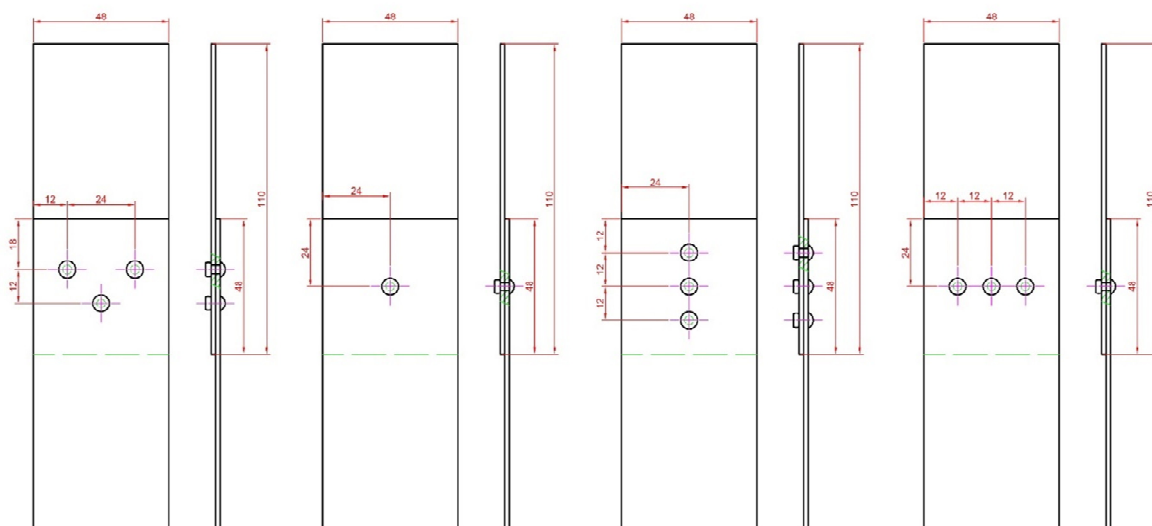
4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1 Cíle experimentální části práce

Cílem experimentální části diplomové práce je posouzení vlivu geometrického umístění nýtů v nýtovém spoji na maximální únosnost nýtového spoje. Nýtový spoj bude smykově namáhán v kolmém směru na rovinu osy nýtu. Pro zkoušky budou vybrány čtyři varianty nýtové spoje a to jeden nýt na středu překlátování, tři nýty geometricky uložené podélně na středu překlátování, tři nýty uloženy příčně na středu překlátování a tři nýty uloženy do písmene „V“ jak je uvedeno na obrázku č. 29. Druhé členění souboru vzorků bude dle druhu nýtů. První soubor bude ručně zhotoven pomocí standardních trhacích nýtů dle normy DIN 7337 A a druhý soubor taktéž ručně zhotoven pomocí leteckých duralových nýtů dle normy OST 1 34078-85. Umístění plechů z materiálu EN AW 2024 T3 v nýtovém spoji bude jednostřížné překlátování.

Zkoušky budou prováděny dvěma různými metodami a to praktickou zkouškou metodou destrukční na univerzálním trhacím stroji LabTest 5.50 ST a teoretickou zkouškou metodou konečných prvků ve výpočetním editoru NX NASTRAN 10.0-64bit. Výsledkem destrukčních zkoušek bude maximální tahová síla, kterou dokáže nýtový spoj přenést a výsledkem zkoušek teoretických bude napěťová mapa rozložení tahu a tlaku v překlátovaných duralových polotovarech plechů.

Obr. 29 Nýtovací plán pro soubory vzorků [autor]



4.2 Zkoušky jakosti materiálu vzorků

4.2.1 Materiál testovacích vzorků

Pro výrobu testovacích vzorků byl zvolen duralový plech EN AW 2024 T3 tloušťky 1,6 mm a velikosti polotovaru 1000x2000 mm. Tento materiál je ekvivalentem k duralovému plechu ČSN 42 4203.61, který má v oboru letectví v České republice dlouhou tradici. Hodnoty parametrů plechu dle atestátu jsou uvedeny v tabulce č. 5.

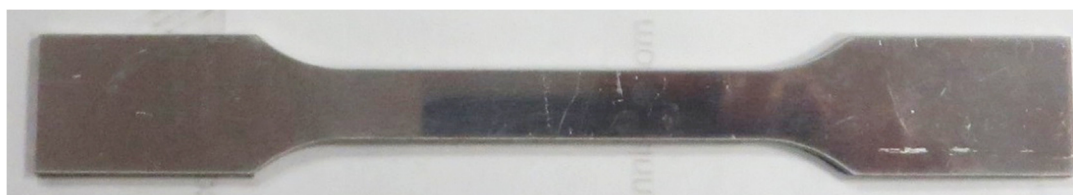
Tab. 5 Atestát duralového plechu EN AW 2024 T3 (Alclad)

Označení	EN AW 2024	Chemické složení [%]				
	AlCu4Mg1	Al	Cu	Mg	Mn	Si
Zpracován dle norem	EN 485-1	93,421	4,548	0,632	0,506	0,332
	EN 485-2	Fe	Ti	Zn	Cr	
	EN 485-4	0,409	0,012	0,011	0,006	
	EN 573-1					
Tavba	6588	Mechanické vlastnosti				
Šarže	61519623RU	Tažnost A %	Pevnost Rm [MPa]	Pevnost Rp 0,2 [MPa]		
Stav	T3	12,5	401	269		
Tloušťka	1,6 mm					

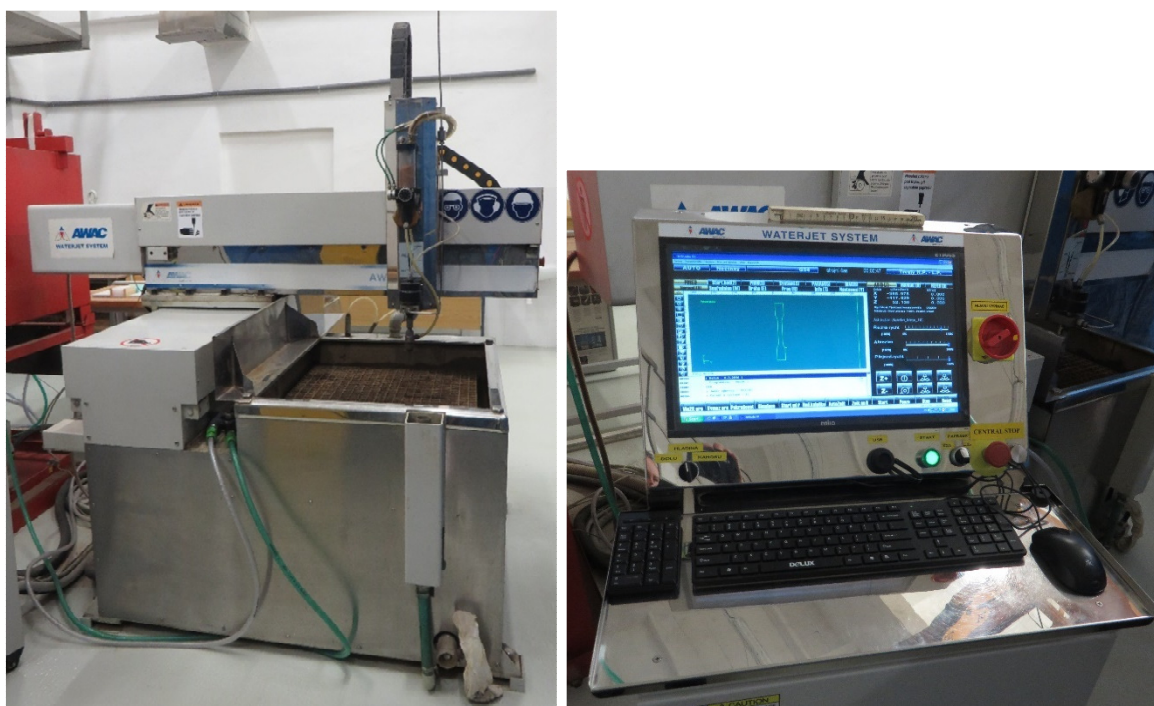
4.2.2 Zkušební vzorky

Z polotovaru duralového plechu bylo na CNC řezacím stroji typu AW-CT 0806 s technologií vodního paprsku (obr. 31) vyrobeném společností AWAC, vyřezáno 20 kusů zkušebních vzorků o rozměru 20x150 mm, určených pro statickou zkoušku tahem. Z dvaceti vzorků bylo vybráno deset vzorků nejvíce odpovídajících požadavkům na tloušťku plechu 1,6 mm, která v ploše polotovaru plechu v rámci tolerance výroby byla proměnlivá. Vzorky byly vyrobeny v souladu s normou ČSN EN ISO 6892-1, která předepisuje tvar a rozměry zkušebního vzorku. (obr. 30)

Obr. 30 Zkušební vzorek pro statickou zkoušku tahem [autor]



Obr. 31 CNC řezací stroj AW-CT 0806 [autor]

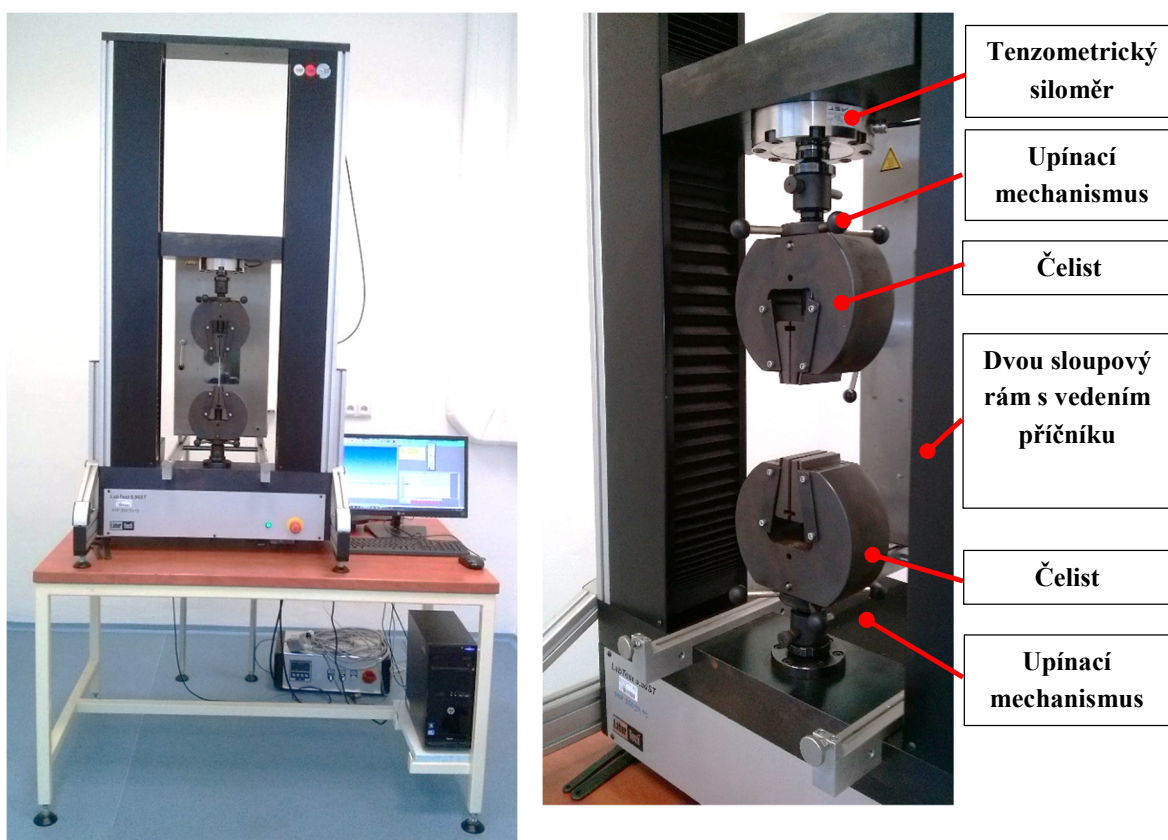


4.2.3 Popis měřicího stroje LabTest 5.50 ST

Pro statickou zkoušku tahem byl použit univerzální digitální elektromechanický dvou-sloupový trhací stroj LabTest 5.50 ST vyrobený společností LABORTECH. Univerzálnost stroje je v možnostech různých zkoušek, které lze na něm provést. Kromě standardní zkoušky tahem jak statického tak dynamického namáhání lze provést i zkoušky ohybu, tlaku, odlupování, krutu, třecí a penetrační. Zařízení je umístěno na pracovním stole, kde je k němu připojen PC se softwarem Test & Motion pro jeho ovládání, sběr dat a grafické vyhodnocování výsledků (obr. 32).

Trhací stroj je určen pro maximální zatížení tah/tlak 50 kN s možností posuvu příčnicku až 0,001 mm/min. Jeho přesnost zabezpečuje robustnost dvoj-rámu a lineární vedení se spojením s kuličkovými šrouby usazenými s předpětím. Na lineárních vedeních je usazen příčník, ke kterému je uchycen přírubový tenzometrický siloměr KAF 50 kN. Tento tenzometrický siloměr je schopen pracovat s přesností 0,1 % nominální hodnoty síly, což v tomto případě odpovídá hodnotě 50 N. K pevnému příčníku dolní části rámu je přes přírubu se závitem uchycena dolní čelist a k tenzometrickému siloměru horní čelist. Obě ocelové čelisti jsou vybaveny otočným mechanismem pro sevření vkládaných vzorků. Trhací stroj je usazen v konstrukci ze systému hliníkových profilů a vybaven čtyřmi podpěrami na závitové tyči k přesné nivelaci přístroje do roviny (obr. 32). [19]

Obr. 32 Elektromechanický trhací stroj LabTest 5.50 ST [autor]



4.2.4 Průběh trhací zkoušky vzorku plechu

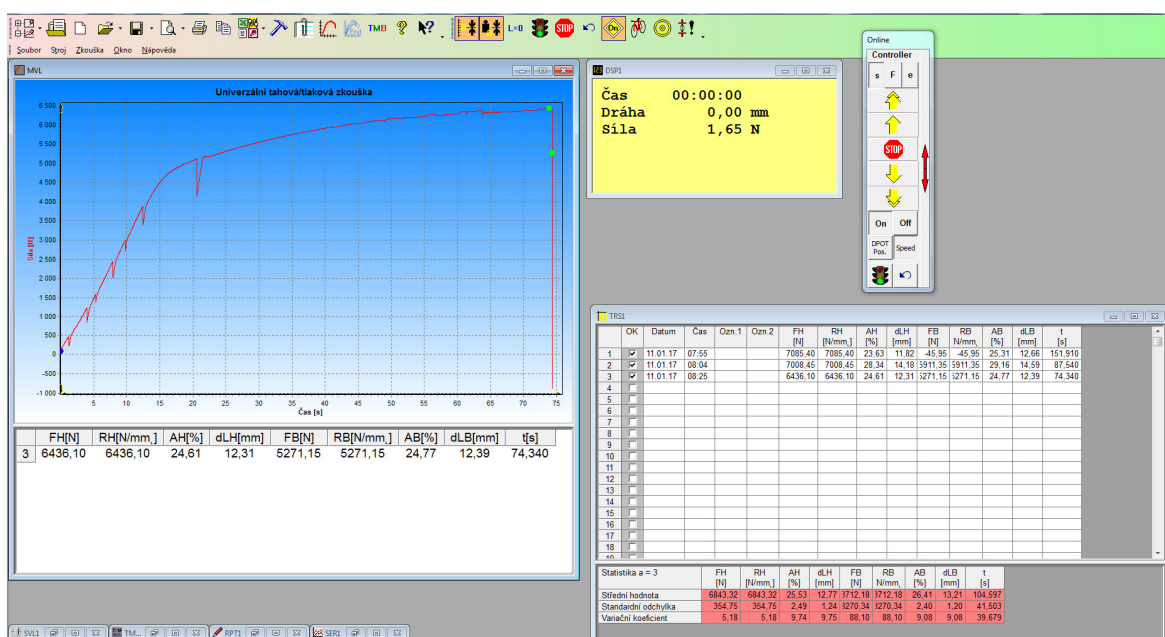
Před samotnou zkouškou bylo nutné spustit stroj, PC a následně řídicí a vyhodnocovací program Test & Motion (obr. 27). V druhém kroku byly v dialogovém okně nastavení programu definovány tyto parametry:

- záložka zkouška: položka „Univerzální tahová/tlaková zkouška“
- záložka vstupní hodnota: položka „Tahová zkouška“
- záložka výsledky: položky „FH, RH, AH, dLH, FB, RB, AB, dLB a t“
- záložka zkušební rychlost: položka V0 „10 mm/min“
- ukončení zkoušky: položka síla „45000 N“ a položka pokles síly „99%“

V danou chvíli bylo možné spustit stroj do pohotovostního režimu ikonou „On“ na virtuálním ovládacím panelu. Pomocí virtuálního posuvníku, který obsahuje pomalý i rychlý chod, se nastavila vzdálenost čelistí pro upnutí vzorků. První vzorek byl upnut do dolní čelisti a následně do čelisti horní. Během upínání se kontrolovalo, aby vzorek byl upnut svisle a nebyl příliš vychýlen dopředu či dozadu kleštiny čelistí. Před zahájením každého cyklu trhání vzorku je nutné vložit do nulové reference vzdálenost čelistí a sílu v čelistech, resp. v tenzometrickém

senzoru. Virtuálním tlačítkem semaforu byla spuštěna trhací zkouška. V levé části obrazovky byla na základě průběhu zatěžovací síly a času vynášena do grafu „MVL“ křivka. Na pravé části obrazovky se po skončení zkoušky automaticky doplnily do tabulky “ TRS1“ hodnoty výsledků dle předvolených snímaných parametrů. V tabulce „Statistika“ pod naměřenými hodnotami byla počítána Střední hodnota, Standardní odchylka a Variační koeficient, dle vybraných hodnot měření. (obr. 33).

Obr. 33 Náhled na rozhraní programu Test & Motion [autor]



4.2.5 Příprava nýťovaných vzorků

Dělení zkušebních vzorků

Plechové polotovary nýťových vzorků byly nastříhány na padacích nůžkách typu NTC 2500/4 vyrobené koncernovým podnikem Strojárne Piesok (obr. 34) umístěných v dílnách katedry. Hutním polotovarem zvoleným pro polotovary vzorků byl zvolen zkoušený duralový plech 2024 T3 tloušťky 1,6 mm, z kterého se nastříhaly vzorky o rozměru 110 x 48 mm s tolerancí $\pm 0,25$ mm. V průběhu stříhání byly rozměry polotovarů vzorků kontrolovány digitálním posuvným měřítkem, aby byla dodržena podmínka podobnosti polotovarů. Počet polotovarů vzorků, dle potřeby odpovídající plánovaným zkouškám, byl 160 ks, tento počet byl navýšen o 10 % z důvodu případné zmetkovitosti v dalším procesu výroby nýťových spojů vzorků.

Obr. 34 Padací nůžky NTC 2500/4 a polotovary po dělení stříhem [autor]



Příprava zkušebních vzorků před nýtováním

Na nastříhané polotovary trhacích vzorků byly rozkresleny středy otvorů pro nýty dle čtyř variant rozložení umístění nýtů dle schématu na obrázku č. 29. Zvolené varianty byly jeden nýt na středu přeplátování, tři nýty geometricky uložené podélně na středu přeplátování, tři nýty uloženy příčně na středu přeplátování a tři nýty uloženy do písmene „V“. Rozteč mezi nýty byla zvolena tak, aby splňovala podmínku minimální vzdálenosti mezi nýty, která je definována v letectví jako 2,5 krát průměr nýtu. Zároveň bylo přihlédnuto k podmínce maximální vzdálenosti nýtové rozteče u duralových slitin, která je dle empirických výsledků v letectví zvolena jako 25 krát násobek tloušťky spojovaného materiálu. Správná rozteč nýtů je důležitá kvůli správnému přenosu sil a zároveň k zamezení zvlnění plechu mezi nýtovými spoji.

Vrtání otvorů do zkušebních vzorků

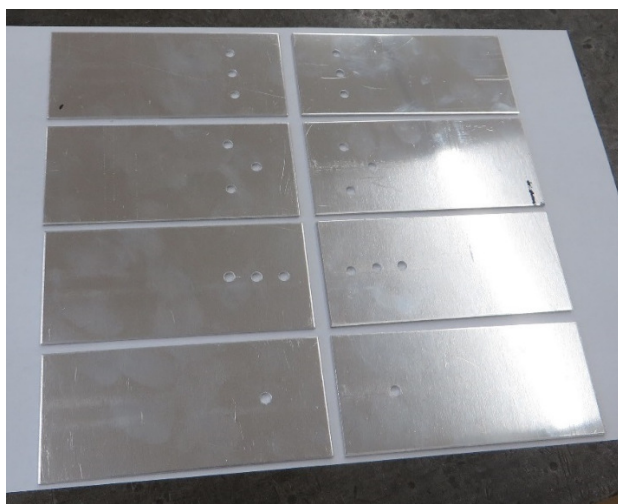
Dle narýsovaných středů otvorů na duralových polotovarech byly pomocí důlčíku a 200 g kladiva vytvořeny středící důlky pro lepší navedení vrtáku. Do sklíčidla stojanové elektrické vrtačky typu V10 od výrobce JIHOKOV k.v.d, byl uchycen vrták průměru 4,1 mm (obr. 35). Průměr vrtáku 4,1 mm odpovídá doporučenému rozměru pro vrtání děr pro přesné nýty průměru 4 mm, které byly použity pro nýtové spoje. Toto doporučení udává jak výrobce leteckých nýtů GESIPA ve svých katalogových listech, jak je uvedeno v příloze č. IV, tak i zároveň dílenská praxe v oboru leteckého průmyslu.

Obr. 35 Vrtačka V10 s upnutým vrtákem 4,1 mm a přípravkem pro svrtání plechů [autor]



Do ručně zhotoveného ustavovacího přípravku (příloha č. III) byly uchyceny vždy dva kusy polotovarů duralových plechů. Na vrchní straně byl duralový plech s vyznačenými středy otvorů a pod ním duralový plech s přesahem 62 mm od hrany vrchního duralového plechu. Na stojanové vrtačce V10 byly dle doporučených hodnot, uváděných v publikaci Nýtování v letectví a podobné výrobě [1], nastaveny otáčky 4600 ot/min pro vrtání, což odpovídá přibližně řezné rychlosti 60 m/min, která je vhodná pro duralové slitiny při průměru vrtáku 4 mm. Postupným svrtáváním duralových plechů bylo vytvořeno 22 ks párů s jedním středovým otvorem a 66 ks párů se třemi otvory (obr. 36).

Obr. 36 Dle vrtací šablony svrtané páry duralových plechů [autor]



Nýtování zkušebních vzorků

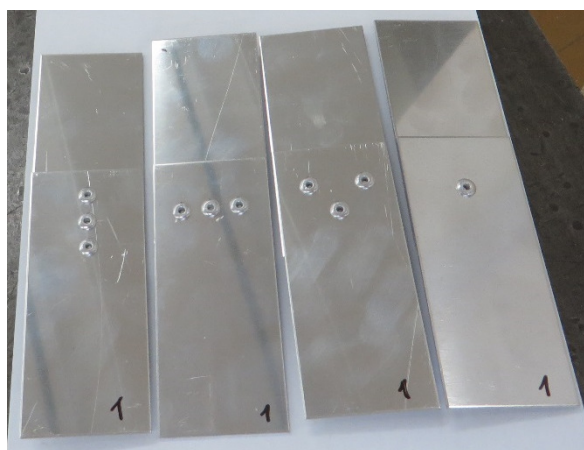
Pro první soubor vzorků nýtových spojů byly vybrány trhací nýty $\text{Ø}4 \times 8$ mm s plochou půlkulatou hlavou dle normy DIN 7337 A (ekvivalent k normě ČSN 02 2391). Materiál dřívku nýtu AlMg2,5 a trnu nýtu AlMg5. Výrobce nýtu deklarovaná maximální síla ve smyku je rovna 820 N a maximální síla v tahu je rovna 1270 N (příloha č. II).

Obr. 37 Ruční nýtovací kleště GESIPA [autor]



Ručními nýtovacími kleštěmi typ 70 30029 (obr. 37) od společnosti GESIPA bylo snýtováno vždy 11 kusů vzorků od každého navrhovaného rozložení nýtů (jeden, podélné, příčné a do „V“). Při nýtování spojů s více nýty byly vždy volné otvory pro nýt vyplněny technologickým šroubem M4x10 a pomocí matice M4 a podložky $\text{Ø} 4,2$ byly plechy staženy pevně k sobě. Po zánýtování byly vzorky označeny čísly od jedné do deseti (obr. 38).

Obr. 38 Vzorky duralových plechů snýtované trhacími nýty pomocí kleští GESIPA [autor]



Pro druhý soubor vzorků nýtových spojů byly vybrány přesné plné letecké nýty $\text{Ø}4 \times 9$ mm s půlkulatou hlavou dle normy OST 1 34078-85 (ekvivalent k normě 2008A či ČSN 02 2302.0) z duralového materiálu D18 (příloha č. V). Výrobce nýtu deklarovaná maximální síla ve smyku je rovna 2336 N a maximální síla v tahu není specifikována.

Do dílenského svěráku byl uchycen hlavičkář s doporučeným vybráním pro hlavu nýtů \varnothing 4 mm. Ručním kladivem o hmotnosti 300 g bylo snýtováno vždy 11 kusů vzorků od každého navrhovaného rozložení nýtů (jeden, podélné, příčné a do „V“) (obr. 39). Při nýtování spojů s více nýty byly vždy volné otvory pro nýt vyplněny technologickým šroubem M4x10 a pomocí matice M4 a podložky \varnothing 4,2 mm byly plechy staženy pevně k sobě. Po zanýtování byly vzorky označeny čísly od jedné do deseti (viz příloha č. VI a VII).

Obr. 39 Průběh nýtování duralových plných nýtů [autor]



4.3 Destrukční zkouška nýtových spojů

Destrukční zkouška byla provedena na elektromechanickém trhacím stroji LabTest 5.50 ST, jehož popis je uveden v bodě č. 4.2.3. Před samotnou zkouškou bylo nutné spustit stroj, PC a následně řídicí a vyhodnocovací program Test & Motion (obr. 33). V druhém kroku byly v dialogovém okně nastavení programu definovány tyto parametry:

- f) záložka zkouška: položka „Univerzální tahová/tlaková zkouška“
- g) záložka vstupní hodnota: položka „Tahová zkouška“
- h) záložka výsledky: položky „FH, RH, AH, dLH, FB, RB, AB, dLB a t“
- i) záložka zkušební rychlost: položka V0 „10 mm/min“
- j) ukončení zkoušky: položka síla „45000 N“ a položka pokles síly „99%“

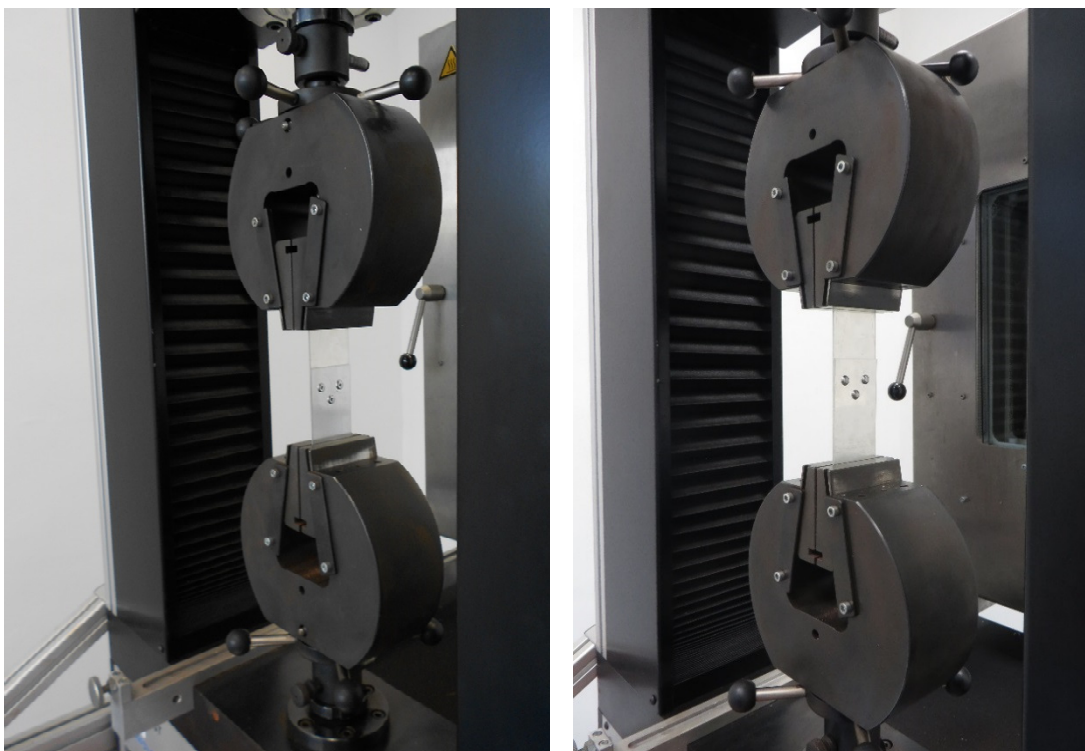
V danou chvíli bylo možné spustit stroj do pohotovostního režimu ikonou „On“ na virtuálním ovládacím panelu. Pomocí virtuálního posuvníku, který obsahuje pomalý i rychlý chod, se nastavila vzdálenost čelistí pro upnutí vzorků.

První vzorek s jedním nýtem ze souboru vzorků spojených trhacími nýty byl upnut do dolní čelisti a následně do čelisti horní. Během upínání se kontrolovalo, aby vzorek byl upnut svisle a nebyl příliš vychýlen dopředu či dozadu kleštiny čelistí. Před zahájením každého cyklu

destrukce vzorku je nutné vložit do nulové reference vzdálenost čelistí a sílu v čelistech, resp. v tenzometrickém senzoru. Virtuálním tlačítkem semaforu byla spuštěna trhací zkouška. V levé části obrazovky byla na základě průběhu zatěžovací síly a času vynášena do grafu „MVL“ křivka. Na pravé části obrazovky se po skončení zkoušky automaticky doplnily do tabulky „TRS1“ hodnoty výsledků dle předvolených snímaných parametrů. Průběh destrukční zkoušky pro daný druh nýtového spoje se opakoval ještě devětkrát. Následně proběhla zkouška s rozmístěním tří trhacích nýtů a to ve směru podélném, příčném a do písmene „V“, vždy pro deset kusů vzorků (obr. 40).

Druhá část destrukční zkoušky s druhým souborem vzorků probíhala stejným způsobem, jako první pouze v metodice byly zaměněny trhací nýty za plné přesné letecké nýty. Veškeré výsledky zkoušek byly zapisovány do tabulky k budoucímu statistickému zpracování. Náhledy na vzorky před zkouškou jsou v příloze VI a VII.

***Obr. 40** Průběh destrukční zkoušky plných a trhacích nýtů do tvaru „V“ [autor]*

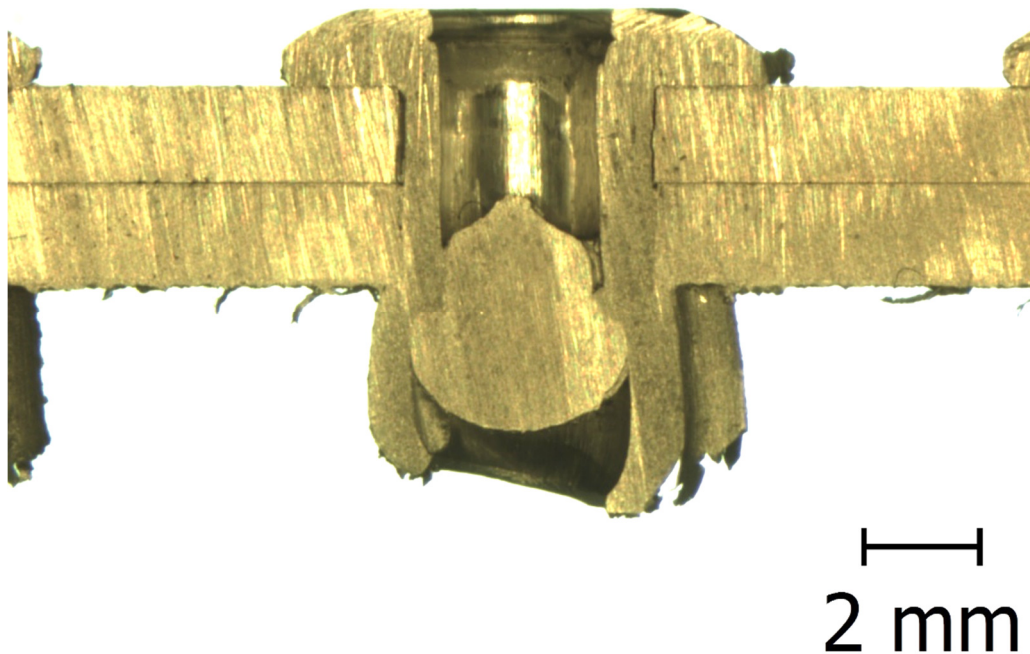


4.4 Řez nýtový spoj

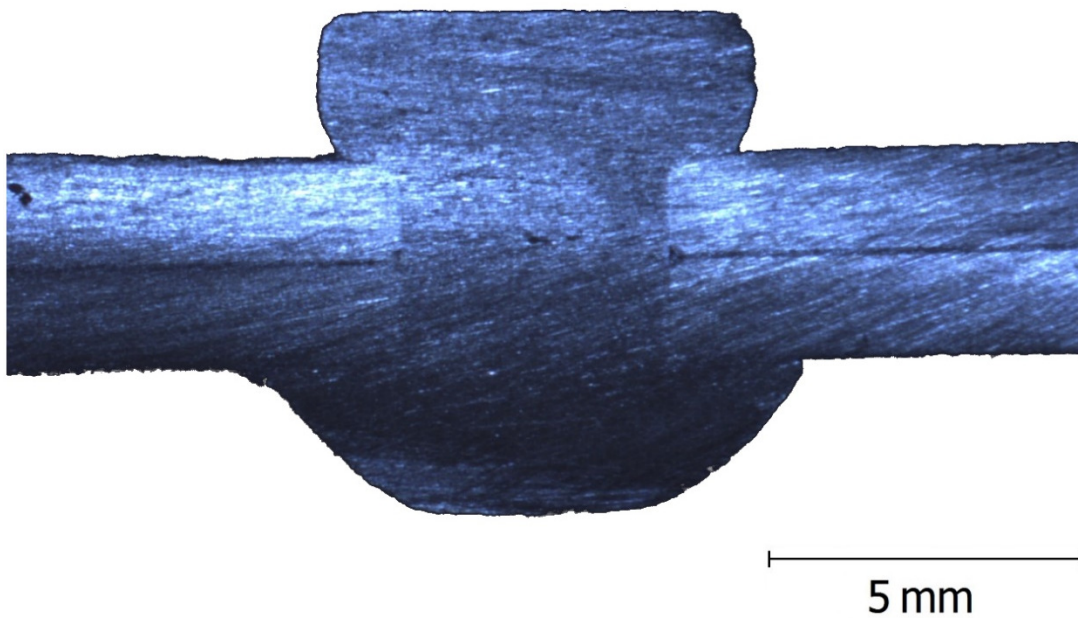
Ze souboru nýtovaných vzorků, trhacích i plných nýtů, byl vždy jedenáctý vzorek podroben rozříznutí na metalografické řezačce SECOTOM od společnosti Struers. Po zhotovení čistého řezu byl následně elektronovým mikroskopem MIRA 3 od společnosti

Tescan zhotoven detailní obraz zhutnělého nýtu v průřezu nýtového spoje k posouzení kvality spoje, jak je vidět na obrázku č. 41 a č. 42

Obr. 41 Řez nýtovým spojem tří podélných trhacích nýtů [autor]



Obr. 42 Řez nýtovým spojem tří podélných plných přesných leteckých nýtů [autor]



4.5 Metody zpracování výsledků

K vyhodnocení experimentu, prezentaci naměřených i vypočítaných výsledků a uvedení závěrů je nutné stanovit statistické funkce pro hodnocení výsledků destruktivní zkoušky.

4.5.1 Aritmetický průměr

Aritmetický průměr je statistická veličina vyjadřující typickou hodnotu popisující soubor s určitým počtem hodnot. Jedná se o součet všech naměřených hodnot dělený rozsahem souboru. [29]

$$\bar{x} = \frac{(x_1+x_2+\dots+x_i)}{n} \quad (12)$$

kde je: \bar{x} ... aritmetický průměr
 n ... počet naměřených hodnot souboru
 x_i ... naměřená hodnota

4.5.2 Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka je statistickou funkcí, která je druhou odmocninou rozptylu. Rozptyl s^2 neboli variance je průměr čtverců jednotlivých odchylek hodnot znaku od jejich aritmetického průměru. [30]

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (13)$$

kde je: s ... směrodatná odchylka
 n ... počet naměřených hodnot souboru
 x_i ... naměřená hodnota
 \bar{x} ... aritmetický průměr

4.5.3 Variační koeficient

Variační koeficient V je určený jako podíl směrodatné odchylky a aritmetického průměru, vyjádřený obvykle v procentech. [31]

$$V = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 [\%] \quad (14)$$

kde je: s ... směrodatná odchylka
 \bar{x} ... aritmetický průměr

4.6 Výsledky experimentu

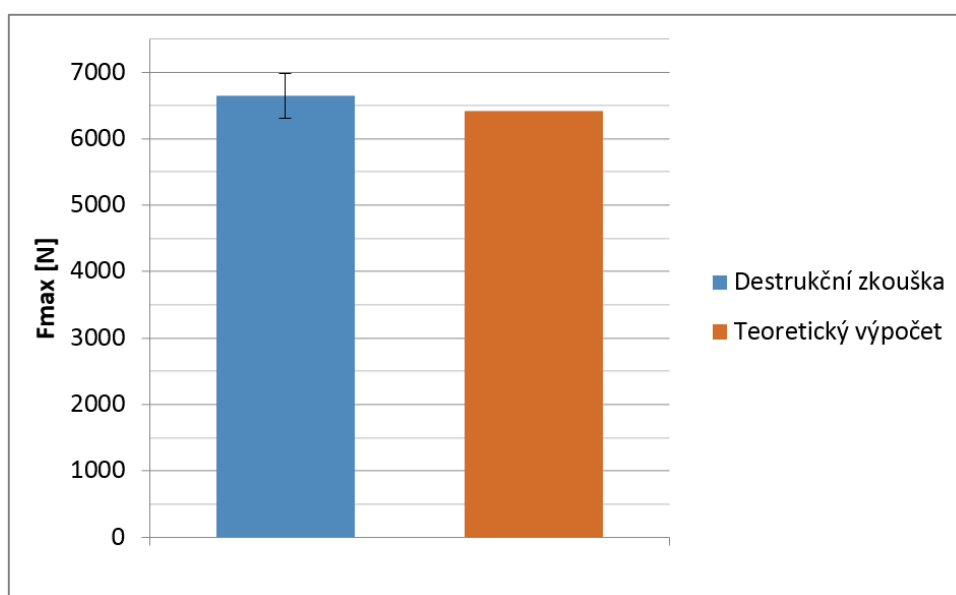
4.6.1 Výsledky destrukční zkoušky materiálu vzorků

V atestátu duralového plechu EN AW 2024 T3, ze kterého byly vyrobeny vzorky pro zkoušky materiálu, výrobce udává hodnotu meze pevnosti v tahu R_m rovnou hodnotě 401 MPa. Ze vztahu pro výpočet meze pevnosti v tahu R_m uváděné v bodě 3.5.1 této práce je možné vypočítat, při známé tloušťce materiálu 1,6 mm a šířce zúženého krčku 10 mm (dle nákresu v příloze č. VIII), maximální hodnotu síly $F_{max-teo}$ [N], kterou by měl materiál zvládnout přenést. Přepočtem šířky zúženého krčku na hodnotu z průměru naměřených hodnot během zkoušky lze vypočítat hodnotu maximální síly $F_{max-vzor}$ [N], kterou lze přenést:

$$F_{max-teo} = R_m \cdot S = 401 \cdot 1,6 \cdot 10 = 6416 \text{ MPa}$$

$$F_{max-vzor} = R_m \cdot S = 401 \cdot 1,6 \cdot 10,5 = 6736,8 \text{ MPa}$$

Obr. 43 Grafické znázornění výsledků zkoušky materiálu v tahu [autor]

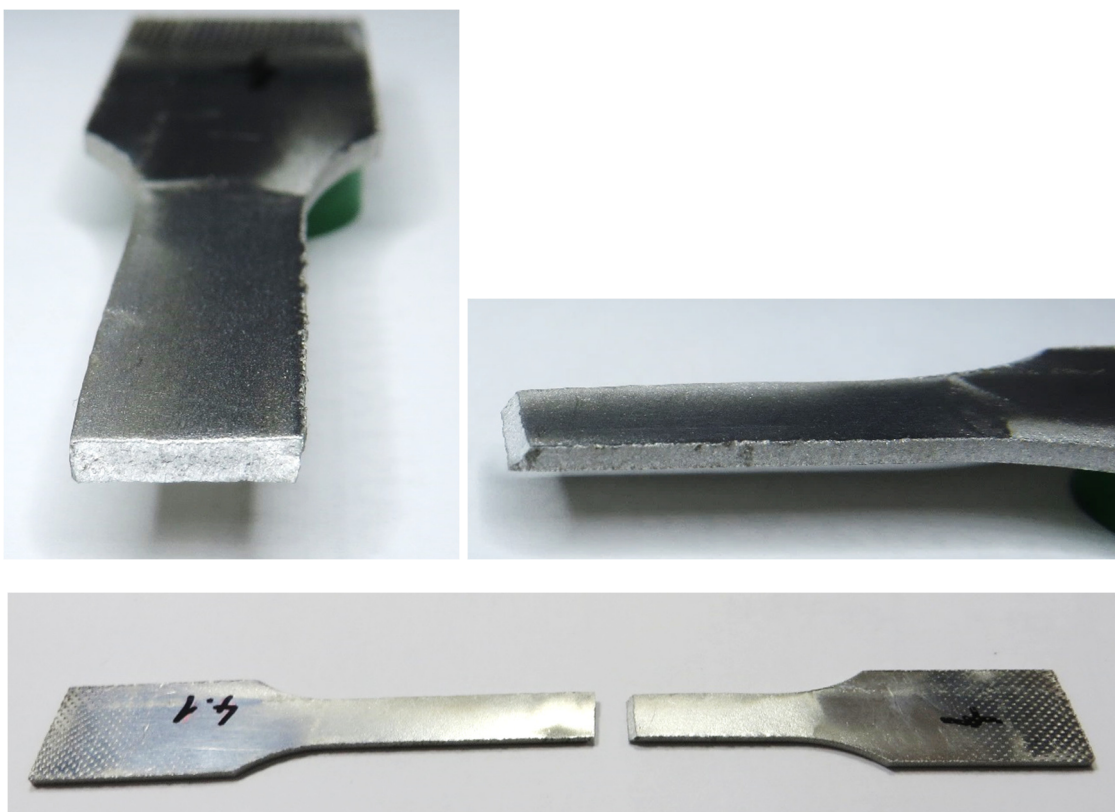


Tab. 6 Hodnoty průměru naměřených hodnot zkoušek materiálu po přetržení [autor]

Vzorek č.	Rozměr A [mm]	Rozměr B [mm]	Plocha S [mm ²]	Max. síla $F_{max-skut}$ [N]	Tažnost A [%]	Čas t [s]
Aritmetický průměr	10,54	1,63	17,20	6643,60	25,60	78,00
Směrodatná odchylka	0,09	0,01	0,21	333,88	1,47	5,21
Variační koeficient [%]	0,81	0,86	1,22	5,03	5,74	6,68

Na základě porovnání aritmetického průměru hodnot maximální síly $F_{\max\text{-skut}}$ z naměřených hodnot (tab. č. 6, obr. č. 43), která je rovna 6643,6 N, se směrodatnou odchylkou 333,8 N a variačním koeficientem 5,03 % s teoretickou hodnotou maximální síly $F_{\max\text{-vzor}}$, přepočtenou na aritmetický průměr průřezu zkušební vzorku, lze vyslovit tvrzení, že deklarovaná pevnost odpovídá atestátu k polotovaru plechu materiálu AW EN 2024 T3. Dle detailního náhledu na přetržený vzorek s krčkem bez výrazného zúžení (obr. 44) lze odhadovat, že se jedná o křehký lom. Náhled na vzorky před a po zkoušce je v příloze č. I.

Obr. 44 Náhled na lom po přetržení zkušební vzorku [autor]



4.6.2 Výsledky nýtového spoje s trhacími nýty

Dle podkladů na webových stránkách dodavatele trhacích nýtů (viz příloha č. II) je tělo trhacího nýtu vyrobeno z materiálu AlMg2,5 a trn nýtu AlMg5. Materiál AlMg2,5 je ekvivalent k materiálu EN AW 5052-0, jehož hodnota meze pevnosti ve smyku τ_s je rovna 110 MPa dle materiálového listu [32]. Zároveň dodavatel trhacích nýtů uvádí, že únosnost nýtu ve smyku je rovna 820 N. Změřením průřezu skutečného trhacího nýtu $\varnothing 4 \times 8$ mm bylo zjištěno, že vnější průměr D_1 těla nýtu je roven 3,92 mm a vnitřní průměr d_2 těla nýtu je roven 2,41 mm. Na základě těchto hodnot lze spočítat únosnost nýtového spoje ve smyku pro variantu jednoho nýtu F_{trh1} a tři nýtů F_{trh3} :

$$F_{trh1} = \tau_s \cdot (S_1 - S_2) = \tau_s \frac{\pi \cdot (D_1^2 - d_2^2)}{4} = 110 \cdot \frac{\pi \cdot (12,06^2 - 4,59^2)}{4} = 110 \cdot 7,46 = \mathbf{820,6 \text{ MPa}}$$

$$F_{trh3} = 3 \cdot \tau_s \cdot (S_1 - S_2) = 3 \cdot \tau_s \frac{\pi \cdot (D_1^2 - d_2^2)}{4} = 3 \cdot 110 \cdot \frac{\pi \cdot (12,06^2 - 4,59^2)}{4} = 3 \cdot 110 \cdot 7,46 = \mathbf{2461,8 \text{ MPa}}$$

Výsledky destrukční zkoušky nýtových spojů s trhacími nýty

Naměřené hodnoty z provedených zkoušek trhacích nýtů byly vloženy do tabulkového editoru Excel, kde byly provedeny statistické výpočty, jejichž výsledkem jsou tabulky č. 7, 8, 9, 10 a obrázek č. 45, který reprezentuje graf s porovnáním hodnot zkoušek.

Tab. 7 Hodnoty průměru naměřených hodnot zkoušek spoje jednoho trhacího nýtu [autor]

Druh vzorku: Jeden nýt	Tloušťka plechu A [mm]	Tloušťka plechu B [mm]	Max. síla $F_{max-skut}$ [N]	Deformace A [%]	Čas t [s]
Aritmetický průměr	1,6	1,6	359,5	2,2	6,6
Směrodatná odchylka	0,01	0,01	191,12	0,51	1,52
Variační koeficient [%]	0,55	0,63	53,16	22,95	22,85

Tab. 8 Hodnoty průměru naměřených hodnot zkoušek spoje tří trhacích nýtů příčně umístěných [autor]

Druh vzorku: Tři nýty příčně	Tloušťka plechu A [mm]	Tloušťka plechu B [mm]	Max. síla $F_{max-skut}$ [N]	Deformace A [%]	Čas t [s]
Aritmetický průměr	1,58	1,60	2043,72	3,88	11,66
Směrodatná odchylka	0,01	0,01	87,66	0,24	0,72
Variační koeficient [%]	0,55	0,63	4,29	6,13	6,14

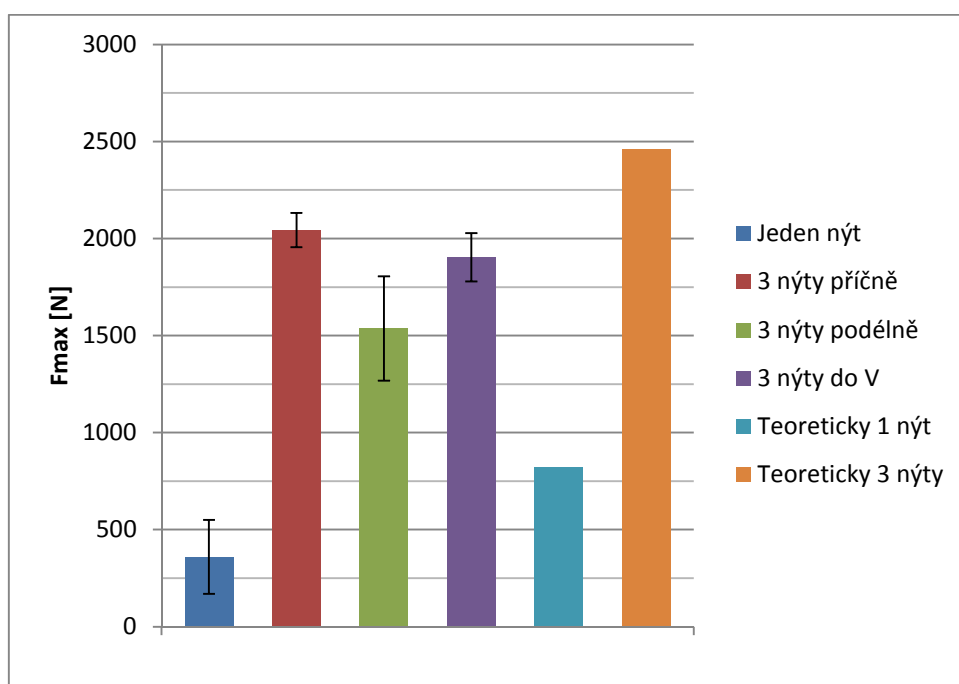
Tab. 9 Hodnoty průměru naměřených hodnot zkoušek spoje tří trhacích nýtů podélně umístěných [autor]

Druh vzorku: Tři nýty podélně	Tloušťka plechu A [mm]	Tloušťka plechu B [mm]	Max. síla $F_{max-skut}$ [N]	Deformace A [%]	Čas t [s]
Aritmetický průměr	1,60	1,60	1536,30	3,71	11,16
Směrodatná odchylka	0,01	0,01	268,53	1,34	4,02
Variační koeficient [%]	0,55	0,63	17,48	36,07	36,04

Tab. 10 Hodnoty průměru naměřených hodnot zkoušek spoje tří trhacích nýtů umístěných do tvaru „V“ [autor]

Druh vzorku: Tři nýty do V	Tloušťka plechu A [mm]	Tloušťka plechu B [mm]	Max. síla $F_{max-skut}$ [N]	Deformace A [%]	Čas t [s]
Aritmetický průměr	1,60	1,60	1904,18	3,89	11,70
Směrodatná odchylka	0,01	0,01	124,55	0,25	0,76
Variační koeficient [%]	0,55	0,63	6,54	6,53	6,53

Obr. 45 Grafické znázornění výsledků destrukční zkoušky trhacích nýtů [autor]

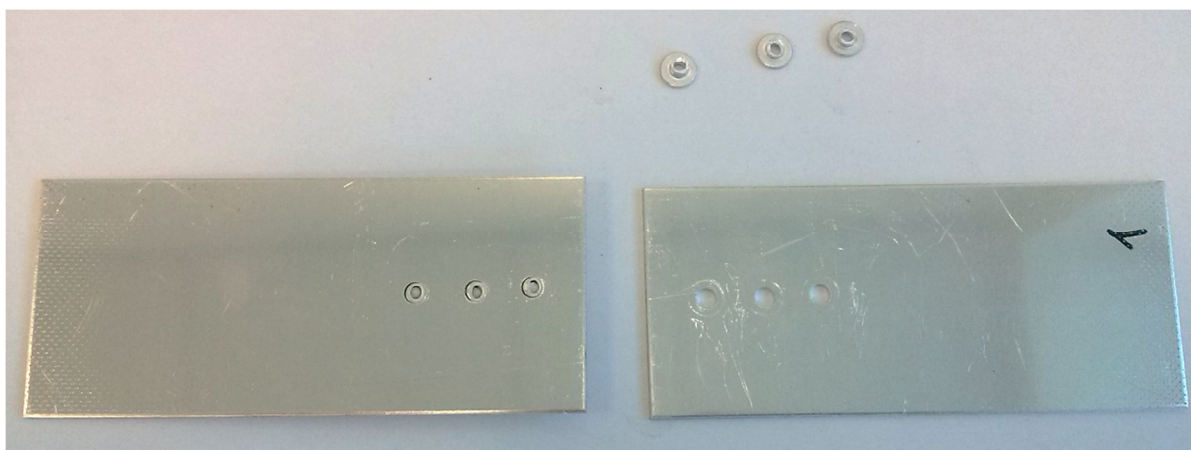


Z tabulek č. 7, 8, 9, 10 a grafu č. 40 je patrné, že nejvyšší silové zatížení při destrukční zkoušce přenesl nýtový spoj se třemi nýty uloženými příčně, jehož průměrná hodnota síly $F_{max-skut}$ odpovídala 2043,72 N. Nýtový spoj s uložením nýtů do „V“ vykazoval průměrnou hodnotu přenosu síly $F_{max-skut}$ rovnu 1904,18 N, čímž byl přibližně o 140 N horší nežli nýtový spoj se třemi nýty uloženými příčně. Nejhorší dle praktických výsledků během destrukčních zkoušek byl vyhodnocen nýtový spoj s uložením tří nýtů podélně (obr. 46), který vykazoval hodnotu $F_{max-skut}$ 1536,30 N. A rozdíl mezi nýtovým spojem s nýty uloženými příčně představoval hodnotu 507,42 N. Porovnáním s teoretickou hodnotou F_{trh3} , vypočtenou na základě vlastností materiálu a hodnoty uváděné dodavatelem nýtů, lze definovat, že ani jeden z nýtových spojů skládající se ze tří nýtů nedokáže přenést maximální uvažované zatížení v hodnotě 2460 N. Nýtový spoj s jedním nýtem vykazoval ze všech čtyř vzorků absolutně

nejhorší výsledky, protože jeho průměrné maximální zatížení $F_{max-skut}$ dosahuje pouze hodnoty 359,5 N, což není ani polovina uvažované maximální hodnoty deklarované výrobcem a teoretickým výpočtem F_{trh1} .

Teoretickou domněnkou, proč jeden nýt nedokázal v dané destrukční zkoušce přenést dostatečné zatížení, je absence třecí složky F_r ve spoji, která se do určitého okamžiku zatížení nemalou měrou podílí na přenosu zatížení. Teoretickým důvodem, proč nýtové spoje nedosahovaly dostatečné únosnosti, může být vliv ručního nýtování spoje, kdy kvalita spoje není tak vysoká jako při nýtování pneumatickými pistolemi a druhým aspektem může být vliv nesouosého zatížení při destrukční zkoušce, způsobeného přeplátováním spoje pouze z jedné strany.

Obr. 46 Náhled na vzorek tří trhacích nýtů podélně uložených po destrukční zkoušce [autor]



4.6.3 Výsledky nýtového spoje s plnými leteckými nýty

Dle podkladů v normě OST 1 34073-83 je plný letecký nýt vyroben z materiálu dural Д18, (viz. příloha č. V). Materiál Д18 je ekvivalent k materiálu ČSN 42 4204, jehož hodnota meze pevnosti ve smyku τ_s je rovna 186 MPa dle materiálového listu [38]. Změřením průřezu skutečného trhacího nýtu $\varnothing 4 \times 9$ mm bylo zjištěno, že průměr D_1 těla nýtu je roven 3,99 mm. Na základě těchto hodnot lze spočítat únosnost nýtového spoje ve smyku pro variantu jednoho nýtu F_{trh1} a tří nýtů F_{trh3} :

$$F_{trh1} = \tau_s \cdot S_l = \tau_s \frac{\pi \cdot (D_1^2)}{4} = 186 \cdot \frac{\pi \cdot (15,92)}{4} = 186 \cdot 12,5 = \mathbf{2325,67 \text{ MPa}}$$

$$F_{trh3} = 3 \cdot \tau_s \cdot S_l = 3 \tau_s \frac{\pi \cdot (D_1^2)}{4} = 3 \cdot 186 \cdot \frac{\pi \cdot (15,92)}{4} = 3 \cdot 186 \cdot 12,5 = \mathbf{6977,02 \text{ MPa}}$$

Výsledky destrukční zkoušky nýtových spojů s plnými nýty

Naměřené hodnoty z provedených zkoušek plných nýtů byly vloženy do tabulkového editoru Excel, kde byly provedeny statistické výpočty, jejichž výsledkem jsou tabulky č. 11, 12, 13, 14 a obrázek č. 47, který reprezentuje graf s porovnáním hodnot zkoušek.

Tab. 11 Hodnoty průměru naměřených hodnot zkoušek spoje jednoho plného nýtu [autor]

Druh vzorku: Jeden nýt	Tloušťka plechu A [mm]	Tloušťka plechu B [mm]	Max. síla $F_{max-skut}$ [N]	Deformace A [%]	Čas t [s]
Aritmetický průměr	1,6	1,6	1785,6	3,0	9,2
Směrodatná odchylka	0,013	0,011	101,092	0,250	0,750
Variační koeficient [%]	0,83	0,67	5,66	8,21	8,19

Tab. 12 Hodnoty průměru naměřených hodnot zkoušek spoje tří plných nýtů příčně umístěných [autor]

Druh vzorku: Tři nýty příčně	Tloušťka plechu A [mm]	Tloušťka plechu B [mm]	Max. síla $F_{max-skut}$ [N]	Deformace A [%]	Čas t [s]
Aritmetický průměr	1,61	1,61	7371,73	7,53	22,63
Směrodatná odchylka	0,01	0,01	305,47	1,02	3,07
Variační koeficient [%]	0,50	0,79	4,14	13,58	13,57

Tab. 13 Hodnoty průměru naměřených hodnot zkoušek spoje tří plných nýtů podélně umístěných [autor]

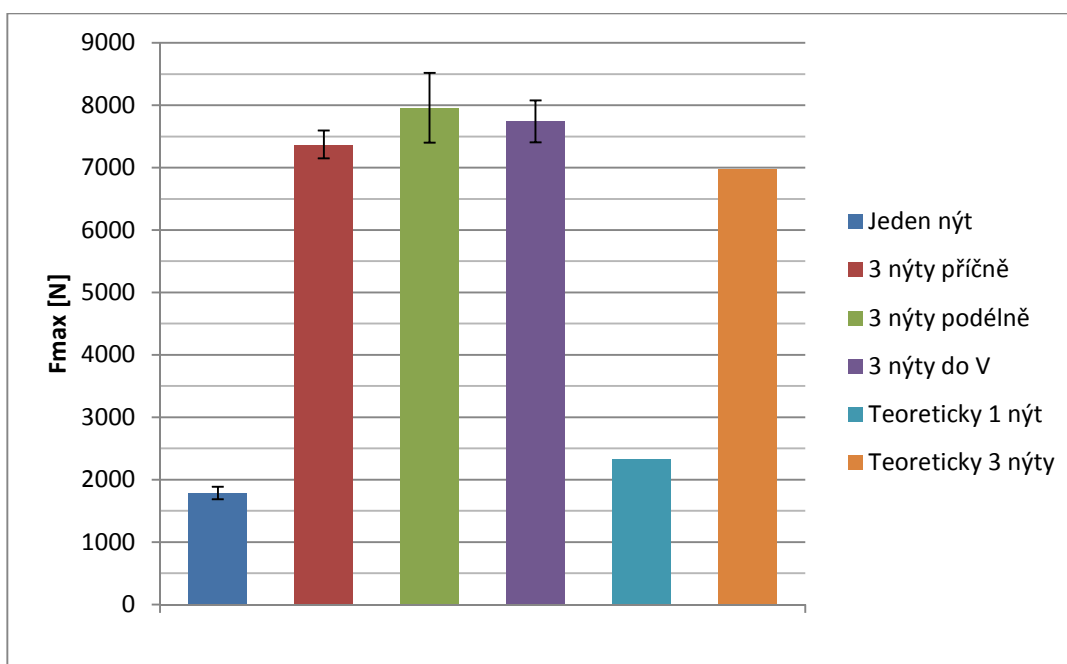
Druh vzorku: Tři nýty podélně	Tloušťka plechu A [mm]	Tloušťka plechu B [mm]	Max. síla $F_{max-skut}$ [N]	Deformace A [%]	Čas t [s]
Aritmetický průměr	1,60	1,60	7959,13	6,71	20,16
Směrodatná odchylka	0,02	0,01	577,69	0,83	2,48
Variační koeficient [%]	0,96	0,71	7,26	12,31	12,29

Tab. 14 Hodnoty průměru naměřených hodnot zkoušek spoje tří plných nýtů umístěných do tvaru V [autor]

Druh vzorku: Tři nýty do V	Tloušťka plechu A [mm]	Tloušťka plechu B [mm]	Max. síla $F_{max-skut}$ [N]	Deformace A [%]	Čas t [s]
Aritmetický průměr	1,61	1,61	7740,9	6,12	18,40
Směrodatná odchylka	0,01	0,01	335,28	0,44	1,33
Variační koeficient [%]	0,83	0,56	4,33	7,23	7,25

Z tabulek č. 11, 12, 13, 14 a grafu č. 43 je patrné, že nejvyšší silové zatížení při destrukční zkoušce přenesl plný nýtový spoj se třemi nýty uloženými podélně, jehož průměrná hodnota síly $F_{max-skut}$ odpovídala 7959,13 N. Nýtový spoj s uložením tří nýtů do V vykazoval průměrnou hodnotu přenosu síly $F_{max-skut}$ rovnu 7740,90 N, čímž byl přibližně o 218 N horší nežli nýtový spoj se třemi nýty uloženými podélně. Nejhuře dle praktických výsledků během destrukčních zkoušek byl vyhodnocen nýtový spoj s uložením tří nýtů příčně, který vykazoval hodnotu $F_{max-skut}$ 7371,73 N. A rozdíl s nýtovým spojem s nýty uloženými podélně představoval hodnotu 587 N. Porovnáním s teoretickou hodnotou F_{trh3} , vypočtenou na základě vlastností materiálu a hodnoty uváděné dodavatelem nýtů lze definovat, že všechny nýtové spoje skládající se ze tří nýtů překročily únosnost maximálního uvažovaného zatížení v hodnotě 6977,02 N.

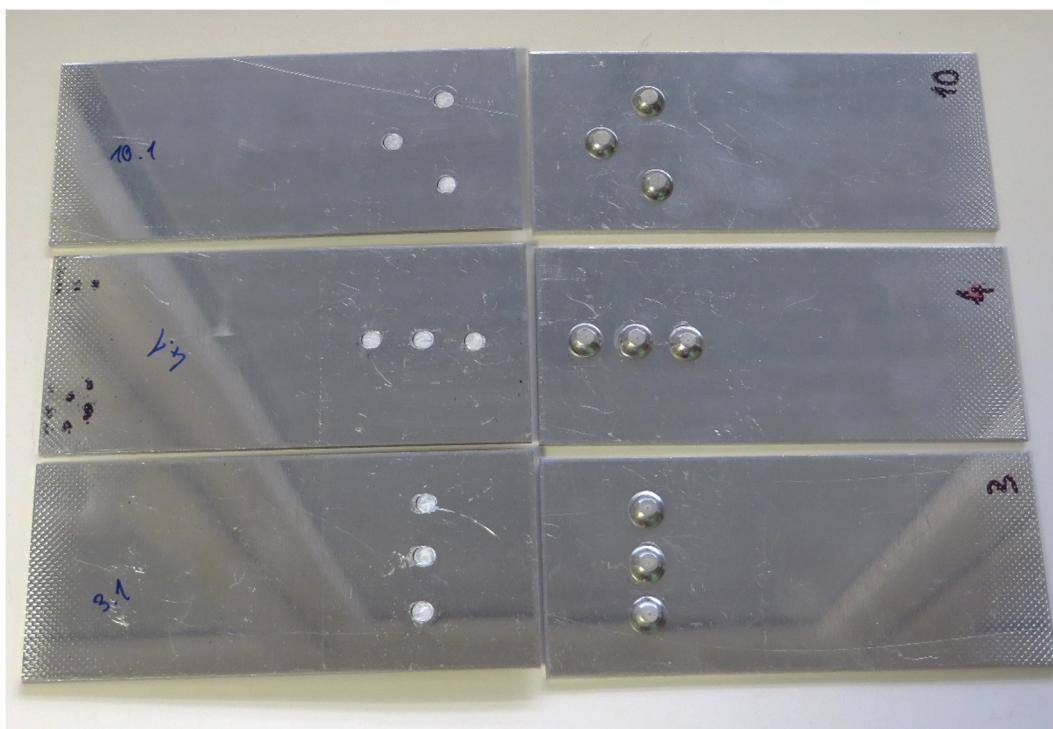
Obr. 47 Grafické znázornění výsledků destrukční zkoušky plných nýtů [autor]



Nýtový spoj s jedním nýtem vykazoval ze všech čtyř vzorků nejhorší výsledky, jeho průměrné maximální zatížení $F_{max-skut}$ dosahuje pouze hodnoty 1785,6 N, což je přibližně 76 % teoretické hodnoty F_{trhl} získané výpočtem.

Teoretickou domněnkou, proč jeden nýt nedokázal v dané destrukční zkoušce přenést dostatečné zatížení je, že ve spoji je absence třecí složky F_r , která se do určitého okamžiku průběhu zatížení nemalou měrou podílí na přenosu zatížení. Teoretickým důvodem, proč nýtové spoje složené ze tří nýtů dosahovaly dostatečné únosnosti oproti nýtovým spojům vytvořeným pomocí trhacích nýtů, je, že při tváření nýtů docházelo kromě zhutnění nýtu i k vytvoření více předepjatého silového třecího spoje vlivem rázového vytváření závěrné hlavy. Tyto aspekty zapříčinily vznik větší třecí složky mezi polotovary plechů, nežli bylo u ručně vytvořených spojů pomocí trhacích nýtů. Druhým důvodem vyšších výsledků nežli je teoretická hodnota může být i fakt, že zkoušené plné nýty jsou určeny pro leteckou výrobu. V leteckém průmyslu platí přísná pravidla na jakost i výstupní kontrolu vyráběného či montovaného materiálu, tudíž hodnota meze pevnosti ve smyku udávaná v normě nýtů OST 1 34073 by měla být minimální hodnota, pod níž by ani jeden nýt ze souboru vyráběných nýtů neměl klesnout (obr. 48).

Obr. 48 Náhled na vzorky tří plných nýtů po destrukční zkoušce [autor]



4.6.4 Zkoušky MKP

Zkoušky nýtových spojů byly podrobeny i teoretické zkoušce metodou konečných prvků v MKP editoru NX NASTRAN 10.0-64bit.

Polotovary duralových plechů byly jednotlivě transformovány na „midsurface“ (střednicová plocha). K vysítování u všech těchto dílů byly použity 2D kvadratické elementy CQUAD8 o maximální velikosti elementu 3,9 mm. Mezi sítěmi byl nastaven kontakt.

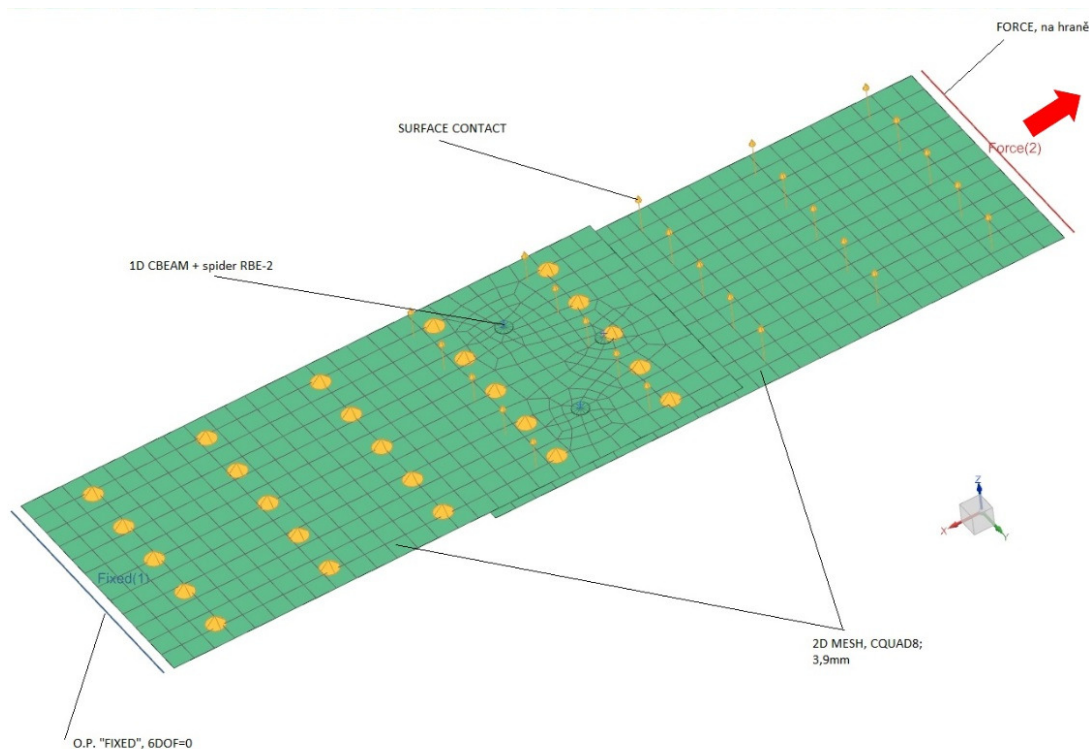
Nýtové spoje jsou simulovány 1D elementy CBEAM RBE-2 s daným průřezem, mechanickými vlastnostmi a orientací jako simulované nýty. Element 1D CBEAM je uchycen pomocí klecí z elementů (spider). Nýtovaná sestava je uložena pomocí okrajových podmínek „FIX“, tzn. $6 \text{ DOF} = 0$.

Při výpočtu byl zvolen materiál polotovaru duralových plechů 2024 T3 s příslušnými materiálovými vlastnostmi a mezí pevnosti v tahu R_m rovné hodnotě 401 MPa.

Pro měření první sady modelových vzorků je zatížení simulováno jako spojitě zatížení na hraně 2D MESHE (červeně označené na obrázku č. 49) působící v ose $-x$ s nastavenou velikostí na hodnotu 1000 N.

Pro měření druhé sady modelových vzorků je zatížení simulováno jako spojitě zatížení na hraně 2D MESHE (červeně označené na obrázku č. 54) působící v ose y s nastavenou velikostí na hodnotu 500 N.

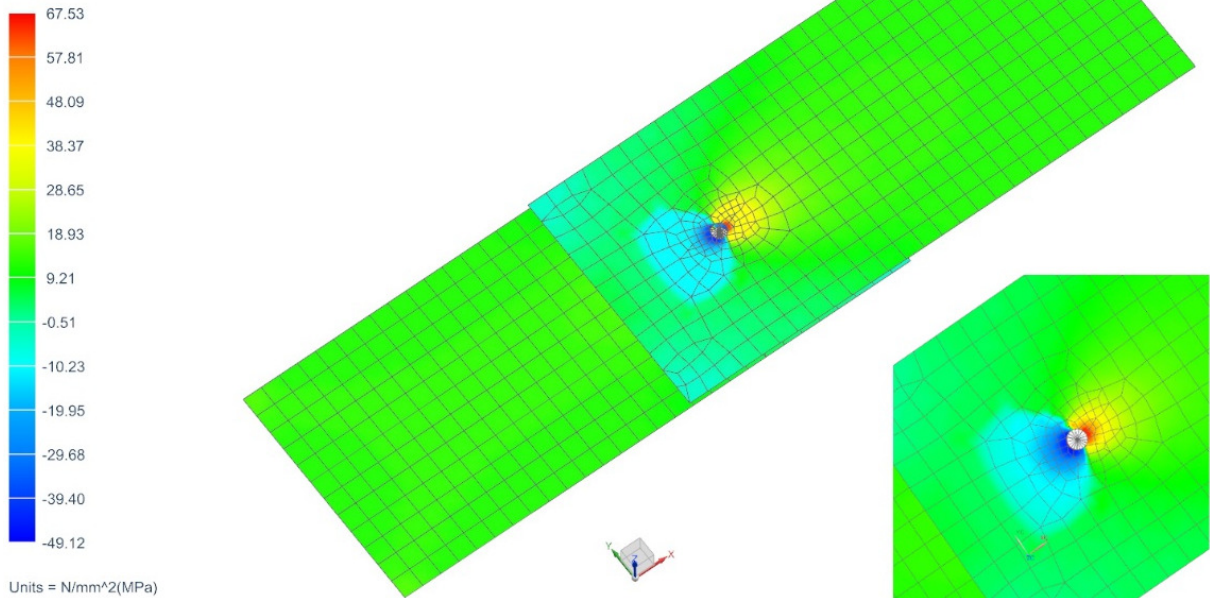
Obr. 49 Nastavení podmínek pre-processingu při MKP zatížení v ose $-x$ [autor]



Distribuce deformačního napětí při zatížení podélnou silou 1000 N

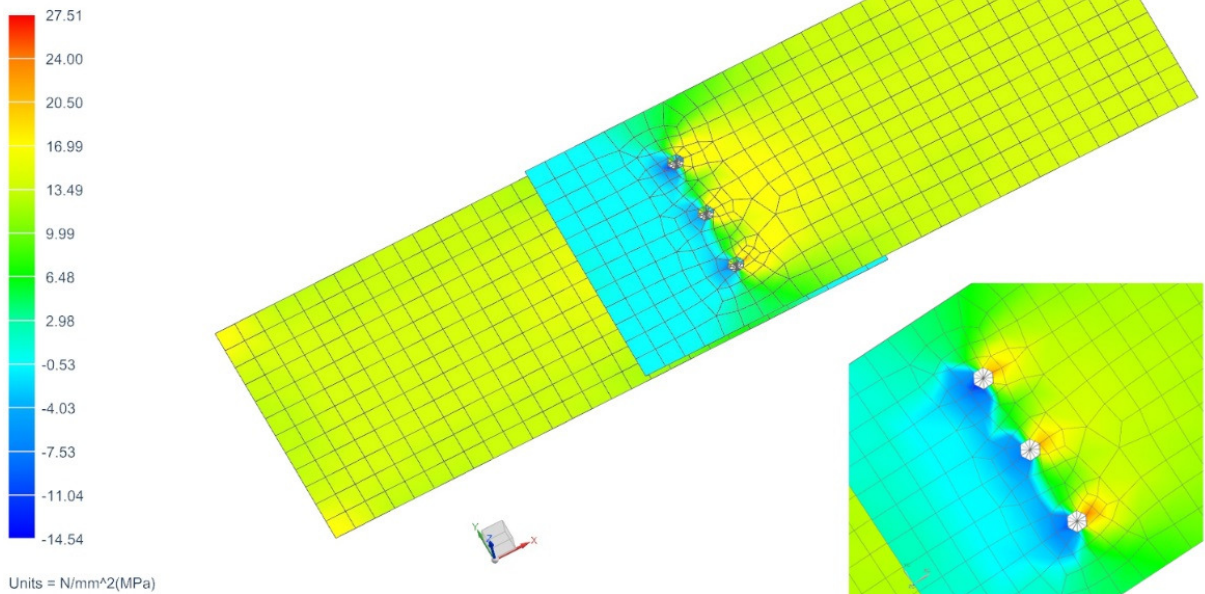
Obr. 50 Průběh deformačního napětí u nýtového spoje s jedním nýtem [autor]

jeden_spider_fem1_sim1 : 1000 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Elemental, Averaged, Worst Principal
Shell Section : Middle
Min : -49.12, Max : 67.53, Units = N/mm²(MPa)



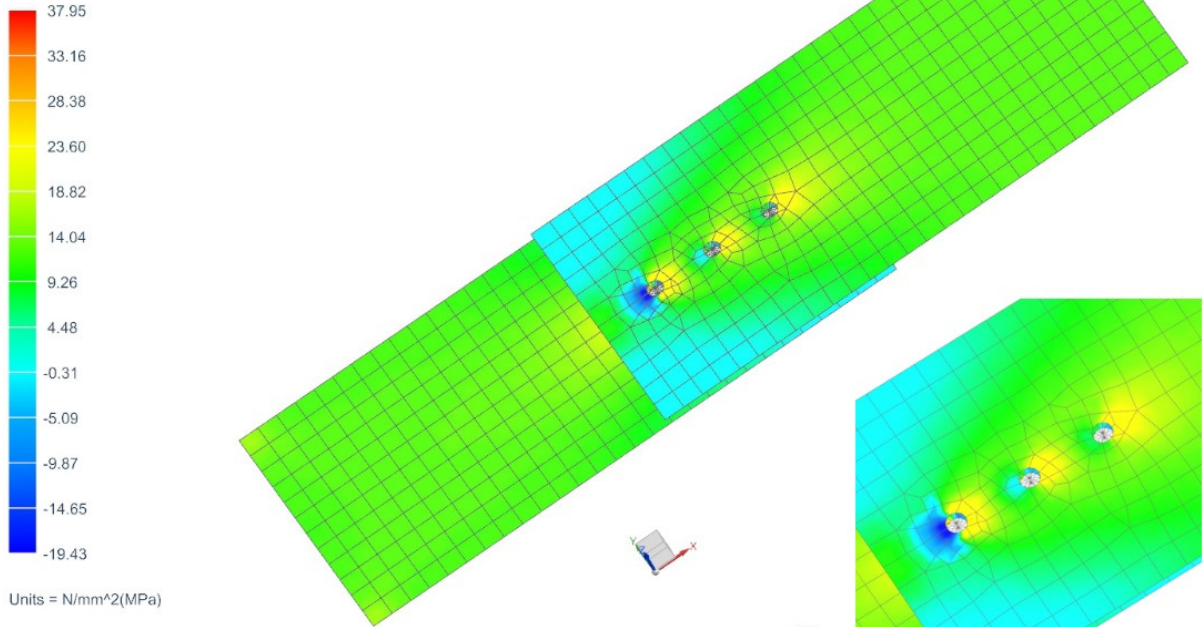
Obr. 51 Průběh napětí u nýtového spoje se třemi příčně uloženými nýty [autor]

pricny_spider_fem1_sim1 : 1000 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Elemental, Averaged, Worst Principal
Shell Section : Middle
Min : -14.54, Max : 27.51, Units = N/mm²(MPa)



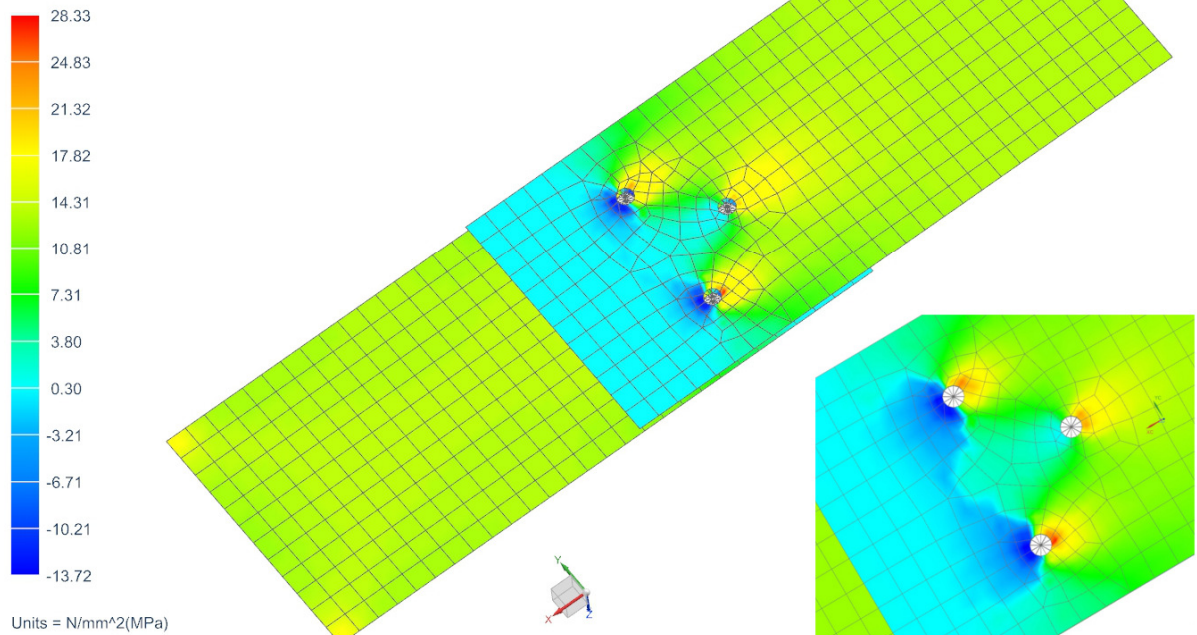
Obr. 52 Průběh napětí u nýtového spoje se třemi podélně uloženými nýty [autor]

podelny_spider_fem1_sim1 : 1000 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Elemental, Averaged, Worst Principal
Shell Section : Middle
Min : -19.43, Max : 37.95, Units = N/mm²(MPa)



Obr. 53 Průběh napětí u nýtového spoje se třemi nýty uloženými do V [autor]

V_1dbeam_spider_fem1_sim1 : osa_1000 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Elemental, Averaged, Worst Principal
Shell Section : Middle
Min : -13.72, Max : 28.33, Units = N/mm²(MPa)



Dle napět'ové mapy modelových vzorků na obrázcích č. 50, 51, 52, 53 je zřejmé, že v případě působení pouze tahovou silou ve směru osy $-x$ vzniká v nýtovém spoji s jedním nýtem, se třemi nýty příčně uloženými, se třemi nýty podélně uloženými a se třemi nýty uloženými do V největší napětí v okolí pozice nýtů a to vždy ve směru působení síly. Maximální hodnoty deformačního napětí v tahu σ_t [MPa] a napětí v tlaku σ_d [MPa] jsou uvedeny v tabulce č. 15

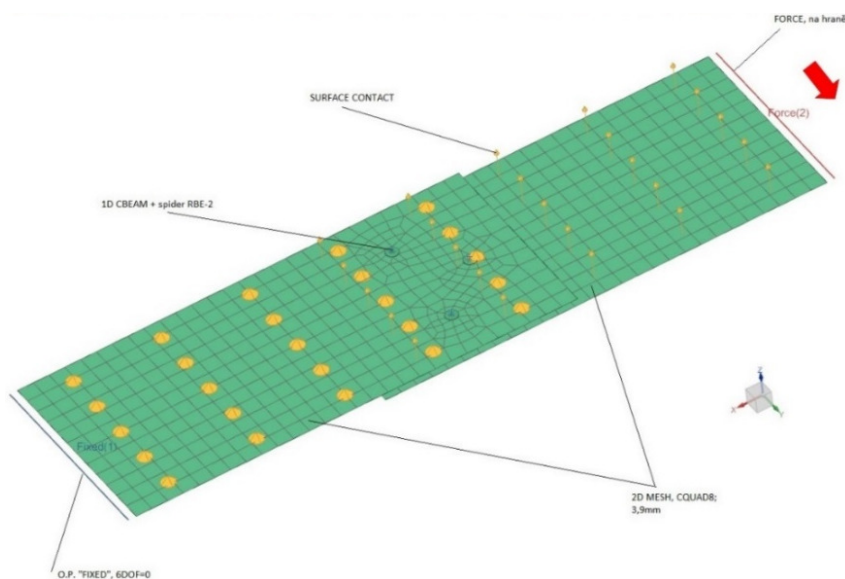
Tab. 15 Hodnoty deformačního napětí v nýtových spojih zatížených podélnou silou 1000 N [autor]

Druh vzorku:	σ_t [MPa]	σ_d [MPa]
Jeden nýt	67,53	49,12
Tři nýty příčně	27,51	14,54
Tři nýty podélně	37,95	19,43
Tři nýty do V	28,33	13,72

Na základě grafických výsledků napět'ových map zjištěných metodou konečných prvků je možné vyslovit stanovisko, že v případě působení na nýtový spoj jednoduchou tahovou silou ve směru osy $-x$ jsou nejmenší průběhy napětí ve vzorcích s uložením nýtů v příčném směru a do V. Nižší hodnota napětí znamená nižší působení smykovou silou na nýty a tím i větší únosnost spoje. Poměry průběhu napětí při zatěžované síle o velikosti 1000 N jsou ekvivalentní poměrům průběhu napětí při vyšších i nižších hodnotách zatěžovací síly, např. 500 N a 5000 N.

Distribuce napětí při zatížení příčnou silou 500 N

Obr. 54 Nastavení podmínek pre-processingu při MKP zatížení v ose y [autor]

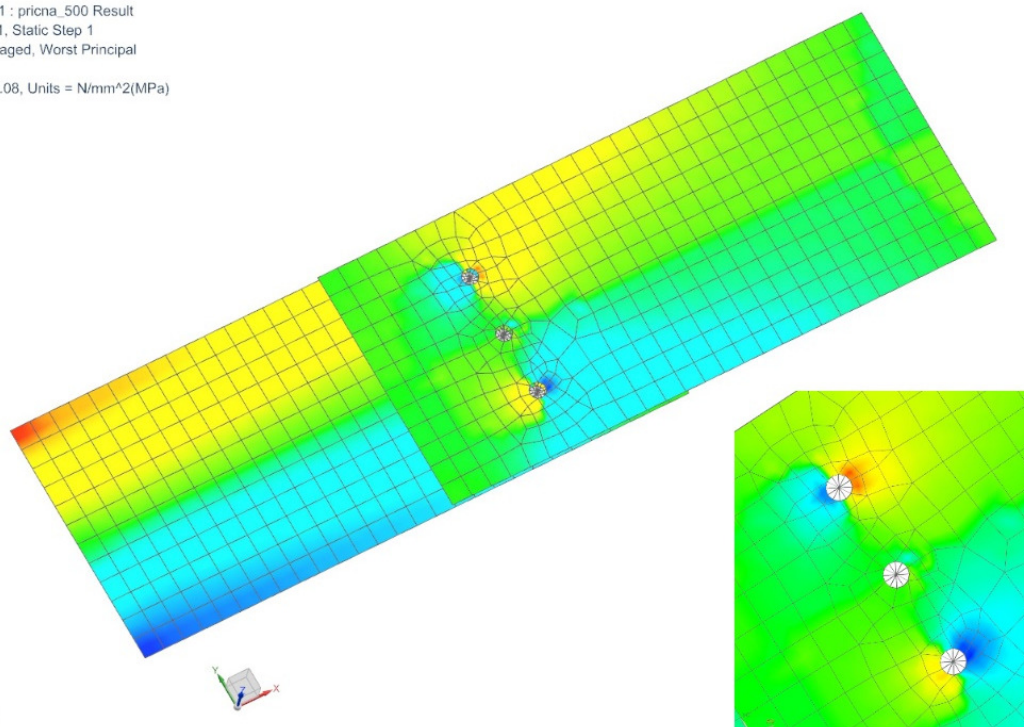


Obr. 55 Průběh napětí u nýtového spoje se třemi příčně uloženými nýty [autor]

pricny_spider_fem1_sim1 : pricna_500 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Elemental, Averaged, Worst Principal
Shell Section : Middle
Min : -133.19, Max : 128.08, Units = N/mm²(MPa)



Units = N/mm²(MPa)

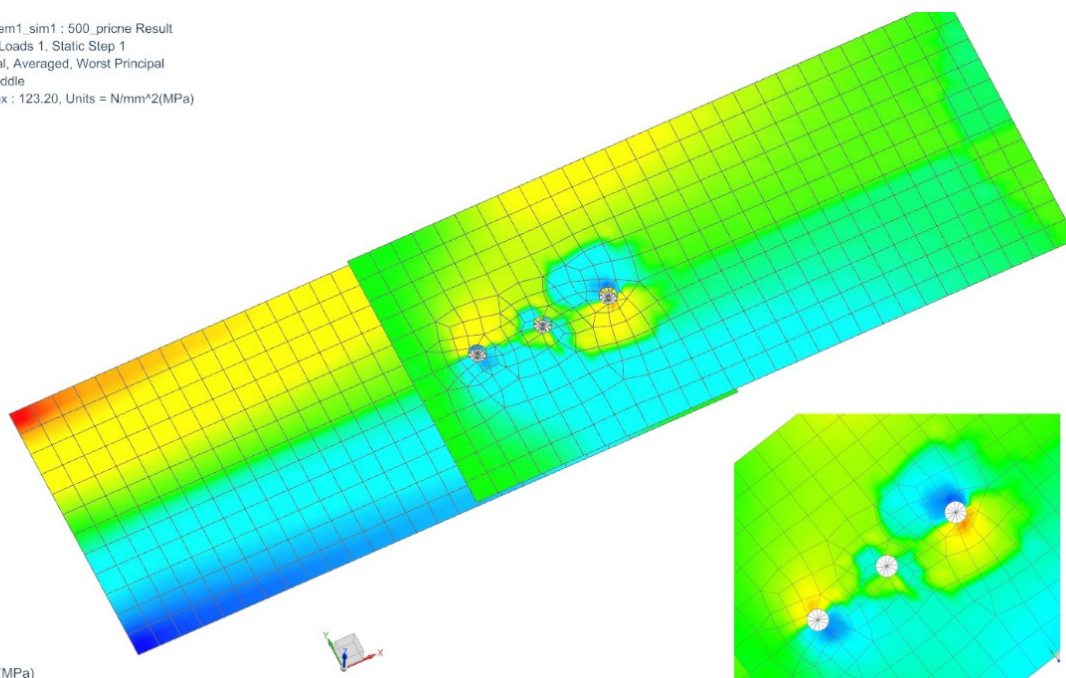


Obr. 56 Průběh napětí u nýtového spoje se třemi podélně uloženými nýty [autor]

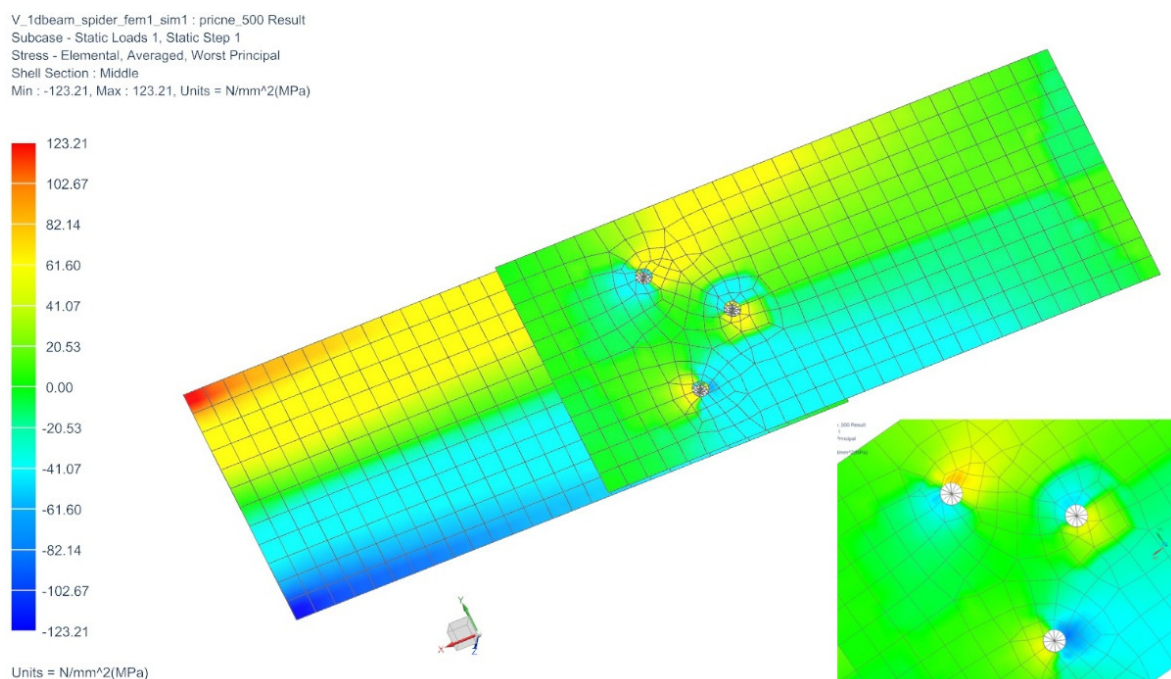
podelny_spider_fem1_sim1 : 500_pricne Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Elemental, Averaged, Worst Principal
Shell Section : Middle
Min : -123.20, Max : 123.20, Units = N/mm²(MPa)



Units = N/mm²(MPa)



Obr. 57 Průběh napětí u nýtového spoje se třemi nýty uloženými do V [autor]



Na napěťových mapách modelových vzorků na obrázcích č. 55, 56, 57 jsou znázorněny u všech tří rozložení nýtů největší napětí v levém horním rohu, tato hodnota je však pro výsledek zkoušky irelevantní a jen znázorňuje napětí v okrajové podmínce ukotvení. Důležité maximální hodnoty deformačního napětí v tahu σ_t [MPa] a tlaku σ_d [MPa] definující vliv uložení nýtů jsou v okolí nýtových spojů, kde k vyhodnocení výsledků došlo pomocí grafické metody porovnáním barev stupnice a detailu v okolí nýtů. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 16. Modelová zkouška pro spoj pomocí jednoho nýtu nebyla prováděna, protože tento spoj nedokáže v tomto směru přenášet zatížení.

Tab. 16 Hodnoty deformačního napětí v nýtových spojích zatížených příčnou silou 500 N [autor]

Druh vzorku:	σ_t [MPa]	σ_d [MPa]
Tři nýty příčně	113,42	117,16
Tři nýty podélně	102,95	95,95
Tři nýty do V	82,36	83,15

Na základě grafických výsledků napěťových map interpretovaných na obrázcích 55, 56, 57 a sumarizovaných v tabulce č. 16 zjištěných metodou konečných prvků je možné vyslovit stanovisko, že v případě působení na nýtový spoj jednoduchou silou ve směru osy y jsou nejmenší průběhy napětí v okolí nýtů u vzorku s nýty do V. Nižší hodnota napětí znamená

menší působení smykovou silou na nýty a tím i větší únosnost spoje. Poměry průběhu napětí při zatěžované síle o velikosti 500 N jsou ekvivalentní poměrům průběhu napětí při vyšších i nižších hodnotách zatěžovací síly, např. 300 N a 2000 N.

4.7 Diskuse výsledků praktické a teoretické zkoušky

Výsledky praktické zkoušky podrobněji popsané v bodě 4.6.2, 4.6.3 a teoretické zkoušky podrobněji popsané v bodě 4.6.4 se v určitých směrech rozcházejí. Na základě tohoto zjištění se pro možnost porovnání výsledků přistoupilo k hodnocení nýtu v každé kategorii metodou známkování se škálou od jedné do čtyř, kde jedna představuje nejlepší výsledek a čtyři nejhorší výsledek. Pouze u spoje s jedním nýtem byl výsledek znásoben třikrát, aby ho bylo možné posoudit s ostatními kombinacemi spojů. Porovnání výsledků, jež je popsáno v tabulce č. 17, je rozděleno na porovnání s úvahou praktické zkoušky s teoretickou zkouškou se zatížením pouze ve směru podélném, praktické zkoušky s teoretickou zkouškou se zatížením ve směru podélném a příčném, pouze praktické zkoušky a pouze teoretické zkoušky.

Tab. 17 Výsledky teoretické a praktické zkoušky s bodovým ohodnocením [autor]

	Jeden nýt	Tři nýty příčné	Tři nýty podélně	Tři nýty do V
Trhací nýty - praktická zkouška	4,0	1,0	3,0	2,0
Plné nýty - praktická zkouška	4,0	3,0	1,0	2,0
Teoretická zkouška - podélné zatížení	4,0	1,0	3,0	2,0
Teoretická zkouška - příčné zatížení	-	3,0	2,0	1,0
Výsledek prakt. a teor. bez teor. příčné	4,0	1,7	2,3	2,0
Výsledek prakt. a teor. s teor. příčnou	4,0	2,0	2,3	1,8
Výsledek pouze teor. příčná a podélná	4,0	2,0	2,5	1,5
Výsledek pouze prakt.	4,0	2,0	2,0	2,0

5 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá problematikou technologie nýtování v oblasti konstrukčních spojů. Jejím hlavním cílem bylo provedení a vyhodnocení experimentu nýtových spojů s rozdílnou geometrií umístění nýtů a druhu nýtů na základě znalostí shrnutých v literární rešerši.

V literární části jsou definovány jednotlivé druhy nýtových spojů, typy nýtů, metody nýtování a výpočty nýtových spojů. Následně je ve zkrácené formě nastíněna numerická počítačová metoda konečných prvků. V závěru literární části jsou charakterizovány materiály nýtů a jejich využití v oblasti leteckého, automobilového a stavebního průmyslu.

V experimentální části je analyzován postup celého experimentu, od postupu přípravy vzorků, dělení stříháním, řezáním pomocí metody vodního paprsku, až po ruční nýtování trhacích a plných leteckých nýtů.

Experimentální část diplomové práce vychází z předpokladu, že smykový způsob namáhání je jedním ze zásadních faktorů ovlivňujících pevnost nýtového spoje. Experimentální část je rozdělena do několika částí.

První část se zabývá stanovení meze pevnosti v tahu materiálu plechu vzorků, ze kterých byly následně vytvořeny nýtové spoje a výsledků zkoušek, které měly potvrdit jakost materiálu plechu. Na základě výsledků zkoušek byla potvrzena shoda s materiálovým atestem z pohledu maximální meze pevnosti v tahu.

Druhá část je zaměřena na destrukční zkoušku nýtovaných spojů s různým geometrickým uspořádáním nýtů na trhacím stroji LabTest 5.50 ST. V práci byl testován jeden z nejtypičtějších způsobů zatěžování, zatěžování smykem. Pro tento způsob je nejvíce používán jednostranně přeplátovaný spoj, pro jednoduchou montáž a nízké náklady na zhotovení. Nýtované spoje byly vytvořeny ve čtyřech variantách a to s geometrickým uspořádáním nýtového spoje s jedním nýtem uprostřed, s uspořádáním tří nýtů podélně uprostřed, s uspořádáním tří nýtů příčně uprostřed a s uspořádáním tří nýtů do písmene „V“, jak je možné vidět na obrázku č. 29. Zároveň byly vzorky nýtových spojů vytvořeny ve dvou souborech a to z trhacích nýtů z hliníkového materiálu těla i trnu obvyklé jakosti a z přesných leteckých nýtů materiálu D18.

Třetí část experimentální zkoušky je věnována simulaci pomocí metody konečných prvků v MKP editoru NX NASTRAN 10.0-64bit, dle definovaných parametrů. Modely nýtových spojů byly vymodelovány ve stejných tvarech a rozložení jako skutečné vzorky pro destrukční zkoušku. Kromě namáhání zatěžovací tahovou silou v podélném směru byla provedena i teoretická zkouška namáhání zatěžovací tahovou silou v příčném směru.

Výsledky zkoušek popsaného v závěru experimentální části se z pohledu teoretické a praktické zkoušky mírně liší. V případě, že byly nýtové spoje posuzovány pouze z pohledu tahové síly působící v podélném směru, pak nejlepší výsledky dosahoval vzorek s geometrickým uspořádáním tří nýtů ve směru příčném a nejhorší výsledek dosahoval vzorek s uspořádáním tří nýtů ve směru podélném. Pokud však bylo nahlédnuto na vzorky z pohledu, že zatížení není vždy v přímém směru a vzaly se v potaz výsledky zkoušek únosnosti nýtového spoje při zatížení tahovou silou působící v příčném směru, pak se výsledky začaly lišit. Při tomto posouzení nejlepší výsledky dosahoval vzorek s geometrickým uspořádáním tří nýtů do „V“ a nejhorší výsledek znovu dosahoval vzorek s uspořádáním tří nýtů ve směru podélném.

Na výsledky experimentu mělo vliv několik faktorů, které mohly mít za následek zkreslení výsledku. Prvním faktorem jsou určité odlišnosti nýtových spojů, které byly zapříčiněny ručním nýtováním, např. při tváření závěrné hlavy plných leteckých nýtů nebyl vždy dodržen stejný počet úderů kladivem. Druhým faktorem je vliv třecí složky v nýtovém spoji, se kterou se standardně při výpočtech nepočítá. Tato složka však při rozložení nýtů v dostatečné blízkosti vůči sobě a vytvoření nýtového spoje rázovým tvářením, může mít nemalý vliv na únosnost spoje. Třetí a asi nejpodstatnější vliv je tzv. parazitní napětí, které je způsobeno aditivním ohybem. Aditivní ohyb je do spoje zaveden z důvodu nesouosého působení zatěžovací síly upnutím částí jednostranně přeplátovaného vzorku v kleštinách trhacího stroje. Působením této aditivní ohybové síly dochází u nýtů kromě namáhání na otlačení a smyk dřívku také k působení složky tahové síly v ose nýtu, která namáhá hlavu nýtu.

Z výsledků experimentální praktické i teoretické části je patrné, že geometrické upořádání má vliv na únosnost spoje. Pro přesnější výsledky, popřípadě zjištění určité závislosti, by však bylo vhodné pokračovat v experimentu, kde by jednostranně přeplátovaný spoj byl nahrazen dvojstřížným spojem s dvěma přeplátovanými deskami tak, aby byl při působení síly v podélném směru vyrušen vliv aditivního ohybu a zároveň vyzkoušet spoje při kombinovaném zatížení, které se v reálných aplikacích vyskytuje nejčastěji.

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] FALTUS, František. *Ocelové konstrukce svařované a nýtované*. Praha: Technicko-vědecké vydavatelství, 1951. Spisy České matice technické.
- [2] DANĚK, Otakar a Nikolaj Markovič GORBATOV. *Nýtování v letectví a v podobné výrobě*. Praha: Práce, 1951. Technické příručky Práce.
- [3] NĚMEC, Karel. *Nýtování: všeobecné informace o nýtování v kovodělné výrobě*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965. Kurs technických znalostí.
- [4] ROARK, Raymond J., Warren C. YOUNG a Richard G. BUDYNAS. *Roark's formulas for stress and strain*. 7th ed. New York: McGraw-Hill, c2002. ISBN 00-707-2542-X.
- [5] *Nýtové spoje* [online] [cit. 2017-03-01] Dostupné z: http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-s-10_nytovespoje.pdf
- [6] DOLEČEK, Josef a Zdeněk HOLOUBEK. *Strojnictví II pro střední odborná učiliště*. 2. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1987.
- [7] FRISCHHERZ, Adolf, Paul SKOP a Jiří KNOUREK. *Technologie zpracování kovů*. [1. vyd.]. Praha: Wahlberg, 1993. ISBN 80-901657-2-9.
- [8] [online] [cit. 2017-02-04] Dostupné z: <http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/riveted>
- [9] Hliník AlMg5 – ČSN 42 4415 [online] [cit. 2017-02-06] Dostupné z: <http://www.proal.cz/info/424415.htm>
- [10] *Fasteners* [online] [cit. 2017-03-15] Dostupné z: <http://www.bendersweb.com/fasteners.htm>
- [11] *Dutý nýt* [online] [cit. 2016-12-08] Dostupné z: http://www.bucek.name/cenik/kovdutnyt.dat/dn-19_71_585r.jpg
- [12] FLAŠKA, Miroslav, ŠTEKNER, Bedřich. *Speciální letecké technologie*. 4. vyd. Praha, Vydavatelství ČVUT, 1996. 308 s. ISBN 80-01-01419-3.

- [13] TRUIJENS, Anne Mie. *Monumenten en landschappen: M.* [Brussel, Belgium: Rijksdienst voor Monumenten- en Landschapszorg], 2001. ISBN 90-621-5370-4.
- [14] JACOMY, B., *De l'objet à l'homme. Rivets et riveurs à travers la civilisation industrielle.* Université Louis Pasteur – Strasbourg, 1983
- [15] COMBAZ, P., *La Construction. Principes et applications*, vol. 3, part 7, E. Lyon-Claesen: Bruxelles, 1897.
- [16] *Trhací nýty* [online]. [cit. 2017-02-21]. Dostupné z: <http://www.gesipa.cz/docs/produktu/trhaci-nyty/standard-hlinik-ocel.pdf>
- [17] HOANG, N., R. PORCARO, M. LANGSETHA a A. HANSEN. Self-piercing riveting connections using aluminium rivets. *International Journal of Solids and Structures*. Norway: Norwegian University of Science and Technology, 2010, Pages 427–439. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2009.10.009>.
- [18] MUCHA, J. A Study of Quality Parameters and Behaviour of Self-Piercing Riveted Aluminium Sheets with Different Joining Conditions. *Strojnicki vestnik - Journal of Mechanical Engineering*. Poland: Rzeszow University of Technology, 2011, Pages 323-333. DOI: 10.5545/sv-jme.2009.043.
- [19] *LabTest 5.50* [online]. [cit. 2017-01-11]. Firemní prezentace. Dostupné z: <http://www.labortech.cz/>
- [20] *Nýtovací technologie radiální* [online]. [cit. 2016-11-26]. Dostupné z: http://www.fmw-friedrich.de/en/downloads/prospekte.html?file=files/fmw-friedrich/download/prospekte/Friedrich_Portfolio_2012_CZ.pdf
- [21] KRÁL, Roman. *Amatérský kovář* [online]. [cit. 2017-02-16]. Dostupné z: http://kovarna.webzdarma.cz/stranky/zakladni_postupy/nytovani.htm
- [22] *EAA aluminium automotive manual – Joining, Mechanical Joining* [online]. [cit. 2017-01-28]. Dostupné z: http://european-aluminium.eu/media/1523/8-mechanical-joining_2015.pdf
- [23] BENEŠOVÁ, Soňa a Vladimír Bernášek. *Technologie tváření*, vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2014. 91 s. ISBN 978-80-261-0449-0

- [24] GRUBER, Josef. *Mechanika II* [online]. [cit. 2017-01-25]. Dostupné z: http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef_gruber/mec_uceb/mec2_txt.pdf
- [25] ŠMITKA, Petr. *Aplikace nýtových spojů v korozivním prostředí*. Brno, 2006. Diplomová práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Fakulta Agronomická.
- [26] PROCHÁZKA, Karel. *Jak na metodu konečných prvků* [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: www.sspu-opava.cz/~prochazka/ruzne/MKP.doc
- [27] PATRONELLI, L., LANGRAND, B., DELETOMBE, E. MARKIEWICZ, E., DRAZETIC, P.: *Experimental procedure for riveted joint design – from material law until dynamic strength*. ICRASH 2000 – International Crashworthiness Conference, London, 2000
- [28] ADAMÍK, Petr. *Experimentální stanovení tuhosti nýtových spojů a jejich modelování metodou konečných prvků*. Brno, 2009. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství letecký ústav.
- [29] *Aritmetický průměr* [online]. [cit. 2017-01-07]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Aritmetick%C3%BD_pr%C5%AFm%C4%9Br
- [30] Friesl, M. *Pravděpodobnost a statistika*. [online]. Vystaveno 2001 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~friesl/hpsb/tit.html>
- [31] *Variační koeficient* [online]. [cit. 2017-02-05]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Varia%C4%8Dn%C3%AD_koeficient
- [32] *5052 and 6061 Aluminium sheet* [online]. [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: https://www.arconic.com/mill_products/catalog/pdf/alcoa_insert_5052and6061_final.pdf
- [33] *Complex Riveted Joint A103 379-5667* [online]. [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/Complex_Riveted_Joint_A103_379-5667.jpg
- [34] *Aluminum 2024 T-4; 2024 T-351* [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA2024T4>

- [35] 5083-H4 Aluminum [online]. [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <http://www.makeitfrom.com/material-properties/5083-H34-Aluminum>
- [36] QA PLAN & SCOPE OF WORK FOR RIVETS [online]. [cit. 2016-11-10]. Dostupné z: http://www.drdo.gov.in/drdo/drdojsp/downloadndr.jsp?tenderName=1827&MaterialId=DRDL*Defence%20Research%20&%20Development%20Laboratory&p=00862.pdf
- [37] ZUMWALT, J. *Flush riveting aluminium*. [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: http://zoomaviation.com/materials/riveting_aluminum_flush_rivets/
- [38] *Material Д18* [online]. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=1451
- [39] High performance alloys, *Monel 400* [online]. [cit. 2017-01-14]. Dostupné z: <http://www.hpalloy.com/Alloys/descriptions/MONEL400.aspx>
- [40] MatWeb, LLC, *Titanium Grade 36 55Ti-45Nb* [online]. [cit. 2017-01-14]. Dostupné z: <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=d6b13859c0934a688c18dabadd0a6f76&ckck=1>
- [41] Monogram aerospace fasteners, *COMPOSI-LOC* [online]. [cit. 2017-01-11]. Dostupné z: http://www.monogramaerospace.com/files/active/0/MBF2301_CL3_Installation.pdf
- [42] Cherry aerospace, *CHERRYMAX* [online]. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <http://www.cherryaerospace.com/docs/catalogs/CA-1015.pdf>
- [43] European steel and alloy grades, *17B2 – 1.5502* [online]. [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=727
- [44] Acerinox, *EN 1.4567 / ANSI 304 Cu* [online]. [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <https://www.acerinox.com/en/productos/tipos-de-acero/tsacxtipoacero/EN-1.4567---AISI-304-Cu-00001/>
- [45] GOPINATH, M. a G. Devaradjane. *experimental study on sae 1010 as a rivet material in automotive application*. Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences. Chennai: Anna University, 2015, 249-252. ISSN 0974-2115.

- [46] KAŠČÁK, L. a E. SPIŠÁK. *Mechanical joining methods in car body construction*. Transfer inovácií 28/2013. Košice: Technical University of Košice, 2013, 168-171.
- [47] CHRYSANTHOU, Andreas a Sun XIN, ed. *Self-piercing riveting: properties, processing and applications*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2014. Woodhead Publishing series in welding and other joining technologies. ISBN 978-184-5695-354.
- [48] *Semi-hollow self-piercing rivets* [online]. [cit. 2017-02-14]. Dostupné z: <http://www.invetr.com/body-and-structure/semi-hollow-self-piercing-rivets>
- [49] *Self-piercing rivets get another boost as Stanley enters North American automotive market* [online]. [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: <http://www.repairerdrivenews.com/2016/09/02/self-piercing-rivets-get-another-boost-as-stanley-enters-north-american-market/>
- [50] COLLETE , Q. *Riveted connection in historical metal structures (1840-1940)*. Brussel: Vrije universiteit, 2014. Faculty of engineering, Department of architectural engineering.
- [51] *Trhací nýt 4.0x8 Al/Al plochá hlava DIN 7337 A* [online]. [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <http://eshop.killich.cz/trhaci-nyt-4-0x08-al-al-din-7337-a-6004008>
- [52] *Norma OST 1 34073-85* [online]. [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <http://www.rskrepeg.ru/storage/ost/%D0%9E%D0%A1%D0%A2%201%2034073-85%20%20%2034083-85.pdf>

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A	tažnost, %
A	ideální deformační práce, J
atd.	a tak dále
ISO	International Organization for Standardization
CAD	Computer Aided Design
CNC	Computer Numerical Control
ČSN	Česká státní norma
C_x	součinitel aerodynamického odporu
č.	číslo
ČZU	Česká zemědělská univerzita
d	průměr nýtu, mm
dA	elementární práce
DIN	Deutsche Industrie-Norm (Německá průmyslová norma)
D_1	vnější průměr těla nýtu, mm
d_2	vnitřní průměr těla nýtu, mm
EN	Evropská norma
F	přetvářecí síla, N
F	celková přenášená síla, N
\vec{F}	vektor vnějších sil
F_o	únosnost na otláčení, N
F_{BP}	složka síly přenesená ostatními nýty, N
FEM	Finite Element Method
F_{max}	maximální zatěžující síla, N
$F_{max-teo}$	maximální zatěžující síla teoretická, N
$F_{max-vzor}$	maximální zatěžující síla teoretická přepočtená na průměrný průřez, N
F_R	složka síly přenášená třením, N
F_S	složka síly přenášená smykem, N
F_{TR}	složka síly přenesená jedním nýtem, N
F_{th1}	únosnost nýtového spoje ve smyku pro jeden nýt, N
F_{th3}	únosnost nýtového spoje ve smyku pro tři nýty, N
h_o	počáteční výška dřívku nýtu, mm
h_1	konečná výška dřívku nýtu, mm

\bar{K}	matice tuhosti
l_0	počáteční měřená délka, mm
l_u	délka po protažení, mm
MKP	metoda konečných prvků
n	počet nýtů
n	počet naměřených hodnot souboru
např.	například
N_1	únosnost jednostřížného nýtu, N
N_n	únosnost víceštížného nýtu, N
obr.	obrázek
OST	отраслевой стандарт (průmyslová norma)
p_0	dovolené napětí na otláčení, MPa
p_0	přetvárný odpor, MPa
PC	Personal Computer
resp.	respektive
R_m	mez pevnosti v tahu, MPa
s	směrodatná odchylka
S, S_0	plošný obsah průřezu nýtu, mm ²
S_x	průřez ve vzdálenosti x , mm ²
SPR	Self-Piercing Rivets
t	tloušťka plechu, mm
t	čas, s
tab.	tabulka
tzn.	to znamená
\vec{u}	vektor posuvů neznámých v uzlech
V_0	objem pěchovaného dřívku nýtu, mm ³
x	proměnná vzdálenost, mm
\bar{x}	aritmetický průměr
x_i	naměřená hodnota
τ_s	mez pevnosti ve smyku, MPa
τ_s	dovolené napětí ve smyku, MPa
σ_t	napětí v tahu, MPa

σ_t	napětí v tlaku, MPa
1D	jednorozměrný
2D	dvourozměrný
3D	třírozměrný
\varnothing	průřez, mm

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obrázek č. 1 Příklady přímého nýtování [6]
- Obrázek č. 2 Nýtování podle počtu průřezů a vzájemné polohy plechů [7]
- Obrázek č. 3 Jednořadé, dvouřadé a víceřadé uspořádání nýtů [3]
- Obrázek č. 4 Nýt s plochou, půlkulatou a čočkovou hlavou, nýt zapuštěný, nýt kotlářský [8]
- Obrázek č. 5 Dutý nýt, polodutý nýt, původní polodutý nýt [3,11]
- Obrázek č. 6 Trhací nýt s plochou kulatou hlavou, se zápusťnou hlavou, se závitovým trnem [16]
- Obrázek č. 7 Výbušný nýt a SPR narážecí nýt [18,7]
- Obrázek č. 8 Popis metody přímého a nepřímého nýtování [3]
- Obrázek č. 9 Průběh záznamu nýtování pneumatickým kladivem [3]
- Obrázek č. 10 Konstrukční schéma v řezu jednorázového nýtovacího kladiva [1]
- Obrázek č. 11 Průběh práce v závislosti na deformaci dřívku [3]
- Obrázek č. 12 Radiální a orbitální nýtování [20]
- Obrázek č. 13 Průběh nýtování trhacích nýtů [6]
- Obrázek č. 14 Pneumaticko-hydraulická pistole a ruční nůžkové kleště [16]
- Obrázek č. 15 Postup nýtování polodutých nýtů metodou SPR [22]
- Obrázek č. 16 Postup nýtování plných nýtů metodou SPR [22]
- Obrázek č. 17 Schéma práce při přetváření dřívku plného nýtu [23]
- Obrázek č. 18 Složení sil v jednoduchém nýtovém spoji [28]
- Obrázek č. 19 Složení sil v jednoduchém nýtovém spoji [28]
- Obrázek č. 20 Složení sil v jednom nýtu ve vícenásobném nýtovém spoji [28]
- Obrázek č. 21 Liniové, plošné, objemové a speciální prvky [26]
- Obrázek č. 22 Společný uzel pro více prvků [26]
- Obrázek č. 23 Vliv tvaru a výšky hlavy nýtu na součinitele odporu C_x [26]
- Obrázek č. 24 Přední část trupu letounu L-39 C [autor]
- Obrázek č. 25 Průběh tváření nýtového spoje - Composi - Lok vlevo a Cherrymax vpravo. [41]
- Obrázek č. 26 Řez nýtovým spojem vytvořeným nýtem SPR [49]
- Obrázek č. 27 Využití SPR nýtů na kostře vozidla Audi TT [48]

- Obrázek č. 28 Příklad spojení detailu mostní konstrukce [33]
- Obrázek č. 29 Nýtovací plán pro soubory vzorků [autor]
- Obrázek č. 30 Zkušební vzorek pro statickou zkoušku tahem [autor]
- Obrázek č. 31 CNC řezací stroj AW-CT 0806 [autor]
- Obrázek č. 32 Elektromechanický trhací stroj LabTest 5.50 ST [autor]
- Obrázek č. 33 Náhled na rozhraní programu Test & Motion [autor]
- Obrázek č. 34 Padací nůžky NTC 2500/4 a polotovary po dělení stříhem [autor]
- Obrázek č. 35 Vrtačka V10 s upnutým vrtákem 4,1 mm a přípravkem pro svrtání plechů [autor]
- Obrázek č. 36 Dle vrtací šablony svrtané páry duralových plechů [autor]
- Obrázek č. 37 Ruční nýtovací kleště GESIPA [autor]
- Obrázek č. 38 Vzorky duralových plechů snýtované trhacími nýty pomocí kleští GESIPA [autor]
- Obrázek č. 39 Průběh nýtování duralových plných nýtů [autor]
- Obrázek č. 40 Průběh destrukční zkoušky plných a trhacích nýtů do tvaru „V“ [autor]
- Obrázek č. 41 Řez nýtovým spojem tří podélných trhacích nýtů [autor]
- Obrázek č. 42 Řez nýtovým spojem tří podélných plných přesných leteckých nýtů [autor]
- Obrázek č. 43 Grafické znázornění výsledků zkoušky materiálu v tahu [autor]
- Obrázek č. 44 Náhled na lom po přetržení zkušebního vzorku [autor]
- Obrázek č. 45 Grafické znázornění výsledků destrukční zkoušky trhacích nýtů [autor]
- Obrázek č. 46 Náhled na vzorek tří trhacích nýtů podélně uložených po destrukční zkoušce [autor]
- Obrázek č. 47 Grafické znázornění výsledků destrukční zkoušky plných nýtů [autor]
- Obrázek č. 48 Náhled na vzorky tří plných nýtů po destrukční zkoušce [autor]
- Obrázek č. 49 Nastavení podmínek pre-processingu při MKP zatížení v ose -x [autor]
- Obrázek č. 50 Průběh deformačního napětí u nýtového spoje s jedním nýtem [autor]
- Obrázek č. 51 Průběh napětí u nýtového spoje se třemi příčně uloženými nýty [autor]
- Obrázek č. 52 Průběh napětí u nýtového spoje se třemi podélně uloženými nýty [autor]
- Obrázek č. 53 Průběh napětí u nýtového spoje se třemi nýty uloženými do V [autor]
- Obrázek č. 54 Nastavení podmínek pre-processingu při MKP zatížení v ose y [autor]

Obrázek č. 55 Průběh napětí u nýtového spoje se třemi příčně uloženými nýty [autor]

Obrázek č. 56 Průběh napětí u nýtového spoje se třemi podélně uloženými nýty [autor]

Obrázek č. 57 Průběh napětí u nýtového spoje se třemi nýty uloženými do V [autor]

9 SEZNAM TABULEK

- Tabulka č. 1 Materiály nýtů pro letectví [34, 36, 38, 39, 40]
- Tabulka č. 2 Materiály nýtů pro automobilový průmysl [9,22,43,44,45]
- Tabulka č. 3 Porovnání spojovacích metod v automobilové výrobě [46]
- Tabulka č. 4 Materiály nýtů pro stavební průmysl [2, 3]
- Tabulka č. 5 Atestát duralového plechu EN AW 2024 T3 (Alclad)
- Tabulka č. 6 Hodnoty průměru naměřených hodnot zkoušek materiálu po přetržení [autor]
- Tabulka č. 7 Hodnoty průměru naměřených hodnot zkoušek spoje jednoho trhacího nýtu [autor]
- Tabulka č. 8 Hodnoty průměru naměřených hodnot zkoušek spoje tří trhacích nýtů příčně umístěných [autor]
- Tabulka č. 9 Hodnoty průměru naměřených hodnot zkoušek spoje tří trhacích nýtů podélně umístěných [autor]
- Tabulka č. 10 Hodnoty průměru naměřených hodnot zkoušek spoje tří trhacích nýtů umístěných do tvaru „V“ [autor]
- Tabulka č. 11 Hodnoty průměru naměřených hodnot zkoušek spoje jednoho plného nýtu [autor]
- Tabulka č. 12 Hodnoty průměru naměřených hodnot zkoušek spoje tří plných nýtů příčně umístěných [autor]
- Tabulka č. 13 Hodnoty průměru naměřených hodnot zkoušek spoje tří plných nýtů podélně umístěných [autor]
- Tabulka č. 14 Hodnoty průměru naměřených hodnot zkoušek spoje tří plných nýtů umístěných do tvaru V [autor]
- Tabulka č. 15 Hodnoty deformačního napětí v nýtových spojích zatížených podélnou silou 1000 N [autor]
- Tabulka č. 16 Hodnoty deformačního napětí v nýtových spojích zatížených příčnou silou 500 N [autor]
- Tabulka č. 17 Výsledky teoretické a praktické zkoušky s bodovým ohodnocením [autor]

10 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. I Zkušební vzorky materiálu 2024 T3 před destrukční zkouškou a po zkoušce
- Příloha č. II Katalogový list trhacích nýtů DIN 7337 AL/AL společnosti Killich
- Příloha č. III Ručně zhotovený svrtávací přípravek
- Příloha č. IV Katalogový list trhacích nýtů DIN 7337 AL/AL společnosti GESIPA
- Příloha č. V Norma OST 1 34073-85
- Příloha č. VI Soubor vzorků s trhacími nýty
- Příloha č. VII Soubor vzorků s plnými leteckými nýty
- Příloha č. VII Technický nákres vzorku pro trhání tahem

Příloha č. I: Zkušební vzorky materiálu 2024 T3 před destrukční zkouškou a po zkoušce
[autor]

Před zkouškou



Po zkoušce



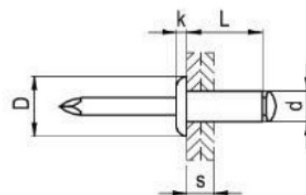
Příloha č. II: *Katalogový list trhacích nýtů DIN 7337 AL/AL společnosti Killich [51]*

Trhací s plochou hlavou

Al/Al

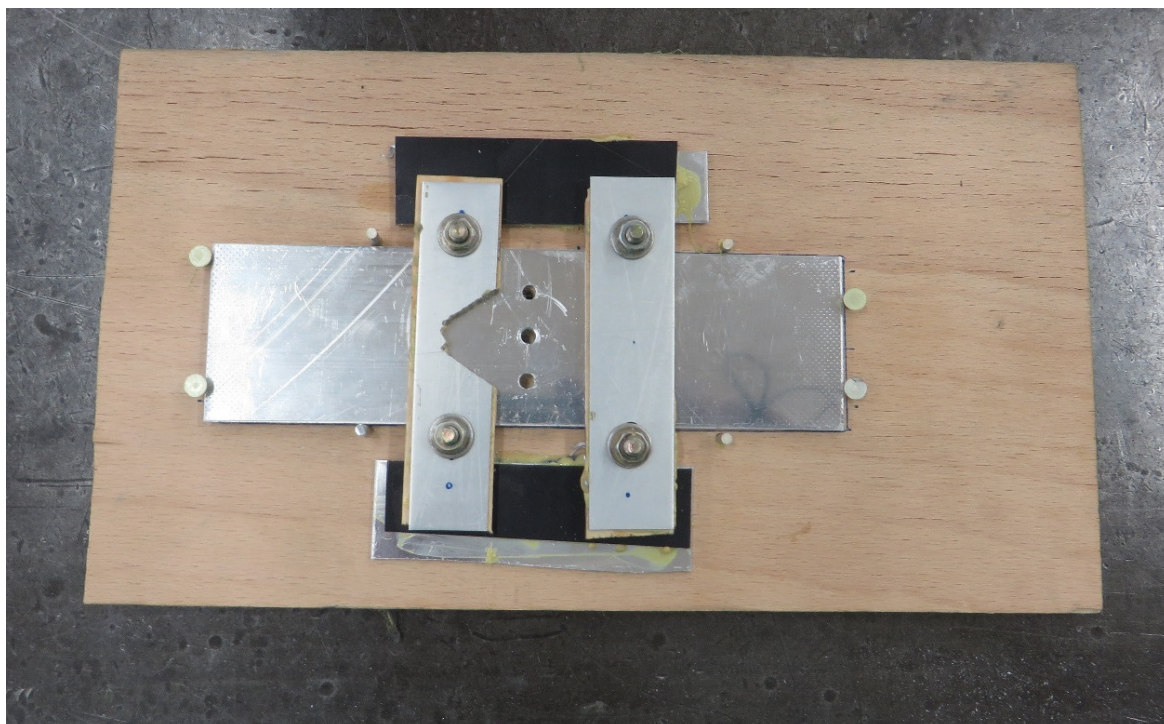
dřík - hliník AlMg2,5

trn - hliník AlMg5



d mm	vrtání mm	L mm	s mm	D mm	k mm	tah N	střih N
3,2	3,3	6	1,5–3,5	6,5	0,8	740	430
		8	3,0–5,5				
		10	5,0–7,0				
		12	7,0–9,0				
4,0	4,1	6	1,0–3,0	8,0	1,0	1270	820
		8	3,0–5,0				
		10	4,5–6,5				
		12	6,5–8,5	8,0	1,0	1270	820
		14	8,5–10,5				
		16	10,0–12,5				
4,8	5,0	8	2,5–4,5	9,5	1,1	1450	1020
		10	4,5–6,0				
		12	6,0–8,0				
		14	7,0–10,0				
		16	8,5–12,0				
		18	10,5–14,0				

Příloha č. III: *Ručně zhotovený svrtávací přípravek [autor]*



Blind rivets alu/nirosta

large flange

Rivet body: Alu A1Mg 3
Mandrel: Stainless steel A2 – Nr. 1.4541



Rivet Ø D ₁ x L mm	Rivet body D ₂ x L mm	Grip range mm	Part no.	Quantity per box
5 -	5 x 8	2,5 - 4,5	632 8938	B 250
K 11	5 x 10	4,5 - 6,0	632 8936	*
Hole Ø: 3,1 mm	5 x 12	6,0 - 8,0	632 8944	*
CE	5 x 14	8,0 - 10,0	632 8847	*
Ü	5 x 16	10,0 - 12,0	632 8852	*
	5 x 18	12,0 - 14,0	632 8855	B 250
	5 x 20	14,0 - 15,0	632 8867	*
	5 x 25	15,0 - 20,0	632 4002	*
	5 x 30	20,0 - 25,0	632 4079	B 100

*Material surcharges will be added at a daily rate

Blind rivets alu/alu

standard (dome head)

Rivet body: Alu A1Mg 2,5
Mandrel: Alu A1Mg 5



Rivet body D ₁ x L mm	Grip range mm	Part no.	Quantity per box	
3,2	3,2 x 6,1	3,8 - 3,2	647 2017	A 500
Hole Ø: 3,3 mm	3,2 x 7,6	3,2 - 4,8	647 2033	*
	3,2 x 9,2	4,8 - 5,4	647 2075	*
	3,2 x 12,3	6,4 - 9,5	647 2114	*
	3,2 x 15,5	9,5 - 12,7	647 2139	B 500
4	4 x 6,6	1,5 - 3,2	647 2218	B 500
Hole Ø: 4,1 mm	4 x 9,8	3,2 - 3,4	647 2224	*
	4 x 12,9	5,4 - 9,5	647 2297	*
	4 x 16,1	9,5 - 12,7	647 2335	*

large flange

Rivet body: Alu A1Mg 2,5
Mandrel: Alu A1Mg 5



Rivet body D ₁ x L mm	Grip range mm	Part no.	Quantity per box	
3,2 -	3,2 x 6,1	3,8 - 3,2	647 2217	A 500
K 9,5	3,2 x 9,2	3,2 - 3,4	647 2233	*
Hole Ø: 3,3 mm	3,2 x 12,3	5,4 - 9,5	647 2298	B 500

chart shear and tensile strength alu/nirosta standard and large flange

Rivet Ø mm	Shear strength N	Shear strength kN	Tensile strength N	Tensile strength kN	Mandrel Ø mm	Max. head Ø mm	Max. head Ø mm
3	700	(71)	900	(91)	1,8	6,0	6,5
3,2	700	(73)	910	(92)	1,95	—	6,5
4	1.000	(101)	2.000	(200)	2,1	7,5	8,0
4,8	1.800	(181)	2.700	(270)	2,7	—	9,5
5	2.000	(204)	2.800	(281)	2,7	11,6	11,0
5 K 11	2.000	(204)	2.800	(281)	2,7	11,6	11,0
5 K 14	2.000	(204)	2.800	(281)	2,7	11,6	11,0

Test procedure according to DIN EN ISO 14589

chart shear and tensile strength alu/alu standard and large flange

Rivet Ø mm	Shear strength N	Shear strength kN	Tensile strength N	Tensile strength kN	Mandrel Ø mm	Head Ø mm
3,2	830	(84)	660	(67)	1,95	6,5
4	840	(85)	1.020	(103)	2,65	9,0
4,8	1.150	(117)	1.420	(144)	2,9	9,5
5,4	2.040	(207)	2.490	(253)	3,85	15,2
3,2 K 9,5	735	(74)	930	(94)	1,95	9,5
4,8 K 16	1.520	(153)	1.960	(199)	2,9	16,0

Test procedure according to DIN EN ISO 14589

2,5/ (✓)

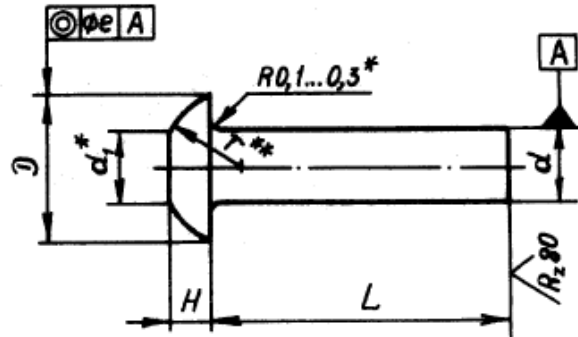


Таблица 1

Обозначение стандарта	Диаметры заклепок, мм	Марка материала
OST 1 34073-85	От 1 до 10	10
OST 1 34074-85	От 3,5 до 10	20Г2
OST 1 34075-85	От 2 до 6	12Х18Н9Т
OST 1 34076-85	От 2,6 до 10	В65
OST 1 34077-85	От 2 до 10	АМг5П
OST 1 34078-85	От 1,6 до 6	Д18
OST 1 34079-85	От 2,6 до 8	Д19П
OST 1 34080-85	От 1 до 6	АМц
OST 1 34081-85	От 1 до 4	Л63
OST 1 34082-85		Л63 АМ
OST 1 34083-85		М2

Таблица 2

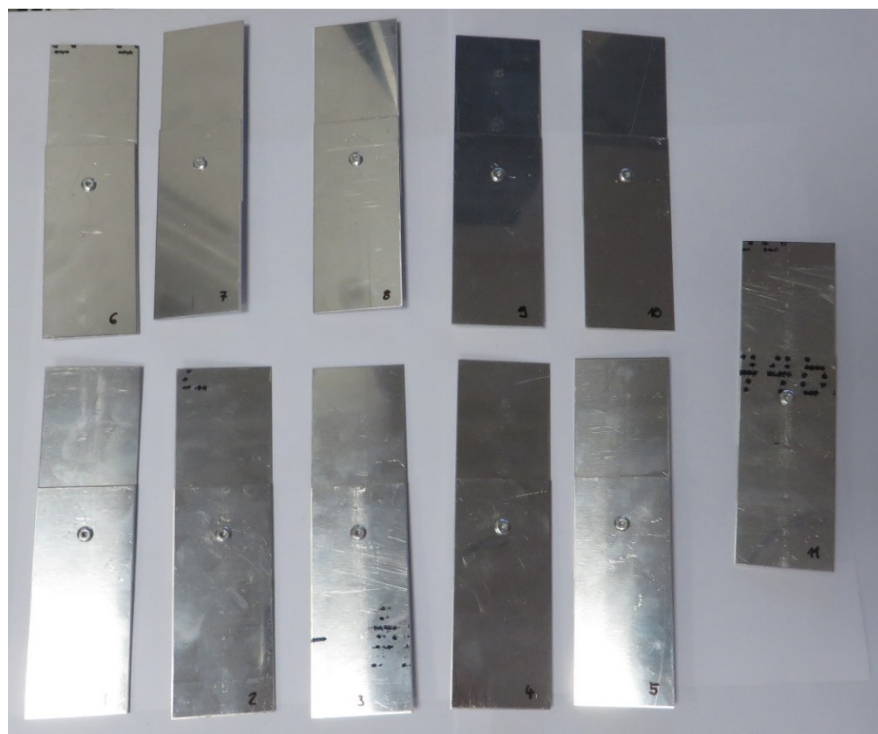
<i>d</i>		<i>d</i> ₁		<i>D</i>		<i>H</i>		<i>r</i>	<i>e</i>
Номин.	Пред. откл.	min	max	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.		
1,0	+0,10	0,8	1,0	2,0	+0,2	0,5	+0,10	1,2	0,20
1,4		1,1	1,4	2,8		0,7		1,6	
1,6		1,3	1,6	3,2		0,8		1,9	
2,0		1,6	2,0	4,0		1,0		2,3	
2,6		2,1	2,6	5,2	1,3	3,0			
3,0		2,4	3,0	6,0	1,5	3,5			
3,5		2,8	3,5	7,0	1,7	4,1			
4,0		3,2	4,0	8,0	2,0	4,7			
5,0	4,0	5,0	10,0	2,5	+0,20	5,8	0,32		
6,0	+0,15	4,8	6,0	12,0	+0,5	3,0	+0,25	7,0	0,40
7,0		5,6	7,0	14,0		3,5		8,2	
8,0		6,4	8,0	16,0	4,0	9,3			
10,0		8,0	10,0	20,0	+0,6	5,0	+0,30	11,6	

* Размеры обеспеч. INSTR.

** Размер для справок.

Příloha č. VI: Soubor vzorků s trhacími nýty [autor]

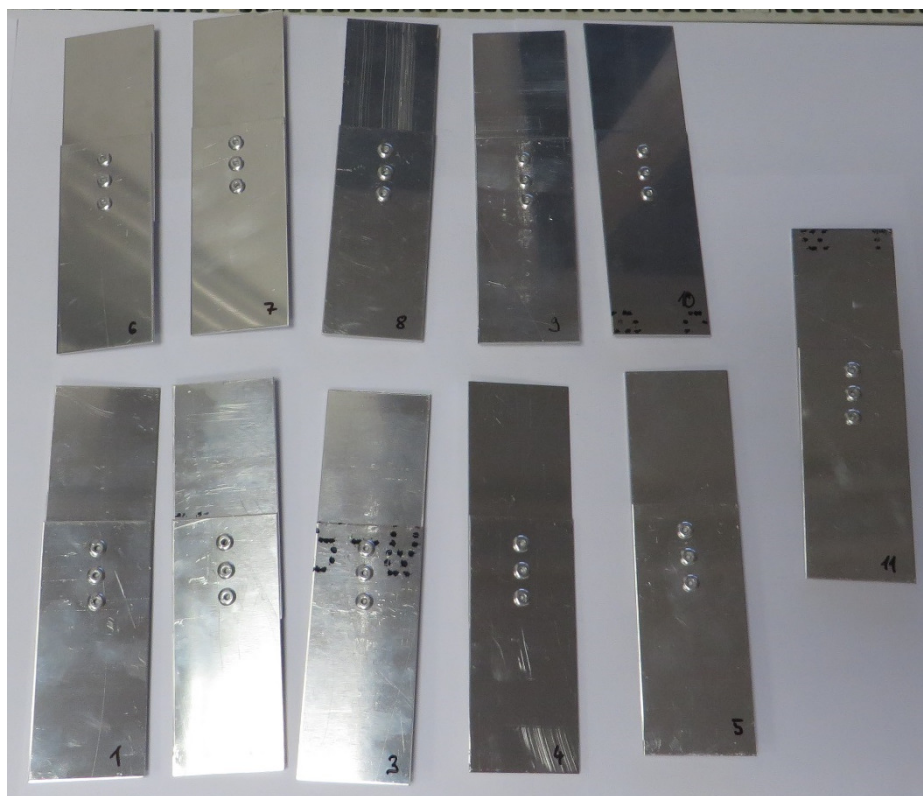
Nýtový spoj s jedním trhacím nýtem



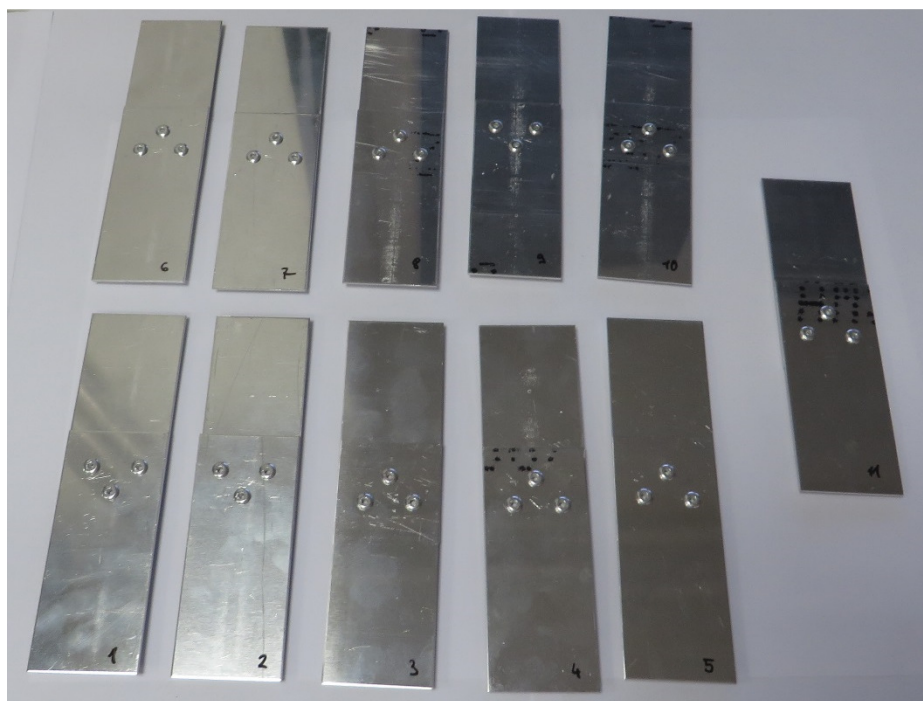
Nýtový spoj se třemi příčně umístěnými trhacími nýty



Nýtový spoj se třemi podélně umístěnými trhacími nýty

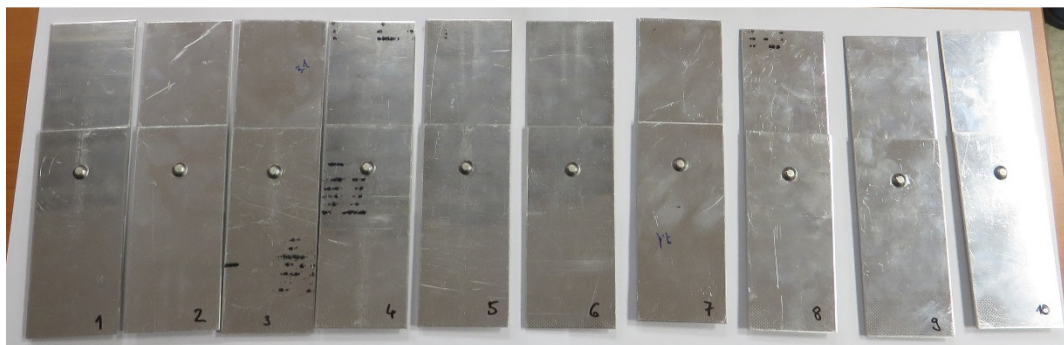


Nýtový spoj se třemi trhacími nýty umístěnými do „V“

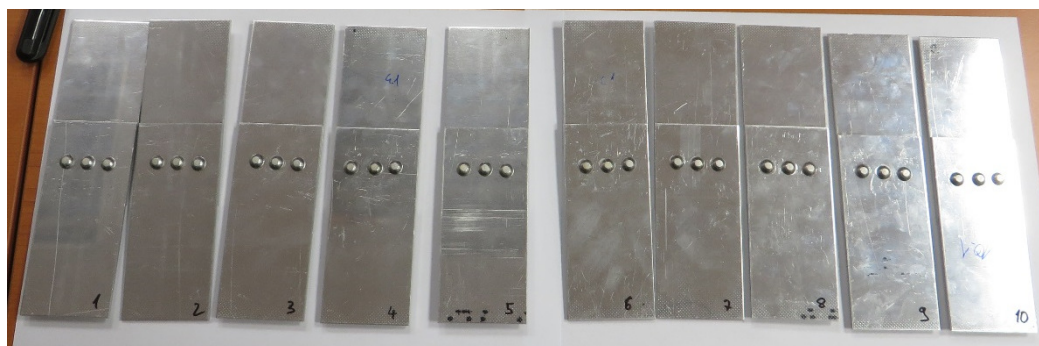


Příloha č. VII: Soubor vzorků s plnými leteckými nýty [autor]

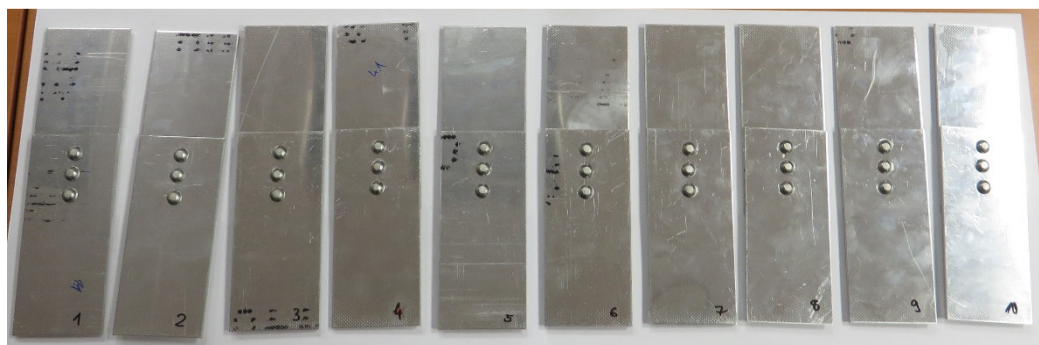
Nýtový spoj s jedním plným leteckým nýtem



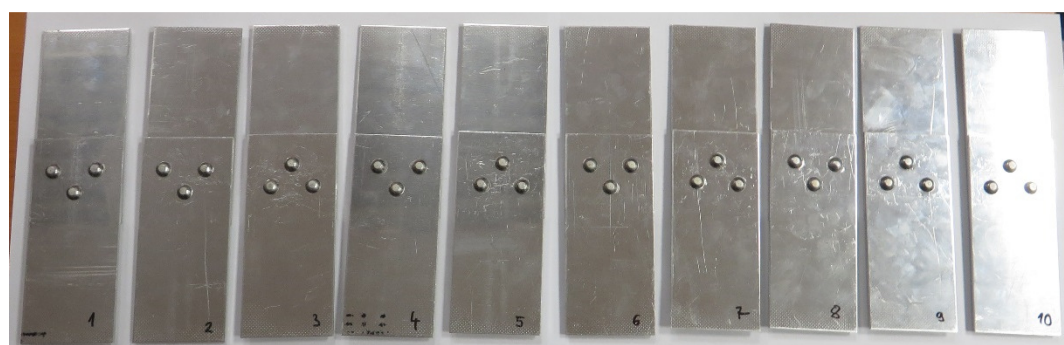
Nýtový spoj se třemi příčně umístěnými plnými leteckými nýty



Nýtový spoj se třemi podélně umístěnými trhacími nýty



Nýtový spoj se třemi plnými leteckými nýty umístěnými do „V“



Příloha č. VIII: *Technický náčrt vzorku pro trhání tahem [autor]*

