

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Speciální spojovací prvky firmy Böllhoff

Autor: **Michael FUJAN**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Jaroslav KRÁTKÝ, Ph.D.**

Akademický rok 2013/2014

ZADÁNÍ BP

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Fujan	Jméno Michael	
STUDIJNÍ OBOR	2301R016 „Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Krátký, Ph.D.	Jméno Jaroslav	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Speciální spojovací prvky firmy Böllhoff		

FAKULTA	Strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	41	TEXTOVÁ ČÁST	33	GRAFICKÁ ČÁST	1
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce se věnuje tématice vytváření spojení. Jejím cílem je přiblížit funkci a vlastnosti některých nekonvenčních spojovacích prvků ze sortimentu firmy Böllhoff a přinést poznatky o spojích, jejich návrhu a kontrole. Přínosem práce je přiblížení moderních technologií v oblasti spojování a možnost vytvoření návrhu spojení aplikací uvedených obecných zákonitostí.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">Spojování, spojovací prvky, firma Böllhoff, dimenzování spoje.</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Fujan	Name Michael	
FIELD OF STUDY	2301R016 “Transport and handling machinery“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Krátký, Ph.D.	Name Jaroslav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLÓMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Special Connecting Elements Produced by the Böllhoff Company		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2014
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	41	TEXT PART	33	GRAPHICAL PART	1
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>This bachelor thesis is focused on the topic of creating connections. It's purpose is to give an idea about function and characteristics of some unconventional connecting elements from Böllhoff's range of products and to bring a piece of knowledge of joints, their designing and dimensioning. Contribution of the thesis is showing modern technologies at the field of jointing and possibility to create a design of joint by applying general rules shown in it.</p>
KEY WORDS	<p>Jointing together, connection, connecting elements, Böllhoff company, joint dimensioning</p>

Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	8
1 Úvod.....	10
1.1 Představení firmy Böllhoff.....	10
2 Spojování obecně.....	11
2.1 Spojovací části.....	11
2.2 Tvarové spoje.....	12
2.2.1 Přídavnými prvky.....	12
2.2.2 Tvarovými elementy.....	12
2.3 Předepjaté spoje.....	12
2.4 Spoje materiálem.....	12
2.5 Jištění spojů.....	13
3 Spojovací prvky firmy Böllhoff.....	13
3.1 Spojovací prvky pro spoje s využitím tvarových elementů.....	14
3.1.1 RIVQUICK® trhací nýty.....	14
3.1.2 RIVSET® narážecí nýty.....	14
3.1.3 RIVKLE® nýtovací matice a šrouby.....	14
3.1.4 RIVTAC® čepy.....	15
3.1.5 QUICKLOC® rychlozámky.....	15
3.1.6 SNAPLOC® rozpojovací prvky.....	16
3.2 Spojovací prvky pro spoje s využitím předpětí.....	16
3.2.1 SEAL LOCK® těsnící matice.....	16
3.2.2 HELICOIL® závitové vložky.....	16
3.2.3 HELICOIL® pojistné matice.....	17
3.2.4 KOBSERT® závitová pouzdra.....	17
3.2.5 AMTEC® závitové vložky.....	17
3.2.6 FLEXITOL® vymezení tolerancí.....	18
3.3 Technologie pro spoje tvarovými prvky bez přídavných elementů.....	18
3.3.1 RIVCLINCH® mechanické spojování.....	18
3.4 Technologie pro spoje s využitím materiálu.....	19
3.4.1 ONSERT® vlepování spojovacích prvků.....	19
3.5 Jistící prvky proti uvolnění spojů či ztrátě spojovacích prvků.....	19
3.5.1 RIPP LOCK® šroubové jištění.....	19
3.5.2 NORD-LOCK® jistící pár klínových podložek.....	19

4	Zákonitosti při spojování celků (dimenzování).....	20
4.1	Spoje využívající tvarových elementů.....	22
4.1.1	Kontrola z hlediska ohybu	23
4.1.2	Kontrola z hlediska smyku	23
4.1.3	Kontrola z hlediska otláčení	24
4.1.4	Přetvárná práce pro vytvoření nýtového spoje	24
4.2	Spoje využívající předpětí	25
4.2.1	Kontrola z hlediska namáhání tahovým napětím.....	25
4.2.2	Kontrola z hlediska otláčení závitu.....	25
4.2.3	Kontrola z hlediska namáhání od utahovací síly	26
4.2.4	Určení potřebné předepínací síly	26
4.3	Spoje využívající spojovací materiál.....	27
4.3.1	Kontrola spoje na smyk vyvolaný silou.....	28
4.3.2	Kontrola spoje na tah vyvolaný silou	28
4.3.3	Kontrola spoje na smyk vyvolaný momentem	28
5	Oblast použití	29
5.1	Porovnávací kritéria.....	29
5.2	Jednotlivé prvky dle kritérií a jejich využití	30
5.2.1	RIVQUICK® trhací nýty.....	30
5.2.2	RIVSET® narážecí nýty	30
5.2.3	RIVKLE® nýtovací matice a šrouby.....	31
5.2.4	RIVTAC® čepy	31
5.2.5	QUICKLOC® rychlozámky.....	32
5.2.6	SNAPLOC® rozpojovací prvky	32
5.2.7	SEAL LOCK® těsnící matice	33
5.2.8	HELICOIL® závitové vložky a matice	33
5.2.9	KOBSERT® závitová pouzdra.....	34
5.2.10	AMTEC® závitové vložky	34
5.2.11	FLEXITOL® vymezení tolerancí.....	35
5.2.12	RIVCLINCH® mechanické spojování	35
5.2.13	ONSERT® vlepování spojovacích prvků.....	36
5.3	Porovnání zkoumaných prvků.....	37
6	Obecný postup při návrhu spojení.....	38
7	Závěr.....	40
	Seznam použitých zdrojů	41

Přehled použitých zkratk a symbolů

- σ_{red} - redukované napětí [Pa]
- σ_D - dovolené normálové napětí [Pa]
- σ_{Dt} - dovolené napětí v tahu [Pa]
- σ_{Dd} - dovolené napětí v tlaku [Pa]
- σ_N - normálové napětí [Pa]
- σ_M - střední napětí [Pa]
- σ_H - největší napětí [Pa]
- σ_D - nejmenší napětí [Pa]
- σ_A - amplituda napětí [Pa]
- σ_C - napětí trvalé pevnosti [Pa]
- σ_o - napětí v ohybu [Pa]
- σ_t - napětí v tahu [Pa]
- σ_L - pevnost lepidla v tahu [Pa]
- τ_D - dovolené tečné napětí [Pa]
- τ_T - tečné napětí [Pa]
- τ_s - napětí ve smyku [Pa]
- τ_k - napětí v krutu [Pa]
- τ_L - pevnost lepidla ve smyku [Pa]
- Re - výrazná mez kluzu [Pa]
- $R_{p0,2}$ - smluvní mez kluzu [Pa]
- R_{mt} - mez pevnosti v tahu [Pa]
- R_{md} - mez pevnosti v tlaku [Pa]
- E - Youngův modul pružnosti [Pa]
- ε - poměrné prodloužení [-]
- W_o - modul průřezu v ohybu [m³]
- W_k - modul průřezu v krutu [m³]
- J_z - kvadratický moment průřezu [m⁴]
- J_p - polární moment průřezu [m⁴]
- e - největší vzdálenost neutrální osy od krajního vlákna [m]
- k_n - normálová tuhost $\left[\frac{N}{m}\right]$
- k_t - tečná tuhost $\left[\frac{N}{m}\right]$
- F - síla [N]
- M - moment sil [N.m]
- p - tlak [Pa]
- p_D - dovolený tlak [Pa]
- A - práce [J]
- dA - elementární změna práce [J]
- P_o - přetvárný odpor [Pa]
- S - plocha [m²]
- S_j - jmenovitý průřez šroubu [m²]

S_z - nosná závitová plocha [m^2]
 S_n - normálový střed tuhosti
 S_t - tečný střed tuhosti
 V - objem [m^3]
 l - délkový rozměr [m]
 l_0 - původní délka [m]
 Δl - změna délky [m]
 h - délkový rozměr [m]
 t - délkový rozměr [m]
 b - délkový rozměr [m]
 x - délkový rozměr [m]
 dx - elementární změna délky ve směru x [m]
 y - délkový rozměr [m]
 z - délkový rozměr [m]
 d - průměr [m]
 d_s - střední průměr [m]
 d_2 - střední průměr závitu šroubu [m]
 d_3 - malý průměr závitu šroubu [m]
 D - průměr [m]
 D_1 - malý průměr závitu matice [m]
 P - stoupání závitu [m]
 α - stoupání závitu [$^\circ$]
 f_z - součinitel tření v závitu [-]
 ϕ_z - třecí úhel závitu [$^\circ$]
 m - výška matice [m]
 C - deformační konstanta [-]
 ψ - součinitel odlehčení [-]
 k - součinitel bezpečnosti [-]
 N - počet cyklů [-]
 n - obecně počet [-]
 i - obecně počet [-]
 π - Ludolfovo číslo $\sim 3,14159$ [-]
 \ln - přirozený logaritmus
 tg - tangens
 \int - integrál
 Σ - suma
 \sim - přibližně odpovídá

1 Úvod

Tato závěrečná kvalifikační práce vznikla jakožto podnět k určité formě spolupráce mezi firmou Böllhoff, na jejíž přání bylo téma vypsáno, a Fakultou strojní Západočeské univerzity v Plzni. Zájmem zadavatele tématu bakalářské práce, tedy firmy Böllhoff, bylo zpracovat jakousi rešerši pro přehled, vlastnosti a funkčnost některých jimi vyráběných speciálních spojovacích prvků.

Aby práce nebyla pouze popisem vyráběných produktů, věnuje se nejen spojovacím prvkům jako takovým, ale zaobírá se tematikou spojů a spojování ze širšího hlediska. Obsah jednotlivých kapitol pojednávajících o obecných zákonitostech, charakteristikách či vlastnostech spojů je přizpůsoben výběru prvků pro tuto práci.

Dále v úvodní části je firma Böllhoff ve stručnosti představena. Představení firmy obsahuje informace o její historii od samotného založení, o oblastech, jimž se věnovala, dále také o jejím postupném rozrůstání a rovněž i pár přibližných údajů o jejím současném stavu a průmyslových oblastech, ve kterých působí. V bakalářské práci je také pojednááno o spojování a spojích na obecné úrovni. V této sekci je osvětleno co to spojování je a za jakým účelem se používá. Dále jsou typy spojů rozříděny do kategorií dle principu vytvoření spojení, a je uvedeno pár informací o způsobech, jakými se spojení docílí, o jejich základních vlastnostech, případně o působících silových účincích. Dále je v práci věnována pozornost části výrobního sortimentu firmy Böllhoff. Vybrané nekonvenční spojovací prvky, popřípadě technologie, jsou zde rozříděny do kategorií dle principu jejich funkce, respektive dle druhu jimi vytvářeného spoje. U každého prvku (technologie) je uvedena základní charakteristika a vlastnosti, případně princip funkce. Jsou popsány i bezpečnostní hlediska, která doprovázejí průběh návrhu spojení. Zákonitosti dimenzování jsou ukázány jednak v obecné hladině, a pak také konkrétněji pro jednotlivé kategorie spojů. V práci je dále zpracováno posouzení vhodnosti daných spojovacích prvků pro oblast použití pro dané konstrukční řešení za pomoci porovnávacích kritérií a také obecně platný postup při navrhování spojení.

1.1 Představení firmy Böllhoff



Obr. 1 Historický reklamní transparent [5]

Böllhoff je Německá rodinná společnost, zabývající se oblastmi montážní a spojovací techniky, s dlouhou tradicí a bohatou historií, sahající až do druhé poloviny 19. století. Byla založena v Německém městě Herdecke Wilhelmem Böllhoffem v roce 1877, původně jako železářský velkoobchod pro kováře, zámečníky a průmyslové uživatele. V roce 1923, období tzv. rúrské krize, byla v důsledku obsazení Porúří (Ruhrgebiet, průmyslová oblast Severního Porýnsko-Vestfálska) francouzským vojskem zřízena pobočka v Bielefeldu, která je dodnes základnou společností, a podnik se začal specializovat na závitové díly, šrouby a matice. Od poloviny 20. století začala firma expandovat, nejprve po Německu, posléze i do světa.

Postupně byly budovány výrobní závody, odbytové pobočky a sklady a také došlo k založení sesterských firem. Böllhoff má zastoupení také v České republice. První pobočka zde byla zřízena v roce 1991 a později, v roce 1999, byla nově přestavěna. Nyní je firma vedena již čtvrtou generací a rozrostla se na pět kontinentů, kde je zastoupena v celkem jedenadvaceti zemích. Firma Böllhoff disponuje třiceti šesti pobočkami a zaměstnává cirká dva tisíce lidí. V Evropě i mimo ni patří k jedněm z nejvýznamnějších poskytovatelů spojovací, systémové a montážní techniky s vlastním vývojem a výrobou. Do sortimentu společnosti patří více než sto tisíc položek od běžných šroubů až po plně automatizované montážní stroje. [5]



Obr. 2 Pobočka Praha v České republice [5]

2 Spojování obecně

2.1 Spojovací části

Spojovací části představují ve strojírenství významný prvek. Při stavbě strojů a různých výrobních či strojních zařízení umožňují kompletaci součástí, ze kterých se tento stroj či zařízení skládá. Tato oblast se neustále vyvíjí, zdokonaluje a objevují se nové způsoby a možnosti spojování součástí. [2]

Jak tedy vyplývá z předchozího textu, spoje jakožto strojní části mají hlavní funkci umožnit spojení jednotlivých částí výrobku. Tato hlavní funkce je vždy doplněna dalšími požadavky, které se týkají pohyblivosti spoje. Spoj buď neumožňuje, nebo umožňuje vzájemný pohyb spojovaných dílů. Spoje, které neumožňují pohyb mezi součástmi, se využívají tehdy, jestliže spojované díly nemohly být vyrobeny z jednoho kusu, například z důvodu vyměnitelnosti, transportovatelnosti, vyrobitelnosti a dalších. V případě, kdy součásti potřebují pro zajištění správného fungování při provozu měnit vzájemnou polohu, se využívají spoje umožňující vzájemný pohyb spojovaných dílů. Pokud je však jako prioritní funkce braná vzájemná pohyblivost a ne vlastní spojení, nejedná se již o spoje jako takové, ale o samostatné strojní orgány jako je například vedení (pro posuvný pohyb), uložení (pro rotační pohyb) či převody (pro obecný pohyb). Dále spoje můžeme rozdělit dle demontovatelnosti na rozebíratelné a nerozebíratelné. [1]

Během provozu působí na spoje zatížení, které musí být schopné přenášet. Základní principy, kterými spoj zatížení přenáší, jsou přenos stykovou plochou, kdy může nebo nemusí být ve spoji využit materiál, a přenos tvarovými prvky, které mohou být ve formě přídavných elementů nebo mohou být vytvořené ve stykových plochách. Tyto dva principy se dají kombinovat. [1]

2.2 Tvarové spoje

2.2.1 Přídavnými prvky

Pro vytvoření tohoto typu spojení dvou či více částí je zapotřebí použít další prvky, které spojení zajistí. Spojovací prvky mohou mít rozličné tvary i funkce. Spoje vytvořené těmito prvky mohou být rozebíratelné i nerozebíratelné (aniž by došlo k destrukci prvku či spojované části) a mohou či nemusí umožňovat vzájemný pohyb spojovaných částí. Spoje tvarovými elementy mohou být navrženy pouze za účelem vymezení vzájemné polohy, ale také pro přenos zatížení. Spojované části se musí zpravidla předpřipravit pro vytvoření spoje (vrtání děr, obrábění drážek atd.), ale existují i technologie, pro které tato příprava odpadá. Mezi spojovací prvky pro spoje s využitím přídavných tvarových elementů patří například čepy, kolíky, nýty, pera a další. [1], [2]

2.2.2 Tvarovými elementy

Takováto spojení využívají pro přenos pohybu či zatížení umělé tvarové prvky, které se vytvoří přímo v materiálu spojovaných částí. Pro vytvoření spoje tedy odpadá nutnost použití dalších spojovacích prvků. Spojení může vzniknout jednak slisováním materiálů, kdy se za pomoci razníku a matrice spojované plochy přetvoří a zapadnou do sebe, čímž vznikne spoj tvarovým prvkem, který neumožňuje vzájemný pohyb a nedá se rozebrat, anebo mohou být tvarové prvky na spojovaných částech předem vytvořené a dojde k jejich sesazení. Tento druhý způsob popisuje například drážkové a polygonové spoje, které přenášejí rotační pohyb. Tyto spoje však nezajišťují stálou vzájemnou polohu ve všech směrech, zpravidla ve směru osy otáčení, a proto je třeba tuto polohu zajistit, například šroubovým spojením. [1], [2]

2.3 Předepjaté spoje

Předepjaté spoje s výhodou využívají sílu působící kolmo na rovinu stykových ploch spojovaných součástí. Tato síla se vyvozuje již při montáži spojení a zajišťuje mezi stykovými plochami materiálů potřebnou silovou vazbu tak, aby se spoj při provozu choval jako jednotný celek. Vyvozená třecí síla brání vzájemnému pohybu součástí spojení a zajišťuje smykovou únosnost pro případy, kdy zatížení působí v rovinách rovnoběžných s rovinou stykových ploch. Pokud zatížení působí v rovinách kolmých na rovinu spoje, zajišťuje předepnutí těsnost a brání před odlehnutím styku. Do této kategorie spojů se řadí například šroubová a závitová spojení a spojení zděhmi. [1], [2]

2.4 Spoje materiálem

Spojení dvou či více částí tohoto druhu může být provedeno buď materiálovým dotykem, kdy je materiál ve spoji v kontaktu s oběma spojovanými plochami (jako například lepením a pájením) anebo materiálovým přechodem (například svařováním). Materiálový dotyk je vhodný zpravidla pouze pro přenos malých smykových zatížení, ale při správném předepnutí se dá použít i pro přenos zatížení v dalších směrech. Síly jsou zde přenášeny stykovou plochou spojovaných částí a materiálu ve spoji. Materiálový přechod je vhodný pro

přenášení všech druhů zatížení. Spoje vytvořené využitím materiálu mohou být samostatné plnohodnotné spoje, nebo mohou být dílčími prvky jiných spojení. [1], [2]

2.5 Jištění spojů

Spoje, které musí odolávat větším zatížením, nepříznivým podmínkám při provozu (jako jsou například vibrace a rázy) nebo jsou na ně kladeny vysoké požadavky z hlediska bezpečnosti, je někdy třeba jistit. Jištění může být provedeno za účelem ochrany proti uvolnění a povolení spoje či ztrátě spojovacího prvku a lze jej docílit například použitím různých tvarových, aretačních prvků nebo třeba využitím materiálu (lepení, povlaky se svěrným účinkem). Použitím jisticích prvků dojde ke zvýšení spolehlivosti, životnosti a bezpečnosti spoje. [1]

3 Spojovací prvky firmy Böllhoff

Roztřídění části výrobního programu firmy Böllhoff do skupin dle principu funkce:

- **spojovací prvky pro spoje s využitím tvarových elementů**
 - RIVQUICK® trhací nýty
 - RIVSET® narážecí nýty
 - RIVKLE® nýtovací matice a šrouby
 - RIVTAC® čepy
 - QUICKLOC® rychlozámky
 - SNAPLOC® rozpojovací prvky
- **spojovací prvky pro spoje s využitím předpětí**
 - SEAL LOCK® těsnící matice
 - HELICOIL® pojistné matice
 - HELICOIL® závitové vložky
 - KOBSERT® závitová pouzdra
 - AMTEC® závitové vložky
 - FLEXITOL® vymezení tolerancí
- **technologie pro spoje tvarovými prvky bez přídavných elementů**
 - RIVCLINCH® mechanické spojování
- **technologie pro spoje s využitím materiálu**
 - ONSERT® vlepování spojovacích prvků
- **jisticí prvky proti uvolnění spojů či ztrátě spojovacích prvků**
 - RIPP LOCK® šroubové jištění
 - NORD-LOCK® jisticí pár klínových podložek

3.1 Spojovací prvky pro spoje s využitím tvarových elementů

3.1.1 RIVQUICK® trhací nýty



Obr. 3 RIVQUICK® trhací nýty [5]

RIVQUICK® trhací nýty jsou prvky pro technologii slepého nýtování. Slouží k vytvoření nerozebíratelného spojení, které neumožňuje vzájemný pohyb spojovaných součástí. Použitím trhacích nýtů se dají s výhodou vytvořit spoje s jednostranným přístupem (např. spojování tělesa s dutým profilem). Nýtování je jednoduchá, technologicky a energicky nenáročná, levná metoda spojování. Slepé nýty firmy Böllhoff se vyrábějí s rozličnými tvary hlav a v různých materiálových kombinacích hlavy a

dříku. Do sortimentu firmy patří rovněž řada montážních nástrojů. [5]

3.1.2 RIVSET® narážecí nýty



Obr. 4 RIVSET® narážecí nýty [5]

RIVSET® narážecí nýty jsou spojovací prvky určené pro vytvoření mechanického spoje, který neumožňuje vzájemný pohyb spojovaných částí a nedá se rozebrat. Polodutý narážecí nýt vytváří spoj jak tvarovým, tak i silovým stykem. Tato technologie je vhodná pro spojování více vrstev jednoho materiálu, ale i pro kombinaci více druhů materiálů. Výhodou je, že ke spojení dojde v jednom kroku a odpadá nutnost předděrování spojovaných materiálů. Böllhoff nabízí mnoho variant narážecích nýtů, lišící se

geometrií, materiálem a mechanickými vlastnostmi. Firma také dodává montážní nástroje pro tuto technologii. [5]

3.1.3 RIVKLE® nýtovací matice a šrouby



Obr. 5 RIVKLE® nýtovací matice a šrouby [5]

RIVKLE® nýtovací matice a šrouby jsou prvky vykonávající více funkcí. Technologií slepého nýtování umožňují spojení více materiálů, a to i s jednostranným přístupem, které je nerozebíratelné a neumožňuje vzájemný pohyb spojovaných dílů. Navíc ve spojení vytvoří vnitřní či vnější závit pro další možnosti využití. Nýtovací matice a šrouby se rovněž dají s výhodou použít za účelem vytvoření zatížitelného závitu (vnitřního nebo vnějšího) u tenkostěnných materiálů, kde malá tloušťka stěny

neumožňuje závit vyříznout. RIVKLE[®] nýtovací matice a šrouby jsou k dostání ve velkém počtu variant a firma Böllhoff také nabízí řadu montážního náradí. [5]

3.1.4 RIVTAC[®] čepy

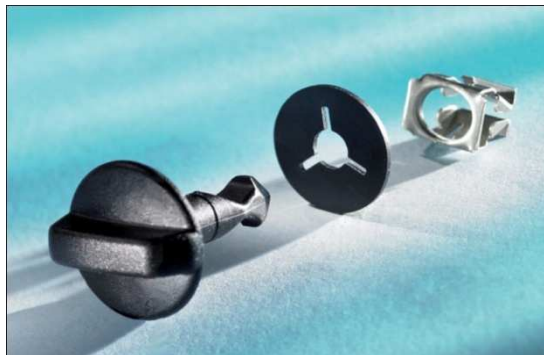


Obr. 6 RIVTAC[®] čepy [5]

RIVTAC[®] čepy je produkt, který se řadí mezi tvarové spojovací prvky a je určen pro vysokorychlostní spojování. Vytvořená spojení se nedají rozebrat a neumožňují spojovaným dílům vzájemný pohyb. Pro tuto technologii odpadá nutnost předděrování spojovaných částí, což vede ke značnému snížení času potřebného pro vytvoření spojení. Tato technologie je vhodná pro nekovové i kovové a vysokopevnostní materiály. S výhodou se dá použít i pro případ vytvoření spoje, který je pouze jednostranně přístupný.

Během montáže, kdy čep proráží spojované materiály vysokou rychlostí, dojde ke krátkodobému nárůstu teploty ve spoji a k zatlačení materiálu spojovaných dílů do rýhování na čepu. Tím se docílí vysokého tvarového styku, pro vysokopevnostní oceli, díky slisování a stlačení materiálů také silového styku. V nabídce Böllhoff jsou rovněž montážní systémy pro RIVTAC[®] čepy, od ručního náradí po automatizované stroje. [5]

3.1.5 QUICKLOC[®] rychlozámky



Obr. 7 QUICKLOC[®] rychlozámky [5]

QUICKLOC[®] rychlozámky jsou prvky určené k vytvoření snadno demontovatelného spojení, které je možné opakovaně rozebrat a spojit. Tento systém se skládá z více dílů, a to z uzavíracího čepu, přídržné podložky a spodní části uzávěru. Pro smontování je třeba prostrčit uzavírací čep připraveným otvorem spojovaného dílu, zajistit ho přídržnou podložkou proti vypadnutí a konec zasunout do spodní části uzávěru, která je připevněná v další ze spojovaných součástí. Otočením čepu o 90 stupňů

zapadne jeho tvarovaný konec do spodní části, která mu brání v pohybu pomocí šikmých výstupků. Pro uvolnění spoje se opět otočí čepem o čtvrt otáčky, tím se odtlačí pružinová ramena a pomocí zkosené hrany vysunou čep do otevřené polohy. Tento typ spojení slouží spíše než k přenosu zatížení k vymezení polohy a zabránění pohybu. Přednosti tohoto systému spočívají v jeho jednoduchosti, rychlé montovatelnosti bez nutnosti použití náradí, nízkých nákladech, malé hmotnosti prvků a nenáročnosti na údržbu. QUICKLOC[®] rychlozámky se vyrábí v mnoha variantách, s možností individualizace. [5]

3.1.6 SNAPLOC® rozpojovací prvky



Obr. 8 SNAPLOC® rozpojovací prvky [5]

SNAPLOC® rozpojovací prvky jsou dvojice dílů, konkrétně kulového čepu a spojky, pomocí nichž lze sestavit spoj neumožňující vzájemný pohyb dílčích částí a který lze opakovaně rozebírat a skládat. Princip tohoto západkového spojení spočívá v tom, že kulový čep zapadne do spojky, ve které je vytvořena kulová pánev pro tento účel. Západka (spojka) se upevňuje tvarovým stykem do objímky vytvořené na jednom ze spojovaných dílů, kulový čep může být ke spojované části připevněn různými

způsoby, například lepením, našroubováním a dalšími. Tento sortiment je dodáván v širokém spektru variací. [5]

3.2 Spojovací prvky pro spoje s využitím předpětí

3.2.1 SEAL LOCK® těsnící matice



Obr. 9 SEAL LOCK® těsnící matice [5]

SEAL LOCK® těsnící matice má základní funkci jako běžné matice, tedy vytvořit předepnuté spojení na principu spoluzabírajícího vnitřního a vnějšího závitu. Použití je vhodné jak pro závitové tak i pro šroubové spojení. Kromě této základní funkce je předností matice SEAL LOCK® schopnost vytvořený spoj utěsnit, a to proti kapalným i plynným médiím, které mohou být pod vyšším tlakem oproti tlaku atmosférickému. Tento spojovací prvek zajistí těsnost nejen na dosedací ploše matice, ale také

v závitu. Spoj je opakovaně rozebíratelný a oproti adekvátnímu řešení použitím těsnící podložky - matice - těsnící podložky - kloboukové kontramatice má výhodu v menším počtu prvků a tím pádem i ve zkrácení montážních časů. [5]

3.2.2 HELICOIL® závitové vložky



Obr. 10 HELICOIL® závitové vložky [5]

HELICOIL® závitové vložky jsou prvky, které dávají možnost vytvoření zatížitelného závitu pro kovové materiály vyznačujících se nižší pevností (například hliník, hořčík) a zároveň jsou vhodné pro opravu opotřebovaných či poškozených závitů ve všech kovech i řadě nekovových materiálů. Vložky HELICOIL® jsou vyráběné z drátu lichoběžníkového průřezu z ušlechtilých nerezových ocelí a vytvořený závit

má vysokou pevnost a odolnost proti opotřebení. Firma Böllhoff vyrábí tento prvek ve dvou variantách, jednak jako klasickou průchozí vložku s oboustranně použitelným vnitřním závitem a pak také ve verzi s jedním či více závity upravených do tvaru polygonu, které vyvozuji svěrný účinek pro zajištění šroubu. Předností těchto prvků je také jejich snadná montáž. [5]

3.2.3 HELICOIL® pojistné matice



Obr. 11 HELICOIL® pojistné matice [5]

HELICOIL® pojistné matice jsou jednodílné spojovací prvky určené k vytvoření šroubového či závitového spoje, který je jištěn proti samovolnému uvolnění vlivem zatížení a různých nepříznivých provozních podmínek jako jsou vibrace, rázy a další. Po vytvoření spojení nemají spojované součásti možnost vzájemného pohybu a tento typ spojení umožňuje opakovatelné rozpojování a smontování. Pojistné matice HELICOIL® sestávají ze základního maticového těla, do kterého je implantována

závitová vložka HELICOIL®. Jak již bylo popsáno dříve, pojistný účinek je vyvolaný svíráním závitu díky jednomu nebo více závitům na vložce, které jsou polygonálně tvarované. Díky tomu vznikne elastické upnutí třecí silou. [5]

3.2.4 KOBSERT® závitová pouzdra



Obr. 12 KOBSERT® závitová pouzdra [5]

KOBSERT® závitová pouzdra jsou výrobky, které umožňují vytvoření šroubového či závitového, opakovaně rozebíratelného spojení. Jsou vhodné pro opravy starých poškozených závitů, ale také pro zvýšení únosnosti daného spoje, např. pro kovové materiály o nižších pevnostech (slitiny hliníku, hořčíku atd.). Tyto prvky také tlumí vibrace a zvyšují torzní odolnost. Závitové pouzdro KOBSERT® se upevňuje bez nutnosti dodatečného zajišťování např. pomocí různých kolíků, podložek či lepidel.

Böllhoff tyto prvky dodává v mnoha variantách, a to i v plynotěsných a kapalnotěsných provedeních. Do sortimentu rovněž patří řada montážního nářadí, které může být ruční, hydraulické či pneumaticko-hydraulické. [5]

3.2.5 AMTEC® závitové vložky

AMTEC® závitové vložky jsou prvky, pomocí nichž lze vytvořit šroubové či závitové (vnitřní i vnější) spojení v plastových dílech. Vložky se do dílů vpravují po jejich vystříknutí a vyjmutí z formy, což sebou nese výhodu zkrácení vstřikovacích cyklů a snižuje riziko poškození vstřikovací formy. Závitové vložky AMTEC® se vyrábí v různých variantách,



Obr. 13 AMTEC® závitové vložky [5]

mohou být instalovány za pomoci tepla či ultrazvuku, expanzně či samořezně, přičemž v dílech nevzniká napětí a spojení je spolehlivé a odolné proti vytržení nebo protočení vložky v dílu. Oproti způsobu spojení použitím samořezných šroubů nehrozí při opakovaném demontování poškození závitů. Pro systém AMTEC® jsou dodávány různé montážní nástroje, a to jak ruční a poloautomatické nářadí, tak i automatické a plně programovatelné stroje. [5]

3.2.6 FLEXITOL® vymezení tolerancí



Obr. 14 FLEXITOL® vymezení tolerancí [5]

FLEXITOL® jsou prvky, které kromě vytvoření rozebíratelného spojení dvou dílů bez možnosti vzájemného pohybu pomocí předpětí, zároveň přesně vymezují jejich požadovanou polohu. Princip funkce těchto prvků je dále osvětlen na příkladu spojení dvou desek. Tento systém využívá dvou částí - upevňovacího dílu a seřizovacího prvku. Upevňovací díl se upevní do jedné z desek (našroubováním či nýtováním) a do něj je pomocí opačně orientovaného závitu namontován seřizovací prvek. Po umístění druhé

desky do příslušné vzdálenosti od první se tyto spojí šroubem. Šroub nejprve vytočí seřizovací prvek do příslušné vzdálenosti (k druhé desce), poté se prošroubuje až do upevňovacího dílu, čímž dojde k upevnění spoje. Tyto prvky se vyrábí pro použití pro kovové i plastové materiály. [5]

3.3 Technologie pro spoje tvarovými prvky bez přídavných elementů

3.3.1 RIVCLINCH® mechanické spojování



Obr. 15 RIVCLINCH® mechanické spojování [5]

RIVCLINCH® mechanické spojování je technologie umožňující vytvoření vysokopevnostního spoje dvou či více vrstev kovových plechů či profilů. Vytvořený spoj je nerozebíratelný a neumožňuje vzájemný pohyb spojovaných dílů. Tvarový spoj vznikne díky přetváření materiálů, není tedy potřeba dalších spojovacích prvků. Pro spojování touto technologií také odpadá nutnost přípravy spojovaných dílů, jako je například vrtání děr, řezání závitů apod. Vlastní zařízení pro vytvoření

tohoto spojení se skládá z razníku a matrice. Ty díky různým variantám provedení umožňují spojení s různými geometriemi závěrných hlav bodových spojů (kulaté či hranaté). Pro technologii RIVCLINCH® dodává Böllhoff širokou škálu ručního náradí a modulárních systémů. [5]

3.4 Technologie pro spoje s využitím materiálu

3.4.1 ONSERT® vlepování spojovacích prvků



Obr. 16 ONSERT® vlepování spojovacích prvků [5]

ONSERT® je technologie, která umožňuje nerozebíratelné spojení různých spojovacích prvků s povrchem jiných konstrukčních dílů procesem lepení. Vlepované prvky jsou nejčastěji šroubové či závitové spojovací díly zapouzdřené do transparentního obalu. Tyto obaly mohou být na ploše, kde dochází ke styku s nosným dílem opatřeny různě vytvarovaným vybráním tak, aby zapadly na součást, ke které jsou lepeny, a tím dojde ke spojení nejen materiálovým, ale i tvarovým stykem. Vlastní proces připevnění pak probíhá ve třech krocích - dávkování lepidla -

spojení - vytvrzení. Vytvrzení se provádí ozařováním vytvrzovacími lampami a trvá poměrně krátkou dobu (i kratší než pět sekund). [5]

3.5 Jistící prvky proti uvolnění spojů či ztrátě spojovacích prvků

3.5.1 RIPP LOCK® šroubové jištění



Obr. 17 RIPP LOCK® šroubové jištění [5]

RIPP LOCK® šroubové jištění je souhrnné označení pro řadu produktů zaměřených svou funkcí na oblast mechanického jištění šroubových a závitových spojů. Prvky RIPP LOCK® mohou být ve formě samostatných jistících podložek, nebo také v podobě jistících šroubů a matic, kdy je obdoba podložky neoddělitelnou součástí daného prvku. Princip jištění spočívá ve funkci radiálních vrypů, které jsou vytvořeny po obou stranách podložky. Tyto vrypy mají úhel stoupání vyšší, než je úhel stoupání závitu, a při montáži se

vtisknou jak do spojovaného materiálu, tak do hlavy šroubu. Jištění je bezpečné i pro případ vysokých vibrací či dynamického zatížení spoje a jeho prvků. [5]

3.5.2 NORD-LOCK® jistící pár klínových podložek

NORD-LOCK® jistící pár klínových podložek je výrobek určen pro jištění závitových a šroubových spojení. Tyto podložky mají na vnější straně zhotovené radiální vrypy podobné



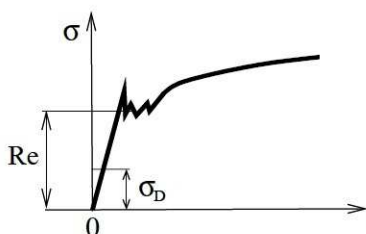
Obr. 18 NORD-LOCK® jistící pár klínových podložek [5]

jako u systému RIPP LOCK® a na vnitřní straně (vzájemného dotyku) mají klínové plochy. Tyto plochy jsou vytvořené tak, aby byl úhel jejich stoupání větší, než úhel stoupání závitů příslušného spojovacího prvku. Při dotahování šroubu či matice dojde ke vtisknutí vrypů do materiálů a vzájemnému zaklesnutí klínových ploch. Díky tomu je spojení jistě předepnutím místo tření a tento systém jistění je spolehlivý i při dynamických zatíženích a vysokých vibracích. [5]

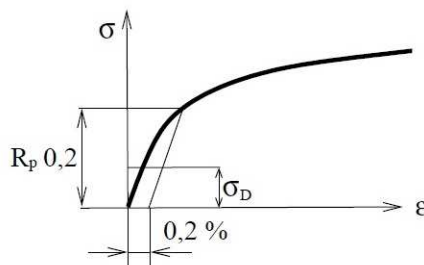
4 Zákonitosti při spojování celků (dimenzování)

Při navrhování výrobku je třeba dbát nejen na to, aby měl výsledný produkt vyhovující tvar, funkčnost, provozní vlastnosti apod., ale především je nutné zajistit, aby fungoval spolehlivě a bezpečně. To znamená, že by měl být schopný s dostatečnou rezervou odolávat, popřípadě přenášet, zatížení, jež na něj během provozu či používání působí. Zároveň by vlivem namáhání neměl příliš měnit svůj tvar (pokud není požadováno jinak) a byl schopen takto fungovat dostatečně dlouhou dobu. Pro zajištění splnění těchto uvedených požadavků slouží tzv. dimenzování. Součásti mohou být dimenzovány různými způsoby, a to z hlediska pevnosti, tuhosti a životnosti. Volba způsobu závisí na prioritních požadavcích pro konkrétní produkty. V praxi je zpravidla třeba hledat řešení, které vyhovuje kritériím pro všechna hlediska. [1]

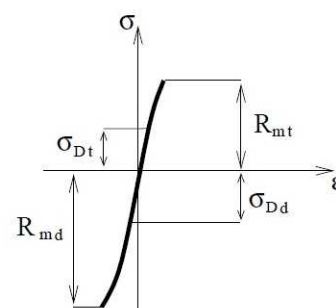
Pokud se produkt dimenzuje z pevnostního hlediska, je třeba určit redukované napětí, kterým je namáhán. Toto napětí musí splňovat podmínku, aby bylo menší nebo maximálně rovno dovolenému napětí pro danou součást: $\sigma_{red} \leq \sigma_D$. Dovolené napětí σ_D závisí na materiálu navrhované součásti a na velikosti koeficientu bezpečnosti. Lze jej odečíst z pracovního diagramu materiálu na základě znalosti výrazné či smluvní meze kluzu (pro houževnaté materiály) nebo meze pevnosti (pro křehké materiály). [1], [3]



Obr. 19 Pracovní diagram materiálu s výraznou mezí kluzu [3]



Obr. 20 Pracovní diagram materiálu s nevýraznou mezí kluzu [3]



Obr. 21 Pracovní diagram křehkého materiálu [3]

Pro určení redukovaného napětí musíme znát velikost (velikosti složek) celkového normálového napětí σ_N (součet napětí od namáhání tahem a ohybem) a tečného napětí τ_T (součet napětí od smyku a krutu). Existuje řada hypotéz pro výpočet hodnoty σ_{red} , pro názornost lze uvést vztah (dle Guestovy hypotézy). [1], [3]

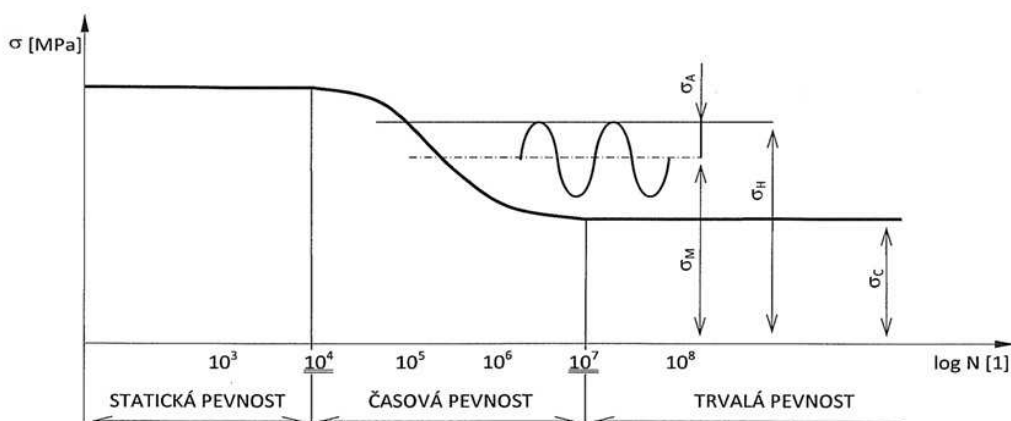
$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_N^2 + 4\tau_T^2} \text{ [MPa]}$$

Při dimenzování součásti či sestavy součástí z hlediska tuhosti se vychází z myšlenky, že jejich výsledná deformace nesmí překročit hodnotu deformace dovolené, nebo že výsledná tuhost musí být větší nebo rovna tuhosti požadované. Druhy deformací se liší pro různé způsoby namáhání. Pro namáhání tahem (tlakem) se jedná o prodloužení, u namáhání ohybem jde o průhyb či úhel natočení, při smykovém zatížení je deformací posunutí a při krutu úhel zkroucení. Dle obecné definice je tuhost rovna síle, která způsobí zatíženému tělesu jednotkovou deformaci. Jako příklad je níže uvedeno odvození vztahů pro případ zatížení tahem. [1]

$$\sigma_t = \frac{F}{S} = E \cdot \varepsilon = E \cdot \frac{\Delta l}{l_0} \Rightarrow \Delta l = \frac{F \cdot l_0}{E \cdot S} = \frac{F}{k_t} \Rightarrow k_t = \frac{F}{\Delta l} \left[\frac{N}{mm} \right],$$

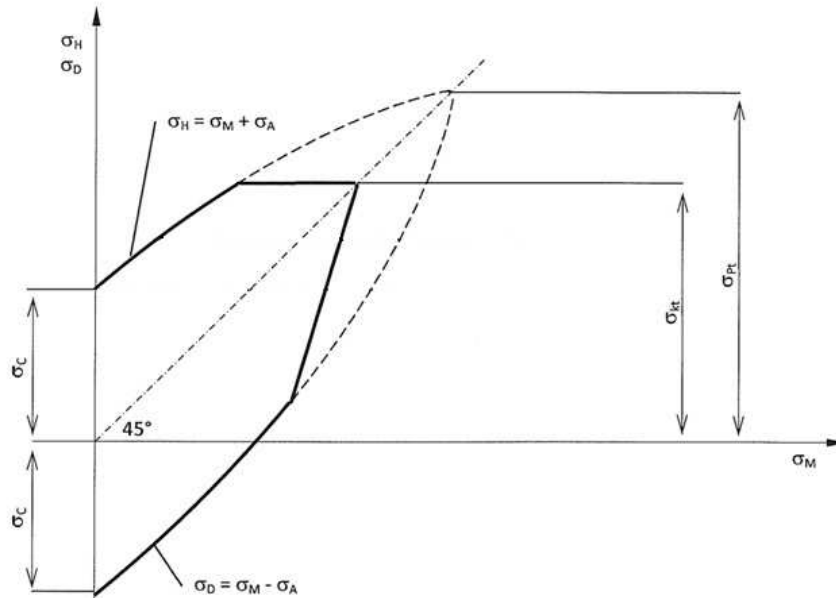
kde σ_t = napětí v tahu, F = zatěžující síla, S = zatěžovaný průřez, E = Youngův modul pružnosti v tahu, ε = poměrné prodloužení, l_0 = původní délka, Δl = velikost prodloužení. [1]

Posledním hlediskem pro dimenzování součásti je tedy její životnost. Uplatňuje se především, je-li součást namáhána dynamicky. To znamená, že její zatížení není konstantní, ale mění se v průběhu času. Při tomto zatížení hrozí nebezpečí porušení součástí i při napětích výrazně menších než je napětí dovolené. Dynamické zatížení může vzniknout dvěma způsoby. Jednak změnami nestacionárního vnějšího namáhání, nebo změnou polohy součástí vůči jejímu zatížení, které se s časem nemění. Toto proměnlivé namáhání má harmonický (sinový či kosinový) nebo obecný (periodický či náhodný) průběh. Životnost je udávána počtem cyklů (kmitů), při kterém dojde k destrukci dílu způsobené únavou materiálu. Závislost největšího možného napětí (σ) na počtu cyklů (N) udává Wöhlerova křivka (viz ukázka diagramu pro harmonické zatížení). [1]



Obr. 22 Napětíový diagram harmonického zatížení [1]

kde σ_M = střední napětí, σ_H = největší napětí, σ_D = nejmenší napětí, σ_A = amplituda napětí jsou parametry harmonického zatížení, σ_C = napětí trvalé pevnosti (základní mez únavy). Maximální hodnoty středního napětí a amplitudy, při kterých dojde k únavovému lomu materiálu, vymezuje Smithův diagram (nebo jeho zjednodušená verze Haighův diagram). [1]

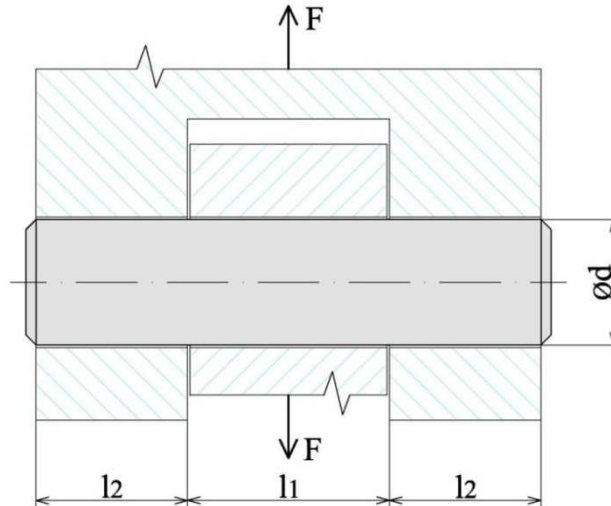


Obr. 23 Smithův diagram [1]

Pokud do Smithova diagramu od osy skloněné pod úhlem 45° v příslušné vzdálenosti (σ_M) vyneseme ve svislém směru nad i pod ní velikost amplitudy (σ_A) a ta bude ležet uvnitř vyznačeného pětiúhelníku, pak součást namáhaná příslušným zatížením vydrží nekonečně mnoho cyklů. [1]

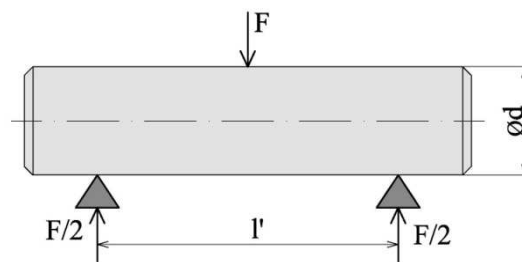
4.1 Spoje využívající tvarových elementů

Strojní součásti používané za účelem vytvoření spoje využívajícího tvarové elementy (blíže popsané v oddíle 3.1), jsou během svého fungování namáhány zejména ohybovým napětím, smykovým napětím a měrným tlakem. U některých z nich je pro správnou montáž potřeba zajistit vyvinutí dostatečné síly či práce. Princip jejich kontroly z hlediska ohybu, stříhu a otlacení je ukázán dále na spojení válcovým čepem bez hlavy o průměru d zatíženým silou F , princip určení přetvárné práce pak na nýtu s půlkulovou hlavou (s určitou formou zjednodušení). [1], [2]



Obr. 24 Čepové spojení

4.1.1 Kontrola z hlediska ohybu

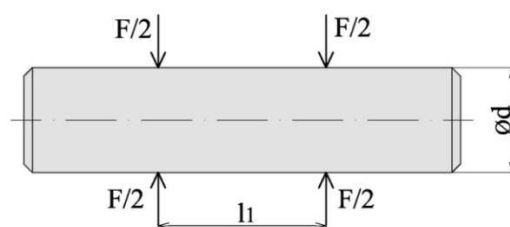


Obr. 25 Namáhání čepu ohybem

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_D, \quad M_o = \frac{F}{2} \cdot \frac{l'}{2}, \quad W_o = \frac{J_z}{e} = \frac{\frac{\pi \cdot d^4}{64}}{\frac{d}{2}} = \frac{\pi \cdot d^3}{32},$$

kde σ_o = napětí v ohybu, σ_D = dovolené napětí, M_o = největší ohybový moment, W_o = modul průřezu v ohybu, J_z = kvadratický moment průřezu, e = největší vzdálenost neutrální osy průřezu od krajního vlákna, $l' \sim l_1 + 2 \cdot (l_2/2) = l_1 + l_2$. [1]

4.1.2 Kontrola z hlediska smyku

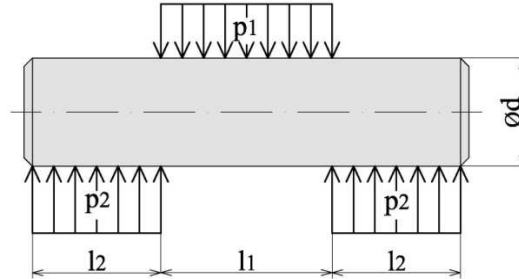


Obr. 26 Namáhání čepu smykem

$$\tau_s = \frac{F_s}{S} \leq \tau_D, \quad F_s = \frac{F}{2}, \quad S = \frac{\pi \cdot d^2}{4},$$

kde τ_s = napětí ve smyku, τ_D = dovolené napětí, F_s = zatěžující smyková síla, S = průřez zatížený smykovou silou. [1]

4.1.3 Kontrola z hlediska otláčení



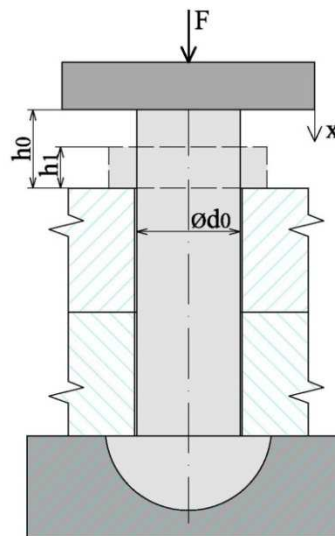
Obr. 27 Namáhání čepu tlakem

$$p_1 = \frac{F_1}{S_1} \leq p_D, \quad F_1 = \frac{F}{n} = F, \quad S_1 = d \cdot l_1,$$

$$p_2 = \frac{F_2}{S_2} \leq p_D, \quad F_2 = \frac{F}{n} = \frac{F}{2}, \quad S_2 = d \cdot l_2,$$

kde $p_{1(2)}$ = tlak působící na plochu $S_{1(2)}$, p_D = dovolený tlak, $F_{1(2)}$ = síla způsobující otláčení plochy $S_{1(2)}$, n = počet shodně zatížených ploch. [1]

4.1.4 Přetvárná práce pro vytvoření nýtového spoje



Obr. 28 Nýtový spoj

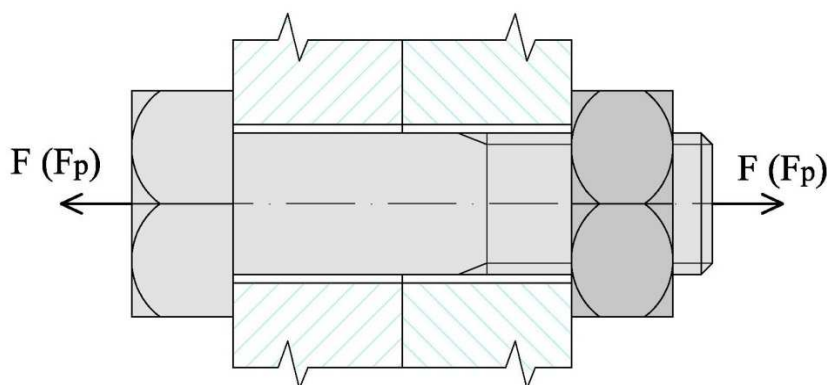
$$dA = F \cdot dx = S_x \cdot P_o \cdot dx, \quad S_x = \frac{V_o}{h_o - x}, \quad V_o = \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} \cdot h_o,$$

$$A = \int_0^{h_o - h_1} \frac{V_o}{h_o - x} \cdot P_o \cdot dx = V_o \cdot P_o \cdot \int_0^{h_o - h_1} \frac{1}{h_o - x} dx = V_o \cdot P_o \cdot \ln \frac{h_o}{h_1},$$

kde A = přetvárná práce, S_x = průřez závislý na stlačení (určený z podmínky stálosti objemu), P_o = přetvárný odpor materiálu. [4]

4.2 Spoje využívající předpětí

Do této kategorie spadají spoje šroubové a závitové, a spoje zděřemi (viz bližší popis v oddíle 3.2). Vzhledem ke konceptu této práce nemá význam se zděřovými spojeními zabývat, proto je tedy v tomto oddíle pozornost věnována pouze předepjatým spojům šroubovým (závitovým). Rozdíl mezi těmito dvěma způsoby spočívá v tom, že u závitového je vnější závit vytvořen přímo na příslušné části jednoho ze spojovaných dílů, kdežto pro případ šroubového spoje je vnější závit vytvořen na pomocné spojovací části (na šroubu). Princip dimenzování je dále vysvětlen na jednom z případů předepjatých spojů, a to na spojení dvou desek šroubem se šestihrannou hlavou a maticí. [1], [2]



Obr. 29 Šroubový spoj

Šrouby (vyjma lícovaných) mohou být zatíženy pouze axiálními silami, kontroluje se jejich tahové napětí vyvozené maximální zatěžující silou F (případně předepínací silou F_p), tlak v závitě, napětí tahem a krutem od utahovací síly F_U při předepínání a potřebná předepínací síla (popřípadě také ohybové napětí, které vznikne v případě, když spojované plochy nejsou rovnoběžné - hlava šroubu pak kopíruje nerovnoběžnost). U lícovaného šroubu je jeho dřík dále namáhán smykovým napětím (kontroluje se analogicky jako tvarové spojovací elementy v oddíle 4.1). [1], [2]

4.2.1 Kontrola z hlediska namáhání tahovým napětím

$$\sigma_t = \frac{F}{S_j} \leq \sigma_D, \quad S_j = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2,$$

kde σ_t = napětí v tahu, σ_D = dovolené napětí, F = maximální osová síla, S_j = jmenovitý průřez šroubu, d_2 = střední průměr závitu šroubu, d_3 = malý průměr závitu šroubu. [1]

4.2.2 Kontrola z hlediska otlačení závitu

$$p = \frac{F}{S_z} \leq p_D, \quad S_z = i \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d^2 - D_1^2), \quad i = \frac{m}{P},$$

kde p = tlak v závitech, p_D = dovolený tlak v závitech, F = maximální osová síla, S_z = nosná závitová plocha, i = počet závitů, m = výška matice, P = závitová rozteč (stoupání), d = průměr závitu, D_1 = malý průměr závitu matice. [1]

4.2.3 Kontrola z hlediska namáhání od utahovací síly

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\sigma_{\text{tp}}^2 + 4\tau_k^2} \leq \sigma_D,$$

$$\sigma_{\text{tp}} = \frac{F_P}{S_j}, \quad S_j = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2}\right)^2,$$

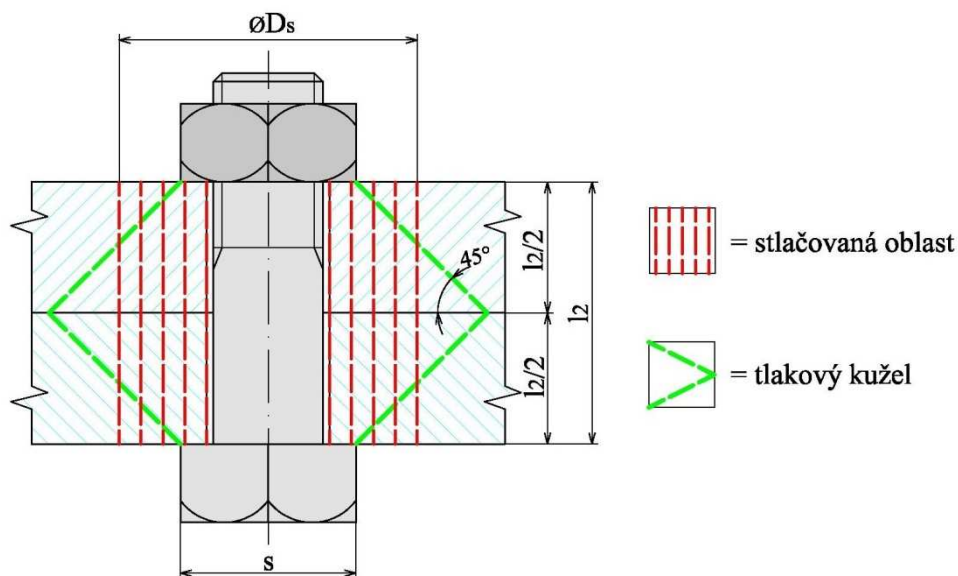
$$\tau_k = \frac{M_z}{W_k}, \quad M_z = F_P \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \text{tg}(\alpha + \varphi_z), \quad \text{tg}\alpha = \frac{P}{\pi \cdot d_2}, \quad \text{tg}\varphi_z = f_z,$$

$$W_k = \frac{J_P}{\frac{d_3}{2}} = \frac{\frac{\pi \cdot d_3^4}{32}}{\frac{d_3}{2}} = \frac{\pi \cdot d_3^3}{16},$$

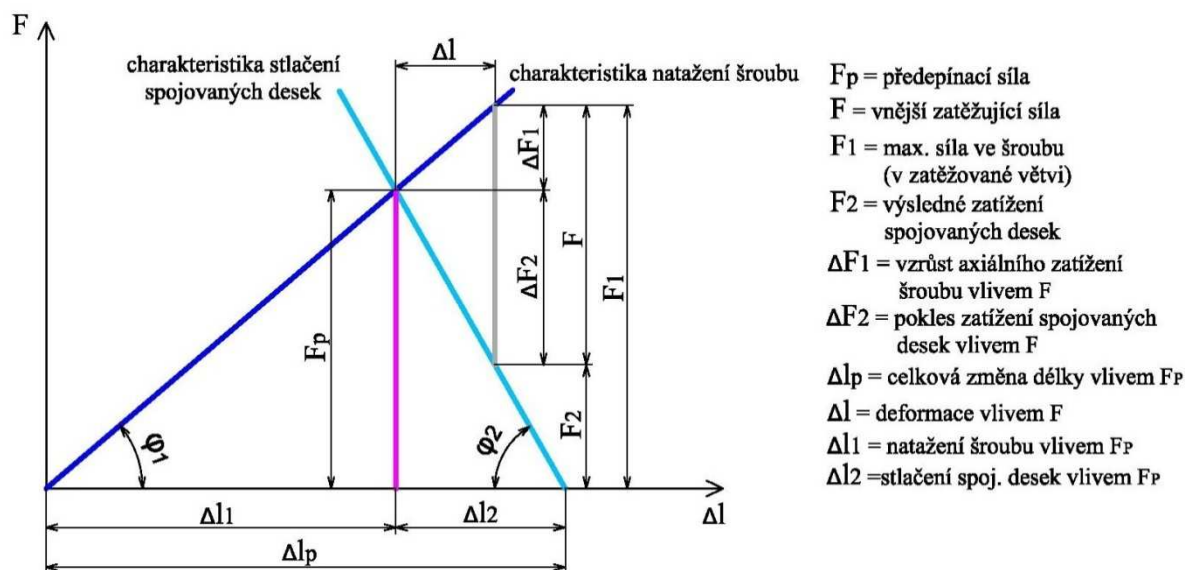
kde σ_{red} = redukované napětí, σ_D = dovolené napětí, σ_{tp} = tahové napětí od předepínací síly, τ_k = napětí v krutu od momentu v závitu, F_P = předepínací síla, S_j = jmenovitý průřez šroubu, d_2 = střední průměr závitu šroubu, d_3 = malý průřez závitu šroubu, M_z = moment v závitu od předepínací síly, W_k = modul průřezu v krutu, α = úhel stoupání závitu, P = závitová rozteč (stoupání), f_z = součinitel tření v závitu, J_P = polární moment průřezu. [1]

4.2.4 Určení potřebné předepínací síly

Při předepínání se šroub i spojované desky chovají jako sériově řazené pružiny. Všechny části jsou zatíženy stejnou silou F_P a výsledná deformace Δl_P je dána součtem jejich deformací (natažení šroubu a stlačení desek). Při zatížení jakékoliv součásti spoje je třeba se stále pohybovat v oblasti platnosti Hookeova zákona. Z diagramu závislosti síly na deformaci pak lze vyčíst velikosti zatěžujících sil, jak je ukázáno dále. [1]



Obr. 30 Namáhání při předepínání šroubového spoje



Obr. 31 Silový rozklad šroubového spoje

$$F_p = F \cdot \left(\frac{C_1}{C_1 + C_2} + \psi \right), \quad F_1 = F_p + \Delta F_1, \quad F_2 = \psi \cdot F,$$

kde C_1 = deformační konstanta šroubu, C_2 = deformační konstanta spojovaných desek, ψ = součinitel proti odlehčení ($\sim 0,2 \div 1,2$). [1]

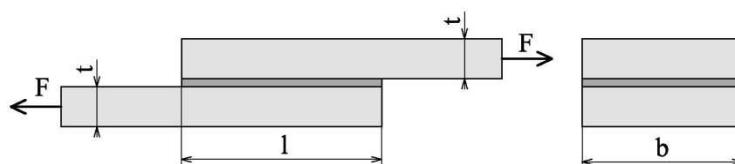
$$C_1 = \frac{l'}{E_1 \cdot S_s} = \frac{1}{\text{tg} \varphi_1}, \quad S_s = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}, \quad C_2 = \frac{l_2}{E_2 \cdot S'}$$

kde $l' = l_2 +$ výška matice, E_1 = modul pružnosti v tahu materiálu šroubu, S_s = střední průřez závitu šroubu, d_2 = střední průměr závitu šroubu, E_2 = modul pružnosti v tahu spojovaného materiálu, S' = plocha průřezu tlakového dvojkužele. [1]

4.3 Spoje využívající spojovací materiál

Jak již bylo uvedeno dříve (v oddíle 3.4), mezi spoje, které využívají spojovací materiál, patří spoje svařované, pájené a lepené. Opět vzhledem ke konceptu práce a k jejímu zaměření na spojovací prvky společnosti Böllhoff, má význam zabývat se pouze spoji vytvořenými lepením. Pevnost lepeného spoje závisí především na přilnutí k povrchu spojovaných materiálů (tzv. adheze) a na soudržnosti vlastního lepidla (tzv. koheze). Lepidla vzhledem ke svým charakteristickým vlastnostem dobře přenášejí smykové zatížení, ostatní naopak hůře. Je tedy snahou lepené spoje navrhovat tak, aby byly zatíženy pouze smykem. Pevnostní výpočty jsou dále osvětleny na případě namáhání dvou slepených desek o tloušťce t a šířce b na smyk a tah od zatěžující síly, a na případě smykového namáhání lepeného spojení pouzdra s vnitřním průměrem D a hřídele průměru d od kroutícího momentu. Obecně platí, že lepený spoj by měl mít únosnost stejnou, jako má lepený díl. [1], [2]

4.3.1 Kontrola spoje na smyk vyvolaný silou

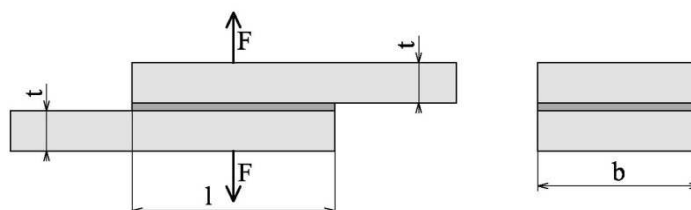


Obr. 32 Namáhání lepeného spoje smykem silou

$$\tau_s = \frac{F}{S} \leq \tau_D, \quad S = l \cdot b, \quad \tau_D = \frac{\tau_L}{k}, \quad t \cdot b \cdot \sigma_{Dt} = l \cdot b \cdot \tau_D \Rightarrow l = t \cdot \frac{\sigma_{Dt}}{\tau_D},$$

kde τ_s = napětí ve smyku, τ_D = dovolené napětí, F = zatěžující síla, S = plocha lepeného spoje, τ_L = pevnost lepidla ve smyku, k = bezpečnost lepeného spoje, σ_{Dt} = dovolené tahové napětí spojovaných desek. [1]

4.3.2 Kontrola spoje na tah vyvolaný silou

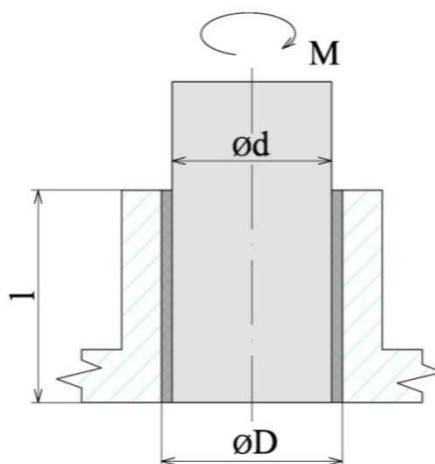


Obr. 33 Namáhání lepeného spoje tahem silou

$$\sigma_t = \frac{F}{S} \leq \sigma_{Dt}, \quad S = l \cdot b, \quad \sigma_{Dt} = \frac{\sigma_L}{k},$$

kde σ_t = napětí v tahu, σ_{Dt} = dovolené napětí, F = zatěžující síla, S = plocha lepeného spoje, σ_L = pevnost lepidla v tahu, k = bezpečnost lepeného spoje. [1]

4.3.3 Kontrola spoje na smyk vyvolaný momentem



Obr. 34 Namáhání lepeného spoje smykem momentem

$$\tau_s = \frac{F}{S} \leq \tau_D, \quad F = \frac{M}{\frac{d_s}{2}}, \quad S = \pi \cdot d_s \cdot l, \quad \tau_D = \frac{\tau_L}{k}, \quad d_s = \frac{D+d}{2},$$

kde τ_s = napětí ve smyku, τ_D = dovolené napětí, F = zatěžující síla, S = plocha lepeného spoje, M = zatěžující kroutící moment, d_s = střední průměr lepené plochy, τ_L = pevnost lepidla ve smyku, k = bezpečnost lepeného spoje. [1]

5 Oblast použití

K posouzení vhodnosti použití spojovacího prvku pro dané účely bylo stanoveno několik kritérií. Pomocí těchto kritérií a přehledu zkoumaných spojovacích prvků firmy Böllhoff byla vytvořena porovnávací tabulka, ze které se snadno odečte, zda je daný prvek (případně technologie) pro navrhované konstrukční řešení použitelný.

5.1 Porovnávací kritéria

- vhodné pro spojení kovových materiálů
- vhodné pro spojení plastových materiálů
- nutnost použití dalších spojovacích prvků
- nutnost přípravy spojovaných materiálů pro vytvoření spoje
- potřeba speciálních nástrojů či náradí pro vytvoření spoje
- možnost vytvořit jednostranně přístupné spojení
- možnost opakované montáže
- pro přenos radiálního zatížení
- pro přenos axiálního zatížení
- tekutinová těsnost spoje

5.2 Jednotlivé prvky dle kritérií a jejich využití

5.2.1 RIVQUICK® trhací nýty

vhodné pro spojení kovových materiálů	•
vhodné pro spojení plastových materiálů	•
nutnost použití dalších spojovacích prvků	
nutnost přípravy spojovaných materiálů pro vytvoření spoje	•
potřeba speciálních nástrojů či nářadí pro vytvoření spoje	
možnost vytvořit jednostranně přístupné spojení	•
možnost opakované montáže	
pro přenos radiálního zatížení	•
pro přenos axiálního zatížení	•
tekutinová těsnost spoje	•

V praxi nachází tento prvek uplatnění v mnoha průmyslových a výrobních odvětvích, obecně by se jeho využití dalo sumarizovat na případy, kde je třeba nepohyblivého spoje materiálů s malou hodnotou tloušťky stěny (např. spojení plechových profilů atd.). [5]

Obr. 35 Vlastnosti RIVQUICK® trhacích nýtů dle kritérií

5.2.2 RIVSET® narážecí nýty

vhodné pro spojení kovových materiálů	•
vhodné pro spojení plastových materiálů	•
nutnost použití dalších spojovacích prvků	
nutnost přípravy spojovaných materiálů pro vytvoření spoje	
potřeba speciálních nástrojů či nářadí pro vytvoření spoje	•
možnost vytvořit jednostranně přístupné spojení	
možnost opakované montáže	
pro přenos radiálního zatížení	•
pro přenos axiálního zatížení	•
tekutinová těsnost spoje	•

Tento spojovací prvek se využívá například v automobilovém průmyslu pro spojování dílů karoserie. Jeho vlastnosti se obecně využijí v případech vytvoření pevného spoje kovových tenkostěnných materiálů. Použitím technologie narážecího nýtování lze s výhodou nahradit trhací nýty nebo také spojení bodovými svary. [5]

Obr. 36 Vlastnosti RIVSET® narážecích nýtů dle kritérií

5.2.3 RIVKLE® nýtovací matice a šrouby

vhodné pro spojení kovových materiálů	●
vhodné pro spojení plastových materiálů	●
nutnost použití dalších spojovacích prvků	○
nutnost přípravy spojovaných materiálů pro vytvoření spoje	●
potřeba speciálních nástrojů či nářadí pro vytvoření spoje	○
možnost vytvořit jednostranně přístupné spojení	●
možnost opakované montáže	○
pro přenos radiálního zatížení	●
pro přenos axiálního zatížení	●
tekutinová těsnost spoje	●

Využití nýtovací matice či šroubu se v praxi objevuje u karosářských dílů v automobilovém průmyslu, u skříní a opláštění různých strojů a zařízení atd. Jelikož tento prvek umožňuje vytvoření více druhů spojení (nýtové a závitové), v tabulce kritérií je použit symbol prázdného kolečka, který značí případ, že kritérium odpovídá pouze jednomu z nich. [5]

Obr. 37 Vlastnosti RIVKLE® nýtovacích matic a šroubů dle kritérií

5.2.4 RIVTAC® čepy

vhodné pro spojení kovových materiálů	●
vhodné pro spojení plastových materiálů	●
nutnost použití dalších spojovacích prvků	
nutnost přípravy spojovaných materiálů pro vytvoření spoje	
potřeba speciálních nástrojů či nářadí pro vytvoření spoje	●
možnost vytvořit jednostranně přístupné spojení	●
možnost opakované montáže	
pro přenos radiálního zatížení	●
pro přenos axiálního zatížení	●
tekutinová těsnost spoje	

Narážecí čepy mají z praktického hlediska opět velice širokou možnost využití. Lze je aplikovat např. v automobilovém průmyslu ke spojení částí skeletu, při spojování dílčích částí tzv. bílého zboží, při připevnění krycí vrstvy materiálu na základní a v mnoha dalších případech. [5]

Obr. 38 Vlastnosti RIVTAC® čepů dle kritérií

5.2.5 QUICKLOC® rychlozámky

vhodné pro spojení kovových materiálů	•
vhodné pro spojení plastových materiálů	•
nutnost použití dalších spojovacích prvků	
nutnost přípravy spojovaných materiálů pro vytvoření spoje	•
potřeba speciálních nástrojů či nářadí pro vytvoření spoje	
možnost vytvořit jednostranně přístupné spojení	•
možnost opakované montáže	•
pro přenos radiálního zatížení	
pro přenos axiálního zatížení	
tekutinová těsnost spoje	

Obr. 39 Vlastnosti QUICKLOC® rychlozámek dle kritérií

Technologie rychlozámek se v praxi využívá tam, kde je potřeba snadného a rychlého přístupu pod zakrytí zařízení či strojních skupin, podléhajících častým kontrolám či údržbě, se stejně rychlou a jednoduchou možností opětovné montáže. Konkrétně lze uvést například připevnění interiérových částí u dopravních prostředků, zajištění kapoty u sportovních vozidel či kryt vzduchového filtru u terénních motocyklů. [5]

5.2.6 SNAPLOC® rozpojovací prvky

vhodné pro spojení kovových materiálů	•
vhodné pro spojení plastových materiálů	•
nutnost použití dalších spojovacích prvků	
nutnost přípravy spojovaných materiálů pro vytvoření spoje	•
potřeba speciálních nástrojů či nářadí pro vytvoření spoje	
možnost vytvořit jednostranně přístupné spojení	•
možnost opakované montáže	•
pro přenos radiálního zatížení	
pro přenos axiálního zatížení	
tekutinová těsnost spoje	

Obr. 40 Vlastnosti SNAPLOC® rozpojovacích prvků dle kritérií

Principiálně je způsob vytvoření spojení tímto systémem velice podobný systému rychlozámek QUICKLOCK®, tedy i oblasti použití jsou takřka shodné. Je zřejmé, že oba uvedené druhy opakovatelných spojů jsou schopné přenášet určitá radiální a axiální zatížení menších hodnot, nicméně není to jejich primární funkce, proto jsou tato pole v tabulkách těchto dvou prvků prázdná. [5]

5.2.7 SEAL LOCK® těsnící matice

vhodné pro spojení kovových materiálů	●
vhodné pro spojení plastových materiálů	●
nutnost použití dalších spojovacích prvků	●
nutnost přípravy spojovaných materiálů pro vytvoření spoje	●
potřeba speciálních nástrojů či nářadí pro vytvoření spoje	
možnost vytvořit jednostranně přístupné spojení	●
možnost opakované montáže	●
pro přenos radiálního zatížení	●
pro přenos axiálního zatížení	●
tekutinová těsnost spoje	●

V praxi se těsnící vlastnosti s výhodou využívají obecně u strojů a zařízení kde je nežádoucí únik pracovní látky, např. zařízení s kapalinovým nebo vzduchovým ovládním, nebo také jako ochrana proti úniku maziva. Z konkrétních aplikací lze uvést třeba spojení pūlených převodkových skříní, ovládacích pneumatických a hydraulických modulů, závitové spoje v palivových systémech atd. [5]

Obr. 41 Vlastnosti SEAL LOCK® těsnících matic dle kritérií

5.2.8 HELICOIL® závitové vložky a matice

vhodné pro spojení kovových materiálů	●
vhodné pro spojení plastových materiálů	●
nutnost použití dalších spojovacích prvků	●
nutnost přípravy spojovaných materiálů pro vytvoření spoje	●
potřeba speciálních nástrojů či nářadí pro vytvoření spoje	○
možnost vytvořit jednostranně přístupné spojení	●
možnost opakované montáže	●
pro přenos radiálního zatížení	●
pro přenos axiálního zatížení	●
tekutinová těsnost spoje	

Praktické využití tohoto prvku, ať ve formě závitových vložek či matice, je velice obecné a s výhodou aplikovatelné v mnoha oblastech. Jako konkrétní případ aplikace závitových vložek lze uvést třeba oprava strženého či jinak poškozeného závitu pro zapalovací svíčku v hlavě zážehového motoru. Pro matice HELICOIL® je vhodné využití např. u závitových spojení dílů náprav vozidel a jiných namáhaných částí kde je žádoucí velká únosnost závitu, jeho odolnost a jištění proti uvolnění. Prázdné kolečko v tabulce symbolizuje potřebu použití speciálního nářadí pro zavádění závitové vložky. [5]

Obr. 42 Vlastnosti HELICOIL® závitových vložek a matic dle kritérií

5.2.9 KOBSERT® závitová pouzdra

vhodné pro spojení kovových materiálů	•
vhodné pro spojení plastových materiálů	
nutnost použití dalších spojovacích prvků	•
nutnost přípravy spojovaných materiálů pro vytvoření spoje	•
potřeba speciálních nástrojů či nářadí pro vytvoření spoje	•
možnost vytvořit jednostranně přístupné spojení	•
možnost opakované montáže	•
pro přenos radiálního zatížení	•
pro přenos axiálního zatížení	•
tekutinová těsnost spoje	•

Obr. 43 Vlastnosti KOBSERT® závitových pouzder dle kritérií

Využitelnost této technologie je takřka shodná jako u závitových vložek HELICOIL®. Rozdílnost spočívá v možnosti aplikace pouze do kovových materiálů a v možnosti tekutinotěsného provedení. Pro konkrétnost oblastí využívajících toho prvku lze uvést např. automobilový průmysl (např. připevnění komponent na motor či převodovku), zemědělská a zahradní technika, elektronika a další. [5]

5.2.10 AMTEC® závitové vložky

vhodné pro spojení kovových materiálů	
vhodné pro spojení plastových materiálů	•
nutnost použití dalších spojovacích prvků	•
nutnost přípravy spojovaných materiálů pro vytvoření spoje	•
potřeba speciálních nástrojů či nářadí pro vytvoření spoje	•
možnost vytvořit jednostranně přístupné spojení	•
možnost opakované montáže	•
pro přenos radiálního zatížení	•
pro přenos axiálního zatížení	•
tekutinová těsnost spoje	

Obr. 44 Vlastnosti AMTEC® závitových vložek dle kritérií

Stejně jako u ostatních prvků vytvářejících spojení díky závitů je i u závitových vložek AMTEC® oblast využití velmi široká. Konkrétně lze zmínit využití pro spojení částí počítačové techniky, obalů a krytů mobilních telefonů a dalších elektronických zařízení a tak dále. Obecně lze vhodnost použití sumarizovat pro případy, kdy je požadováno spolehlivé spojení plastových dílů závitovým spojem. [5]

5.2.11 FLEXITOL® vymezení tolerancí

vhodné pro spojení kovových materiálů	●
vhodné pro spojení plastových materiálů	●
nutnost použití dalších spojovacích prvků	●
nutnost přípravy spojovaných materiálů pro vytvoření spoje	●
potřeba speciálních nástrojů či nářadí pro vytvoření spoje	○
možnost vytvořit jednostranně přístupné spojení	●
možnost opakované montáže	○
pro přenos radiálního zatížení	●
pro přenos axiálního zatížení	●
tekutinová těsnost spoje	

Z obecného hlediska se tento systém s výhodou využívá, když je vyžadována možnost doladění vzájemné polohy spojovaných částí například pro jejich dobré slícování nebo pokud se chtějí snížit náklady na výrobu spojovaných součástí snížením jejich přesnosti (menší přísnost tolerancí). Konkrétně se využívá třeba v automobilovém průmyslu pro interiérové i karosářské prvky a v dalších odvětvích např. u zakrytování. Prázdná kolečka v tabulce značí potřebu speciálního nářadí pro montáž a nemožnost opakované montáže těchto prvků připevňovaných na principu nýtovací matice. [5]

Obr. 45 Vlastnosti FLEXITOL® prvků pro vymezení tolerancí dle kritérií

5.2.12 RIVCLINCH® mechanické spojování

vhodné pro spojení kovových materiálů	●
vhodné pro spojení plastových materiálů	
nutnost použití dalších spojovacích prvků	
nutnost přípravy spojovaných materiálů pro vytvoření spoje	
potřeba speciálních nástrojů či nářadí pro vytvoření spoje	●
možnost vytvořit jednostranně přístupné spojení	
možnost opakované montáže	
pro přenos radiálního zatížení	●
pro přenos axiálního zatížení	●
tekutinová těsnost spoje	●

V praxi nachází tato technologie uplatnění v širokém spektru průmyslových odvětví. RIVCLINCH® se využije všude kde je třeba spojení dvou i více vrstev tenkostěnných kovových materiálů, které umožňuje oboustranný přístup, např. v automobilovém průmyslu pro části skeletu, u tzv. bílého zboží a mnoha dalších. Technologií lze nahradit metody nýtování či bodového svařování, přičemž se využije rychlosti spojení a absence dalších prvků a přípravy spojovaných dílů. [5]

Obr. 46 Vlastnosti RIVCLINCH® mechanického spojování dle kritérií

5.2.13 ONSERT® vlepování spojovacích prvků

vhodné pro spojení kovových materiálů	•
vhodné pro spojení plastových materiálů	•
nutnost použití dalších spojovacích prvků	•
nutnost přípravy spojovaných materiálů pro vytvoření spoje	•
potřeba speciálních nástrojů či nářadí pro vytvoření spoje	•
možnost vytvořit jednostranně přístupné spojení	•
možnost opakované montáže	
pro přenos radiálního zatížení	•
pro přenos axiálního zatížení	•
tekutinová těsnost spoje	•

Praktické využití nachází technologie vlepování spojovacích prvků kupříkladu v leteckém průmyslu pro připojování opláštění, v automobilovém průmyslu pro připojení částí karoserie, u tzv. bílého zboží atd. Technologie je obecně vhodná, pokud není žádoucí porušení struktury materiálu například předvrtáním děr pro spojení či pokud není žádoucí tepelné namáhání při vytváření spoje. Použitím vlepených spojovacích prvků lze také spojovat materiály, které by byly jinými technologiemi spojitelné obtížně či vůbec. [5]

Obr. 47 Vlastnosti ONSERT® vlepování spojovacích prvků dle kritérií

5.3 Porovnání zkoumaných prvků

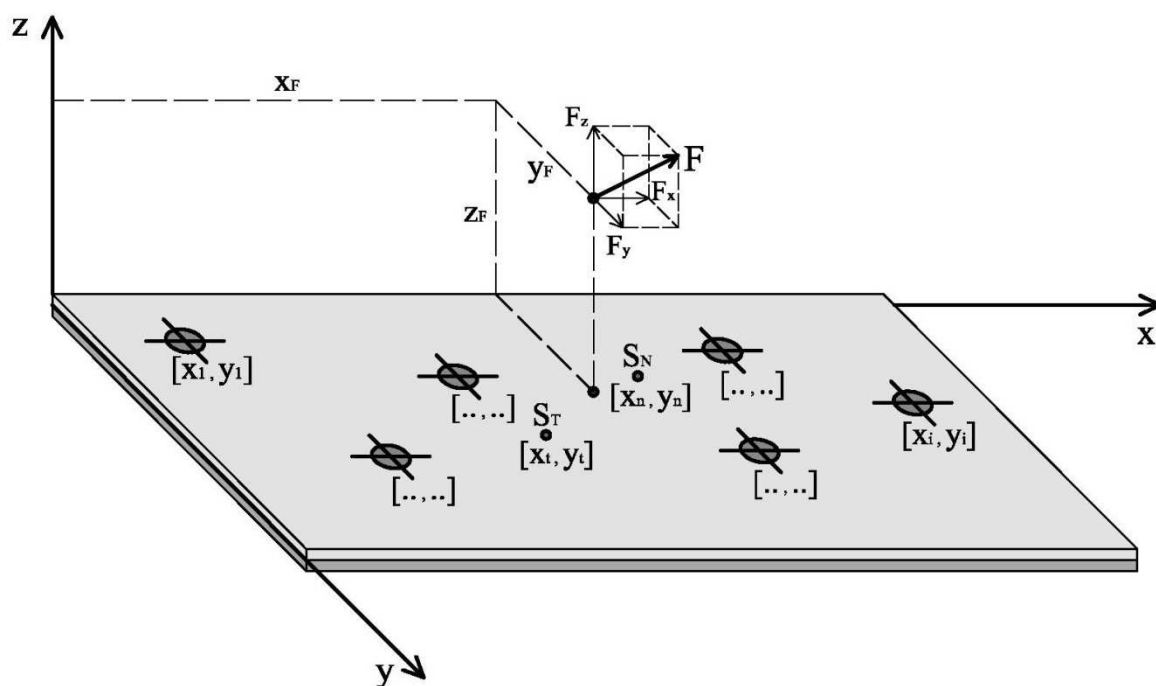
	vhodné pro spojení kovových materiálů	vhodné pro spojení plastových materiálů	nutnost použití dalších spojovacích prvků	nutnost přípravy spojovaných materiálů pro vytvoření spoje	potřeba speciálních nástrojů či nářadí pro vytvoření spoje	možnost vytvořit jednostranně přístupné spojení	možnost opakované montáže	pro přenos radiálního zatížení	pro přenos axiálního zatížení	tekutinnová těsnost spoje
 RIVQUICK	●	●		●		●		●	●	●
 RIVSET	●	●			●			●	●	●
 RIVKLE	●	●	○	●	○	●	○	●	●	●
 RIVTAC	●	●			●	●		●	●	
 QUICKLOC	●	●		●		●	●			
 SNAPLOC	●	●		●		●	●			
 SEAL LOCK	●	●	●	●		●	●	●	●	●
 HELICOIL	●	●	●	●	○	●	●	●	●	
 KOBSERT	●		●	●	●	●	●	●	●	●
 AMTEC		●	●	●	●	●	●	●	●	
 FLEXITOL	●	●	●	●	○	●	○	●	●	
 RIVCLINCH	●				●			●	●	●
 ONsert	●	●	●	●	●	●		●	●	●

Obr. 48 Porovnání zkoumaných prvků dle kritérií

6 Obecný postup při návrhu spojení

Při navrhování spojení jakéhokoliv druhu je vždy třeba postupovat v určitých krocích. Po prvotním návrhu typu spojení vhodného pro dané konkrétní konstrukční řešení následuje analýza zatížení. V tomto kroku se vyhodnotí zatěžující síly, případně silové dvojice, jejichž působením je navrhovaný spoj namáhán. Je třeba určit velikost zatížení působící na spoj popřípadě na jednotlivé prvky, které spojení vytváří. Pokud známe velikost zatížení, následuje kontrola spoje (dimenzování), kdy se zkontroluje, jestli navrhovaný spoj daným podmínkám vyhovuje. Navrhované spojení by nemělo být z bezpečnostního hlediska poddimenzované, naopak z ekonomického hlediska je třeba dbát na to, aby spojení nebylo ani předdimenzované. O typech zatížení působících na spojovací prvky a o jejich kontrole je pojednáváno v kapitole 4, v tomto oddíle je tedy dále nastíněno jak postupovat při určování zatížení na jednotlivé prvky tvořící spojení, při určitém zjednodušení. Jelikož prvky, kterými se zabývá tato práce, jsou zpravidla pro spojování tenkostěnných materiálů, budou zanedbávány účinky v místě kontaktu spojovaných ploch (vzniklé například předpětím).

Princip určení zatížení spojovacích prvků je ukázán na obecném příkladu spojení dvou tenkých desek. Spojení je namáháno silou $F [F_x, F_y, F_z]$ s působišťem $v [x_F, y_F, z_F]$.

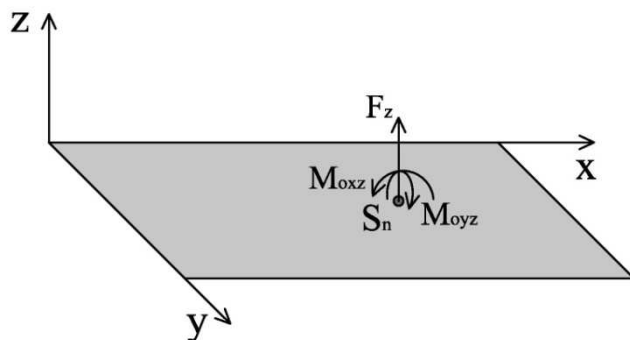


Obr. 49 Zatížené spojení dvou tenkých desek

Uvažujme obecný počet n spojovacích prvků. Každý i -tý ($[x_i, y_i]$, $i \in \{1; n\}$) prvek má svojí normálovou tuhost k_{ni} (ve směru osy z), a tečnou tuhost k_{ti} (v rovině xy). Bod $S_n [x_n, y_n]$ vyznačuje střed tuhosti spojovacích prvků pro normálový směr, obdobně bod $S_t [x_t, y_t]$ je středem tuhosti pro tečný směr.

$$x_n = \frac{\sum_{i=1}^n (k_{ni} \cdot x_i)}{\sum_{i=1}^n k_{ni}}, \quad y_n = \frac{\sum_{i=1}^n (k_{ni} \cdot y_i)}{\sum_{i=1}^n k_{ni}}, \quad x_t = \frac{\sum_{i=1}^n (k_{ti} \cdot x_i)}{\sum_{i=1}^n k_{ti}}, \quad y_t = \frac{\sum_{i=1}^n (k_{ti} \cdot y_i)}{\sum_{i=1}^n k_{ti}}$$

Zatížení silou F přeložíme do středů tuhostí. Pro zatížení normálové (ve směru osy z) přesuneme složku síly F_z do S_n a přidáme ohybové momenty M_{oxz} točící kolem osy y a M_{oyz} točící kolem osy x .

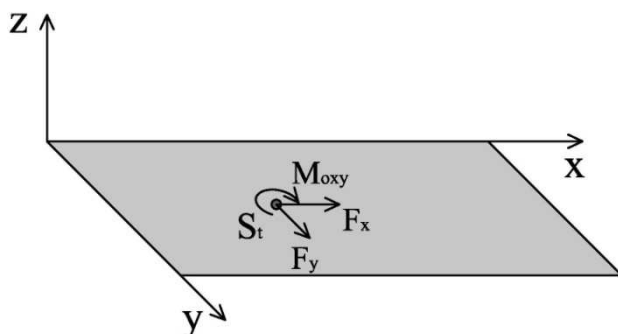


$$M_{oxz} = F_z \cdot (x_n - x_F) + F_x \cdot z_F$$

$$M_{oyz} = F_z \cdot (y_F - y_n) + F_y \cdot z_F$$

Obr. 50 Zatížení normálové

Podobně pro zatížení tečné (v rovině xy) přesuneme složky síly F_x a F_y do S_t a přidáme ohybový moment M_{oxy} točící kolem osy z .



$$M_{oxy} = F_x \cdot (y_t - y_F) + F_y \cdot (x_F - x_t)$$

Obr. 51 Zatížení tečné

Výslednou zatěžující sílu působící na jeden prvek $F_{pi}[F_{pix}, F_{piy}, F_{piz}]$ rozložíme na sílu působící na spojovací prvek v normálovém směru F_{pin} a na sílu působící na spojovací prvek v tečném směru F_{pit} .

$$F_{pin} = F_{piz}, \quad F_{pit} = \sqrt{F_{pix}^2 + F_{piy}^2}$$

Normálová složka se určí jako $F_{piz} = \frac{F_z}{n}$. Pro tečné složky platí, že největší podíl zatížení přeneše nejvzdálenější prvek od středu tuhosti, tudíž musí platit, že moment vyvozený vnějším zatížením se rozloží dle poměrů vzdáleností jednotlivých prvků od něj. $M_o = F_{p1} \cdot l_1 + F_{p2} \cdot l_2 + \dots + F_{pi} \cdot l_i$, vyjádřením sil jako $F_{p2} = F_{p1} \frac{l_2}{l_1}$, ..., $F_{pi} = F_{p1} \frac{l_i}{l_1}$ a dosazením příslušných indexů a délek určíme tečné složky F_{pix} a F_{piy} .

7 Závěr

Závěrem jsou dále shrnuty informace a poznatky vyplývající ze zkoumané problematiky, kterou se tato kvalifikační práce zabývá.

Z úvodního představení firmy Böllhoff je patrné, že společnost působí na trhu již dlouhou řadu let. Od svého založení dokázala ustát různé krize a nelehká období, a rozrůst se do měřítka velké světové společnosti. Rozšiřováním oblastí působení a výrobního sortimentu dává firma najevo, že se ani v úspěšném a prosperujícím období nespokojí s jejím okamžitým stavem, ale díky inovativnímu přístupu a myšlení je tlačena kupředu. Díky těmto aspektům, již zmiňované dlouhé tradici a profilu rodinné společnosti jistě působí stabilně a dobrým dojmem nejen na své případné obchodní partnery, ale také na své zaměstnance a veřejnost.

Bakalářská práce dále přiblížila význam spojování a spojovacích částí ve strojírenství. Konstatuje proč a za jakými účely se spojování provádí, a dále také že vedle primárního úkolu umožnit samotné spojení dílčích součástí je důležité hledět i na požadavky vzájemné pohyblivosti, a přenosu zatížení, který se uskutečňuje stykovou plochou a tvarovými prvky.

Zkoumaný sortiment byl dle obecných principů rozčleněn do kategorií spojů využívajících tvarových elementů, předpětí, tvarových prvků bez přídavných elementů, materiálu a prvků jistící spoje. Každá kategorie byla nejprve popsána na obecné hladině, posléze byly uvedeny informace k prvkům do jednotlivých kategorií přiřazených. K porovnání těchto prvků byla sestavena porovnávací kritéria volená tak, aby byla pokud možno co nejvíce pro zkoumané prvky společná. Případný čtenář nejen z řad studentů bakalářského studia strojních fakult rozšíří svůj přehled o moderních spojovacích prvcích a technologiích, se kterými se v rámci studia třeba neměl možnost setkat.

Práce také zahrnuje poznatky pro návrh a kontrolu spojů. Důležité kromě samotné funkčnosti je také bezpečnost a spolehlivost vytvářeného spoje. Je tedy třeba určit zatížení na spoj působící, a ten dále dimenzovat z pevnostního, tuhostního a životnostního hlediska. Byly také obecně uvedeny principy platné pro dimenzování a základní vztahy spolu s ilustrativními obrázky, pomocí nichž lze provést pevnostní výpočet daných prvků a spojů. Na tuto závěrečnou kvalifikační práci lze pohlížet jako na jakýsi obecný návod při navrhování spojení.

Seznam použitých zdrojů

- [1] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra 1*. Praha: Computer press, 1999.
- [2] DEJL, Z. *Konstrukce strojů a zařízení 1 - Spojovací části strojů*. Ostrava: Montanex, 2000.
- [3] PLÁNIČKA, F., ZAJÍČEK, M., ADÁMEK, V. *Podpůrné materiály pro KME/PP1*.
<http://www.kme.zcu.cz/kmet/pp/>
- [4] BERNÁŠEK, V., BENEŠOVÁ, S. *Technologie tváření*.
[https://courseware.zcu.cz/wps/myportal!/ut/p/c5/jY_LDoIwEEW_hS_oMNAWlw2YQqgFfIFsCAtDmgi4MH6_JSymGhFnldmO7h1SE7tDezddezPj0F5IRWrW8KyQXh4hZCxFQKVyJqlCP-KWn1gTShH7XAFIjhRQ0x1uxBEg8f6x57jLFuxyavs7feIwMwKe_JUgE-SAFPe6SCPXXnzwL_3eOEg_tDzWwXq78iBY8O0HOH77M7n2hwpMYvLOcR4H20mx/dl3/d3/L2dJQSEvUUt3QS9ZQnZ3LzZfN09RRzNQRDlwTzZLMjAyTEExQNkc1TDI0NTM!/?](https://courseware.zcu.cz/wps/myportal!/ut/p/c5/jY_LDoIwEEW_hS_oMNAWlw2YQqgFfIFsCAtDmgi4MH6_JSymGhFnldmO7h1SE7tDezddezPj0F5IRWrW8KyQXh4hZCxFQKVyJqlCP-KWn1gTShH7XAFIjhRQ0x1uxBEg8f6x57jLFuxyavs7feIwMwKe_JUgE-SAFPe6SCPXXnzwL_3eOEg_tDzWwXq78iBY8O0HOH77M7n2hwpMYvLOcR4H20mx/dl3/d3/L2dJQSEvUUt3QS9ZQnZ3LzZfN09RRzNQRDlwTzZLMjAyTEExQNkc1TDI0NTM!/)
- [5] *Podkladový materiál poskytnutý firmou Böllhoff.*