



# **ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

## **FAKULTA STROJNÍ**



**Ústav konstruování a částí strojů**

**Název v jazyce práce**

**Testování tuhosti šroubových spojů stavebnicových hliníkových konstrukcí**

**Název v angličtině**

**Testing of a Screw Connections Stiffness in Modular Aluminium Structures**

Diplomová práce

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301T047 Dopravní, letadlová a transportní technika

Vedoucí práce: Ing. Mrázek Jiří, Ph.D.

**Ladislav Kubeček**

---





## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: "Testování tuhosti šroubových spojů stavebnicových hliníkových konstrukcí" vypracoval samostatně pod vedením Ing. Mrázek Jiří, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze 15. 3. 2013

Ladislav Kubeček



## Anotační list

Jméno autora: **Ladislav KUBEČEK**

Název DP: Testování tuhosti šroubových spojů stavebnicových hliníkových konstrukcí

Anglický název:

Rok: 2015

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Obor studia: 2301T047 Dopravní, letadlová a transportní technika

Vedoucí BP: Ing. Mrázek Jiří, Ph.D.

Bibliografické údaje:	počet stran	114
	počet obrázků	126
	počet tabulek	10
	počet příloh	19

Klíčová slova:

Hliníkové profily, testovací stroj, šroubové spoje, životnost, předpjaté spoje, měření

Keywords:

Aluminium profiles , test machine, screw connections, longevity, prestressed joints, measurement

Anotace:

Diplomová práce se zabývá návrhem testovacího zařízení pro testování tuhosti šroubových spojů stavebnicových hliníkových konstrukcí. Obsahuje dále teoretická východiska k tomu potřebná a výsledky zkušebního experimentálního měření.

Abstract:

This thesis describes the design of test equipment for testing the stiffness of bolted joints modular aluminum structures. Also contains theoretical background required for this test and the results of experimental measurements.

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Jiřímu Mrázkovi, Ph.D. za poskytnutí odborných rad, věcných připomínek, ochotu a vstřícný přístup během zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat za odborné rady a konzultace Ing. Františku Starému.

Velké poděkování náleží celé mé rodině a přátelům za podporu, trpělivost a povzbuzování po dobu mého studia.



# Obsah

1. Úvod	1
2. Rešerše	
2.1 Hliníkové profily	2
2.2 Výrobci hliníkových profilů	
2.2.A Bosche Rexrolt	7
2.2.B KANYA	8
2.2.C Maytel	9
2.2.D ITEM	10
2.2.E ALUCOMPLAST	11
2.2.F ANS Praha	11
2.2.G ASKMT	12
2.2.H ALUTEC K & K	13
2.2.I ALTRATEC	13
2.2.J PALETTI	14
2.2.K HEPCO	15
2.2.L MSV	15
2.2.M RK ROSE+KRIEGER	16
2.2.N ROBOUNITS	17
2.2.O PPPRODUKT	17
2.2.P MS+AUTOMATION	18
2.2.Q Alucad Bohemia, AluPa a ehlinik.cz	18
2.2.R ALVÁRIS	19
2.2.S FM-Systeme	20
2.2.T Schnaithmann	20
2.2.U Nanotech	21
2.2.V MiniTec	21
2.2.W Infento	22
2.2.X mechatroniclabs.eu	22
2.2.Y Mero Tek	23
2.2.Z VALUFRAME	23
2.2.AA ALUSIC	23
2.2.AB TECHNOLOGY GROUP mk	24
2.2.AC Výroba profilů na zakázku	24
2.2.AD FATH	24

2.3 Šroubové spojení profilů	
2.3.A Pravoúhlé spoje	25
2.3.B Úhlové spoje	28
2.3.C Různoběžné spoje	28
2.3.D Čelní spoje	29
2.3.E Rovnoběžné spoje	29
2.3.F Pojišťovací spoje	29
2.4 Eloxování (anodická oxidace) hliníku a jeho slitin	30
2.5 Životnost	31
2.6 Trhací zkouška	39
2.7 Srovnání mechanických vlastností slitin hliníku a konstrukčních ocelí	40
2.8 Šroubové spoje s předpětím	44
3 Výpočty	
3.1 Výpočty pevnosti profilů	52
3.2 Výpočet a návrh konstrukce zkušebního stroje	53
3.3 Výpočet a návrh horního upevnění profilu	55
3.4 Výpočet a návrh svěráku	57
3.5 Výpočet šroubového spojení s předpětím	59
3.6 Porovnání výsledků MKP analýzy a analytických výpočtů	70
4 Experimentální měření	
4.1 Návod na měření	79
4.2 Měřicí čidla a přístroje	80
4.2.A Poloha	80
4.2.B Síla	81
4.2.C Cejchování silového čidla LK1	84
4.2.D Nejistota měření	87
4.3 Naměřené hodnoty a jejich zpracování	93
5 Závěr	98
6 Použité zkratky	99
7 Použitá literatura	101
8 Seznam obrázků	108
9 Seznam tabulek	113
10 Seznam příloh	113
11 Použité programy	114
Přílohy	

## 1. Úvod

Téma mé práce je velice aktuální. Konstrukce z hliníkových profilů jsou hojně používány pro svou univerzálnost a jednoduchost. Jsou využívány na konstrukci strojů, dopravníků, stojanů a výrobních linek.

Informace o únosnostech profilů a především pak jejich stavebnicových spojů jsou uváděny v katalogích výrobců jen velmi obecně. Konstruktérům chybí možnost porovnat únosnosti těchto prvků pro různé typy spojů, ale také postrádají možnost porovnat jejich chování u různých výrobců těchto systémů. Většinou se musí spolehnout na praktické zkušenosti z předchozích realizací a nemají možnost vzájemného porovnání již ve fázi návrhu.

Právě spoje bývají nejslabším místem konstrukce, kde dochází k porušení soudržnosti. Soudržnost je často ovlivněna způsobem a přesností montáže, případně úpravou dosedajících ploch. Zásadní vliv mají správné hodnoty utahovacích momentů a geometrické přesnosti řezů nebo také vrtání pro spoje.

Vytvoření přehledu nejen napříč sortimentem jednoho výrobce, ale napříč dostupnými řešeními více výrobců by umožnilo konstruktérům lépe volit typy spojů a konstrukcí bez nežádoucích chyb a havárií způsobených nevhodným výběrem prvků.

Má práce se proto zabývá návrhem laboratorního standu, na kterém se bude v laboratoři ČVUT testovat chování těchto konstrukcí. Součástí práce je i metodika způsobu zatěžování a vyhodnocování experimentů.

Práce obsahuje velmi detailní rešerši dostupných konstrukčních systémů a spojovacích prvků od předních výrobců. Tyto informace posloužila jako vstupní informace pro dimenzování měřicího zařízení.

## 2. Rešerše

V této části je proveden rozbor dostupných řešení různých systémů hliníkových stavebnic od předních výrobců. A teoretický základ životnosti spojů profilů.

### 2.1 Hliníkové profily

#### Využití:

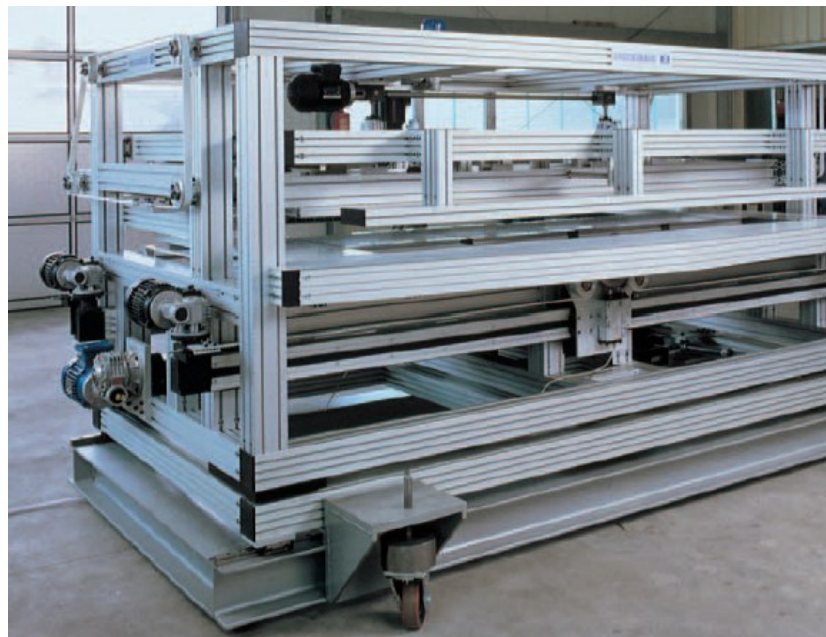
Použití stavebnicových hliníkových profilů a jejich příslušenství slouží k sestavení ráků, pracovních stolů, skladů, konstrukcí a krytů strojů, konstrukce dopravních linek, lineárního vedení, zábran a výstavních stánků.



Obr.1 Výrobní linka [44]



Obr.2 Pojízdný sklad [42]



Obr.3 Polohovací stroj [44]





Obr.4 Konstrukce manipulátoru s dopravníkem [44]



Obr.5 Pracovní stůl [42]



Obr.7 Dopravník [87]



Obr.6 Posuvný portál [69]



Obr.8 Trojkolka [92]

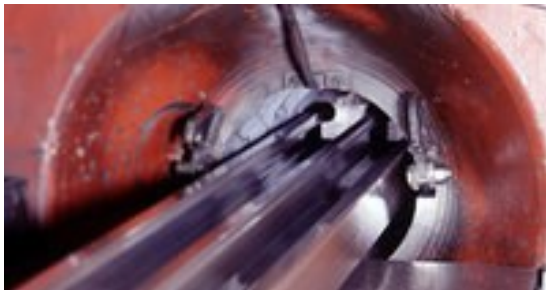


### Výroba:

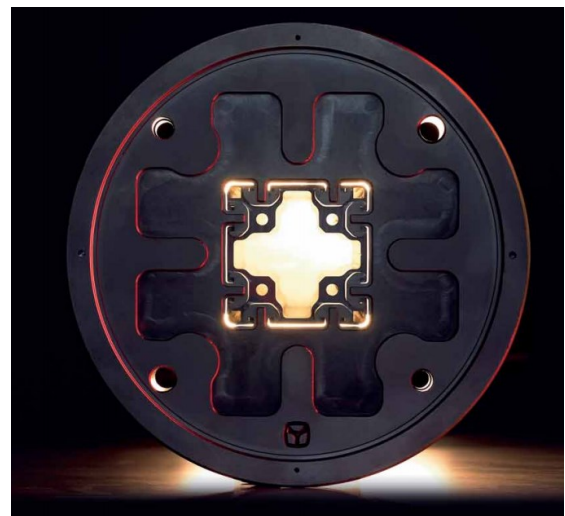
Stavebnicové hliníkové profily se vyrábí metodou průtlačného lisování (extruze) hliníku.

Výroba je založena na plasticitě kovu při teplotách blízcích se teplotám tání. Píst, který je tlačěn hydraulickým lisem, slitiny protlačí přes formu (matici), která mu dá tvar. Teplota materiálu je před protlačováním 460 – 500°C. Teplota po protlačení se zvýší mírně nad 540°C. Následně se ochladí rychlostí 50°C/min. Chlazení se provádí vodou, kde se dostaneme k T6 nebo vzduchem k T5. Po ochlazení se profil vystaví malému tahu, čímž se odstraní případné zakřivení.

Pak se profily zkrátí na požadovanou délku (obvykle 6m). Potom jdou do pecí, kde se zahřívají na 175°C. Tam zůstávají 8 hodin. Poté jsou připraveny k dalším povrchovým úpravám.



Obr.9 Tažení profilů [112]



Obr.10 Tažnice [82]

### Povrchové úpravy:

Eloxování (viz. kapitola 2.4) značně zvyšuje odolnost a životnost hliníkových profilů. Další možná povrchová úprava je práškové lakování.

### **Slitiny hliníku:**

Hliník má docela malou pevnost a proto se vyrábějí slitiny hliníku. Patří k nejpoužívanějším kovovým konstrukčním materiálům vedle ocelí. Velkou výhodou je lehkost, odolnost proti korozi, dobrá vodivost, pevnost, ale na druhou stranu mají nízkou tvrdost a špatně se obrábějí.

Nejvýznamnější legující prvky ve slitinách s hliníkem jsou měď, hořčík, mangan, křemík a zinek.

Mechanické a technologické vlastnosti hliníkových slitin v příloze č.7.

### **Slitiny používané k výrobě profilů:**

EN-AW 6060 (ČMS 42 4401, AlMgSi0,5)

- vhodný pro potravinářský průmysl
- velmi dobře svařitelný, eloxovatelný
- dá se dobře tvářet, leštit, hůře obrábět
- ve vytvrzeném stavu pevnost v tahu  $215 \text{ N/mm}^2$  (tvrdost cca 75HB)
- Mez kluzu má  $195 \text{ N/mm}^2$ .

EN-AW 6063 (ČMS 42 4401, AlMg0,7Si)

- chemicky stálý materiál, vhodný pro potravinářský průmysl
- velmi dobře svařitelný, eloxovatelný
- dá se obrábět, tvářet, leštit
- ve vytvrzeném stavu pevnost v tahu cca  $245 \text{ N/mm}^2$  (tvrdost cca 80HB)
- Mez kluzu má  $200 \text{ N/mm}^2$ .

Materiálové listy těchto hliníkových slitin jsou v příloze č.15.

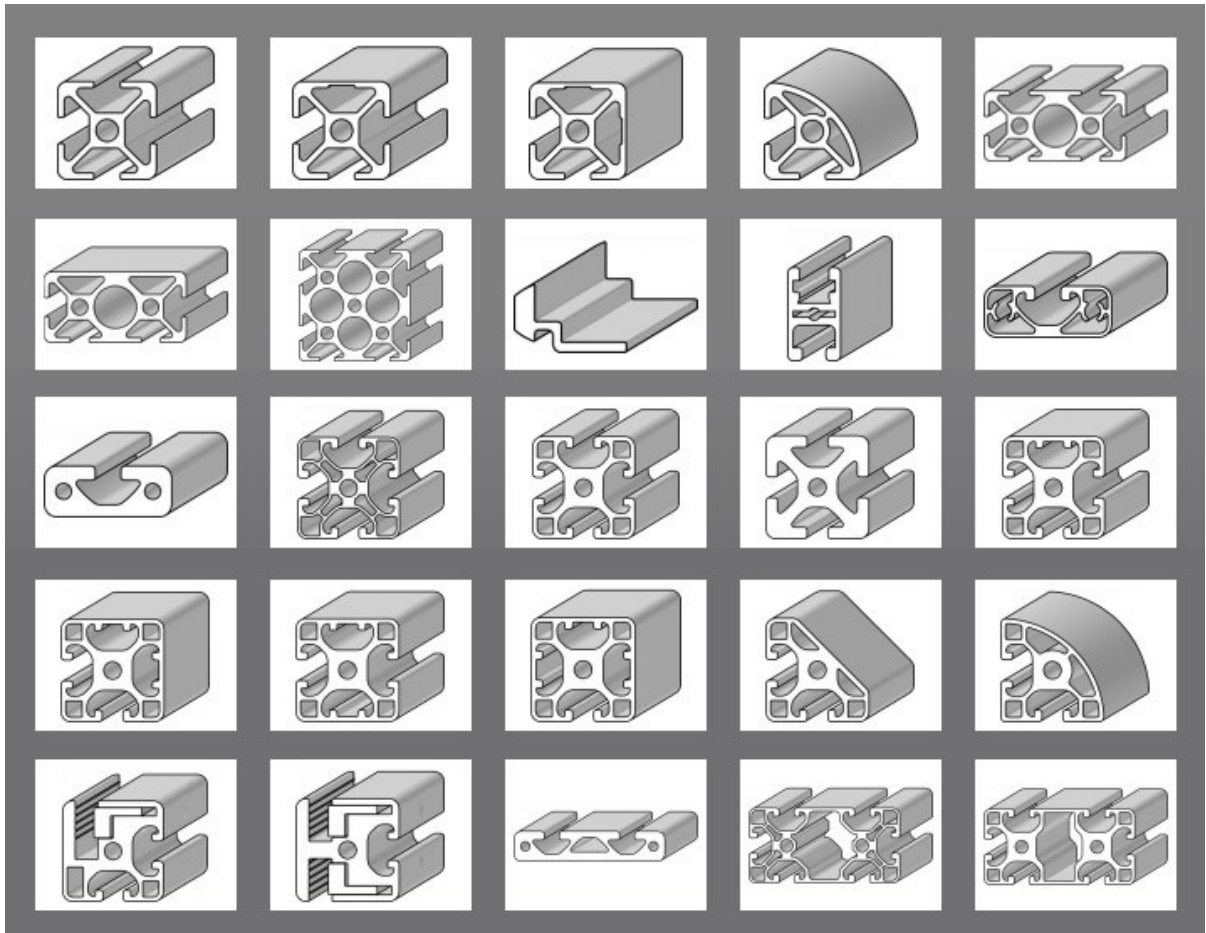
### **Normy pro hliníkové konstrukce:**

EN 1090-3 zavedena v ČSN EN 1090-3 (ČSN 73 2601). Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 3: Technické požadavky na hliníkové konstrukce

EN 1999 (všechny části) zavedena v ČSN EN 1999 (73 1501) Euro kód 9: Navrhování hliníkových konstrukcí

### Druhy profilů:

Profily se liší tvary, rozměry, velikostí drážky a v neposlední řadě materiálem a kvalitou.



Obr.11 Druhy profilů [73]

## 2.2 Výrobci hliníkových profilů

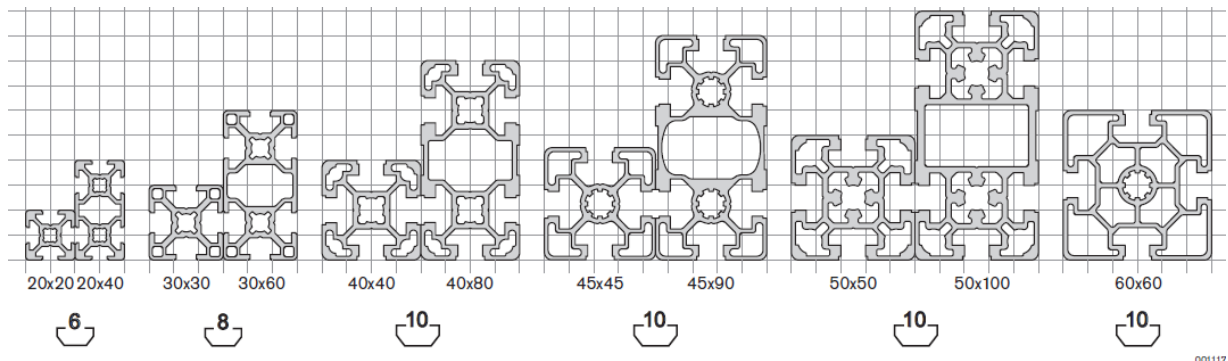
Výrobci hliníkových profilů je velká škála a liší se podle své nabídky různými druhy profilů, jejich kvalitou, použitým materiálem a také příslušenstvím.

### 2.2.A Bosch Rexroth [42]

Firma vyrábějící hliníkové stavebnicové profily se sídlem v Brně.

Vyrábí profily s drážkami 6, 8 a 10 s rozsahem velikostí 20x20 až 90x360.

Jsou dělány v řadách profilů:



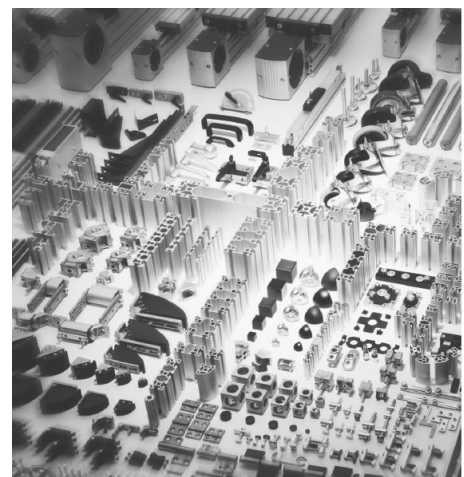
Obr.12 Řady profilů [42]

Firma k výrobě používá hliníkovou slitinu EN-AW 6060.

Zajímavostí je, že si své profily značí „čárkovým kódem“, který najdeme ve vnitřní části profilu. Podle toho lze poznat, že se jedná opravdu o produkt Bosch Rexroth.

K sortimentu profilů je také nabízen velký výběr příslušenství, jako např. spojovací prvky, kliky, panty, kolečka, lineární vedení, hydraulické komponenty, nožičky, ale i skla a pletiva pro ochranu stroje.

Konstrukce jdou také stavět pomocí hliníkových kruhových profilů a jejich příslušenství [43].



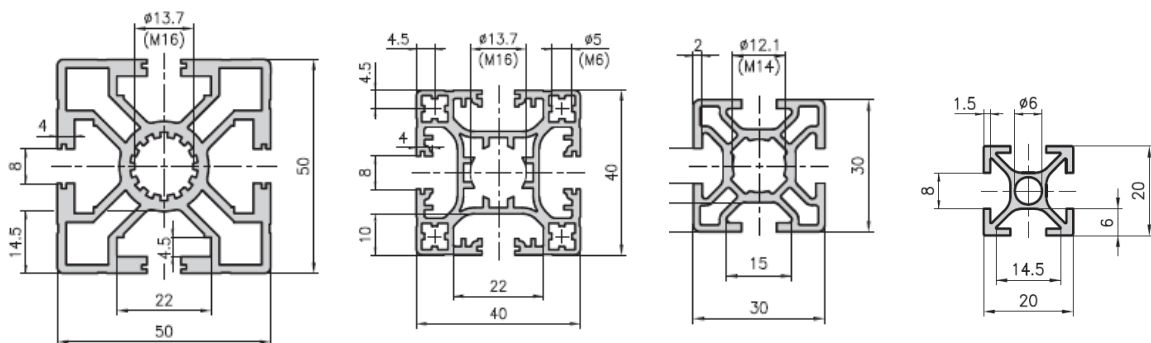
Obr.13 Sortiment firmy [42]

## 2.2.B KANYA [44]

Švýcarská firma, jejíž produktová nabídka čítá ke stovce profilů ve čtyřech rozměrových řadách (řada 50 mm, řada 40 mm, řada 30 mm, řada 20 mm), s průřezy čtvercovými, obdélníkovými a speciálními, s různým uspořádáním drážek, s plnými stěnami apod., a to od malých profilů o průřezu 20 x 20 mm po únosné profily až 100 x 200 mm.

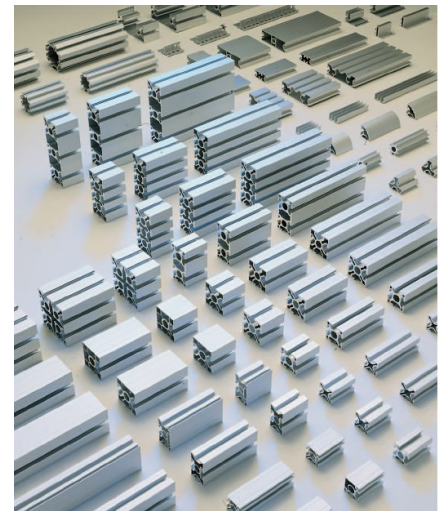
Všechny řady profilů jsou na T-drážce o velikosti 8.

Materiál profilů je hliníková slitina EN-AW 6063.



Obr. 14 Řady profilů [44]

Systém obsahuje nabídku lineárních kluzných a valivých vedení, rozdělovačů pro rozvody vzduchu nebo kapalin, prvků pro vytvoření vzájemně pohyblivých dílů v několika osách. Sortiment rozšiřují konstrukce pro odhlučnění, pro které jsou dodávány speciální profily a odhlučňovací desky volené podle vlastností (frekvencí a amplitud) zvuku. Nedílnou součástí nabídky jsou také kolečka, rohové záslepky, držadla, úchytky, plastové komponenty a jiné.



Obr. 15 Profily [44]

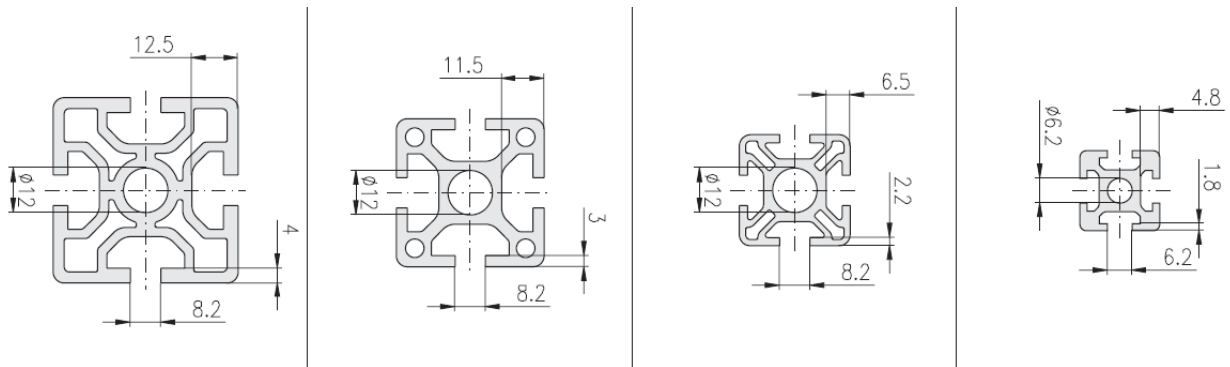
Firma nabízí prvky na spojování profilů pro různé úhly uložení a pro různé zatížení. Konstrukce jdou také stavět pomocí hliníkových kruhových profily a jejich příslušenství [45].



## 2.2.C Maytel [46]

MayTec je německý výrobce hliníkového systému.

Hliníkové profily vyrábí v rozměrových řadách 16, 20, 30, 40, 45, 50, 60 a mají drážku o velikosti 6 a 8.

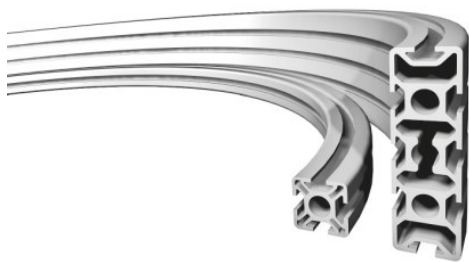


Obr.16 Řady profilů [46]

Profily vyrábějí v rozsahu od 20x20 až 100x200. Přitom nabízí jeden z největších čtvercových profilů 160x160.

Firma k výrobě používá hliníkovou slitinu EN-AW 6060.

V jejich nabídce nalezneme také zakružované profily různých velikostí a zahnuté na různých poloměrech od 400mm.



Obr.17 Ohýbaný profil [46]



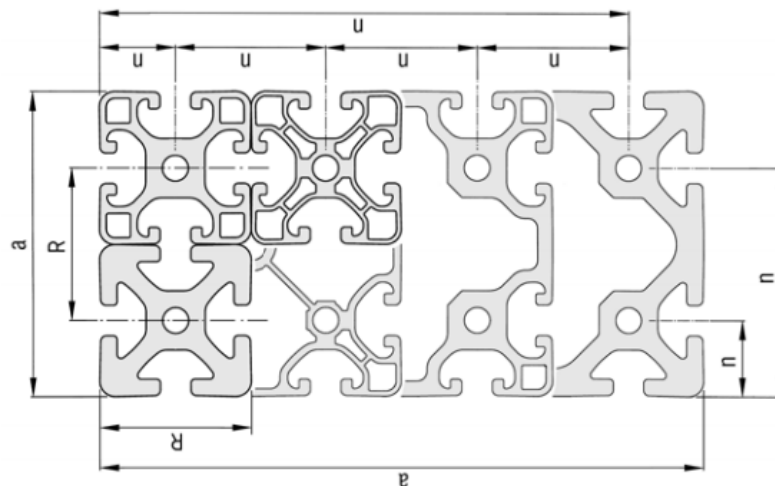
Obr.18 Profil 160x160 [46]

Dalším sortimentem této firmy jsou teleskopické systémy a lineární vedení. Nabízí také velké množství příslušenství jako např. spojovací prvky, kliky, panty, kolečka, lineární vedení, hydraulické komponenty, nožičky, ale i skla a pletiva pro ochranu stroje [47].

## 2.2.D ITEM [48]

Další německá firma, která má zastoupení i v Čechách - Haberkorn.

Vyrábí profily ve 4 řadách a to: 20 s drážkou 5, 30 s drážkou 6, 40 s drážkou 8 a 60 s největší drážkou 12.



Obr.19 Skládání profilu [48]

Firma k výrobě používá hliníkovou slitinu EN-AW 6060.

K velkému výběru profilů je také velká nabídka příslušenství jako např. spojovací prvky, kliky, panty, kolečka, lineární vedení, hydraulické komponenty, nožičky, ale i skla a pletiva pro ochranu stroje [49, 50].

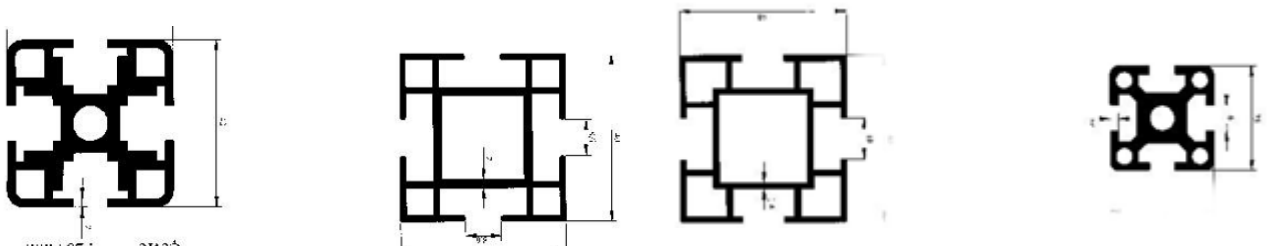


Obr.20 Profil se spoji [48]

## 2.2.E ALUCOMPLAST [51]

Česká firma z Karlovarského kraje vyrábějící profily 20x20 s drážkou 6 a tři druhy profilů 40x40 s drážkou 10. V nabídce mají dále různé hliníkové profily např. pro výtahy a karosérie. Firma také nabízí výrobu profilů podle výkresové dokumentace.

Ve firmě vyrábí hliníkové profily z různých slitin hliníku. Základní skupinou jsou standardní hliníkové profily (tyče, trubky, úhelníky atd.) ze slitiny EN-AW-6060 a 6063 s možností jiných slitin [52]

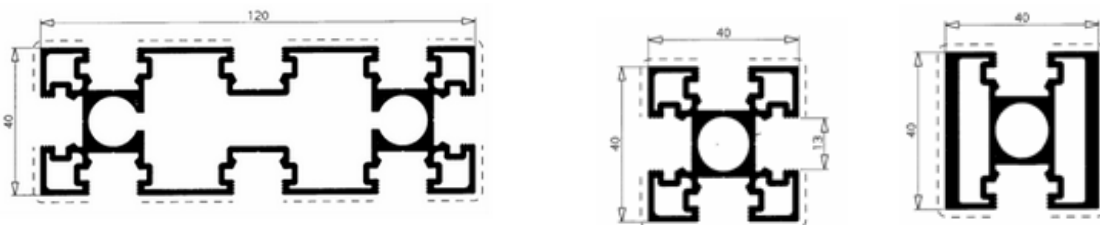


Obr.21 Rastr profilů [51]

## 2.2.F ANS Praha [53]

Pražská firma vyrábějící čtvercové profily 40x40 s drážkou 13, dále obdélníkové až do rozměrů 120x45. Profily ještě vyrábí s různými zkoseními a zaobleními. V nabídce mají spojovací a doplňkové příslušenství.

Firma k výrobě používá hliníkovou slitinu EN-AW 6060 [53]



Obr.22 Profily 40x40 [53]

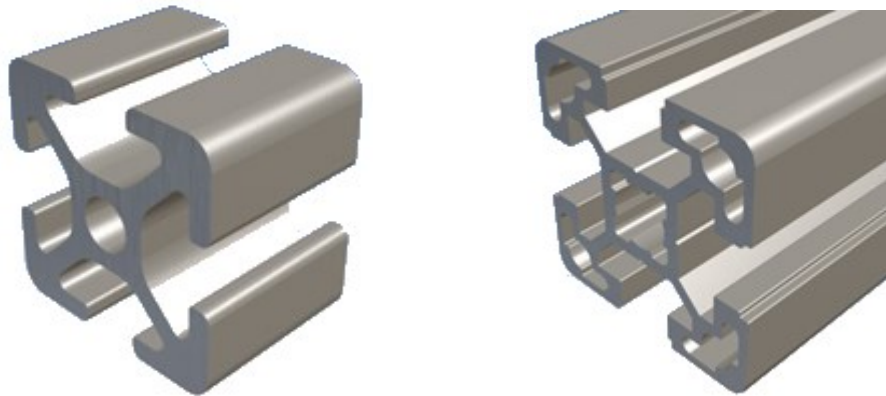


## 2.2.G ASKMT [55]

Česká firma dodávající stavebnicové systémy z hliníkových profilů velikosti 20x20 až 90x360 s drážkami 6 pro řadu 20x20, 8 pro řadu 30x30 a 10 pro řady 40x40, 45x45, 50x50 a 60x60.

Profily mají velmi podobný rastr jako od firmy Bosch Rexroth.

Firma k výrobě používá hliníkovou slitinu EN-AW 6060.



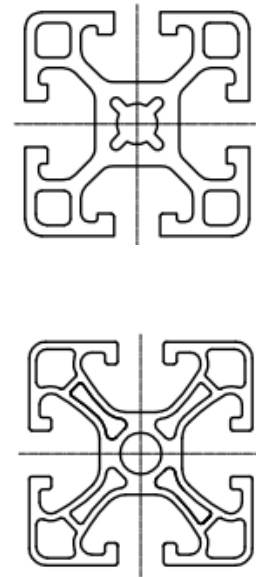
Obr.23 Rastr profilů [55]

Společnost **ASKMT** dodává stavebnicové systémy z hliníkových profilů, včetně spojovacího materiálu a příslušenství, upínací desky s drážkou pro stavbu pracovní plochy CNC zařízení, madla a zámky, klouby, panty, komponenty pro vybavení pracoviště, stavitelné nohy, pojezdová kola, polohovací stoly, dopravníky, válečkové tratě, konstrukce pro jednoúčelové stroje a zařízení, montážní stoly, přepravní vozíky, ochranná oplocení [56, 57, 58].

## 2.2.H ALUTEC K & K [59]

Společnost působí v České republice od roku 1994. Začala jako dovozce hliníkového konstrukčního systému Alutec. Od té doby došlo ke kvalitativnímu vývoji firmy, kdy se z pouhého dovozce stal plnohodnotný partner několika italských společností (Alutec meccanica) zabývajících se výrobou a vývojem Al systémů.

Systém Alutec se skládá z profilů modulu 30 (drážka 6) a modulu 40, 45 (drážka 8 a 10), které jsou kompatibilní k jiným systémům, jež jsou v současné době na trhu. Dále obsahuje široký sortiment příslušenství, který umožňuje komplexní řešení při realizaci zadaných úkolů.



Obr.24 Profily [59]

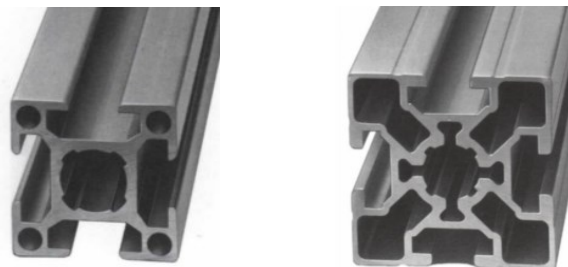
Profily v rastru 40 a 45 jsou převzaty z rastru firmy Bosch Rexroth.

Firma k výrobě používá hliníkovou slitinu EN-AW 6063 [60].

## 2.2.I ALTRATEC [61]

Je menší německá firma v řadách 35, 40 a 50. Všechny profily vyrábí s drážkou velikosti 10. Samozřejmostí je velký výběr příslušenství.

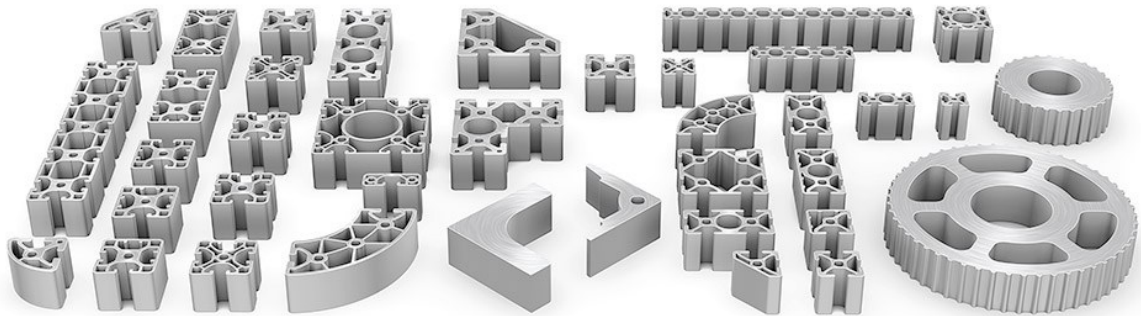
Firma k výrobě používá hliníkovou slitinu EN-AW 6060 [62, 63]



Obr.25 Profily [61]

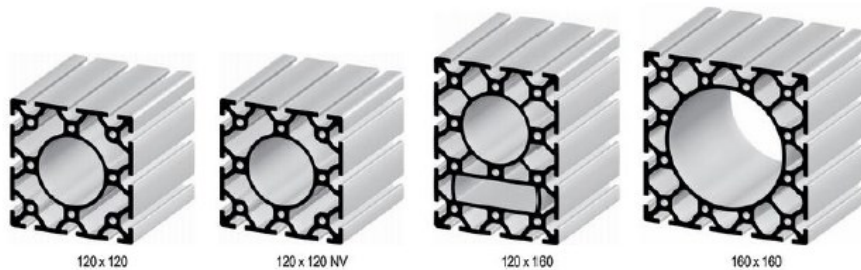
## 2.2.J PALETTI [64]

Německá firma vyrábějící profily v řadách 20, 30, 40 a řady v palcích 1'' a 1,5''. Řady 20 a 1'' mají drážku 5 a ostatní 8. Vyrábí profily o velikosti až 160x160.



Obr.26 Profily [64]

Firma k výrobě používá hliníkovou slitinu EN-AW 6060.



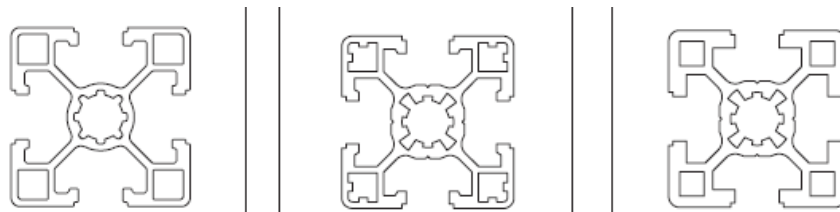
Obr.27 Profily 120x120 a 160x160 [64]

K velkému výběru profilů je také velký výběr příslušenství jako např. spojovací prvky, kliky, panty, kolečka, lineární vedení, hydraulické komponenty, nožičky, ale i skla a pletiva pro ochranu stroje [65].

## 2.2.K HEPKO [66]

Firma z Velké Británie vyrábějící profily s drážkami 6 a 10, velikosti od 20x20 do 80x160. Tento rozsah je v řadách 20, 30, 40, 45 a 60.

Firma k výrobě používá hliníkovou slitinu EN-AW 6060.

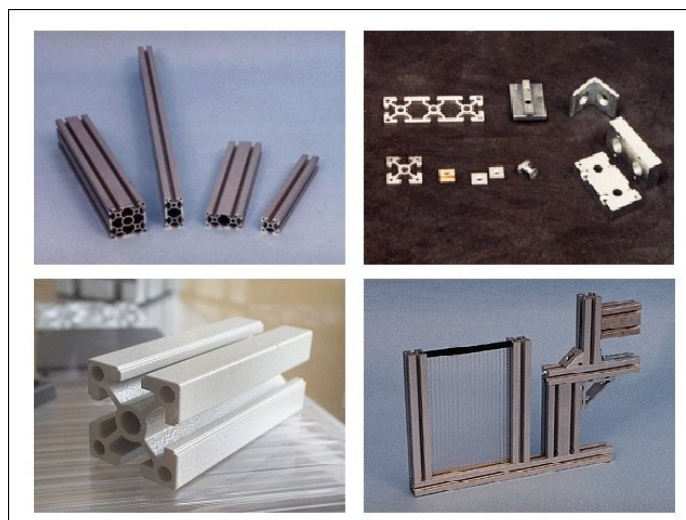


Obr.28 Rastr profilů [66]

Komplexní systém profilů společně s posílenou řadou upevňovacích prvků včetně držáků, flexi spojek a příslušenstvím, které umožní sestavit kompletní rámy [67].

## 2.2.L MSV [68]

Liberecká firma vyrábějící stavebnice s profily 45x45, 45x90 a 90x90 se spojovacími prvky a příslušenstvím.

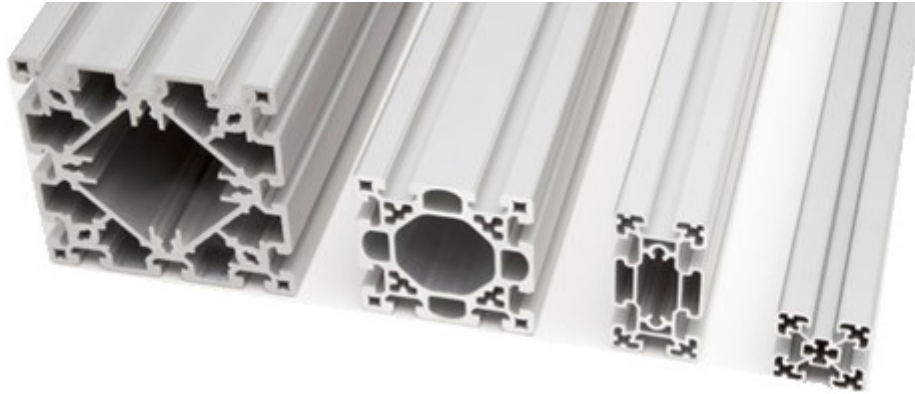


Obr.29 Profily [68]

## 2.2.M RK ROSE+KRIEGER [69]

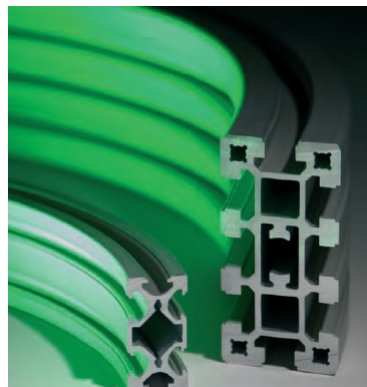
Další německá firma mající velký výběr profilů v rozmezí 20x20 po 160x320 s drážkami 6, 10, 12. Ty jsou rozdělené v řadách 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120.

Firma k výrobě používá hliníkovou slitinu EN-AW 6063.



Obr.30 Řada profilů [69]

Je možné mít ohýbané profily s nejmenším poloměrem 100mm.



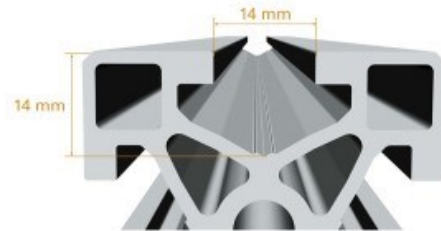
Obr.31 Ohýbané profily [69]

K velkému výběru profilů je také obrovská nabídka příslušenství jako např. spojovací prvky, kliky, panty, kolečka, lineární vedení, hydraulické komponenty, nožičky, ale i skla a pletiva pro ochranu stroje [70].



## 2.2.N ROBOUNITS [71]

Firma specializující se hlavně na roboty, ale vyrábějící i profily. Jako jediná v celé škále prodejců nabízí profily od 40x40 až do 100x100 s drážkou 14. V řadách 40 a 50.



Obr.32 Drážka 14 [71]

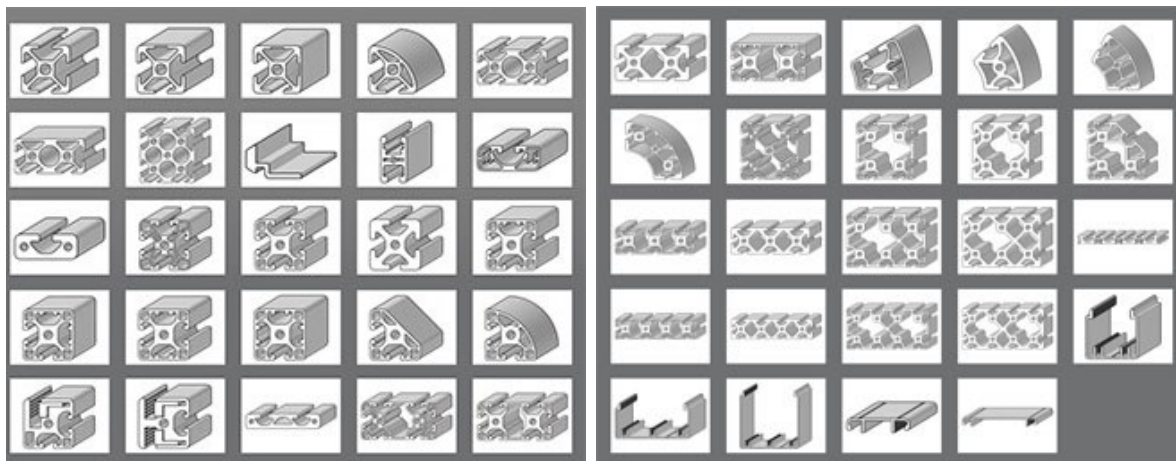
Firma k výrobě používá hliníkovou slitinu EN-AW 6063.

System obsahuje nabídku lineárních kluzných a valivých vedení, rozdělovačů pro rozvody vzduchu nebo kapalin, prvků pro vytvoření vzájemně pohyblivých dílů v několika osách. Sortiment rozšiřují konstrukce pro odhlučnění, pro které jsou dodávány speciální profily a odhlučňovací desky volené podle vlastností (frekvencí a amplitud) zvuku. K tomu všemu nabízí také kolečka, rohové záslepky, držadla, úchytky, plastové komponenty a jiné.

Firma prodává prvky na spojování profilů pod různými úhly a pro různé zatížení [72].

## 2.2.O PPPRODUKT [73]

Slovenská firma zabývající se spíše výrobou profilů pro stavebnictví, ale vyrábí také hliníkové profily různých velikostí a průřezů.

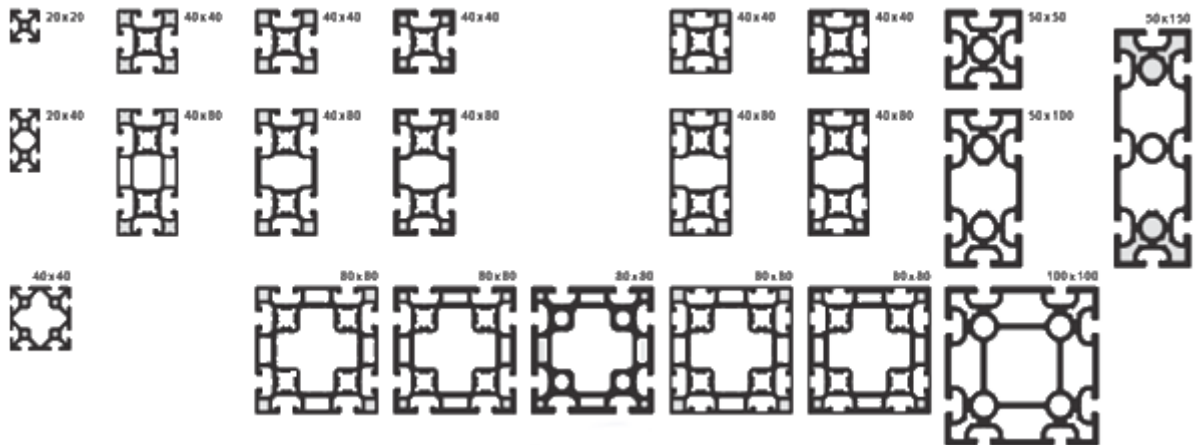


Obr.33 Druhy profilů [73]

## 2.2.P MS + AUTOMATION [74]

Německá firma vyrábějící profily 20x20 až 80x80 s drážkou 8. V řadách 20, 24, 30, 40 a 50.

Firma k výrobě používá hliníkovou slitinu EN-AW 6063.

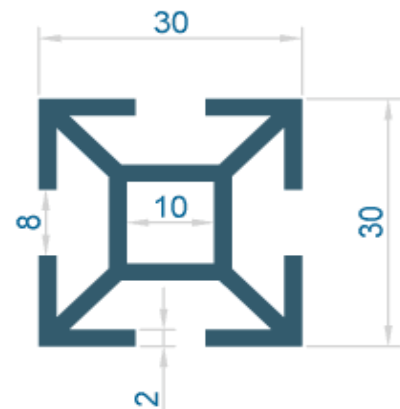


Obr.34 Řady profilů [74]

K velkému výběru profilů je také obrovský sortiment příslušenství jako např. spojovací prvky, kliky, panty, kolečka, lineární vedení, hydraulické komponenty, nožičky, ale i skla a pletiva pro ochranu stroje [75].

## 2.2.Q Alucad Bohemia, AluPa a ehlinik.cz [76, 78, 80]

Jsou menší české firmy, které vyrábí hliníkové profily na zakázku, ale ve stálé nabídce mají profil 30x30 s drážkou 8. Firmy k výrobě používají hliníkovou slitinu EN-AW 6060 [77, 79, 81].



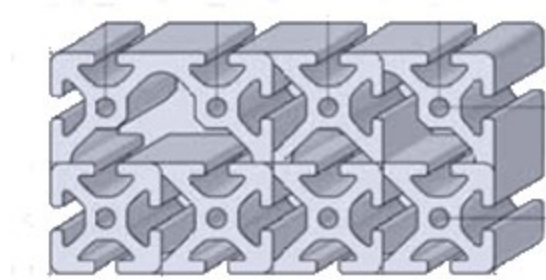
Obr.35 Profil 30x30 [80]

## 2.2.R ALVÁRIS [82]

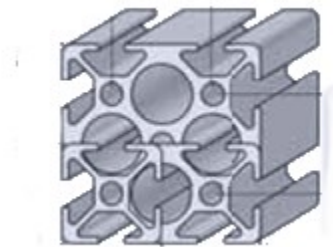
Firma má v nabídce profily s drážkou 5 a 8 vyrábějí je v rozměrech 20x20 až 160x80 v řadách 20, 30, 40.

Firma k výrobě používá hliníkovou slitinu EN-AW 6060.

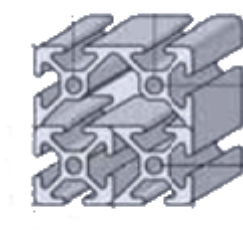
Profilová řada 40  
Šířka drážky 8 mm  
Otvor pro M8



Profilová řada 30  
Šířka drážky 8mm  
Otvor pro M8



Profilová řada 20  
Šířka drážky 5mm  
Otvor pro M5



Obr.36 Řady profilů [82]

Výroba a distribuce firmy Alváris se uskutečňuje z Rankweil-Brederis v Rakousku, Suhl v Německu a Petřvaldu v České republice.

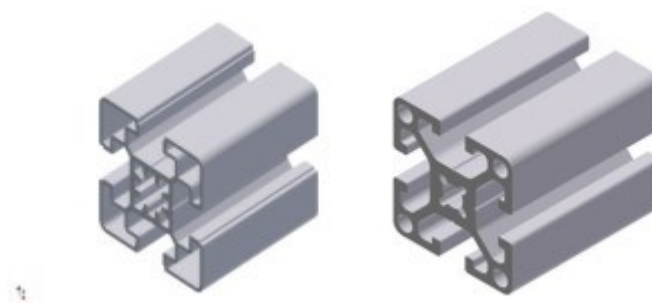
K velkému výběru profilů je také obrovský sortiment příslušenství jako např. spojovací prvky, kliky, panty, kolečka, nožičky, ale i skla a pletiva pro ochranu stroje. [83, 84].



## 2.2.S FM – Systeme [85]

Německá společnost vyrábějící profily 20x20 až 100x100 s drážky 5, 8 a 10 v řadách 20, 30, 40, 45.

Firma k výrobě používá hliníkovou slitinu EN-AW 6060.



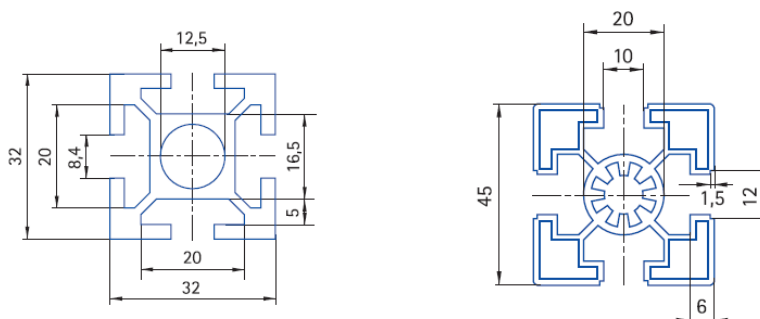
Obr.37 Profily [85]

K velkému výběru profilů je také obrovský sortiment příslušenství jako např. spojovací prvky, kliky, panty, kolečka, nožičky, ale i skla a pletiva pro ochranu stroje [86].

## 2.2.T Schnaithmann [87]

Firma vyrábějící hliníkové stavebnicové profily 32x32 až 100x100 s drážkou 8 nebo 10. V řadách 32, 40, 45, 50.

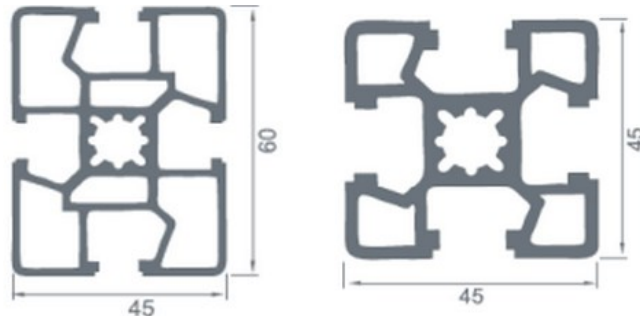
Firma k výrobě používá hliníkovou slitinu EN-AW 6060 [88].



Obr.38 Profily [87]

## 2.2.U Nanotech [89]

Pražská firma dodávající hliníkové profily řad 20, 30, 40, 45 od velikosti 20x20 až 100x100. K výrobě používají hliníkovou slitinu EN-AW 6063.

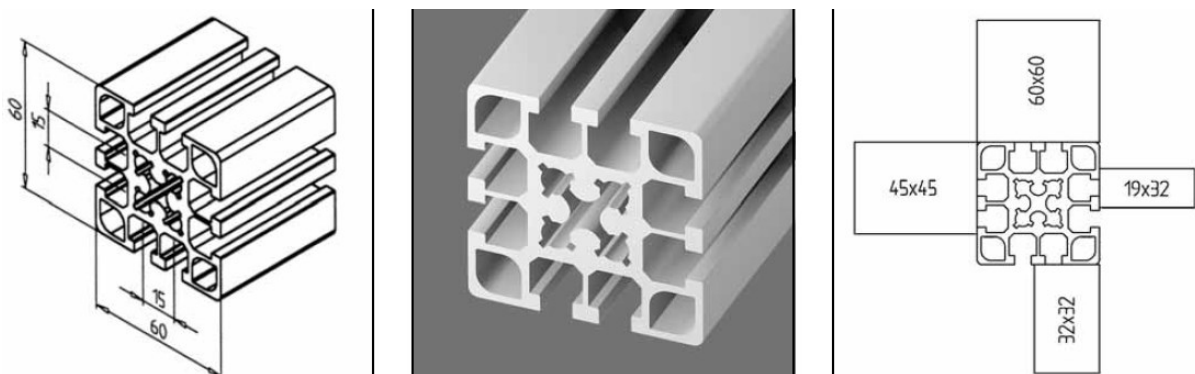


Obr.39 Profily [89]

Firma k profilům nabízí spojovací materiál [90].

## 2.2.V MiniTec [91]

Německý výrobce profilů pro průmyslovou výstavbu montážních, výrobních a transportních linek, uspořádání pracovišť, krytování strojů a pracovní stoly. Zajímavostí je, že profily lze vést stlačený vzduch.



Obr.40 Profily [91]

Vyrábí profily v řadách 30, 45, 60. Největší profil je 90x90.

Firma k výrobě používá hliníkovou slitinu EN-AW 6060.

K velkému výběru profilů je také obrovský sortiment příslušenství jako např. spojovací prvky, kliky, panty, kolečka, nožičky, ale i skla a pletiva pro ochranu stroje [54].

## 2.2.W Infento [92]

Holandský dodavatel hliníkových profilů rozměrů 40x40 se zajímavostí, že na koncích mají nalisované ocelové matice.

Firma také dodává sortiment jako jsou kola, brzdy, spojovací materiál k sestavení koloběžek, čtyř a tříkolek.

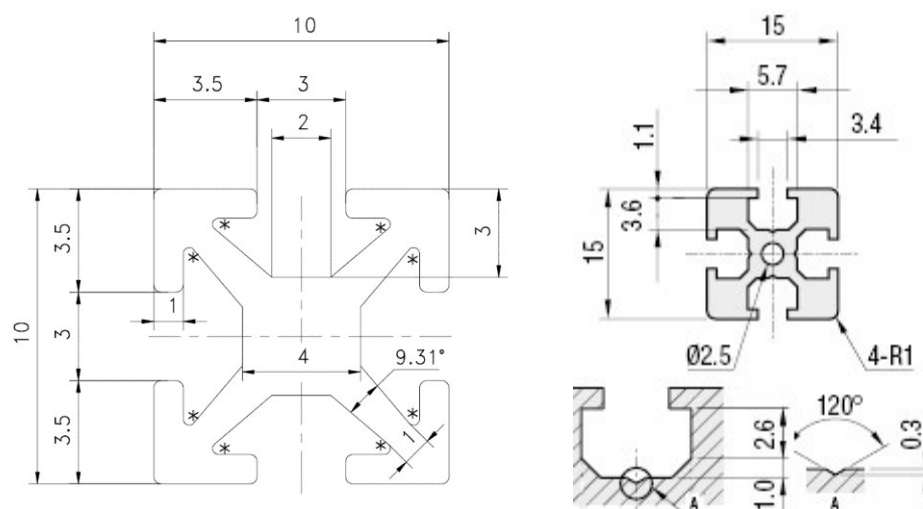


Obr.41 Profil 40x40 [92]

## 2.2.X mechatroniclabs.eu [93]

Firma vyrábějící miniaturní hliníkové profily o rozměrech 10x10 a 15x15 s velikostí drážky 3 a 3,4.

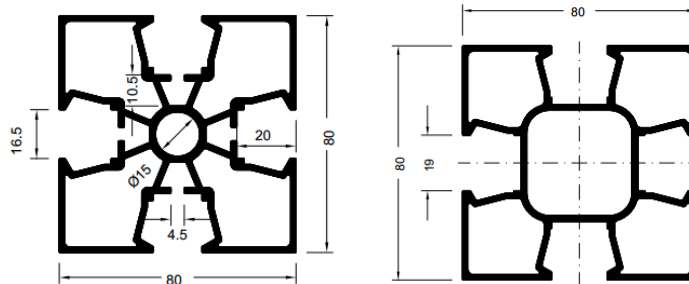
V sortimentu je také příslušenství pro tyto profily využívané v mechatronice [94].



Obr.42 Mini profily [93]

## 2.2.Y Mero Tek [95]

Německá firma vyrábějící profily pro výstavní stánky [96].



Obr.43 Profily [95]

## 2.2.Z VALUFRAME [97]

Britská firma dodávající hliníkové profily řady 20, 30, 40 od velikosti 20x20 až 80x80 s drážkami 5; 6,2; 8.

Firma k výrobě používá hliníkovou slitinu EN-AW 6060.

K velkému výběru profilů je také obrovský sortiment příslušenství jako např. spojovací prvky, kliky, panty, kolečka, nožičky, ale i skla a pletiva pro ochranu stroje [98].

## 2.2.AA ALUSIC [99]

Italská firma dodávající hliníkové profily řady 20, 30, 40, 45 od velikosti 20x20 až 80x80 s drážkami 6, 8, 10.

Firma k výrobě používá hliníkovou slitinu EN-AW 6060 a EN-AW 6063.

K velkému výběru profilů je také obrovský sortiment příslušenství jako např. spojovací prvky, kliky, panty, kolečka, nožičky, ale i skla a pletiva pro ochranu stroje [100].

## **2.2.AB TECHNOLOGY GROUP mk [123]**

Německá firma dodávající hliníkové profily řady 25, 40, 50, 60 od velikosti 25x25 až 160x160 s drážkami 6; 10; 14.

Firma k výrobě používá hliníkovou slitinu EN-AW 6063.

K velkému výběru profilů je také obrovský sortiment příslušenství jako např. spojovací prvky, kliky, panty, kolečka, nožičky, ale i skla a pletiva pro ochranu stroje [123].

## **2.2.AC Výroba profilů na zakázku**

**PROAL, MAGE GEHRING, Constellium, HP STEEL, Keramet a Alumeco**

[101, 102, 103, 104, 105, 106]

Výrobci hliníkových profilů na zakázku. Vyrábějí profily ze slitin hliníku EN-AW 6060, 6063 a možností dalšího výběru.

## **2.2.AD FATH [107]**

Firma vyrábějící a dodávající příslušenství a spojovací materiál k stavebnicovým hliníkovým profilům. Vyrábí také spoje vlastní konstrukce.

V nabídce má velký výběr stavěcích nožiček, závěsů dveří, kování, kamenů do drážky, rychloupínačů, koleček, krytů, úhelníků, T – matic a šroubů, spojovacích desek a dalšího příslušenství k hliníkovým profilům [108].

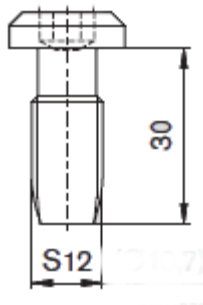
## 2.3 Šroubové spojení profilů

Šroubových spojení profilů je mnoho druhů, zde jsou rozděleny do skupin podle úhlu, který svírají spolu spojené profily.

- 2.3.A Pravoúhlé spoje
- 2.3.B Úhlové spoje
- 2.3.C Různoběžné spoje
- 2.3.D Čelní spoje
- 2.3.E Rovnoběžné spoje
- 2.3.F Pojišťovací spoje

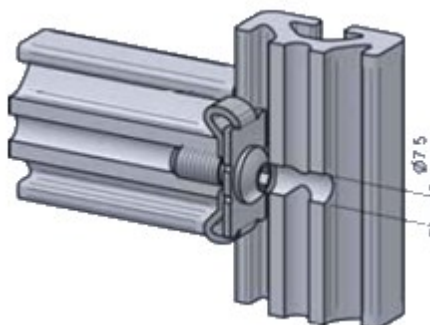
### 2.3.A Pravoúhlé spoje

Spojení pomocí centrálního šroubu je levné a rychlé. Samořezný ocelový šroub si sám do profilu vytlačí závit. Jen do vrchního profilu musíme vyvrtat otvor pro utáhnutí šroubu. Průměr otvoru je velký tak, abychom jím mohli prostrčit nástroj, ale zároveň nevrtali boční stěny drážky profilu.



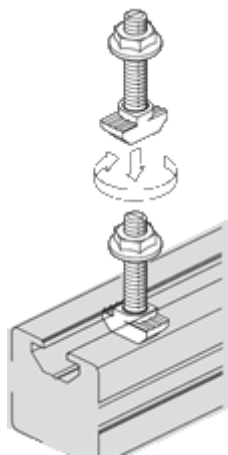
Obr.44 Centrální šroub [42]

Centrální spoj s podložkou zajišťující pootočení profil při dotahování a tím není potřeba další přípravek.

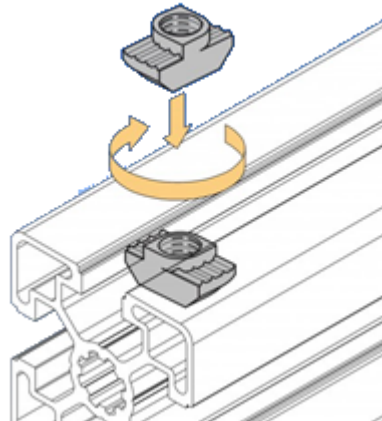


Obr.45 Centrální šroub s podložkou [82]

Spoj T – šrouby a T – maticemi je také velmi levný spoj. Právě část co má T tvar strčíme do profilu, jak je vidět na obr. 46. A T část se při utahování potočí a zajistí pomocí zámku. Šrouby i matice jsou používány ocelové.

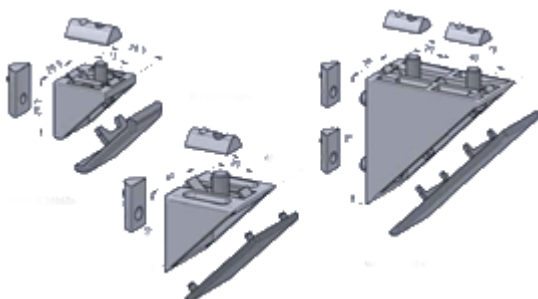


Obr.46 T- matice [55]



Obr.47 T- šroub [42]

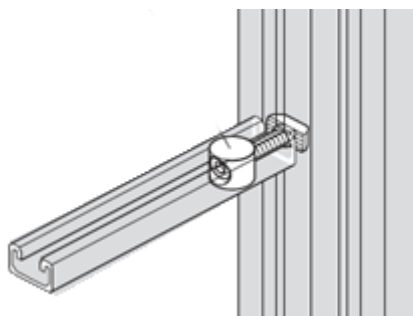
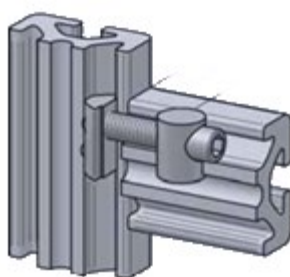
Spojení úhelníkem patří k dražším spojům, ale za to velmi pevným. Úhelníky jsou odlévány ze slitin zinku nebo hliníku. K profilu jsou přidělavány ocelovými šrouby s T – hlavou.



Obr.48 Úhelníky [82]



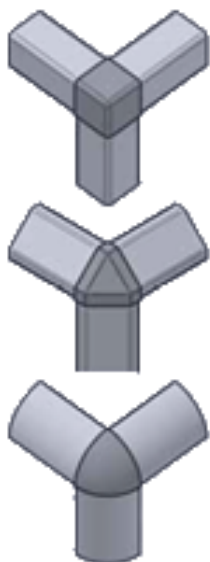
Mezi další levné spoje patří spoje pomocí spojky. Tyto spojky jsou vloženy do dříve vyvrtané díry, ale dochází tím k porušení profilu. Pevnost spoje můžeme ovlivnit velikostí spojky.



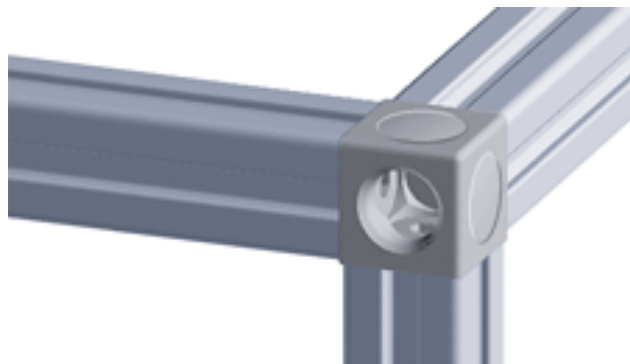
Obr.49 Spojky [82]



Rohové spojení fungují na stejný způsob, ale spojují 3 profily najednou

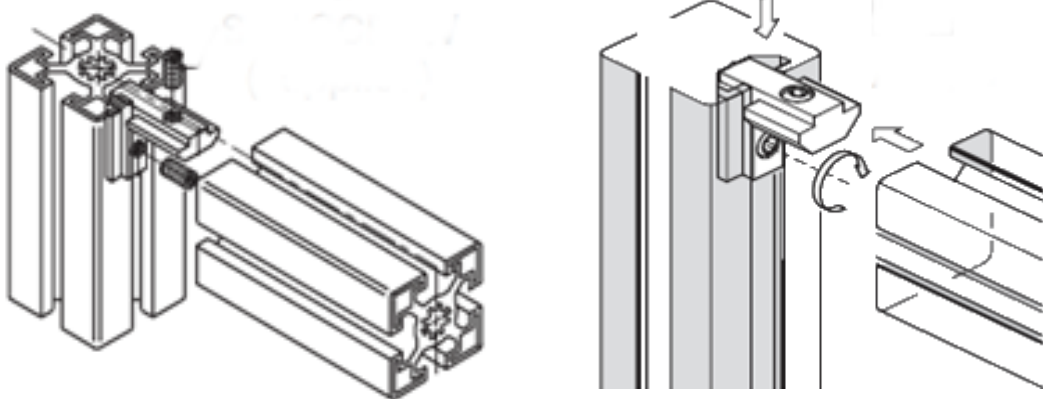


Obr.50 Druhy rohových spojek [42]



Obr.51 Rohová spojka [107]

Spojení pomocí vnitřního úhelníku.



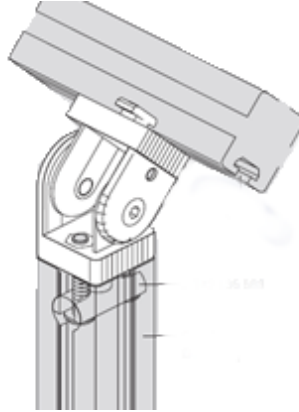
Obr.52 Vnitřní úhelník [66]



### 2.3.B Úhlové spoje

Úhlové spoje lze dále rozdělit na spoje s nastavitelným úhlem a pevným.

#### Nastavitelným úhlem (klouby)



Obr.53 Nastavitelný úhel [42]

#### Pevným úhlem



Obr.54 Skosený úhelník [49]



Obr.55 Spojky s úhlem [49]

### 2.3.C Různoběžné spoje (mimoběžné)

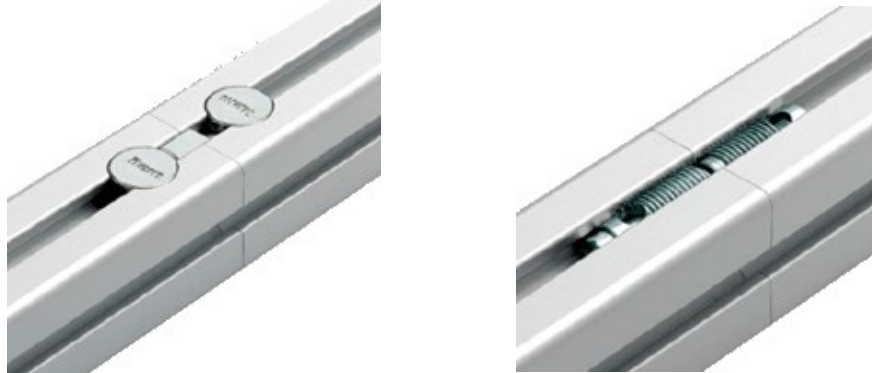
Spojení křížících se profilů pod různými úhly. Spojení silovým stykem mezi bočními stěnami profilů.



Obr.56 Různoběžné spoje [49]

### 2.3.D Čelní spoje (prodlužovací)

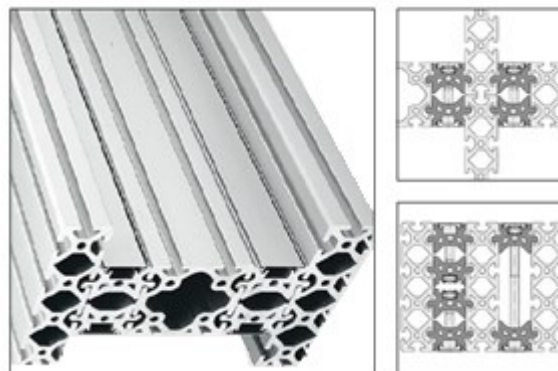
Tato spojení slouží k nastavení délky profilu. Profily bývají dodávány v maximální délce 6m a v případě potřeby delšího se použijí tyto spojky.



Obr.57 Prodlužovací spoje [49]

### 2.3.E Rovnoběžné spoje

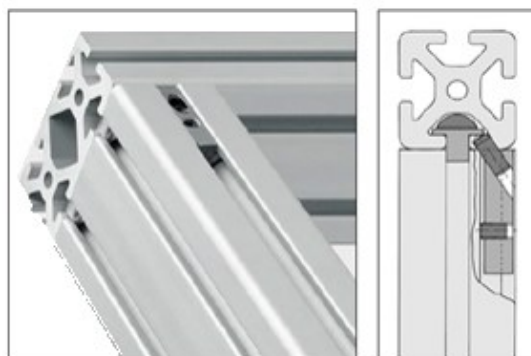
Díky těmto spojům můžeme vytvořit různé tvary profilů.



Obr.58 Rovnoběžné spoje [49]

### 2.3.F Pojišťovací spoje

Slouží k zesílení spoje profilů pro určité druhy namáhání (ráz, úder) dodatečně montovány prvky s tvarovým stykem.



Obr.59 Pojišťovací spoj [49]

## 2.4 Eloxování (anodická oxidace) hliníku a jeho slitin

Eloxování neboli eloxace (zkratka ELectrolytická OXidace hliníku) je povrchová úprava hliníku a jeho slitin.

„Jedná se o elektrochemický proces, kdy na povrchu kovu (hliníku, titanu, niobu), který je v elektrolytické lázni zapojen jako anoda, dochází ke tvorbě rovnoměrné kompaktní vrstvy oxidu, který je výrazně tvrdší a chemicky odolnější než kov sám a zlepšuje tak mechanické a chemické vlastnosti eloxovaných výrobků. Asi nejznámější a nejrozšířenější je eloxování hliníku, kdy na jeho povrchu vzniká vrstva oxidu hlinitého se strukturou korundu (důvod tvrdosti vrstvy) silná 5 - 25 $\mu$ m.“[38]

Tato technologická metoda je finančně nenáročná a ekonomicky šetrná. Úpravou se zajistí dobrá korozní odolnost a ochrana proti opotřebením zvýšením tvrdosti povrchu. K jakému zvýšení tvrdosti dojde vyčteme v tabulce č.10.

Výrazně dojde ke snížení tepelné i elektrické vodivosti a také drsnosti povrchu. Díky tomu je vhodná např. pro třískové obrábění, jelikož se tím eliminují mikrotrhliny v povrchu struktury hliníku, což vede ke zvýšení mechanické pevnosti povrchu. Tím je zajištěno i celkové zvýšení životnosti součástí.

Eloxování se používá i z estetického hlediska kvůli zvýraznění povrchu a zabarvení. [40]

Technologický postup se upřesňuje podle požadavku na vzhled, korozní odolnost a funkci. Před eloxací je možné použít mechanickou úpravu.

Tabulka č.10: Srovnání tvrdosti ve HV (Vickers)[39]

Eloxační vrstva	250 – 450 HV
Hliník	30 – 100 HV
Ocel	150 – 200 HV

Vrstva oxidu zmenšuje velikost meze únavy, to tím více, čím měla větší tloušťku a tvrdost. [118]

## 2.5 Životnost (Wöhlerova křivka, S-N křivka)

### Kmitavé namáhání

Strojní součástky a konstrukce jsou v provozu většinou namáhány časově proměnlivými silami a jejich děj se opakuje. Namáhání nazýváme dynamickým (kmitavým), kmity mohou být cyklické nebo s různě velkými výkmity zatížení a mění se frekvencí.

Pokud kmity mají vždy stejnou nejvyšší a nejnižší mez při stejné frekvenci, jde o cyklické namáhání.

Při cyklickém zatěžování kovů a slitin dochází v důsledku změn v mikrostruktuře materiálu ke změnám jejich mechanických, elektrických, magnetických a jiných fyzikálních vlastností.

U kmitání se využívá superpozice pro sčítání z jednotlivých cyklických namáhání o různých amplitudách a frekvencích. Pokud jsou při kmitání silami vyvolána napětí, měli bychom se zabývat jejich časovým průběhem.

### K hlavním charakteristikám napět'ového cyklu patří:

- perioda cyklu, tj. čas  $t$  [s], v němž proběhne uzavřená jednorázová změna napětí.
- největší  $\sigma_h$  a nejmenší  $\sigma_d$  napětí cyklu v [N/mm<sup>2</sup>], tj. krajní hodnoty napětí v průběhu jednoho cyklu.
- střední napětí cyklu  $\sigma_m$  [N/mm<sup>2</sup>]

$$\sigma_m = \frac{1}{2}(\sigma_h + \sigma_d) \quad (1)$$

- amplituda napětí cyklu  $\sigma_a$  [N/mm<sup>2</sup>], tj. polovina algebraického rozdílu krajních hodnot napětí cyklu

$$\sigma_a = \frac{1}{2}(\sigma_h - \sigma_d) \quad (2)$$

- rozkmit napětí  $2 \sigma_a$
- součinitel nesouměrnosti napět'ového cyklu  $R$  [-] [10]

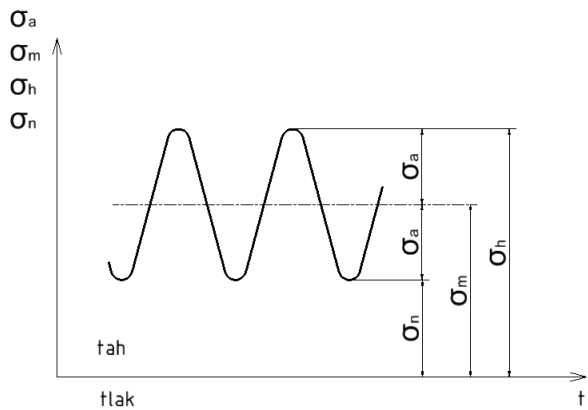
$$R = \frac{\sigma_d}{\sigma_h} \quad (3)$$

**Typy cyklického zatížení:**

1) Napětí tepavé

$$|\sigma_m| > \sigma_a$$

$$0 < R < 1$$

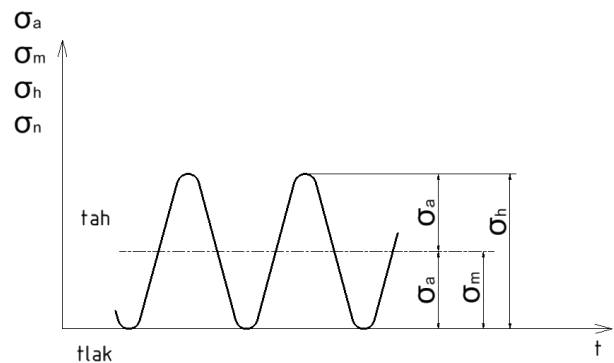


Obr.60 Tepavé napětí

2) Napětí mĭjivé

$$|\sigma_m| = \sigma_a$$

$$R = 0$$

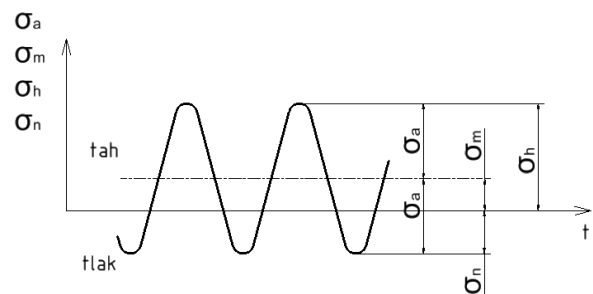


Obr.61 Mĭjivé napětí

3) Napětí stĕřidavé

$$|\sigma_m| < \sigma_a$$

$$R < 0$$



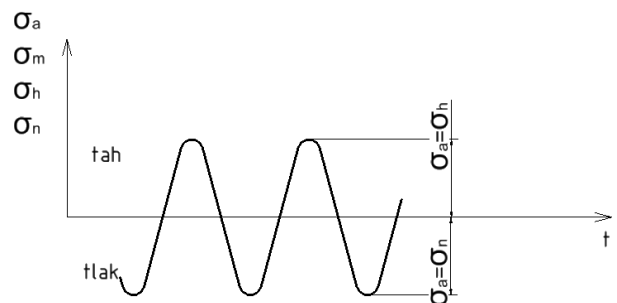
Obr.62 Stĕřidavé napětí

4) Napětí souměrně stĕřidavé

$$\sigma_m = 0$$

$$\sigma_a = \sigma_n$$

$$R = -1$$



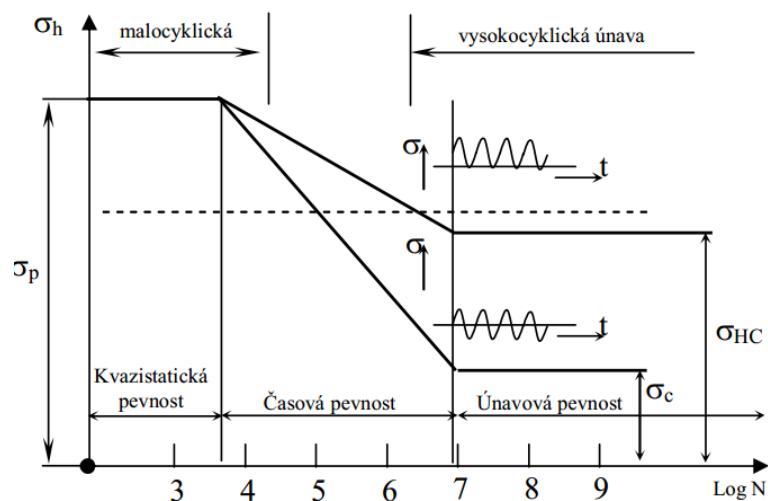
Obr.63 Souměrně stĕřidavé napětí

„Testování únavového chování materiálů lze provádět mnoha způsoby zatěžování (tah-tlak, pulzující tah, pulzující tlak, ohyb, krut atd.). Materiál je cyklicky zatěžován napětím  $\sigma$  [N/mm<sup>2</sup>] s amplitudou  $\sigma_a$  (viz obr. 61) tak dlouho, než dojde k únavovému lomu. Závislost amplitudy napětí  $\sigma$  a na počtu zatěžovacích cyklů  $N$  [-] (v logaritmických souřadnicích) do lomu materiálu se nazývá Wöhlerova (únavová) křivka (S-N křivka).“[122]

Jedná se o nejstarší podklad pro hodnocení únavové pevnosti materiálu. Byla použita již v druhé půlce 19. století železničním inženýrem Augustem Wöhlerem, který tuto křivku používal pro posuzování pevnosti železničních náprav. Jedná se o křivku cyklické pevnosti (životnosti), zkouška do úplného poškození zkušebního tělesa lomem.

Jsou zde všechny fáze únavových trhlin až do lomu. Křivka má velké praktické využití, kvůli své jednoduchosti.

Jelikož testovací vzorek při testování cyklickým namáháním má všechny fáze vzniku únavové trhliny, dochází k velkému rozsahu výsledků zkoušek. Proto se musí zkoušet co nejvíce prvků a správně statisticky zpracovat, abychom se dostali k co nejpřesnějšímu hodnocení únavových vlastností materiálu. Odpovídající pravděpodobnosti přežití průměrné Wöhlerovy křivky je  $p=0,5$ .



Obr.64 Diagram životnosti [10]

Wöhlerova křivka hladkých vzorků technických kovových materiálů má typický charakter v souřadnicích  $\sigma - \log N$  (viz obr. 64). Ale pro hliníkové slitiny nedochází k únavové pevnosti. Diagram je možno rozdělit na tři typické úseky. V prvním úseku je kvazistatická pevnost (zpravidla do  $10^3$  cyklů), nebo také málocyklická pevnost, kterou řešíme Manson-Coffinovou křivkou. V druhé fázi diagramu závisí pevnost vzorku na počtu cyklů, kvůli nim je zde přímkový pokles mezního napětí s  $\log N$ . V této fázi dochází k časované pevnosti. V poslední fázi diagramu, zpravidla u kovů (ne u hliníkových slitin) za normální teploty při počtu cyklů přibližně nad  $10^7$ , nastává mez únavy.

Při počtu cyklů  $N > 10^7$  nezáleží již pevnost vzorku na počtu cyklů namáhání. Toto neplatí u slitin hliníku, u nich dochází vždy k časové pevnosti. [10]

V oblasti časové pevnosti lze Wöhlerovu křivku vyjádřit mocninnou funkcí,

$$\sigma_N^n N = \sigma_C^n N_C \quad (4)$$

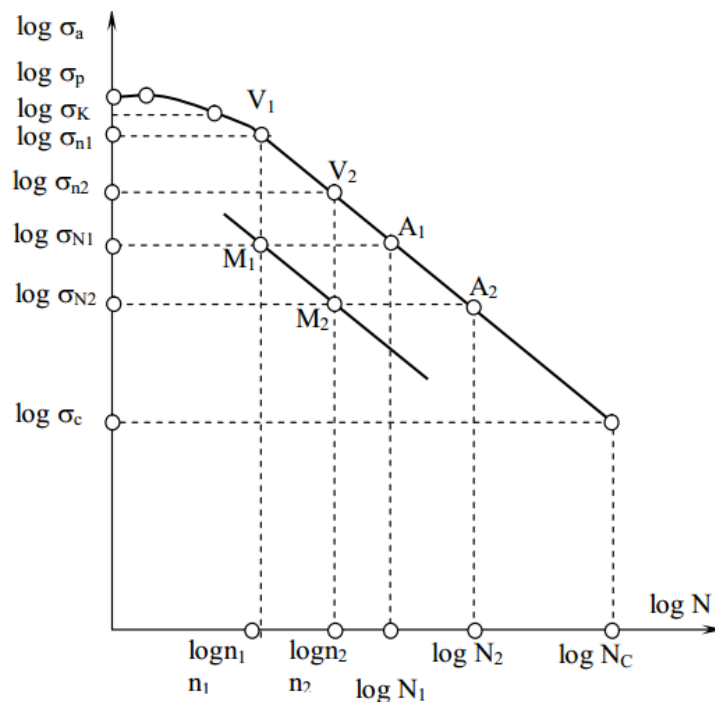
kde  $N_C$  [-] je základní počet cyklů pro mez únavy  $\sigma_C$  [N/mm<sup>2</sup>] se rovná u hliníku obvykle  $10^6$  až  $10^7$  cyklů (ale dojde jen k smluvní mezi únavy, hliníkové slity mají stále časovou životnost) a exponentem  $n$  [-].

Po úpravách rovnice (4), vykazuje dostatečně spolehlivé výsledky pro oblast dlouhodobé časové únavy. Pro praktickou potřebu je exponent  $n$  určován pomocí dvou experimentálně zjištěných bodů A1, A2 na Wöhlerově křivce (viz obr. 65). Potom exponent  $n$  vypočteme ze vztahu:

$$n = \frac{\log N_2 - \log N_1}{\log \sigma_{N1} - \log \sigma_{N2}} = \frac{\log(N_2 / N_1)}{\log(\sigma_{N1} / \sigma_{N2})} \quad (5)$$

„Kde  $\sigma_{N1}$  a  $\sigma_{N2}$  jsou napětí střídavých souměrných cyklů v [N/mm<sup>2</sup>], která rozruší materiál po  $N1$  [-] a  $N2$  [-] cyklech zatížení. Z obr. 61 je zřejmé, že body A1 ( $\log N1$ ;  $\log \sigma_{N1}$ ) a A2 ( $\log N2$ ;  $\log \sigma_{N2}$ ) leží na přímce. Protože hodnota exponentu  $n$  je různá podle toho, je-li táž Wöhlerova křivka vyjádřena podle  $\sigma_h$  [N/mm<sup>2</sup>] nebo  $\sigma_a$  [N/mm<sup>2</sup>], budeme v dalším důsledně klást  $\sigma_N = \sigma_a$ . Je-li součást namáhána  $n_1$  cykly souměrného střídavého napětí o amplitudě  $s_{N1}$ , můžeme tento stav znázornit bodem  $M1 (n_1, \sigma_{N1})$ .





Obr.65 Experimentální vynášení [10]

Vedeme-li bodem  $M_1$  rovnoběžky s osou  $N$  [-] a  $\sigma_a$  do průsečíku s únavovou křivkou, můžeme určit součinitel bezpečnosti podle napětí ze vztahu  $k_\sigma = \frac{\sigma_{n1}}{\sigma_{N1}}$  (6),

kde  $\sigma_{n1}$  je časová mez únavy odpovídající  $n_1$  [-] cyklům zatížení do poruchy.

Součinitel bezpečnosti podle počtu cyklů je dán výrazem  $k_N = \frac{N_1}{n_1}$ , (7),

kde  $N_1$  je počet střídavých souměrných cyklů o amplitudě s  $n_1$ , při němž se materiál rozruší.

Poněvadž oba body  $A_1$  a  $V_1$  leží na únavové křivce, kterou jsme vyjádřili rovnicí (5), dostaneme

$$\sigma_{N_1}^n N_1 = \sigma_{n_1}^n n_1 \quad (8)$$

čili

$$\left( \frac{\sigma_{n_1}}{\sigma_{N_1}} \right)^n = \frac{N_1}{n_1} \quad (9)$$

z čehož plyne“

$$k_\sigma^n = k_N \quad (10)$$

Vztah (10) ukazuje závislost mezi součinitelem bezpečnosti podle napětí a součinitelem bezpečnosti podle cyklu, jejíž tvar je při platnosti rovnice (4) vyjádřen výrazem (10). Pokud má materiál mez únavy  $\sigma_c$  [N/mm<sup>2</sup>], pak lze říci, že součinitel bezpečnosti  $k_c$  [-] podle meze únavy je

$$k_c = \frac{\sigma_c}{\sigma_{N1}} \quad (11)$$

Je-li  $k_c < 1$  (jako např. pro bod M1 na obr. 65), potom při počtu cyklů  $N_1$  [-], určeném ze vztahu

$$N_1 = N_c \left( \frac{\sigma_c}{\sigma_{N1}} \right)^m \quad (12)$$

nastane porušení. Je-li  $k_c > 1$ , nemůže porušení nastat při žádném počtu cyklů. [10]

## Zkouška opětovným namáháním

### Wöhlerova křivka

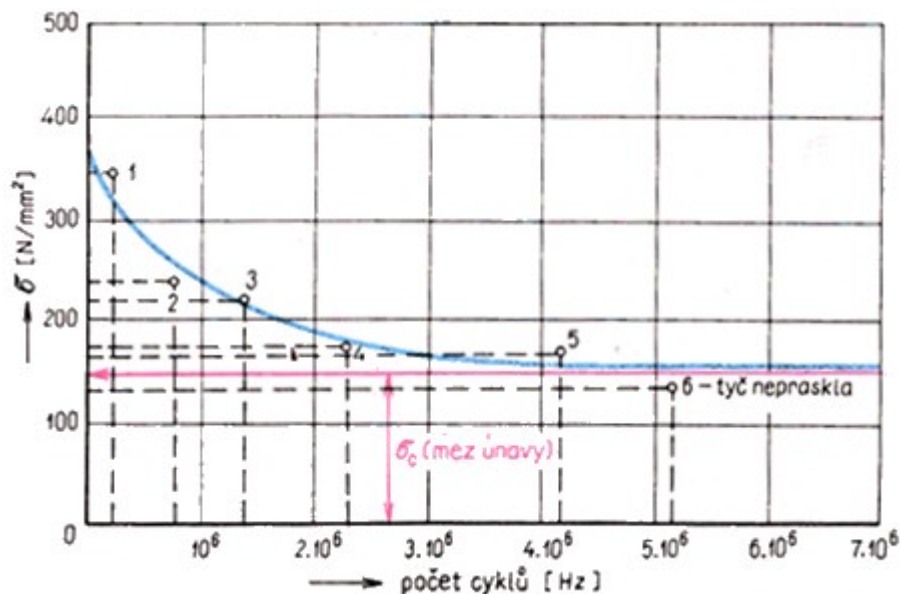
Podle normy ČSN 42 03 63 je potřeba ke zkoušce několik stejných zkušebních tyčí ze zkoušeného materiálu a zatěžují se jedním z uvedených způsobů.

První tyč se zatíží, trochu pod mez kluzu a po porušení tyče se odečte příslušný počet cyklů. Tím získáme první bod. Další tyče se postupně zatěžují menším napětím, čímž tyč vydrží větší počet cyklů. Takto vzniká Wöhlerova křivka, která udává závislost mezi napětím a počtem cyklů, takzvaná životnost.

### Konstrukce Wöhlerovy křivky – zjišťování meze únavy $\sigma_c$ [N/mm<sup>2</sup>]

Mez únavy je definována jako největší napětí, při kterém součástka vydrží neomezený počet cyklů.

Únava materiálu je ovlivněna jeho vlastnostmi, ale i jeho povrchem (drsností, vruby, povrchovou korozí atd.). Tyto úpravy snižují životnost. [14]



Obr.66 Wöhlerova křivka [14]

Volba počtu kmitů pro stanovení meze únavy je závislá na materiálu. Nejčastěji je volena s ohledem na časové a ekonomické možnosti experimentu. U hliníkových slitin se nejčastěji zjišťuje smluvní mez únavy pro  $N_c = 5 \cdot 10^7$  kmitů.

Je potřeba 6-15 vzorků v jedné rovině a alespoň 4-5 hladin.

### Analytický popis křivky:

$$\sigma_a = \sigma'_f \cdot (2N_f)^b \quad (13)$$

Kde  $\sigma'_f$  [N/mm<sup>2</sup>] je součinitel únavové pevnosti a  $b$  [-] je exponent únavové pevnosti.  $\sigma_a$  [N/mm<sup>2</sup>] a  $N_f$  [-] jsou získané z měření, součinitel a exponent jsou dopočítané a využijí se pro další výpočty.

### Metody vyhodnocení meze únavy:

- Stupňová
- Normální rozdělení meze únavy
- Skupinová
- Protova
- Postupného přitěžování
- Zrychlené únavové křivky

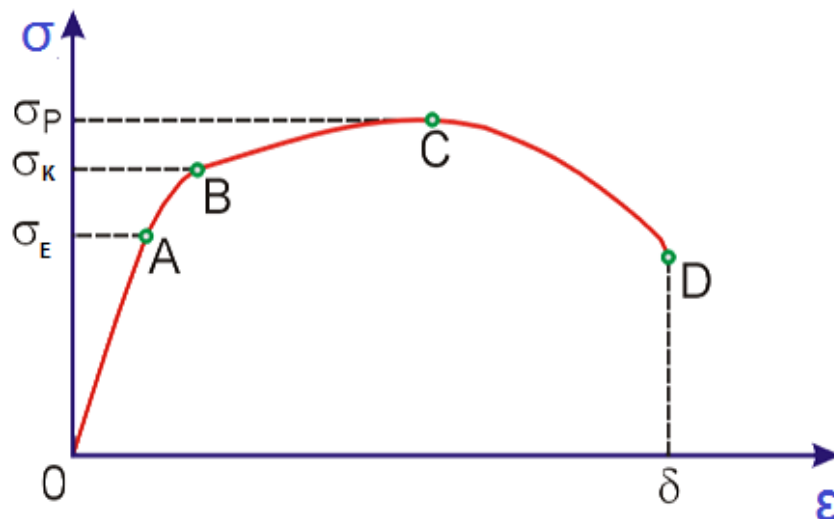
### Životnost a dimenzování na únavu:

Po vyčtení hodnot z Wöhlerovy křivky využíváme pro stanovení bezpečnosti a únosnosti Smithova a Haighova diagramu. Následně se lze vypočíst i pravděpodobnost náplně součinitele bezpečnosti.

## 2.6 Trhací (tahová) zkouška

Zkouška se používá k měření jedné z mnoha základních mechanických charakteristik, používaných k hodnocení materiálu a následnému zhodnocení vhodnosti pro danou součást či konstrukci. Dále se mezi tyto zkoušky řadí zkouška rázem v ohybu, některá z metod zkoušení tvrdosti materiálu, tlakem, opětovným namáhání a dále technologické zkoušky. [17]

Při zkoušce je vzorek podroben statickému namáhání, které s časem lineárně roste až do porušení (deformace) zkoušeného tělesa. Sleduje se závislost tahového (ohybového) napětí  $\sigma$  [N/mm<sup>2</sup>] na deformaci  $\epsilon$  [mm/m].



Obr.67 Tahový diagram [109]

### „ $\sigma_E$ – napětí na mezi pružnosti [N/mm<sup>2</sup>]

Nad mezí úměrnosti roste pružná deformace rychleji a odchyluje se, od přímkového průběhu. Avšak až do bodu A je deformace stále pružná. Platí zde Hookův zákon.

### $\sigma_K$ – napětí na mezi kluzu [N/mm<sup>2</sup>]

Při tomto napětí se objevují první stálé deformace. Aniž by docházelo k dalšímu růstu napětí, deformace se zvětšuje. Slitiny hliníku nemají výraznou mez kluzu proto pracujeme se smluvní mezí kluzu.

### $\sigma_P$ – napětí na mezi pevnosti [N/mm<sup>2</sup>]

Jedná se o maximální napětí dosažené v průběhu zkoušky.“[17]

## 2.7 Srovnání mechanických vlastností slitin hliníku a konstrukčních ocelí

Jak slitiny hliníku, tak ocel patří k nejpoužívanějším kovovým konstrukčním materiálům. V dalších odstavcích je uvedeno shrnutí jejich mechanických vlastností.

### Slitiny hliníku

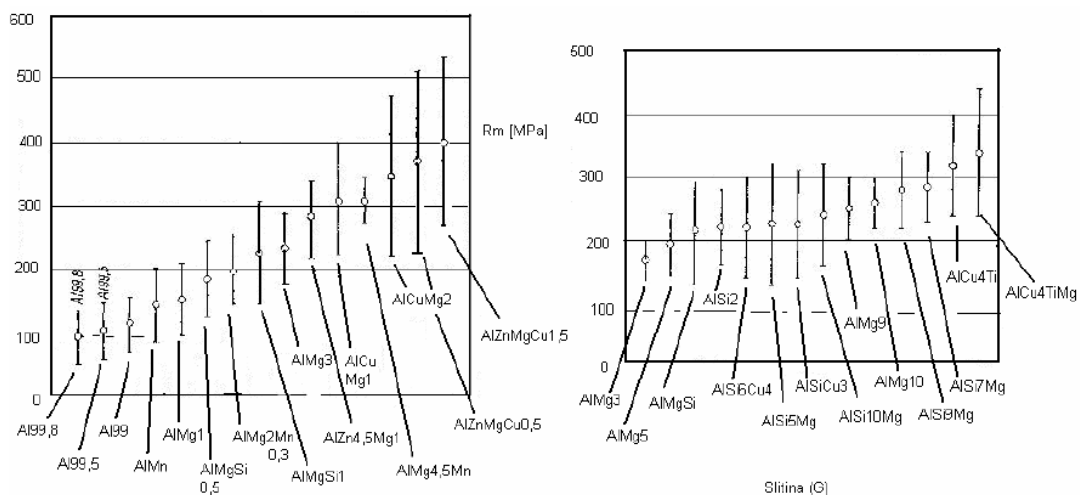
Jeden z hlavních výhod, proč slitiny hliníku patří k nejpoužívanějším konstrukčním materiálům je především nízká měrná hmotnost  $2470$  až  $2890 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a poměrně dobrá pevnost  $R_m = 90$  až  $500 \text{ N/mm}^2$ . Což znamená, že měrné pevnostní charakteristiky některých slitin hliníku jsou srovnatelné s ocelí. Slitiny, které neobsahují měď, jsou dobře odolné vůči korozi v atmosféře a ve styku s látkami kyselé povahy, ale odolnost proti vlivu alkalických látek je malá.

Další výhody jsou dobrá svařitelnost v ochranné atmosféře, výborná elektrická a tepelná vodivost. Youngův modul je pro slitiny hliníku  $E = 0,7 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ .

Poissonova konstanta je  $0,34$ , proto existuje stejný vztah mezi modulem pružnosti v tahu a ve smyku, jako u oceli.

K nedostatkům patří nízká tvrdost, což znamená snadné poškození povrchu a obtížné třískové obrábění (materiál se maže). Dalším problémem je napadení slitin elektrochemickou korozí. Výrazné tečení materiálu naproti oceli. [35]

Užívají se při stavbě letadel a lodí, v chemickém, potravinářském a strojním průmyslu, stavebnictví.



Obr.68 Porovnání vybraných typů tvářených hliníkových slitin z hlediska pevnosti [35]

## Ocel

Ocel definujeme jako slitiny železa, uhlíku a jiných prvků, přičemž hmotnostní podíl uhlíku je menší než 2%, železa musí být nejvíce. [36]

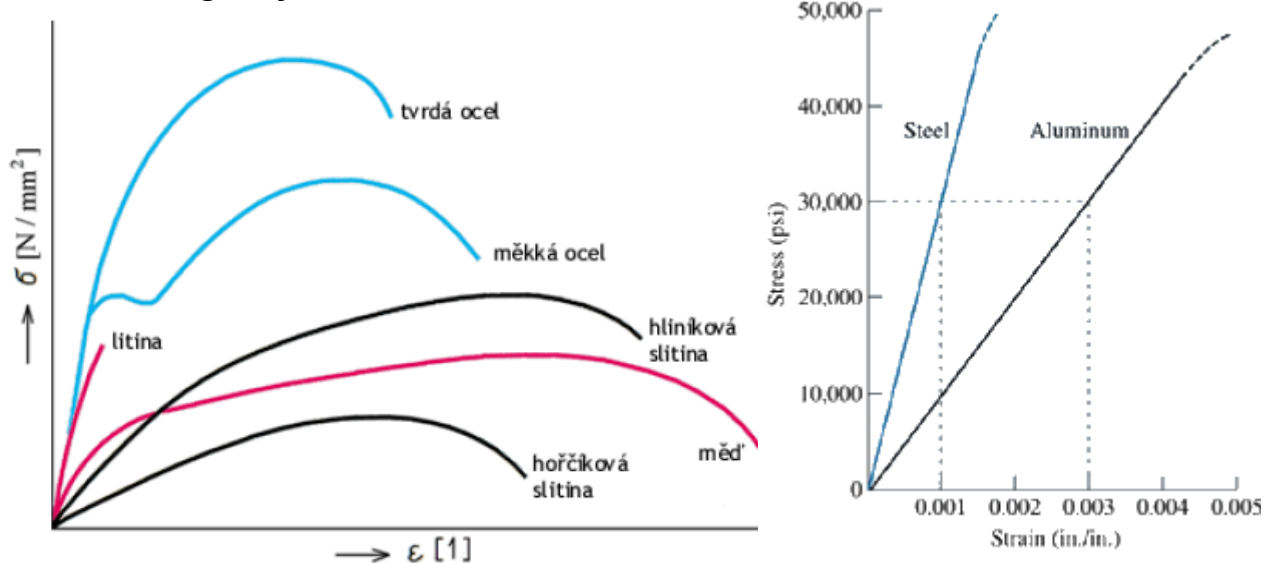
Měrná hmotnost oceli je  $7400 - 8000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a pevnost  $R_m = 350 - 900 \text{ N/mm}^2$ . Oceli mají velkou pevnost a tvrdost. Youngův modul je pro slitiny hliníku  $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ . Poissonova konstanta je 0,3.

Mezi konstrukční oceli se řadí oceli třídy 10 a 11.

Oceli třídy 10 jsou levné a tvoří asi 80% vyráběných ocelí. Jsou dobře obrobitelné a svařitelné. Využívají se na součástky podružného významu.

„Konstrukční oceli třídy 11 jsou kvalitnější než oceli třídy 10. Výrobce mají zaručen obsah síry a fosforu (zhoršují vlastnosti oceli), pevnost, mez kluzu a tažnost. Používají se na náročnější strojní součásti jako hřídele, čepy, ozubená kola, šrouby, matice, plechy pro zpracování tažením, výlisky a podobně.“ [37]

## Pracovní diagramy



Obr.69 Příklad pracovních diagramů různých kovů a slitin [110, 36]

## Tvrдость

Zkouška tvrdosti je výhodná díky své jednoduchosti a většinou není ani potřeba odebírat materiál k výrobě zkušebního tělesa.

U hliníku a jeho slitin se často používá měření tvrdosti dle Brinella. Hodnoty tvrdostí jednotlivých materiálů jsou uvedeny ve výrobních normách. [33]

Tvrдость hliníkových slitin dle Brinella (**HB**) se pohybují mezi 35 – 100.

Tvrдость konstrukčních ocelí dle Brinella (**HB**) se pohybují mezi 120– 290.



## Únava

### Únavové vlastnosti slitin hliníku

„U hliníku a jiných neželezných kovů křivka nemá vodorovnou část, ale napětí plynule klesá s počtem cyklů. K porušení dochází při konečném počtu cyklů pro všechny hodnoty napětí, proto se určuje tzv. časovou (smluvní) mezí únavy, která odpovídá předem zvolenému počtu cyklů do lomu. (do  $5 \cdot 10^8$  cyklů)“ [120,121]

Trvale klesající napětí při růstu počtu cyklů do lomu je vidět na obr.70 (křivka *b*).

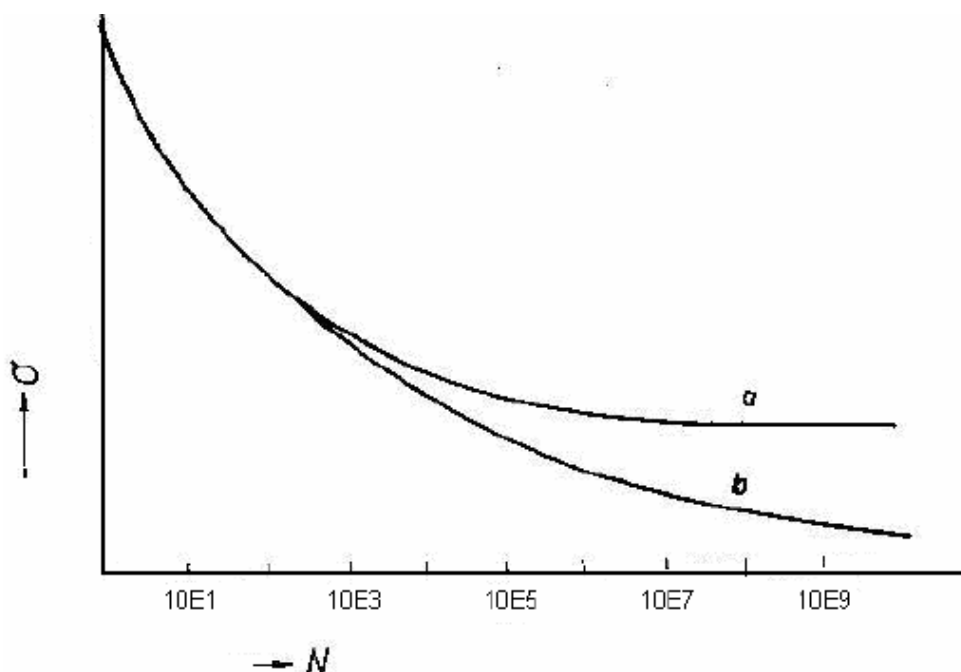
### Únavové vlastnosti ocele

Wöhlerova křivka má u ocelí klasický tvar, v závislosti na počtu cyklů do lomu na ní rozlišujeme tyto základní oblasti.

Klesající část křivky, se označuje jako oblast časové pevnosti a vodorovná část, kde se křivka asymptoticky blíží k mezi únavy je vlastnost trvalé pevnosti.

Aby zkoušky nebyli časově dlouhé, je smluvně dáno, že při dosažení  $10^6$  až  $10^7$  cyklů bereme toto zatížení jako mez únavy.

Jednoznačná mez únava je vidět na obr.70 (křivka *a*)



Obr.70 Schematicky nakreslené dvě Wöhlerova křivky [118]

Na obr. 71 jsou znázorněné Wöhlerovy křivky nástrojové oceli a slitiny hliníku. Zde je vidět, že u ocelí můžeme dosáhnout vyššího napětí než u slitin hliníku. Vidíme zde i poslední část křivky, kde se právě ukazuje, že u ocelí dochází k mezi únavy a u slitin hliníku ne.

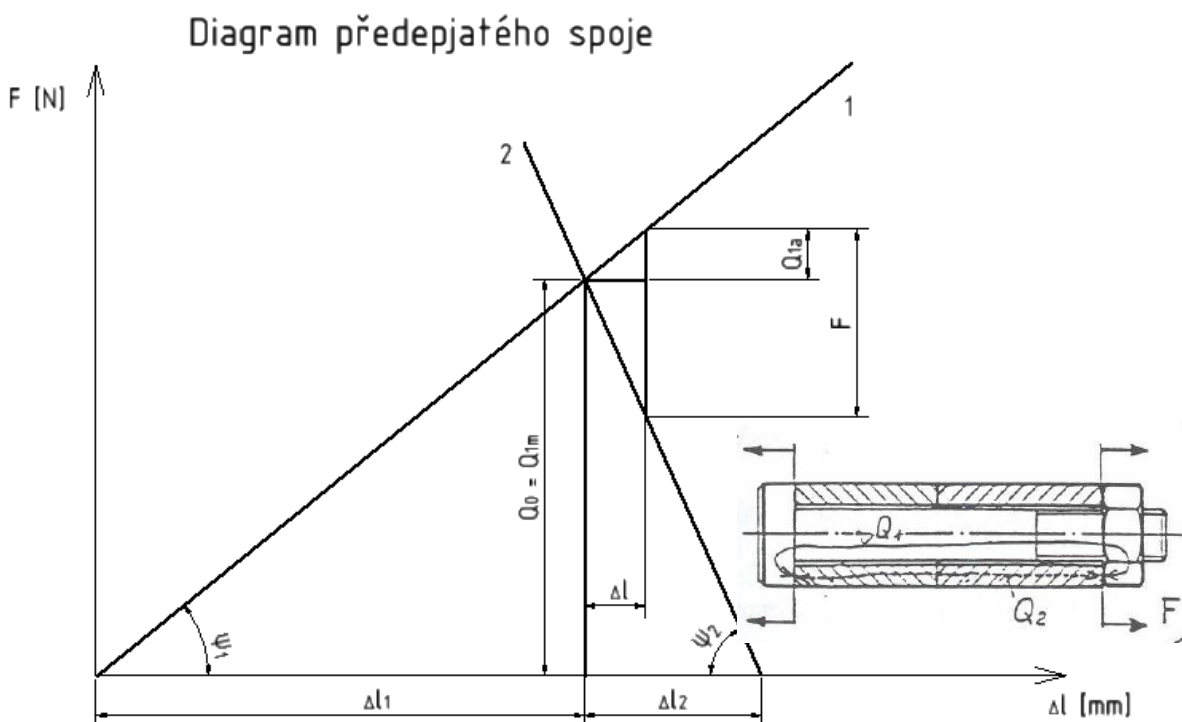


Obr.71 Wöhlerova křivka slitiny hliníku a nástrojové oceli [36]

## 2.8 Šroubové spoje s předpětím

Tyto spoje volíme pro dlouhodobou životnost při střídavém zatížení, (převedení střídavého zatížení na proměnlivé), předpětím se sníží amplituda mĳivého zatížení v ose šroubu a dosažení těsnosti a tuhosti spoje. Šrouby se musí již při montáži utáhnout tak, aby ještě před působením provozní síly  $F$  [N] vzniklo přepětí  $F_v$  [N], které způsobí prodloužení šroubu délky  $l$  [mm] o délku  $\Delta l_1$  [mm] a stlačení spojovaných součástí o  $\Delta l_2$  [mm].

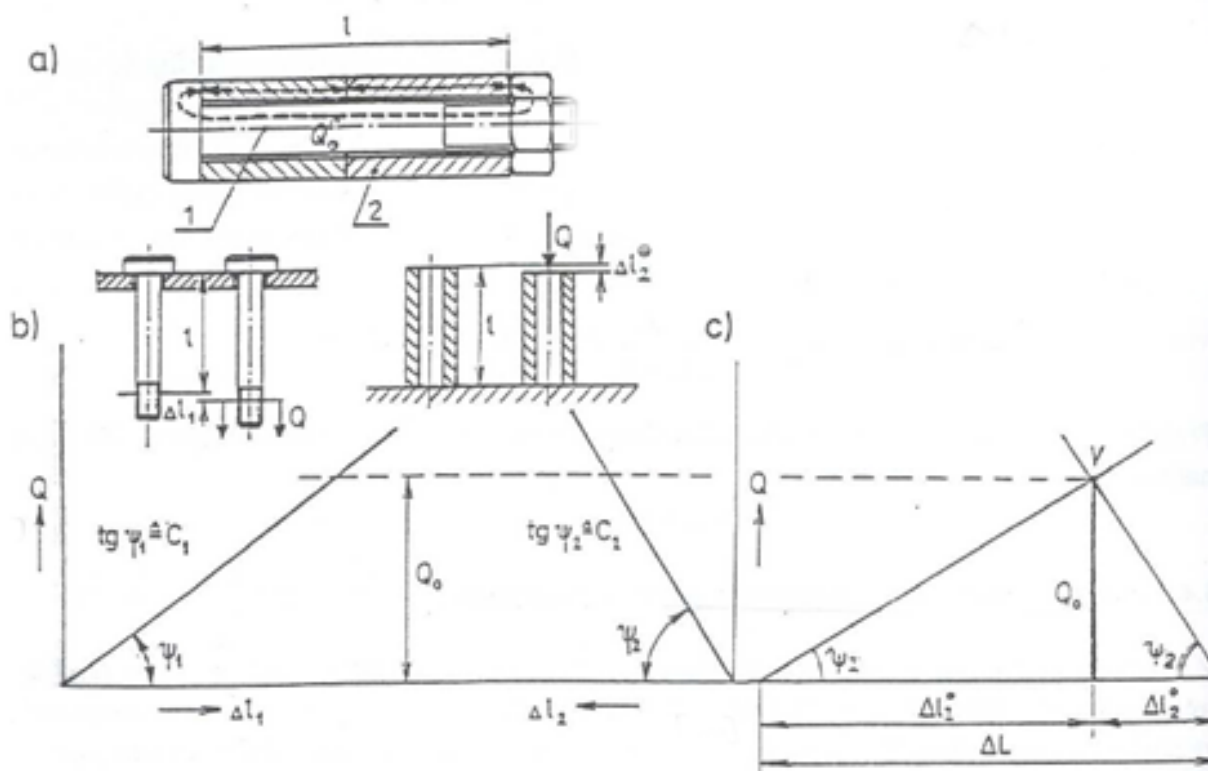
### Rötscherův diagram neboli diagram předepjatého spoje



Obr.72 Diagram předepjatého spoje [12]

Ze závislosti v diagramu lze stanovit vztahy pro jednotlivé veličiny:

Předpoklad je, že pracujeme v oblasti Hookova zákona, proto závislost deformace na síle je lineární. Tangenty úhlů sklonu přímek závislosti  $\psi_{1,2}$  jsou tedy úměrné tzv. konstantní tuhosti  $C_{1,2}$  [N/mm]. Úměra zde vyplývá z požadavků názornosti diagramu dosaženého vhodnou volbou měřítka pro  $F$  [N] a  $\Delta l$  [mm].  $Q_0$  [N/mm<sup>2</sup>] je velikost zatížení předepjatého spoje. [12]

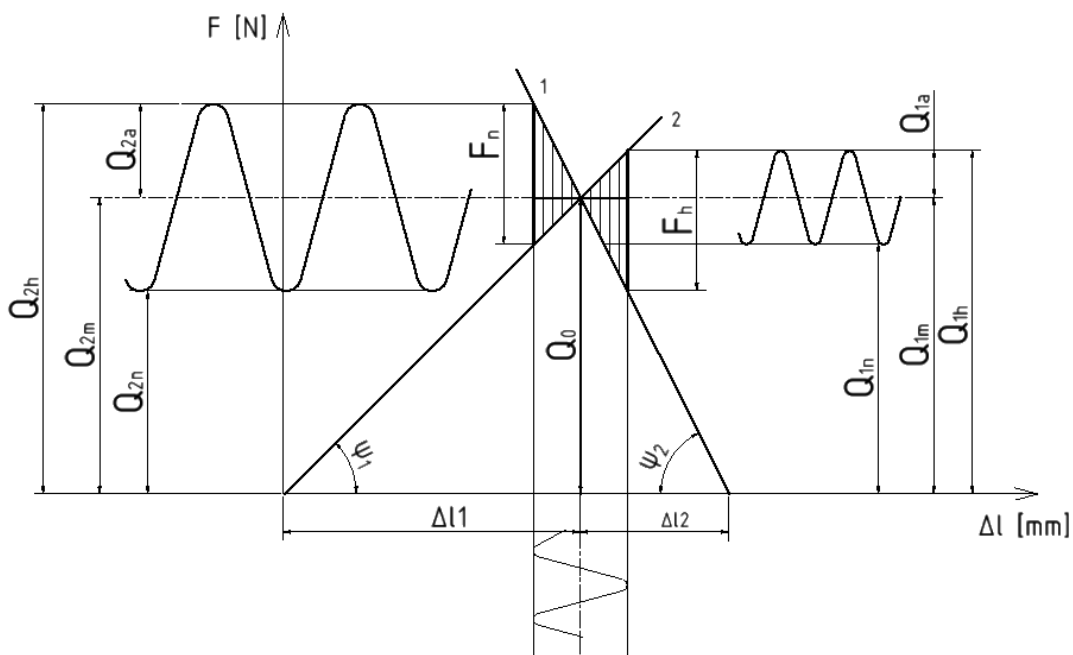


Obr.73 Křivka předpětí [12]

Všechny části lze rozdělit do 2 skupin, jejichž spoje budou v trojúhelníkovém diagramu tvořit vzájemnou opozici, jsou to:

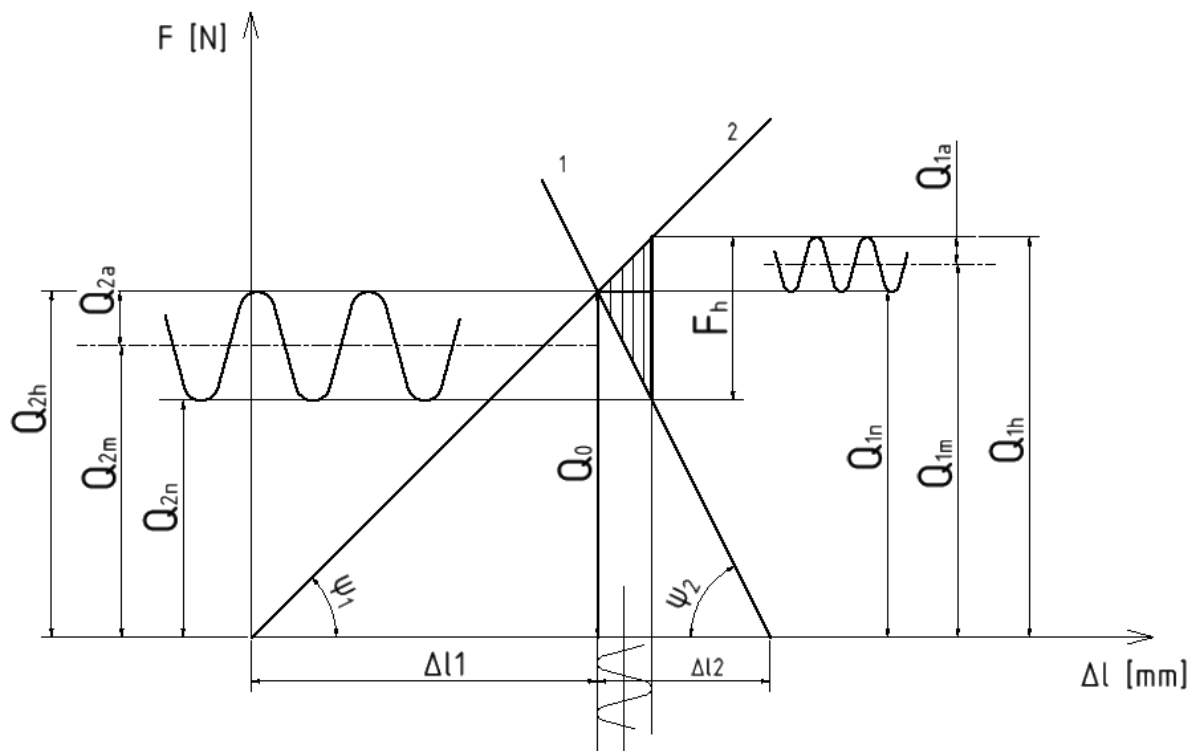
- 1) „skupina části 1“ – o celkové konstantě tuhosti  $C_1$  v diagramu charakteristiku určuje úhel  $\psi_1$  a za provozu zatěžována silou  $Q_1$  [N]. Vždy do této skupiny patří šroub, jsou to části přitěžující.
- 2) „skupina části 2“ – o celkové konstantě tuhosti  $C_2$  v diagramu charakteristiku určuje úhel  $\psi_2$  a za provozu zatěžována silou  $Q_2$  [N]. Vždy do této skupiny patří sevřené součástky, jsou to části odlehčující. [12]

### Souměrně střídavé zatěžování šroubového spoje



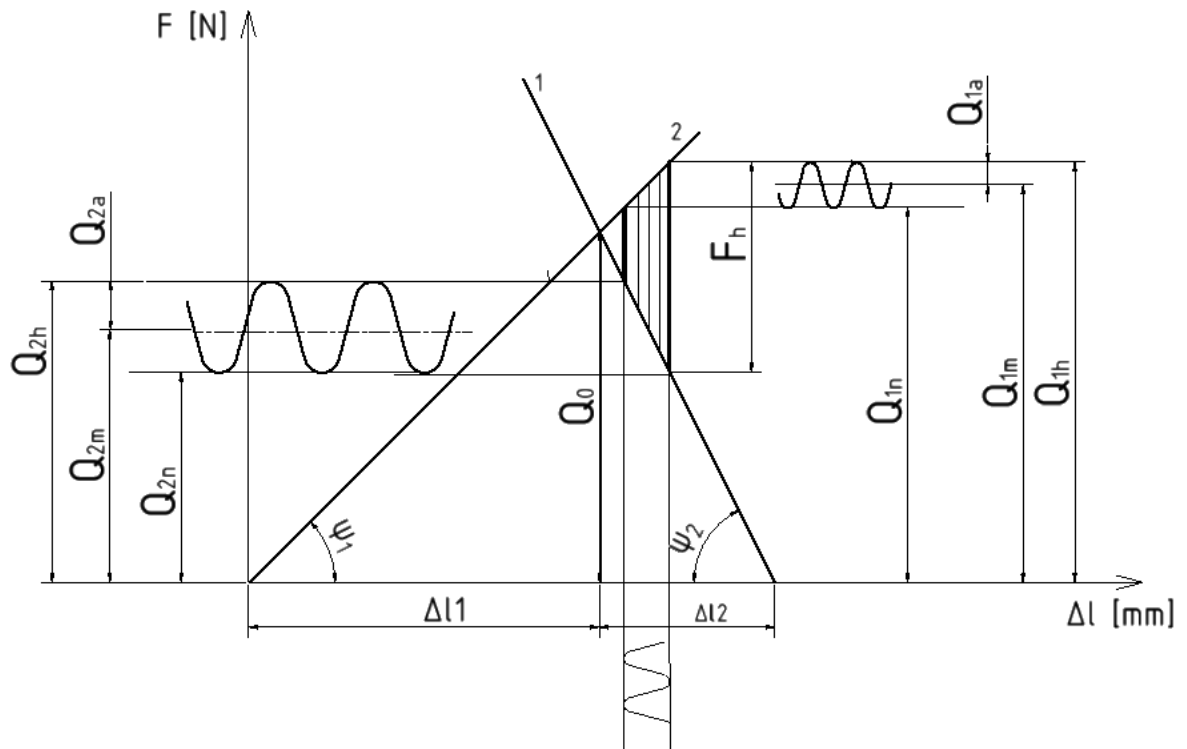
Obr.74 Souměrně střídaví

### Míjivé zatěžování šroubového spoje:



Obr.75 Míjivé

**Tepavé zatěžování šroubového spoje:**



Obr.76 Tepavé

### Výpočet tuhosti v deskách $C_D$ [N/mm]:

Metody výpočtů rozložení napětí do dvou kuželů (viz obr. 78 přerušovaná čára).

$$C_D = \frac{\pi \cdot E_D \cdot D \cdot \operatorname{tg}(\alpha)}{2 \cdot \ln \left[ \frac{m+D}{m-D} \cdot \frac{m+l \cdot \operatorname{tg}(\alpha) - D}{m+l \cdot \operatorname{tg}(\alpha) + D} \right]} \quad (14)$$

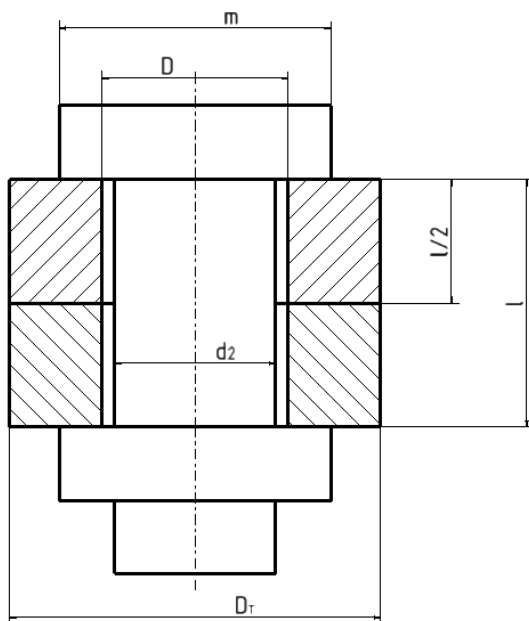
Jsou různé metody:

- 1) Roetcherova -  $\operatorname{tg}(\alpha) = 1$
- 2) Serensenova -  $\operatorname{tg}(\alpha) = 0,4$
- 3) VDI -  $\operatorname{tg}(\alpha) = 0,33$  pro hliník

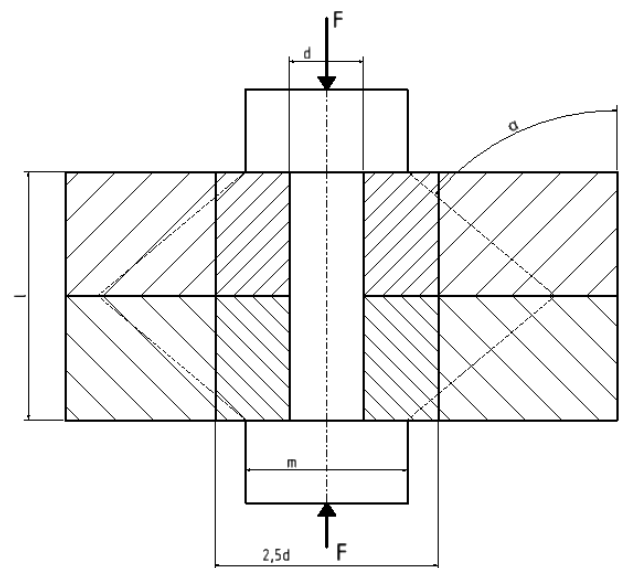
Pro zjednodušení (za určité nepřesnosti) nahradíme, dvoj kužel trubkou odpovídající délky, tedy

$$C_D = \frac{\pi \cdot E_D}{4l} \cdot \left[ (2,5 \cdot D)^2 - D^2 \right] \quad (15)$$

Kde  $E_D$  je modul pružnosti materiálu desek v [N/mm<sup>2</sup>],  $D$  je průměr díry pro šroub,  $m$  průměr pod hlavou šroubu a  $l$  velikost spojovaných desek v [mm]. Rozměry lze vidět na obr. 78.



Obr.77 Rozměry trubky



Obr.78 Rozměry desky



### Výpočet tuhosti trubek $C_T$ :

$$C_T = \sum \frac{E_T \cdot S_i}{l_i} \quad (16)$$

$$S_i = \frac{\pi}{4} \cdot (D_T^2 - D^2) \quad (17)$$

Kde je  $E_T$  modul pružnosti materiálů trubky v  $[\text{N}/\text{mm}^2]$ ,  $S_i$  plocha průřezu trubky v  $[\text{mm}^2]$ ,  $l_i$  délka určitého průřezu trubky a  $D_T$  průměr trubky vně a  $D$  průměr díry pro šroub vše v  $[\text{mm}]$ . Rozměry lze vidět na obr. 77.

### Výpočet tuhosti šroubu $C_\xi$ :

$$C_\xi = \sum \frac{E_\xi \cdot S_\xi}{l_i} \quad (18)$$

$$S_\xi = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \quad (19)$$

Kde je  $E_\xi$  modul pružnosti materiálů šroubu v  $[\text{N}/\text{mm}^2]$ ,  $S_\xi$  plocha průřezu šroubem v  $[\text{mm}^2]$ ,  $l_i$  délka určitého průřezu šroubu a  $d_i$  průměr určitého úseku (u závitů bere průměr  $d_2$ ), oboje v  $[\text{mm}]$ .

Pomocí těchto tuhostí mohu vypočítat zatížení spoje, jeho bezpečnost a deformaci jednotlivých těles. Následně se může vynést do diagramu.

### Výpočet potřebného krouticího momentu na klíči:

$$M_{KK} = M_{KZ} + M_{TM} \quad (20)$$

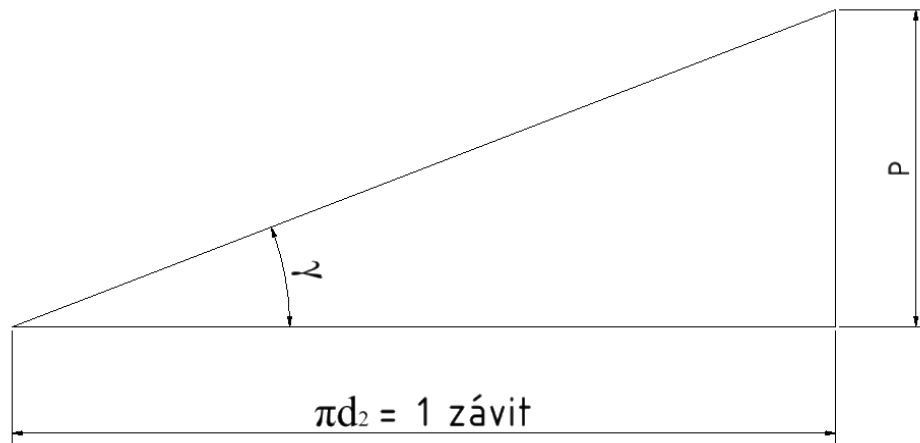
$$M_{KZ} = Q_o \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \varphi') \quad (21)$$

$$M_{TM} = Q_o \cdot f_M \cdot \frac{a + (d + 2)}{4} \quad (22)$$

Kde  $f_M$  je [-] součinitel tření pod maticí, který většinou nabývá hodnot  $0,1 \div 0,12$ , a je střední příčka matice,  $\varphi'$  [°] je třecí úhel v závitech a  $\gamma$  [°] je úhel stoupání.

K utahování předepjatých spojů se používají momentové klíče, na kterých si mohou přesně nastavit potřebný moment  $M_{KK}$  [Nm]. Tento moment  $M_{KK}$  [Nm] je součet momentů, které při utahování musíme překonat a to se jedná o moment v dřívku šroubu při utahování  $M_{KZ}$  [Nm] a moment tření pod maticí  $M_{TM}$  [Nm].

### Výpočet stoupání v závitech:

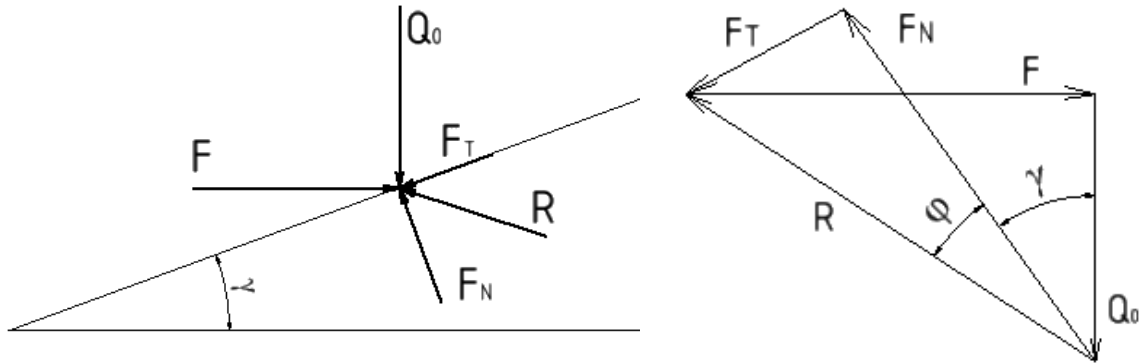


Obr.79 Úhel stoupání

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{S}{\pi \cdot d_2} \quad (23)$$

$S$  [mm] je stoupání závitu a  $d_2$  [mm] je malý průměr závitu. Výpočet úhlu stoupání se odvozovalo z obr.79.

**Rozložení sil v závitech při utahování:**



Obr.80 Rozložení sil

$$F = Q_0 \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \varphi) \quad (24)$$

Z obr. 80 vyčteme síly.  $Q_0$  [N] je osově zatížení neboli síla předpětí,  $F$  [N] je obvodová síla na šroubu neboli potřebná síla na utahování, tato síla na rameni  $d_2/2$  je potřebný utahovací moment  $M_{KK}$ . Další síly jsou  $F_T$  [N] je třecí síla,  $F_N$  [N] je normálová síla a  $R$  [N] je částečná výslednice síly tření a normální síly.

Ukázka utahování a momentového klíče.



Obr.81 Momentový klíč [113]

### 3. Výpočty a návrhy

Tato část diplomové práce obsahuje návrhové a kontrolní výpočty testovacího zařízení, dále také vzorové výpočty předepjatých spojů.

#### 3.1 Výpočty pevnosti profilů

Výpočet zatížení, které by měl profil na určitém rameni ( $L_1=400\text{mm}$ ,  $L_2=800\text{mm}$ ) vydržet. S bezpečností o velikosti 2 dopočítám sílu, na kterou budu dimenzovat zkušební stroj.

$$R_m = \frac{F \cdot L}{W \cdot 10^3} \quad (25)$$

$$F_D = \frac{R_m \cdot W \cdot 10^3}{L} \quad (26)$$

$$F_{din} = 2 \cdot F_D \quad (27)$$

Kde  $R_m$  je mez pevnosti v  $[\text{N}/\text{mm}^2]$ ,  $W$  průřezový modul v  $[\text{mm}^3]$ ,  $L$  výška testování v  $[\text{mm}]$ ,  $F_D$  je dovolená síla profilu a  $F_{din}$  síla pro dimenzování konstrukce jsou v  $[\text{N}]$ .

Pro výpočet maximálního zatížení profilů jsem vybral vždy profil v určité velikosti s nejvyšší pevností, jenž firmy udávají v katalogu. Seznam firem, z kterých jsem vybíral, je v rešerši o hliníkových výrobcích viz kapitola 2.2.

Vstupní hodnoty a výsledky jsou přehledně uvedeny v tabulce č.3 ( příloze č.1). Buňky pro výpočet maximálního zatížení a odpovídajícímu rameni jsou vyznačeny zeleně.

V této tabulce vidíme, že nejvyšší zatížení by měl podle údajů výrobce vydržet profil 100x100 od firmy ITEMu a to síla 26kN na rameni  $L_2=800\text{mm}$

S bezpečností **1,6** bude dimenzován zkušební stroj na sílu  $F_{din}=42\text{kN}$ , která bude ve výšce 800mm.

#### **Z této tabulky také vychází, že pro testované spoje, budou délky profilů:**

Testovaná délka profilu 20x20 až 60x60 – 400mm, ale potřebná délka měřeného profilu 500mm.

Testovaná délka profilu 80x80 až 100x100 – 800mm, ale potřebná délka měřeného profilu 900mm.

Délka profilu upevněného ve svěráku je vždy 100mm.

### 3.2 Výpočet a návrh konstrukce zkušebního stroje

Konstrukce je navržena pro sílu 42kN na rameni 800mm.

Sílu bude vyvíjet hydraulický píst od firmy Bosch Rexroth typu CDT3MP5/50/36/250Z10/B1CFDMWW jehož hodnoty únosnosti si můžete přečíst v tabulce č.1. Rozměry pístu jsou v příloze č.9.

Tabulka č.1: Rozměry a hodnoty pístu [42]

Píst	Pístnice	Plocha na úhle	Plocha			Síla			Průtok 0,1m/s			Maximální zvyh
			Pístu	Pístnice	Kroužku	Tlak			Vypnuto	Zapnuto		
∅AL	∅MM	φ - A1/A3	A1 [cm <sup>2</sup> ]	A2 [cm <sup>2</sup> ]	A3 [cm <sup>2</sup> ]	F1 [kN]	F2 [kN]	F3 [kN]	q <sub>v1</sub> [l/min]	q <sub>v2</sub> [l/min]	q <sub>v3</sub> [l/min]	
50	36	2,08	19,63	10,18	9,45	31,41	16,29	15,12	11,8	6,1	5,7	1200

Schéma zapojení hydraulického obvodu a specifikace agregátu v příloze č.17.

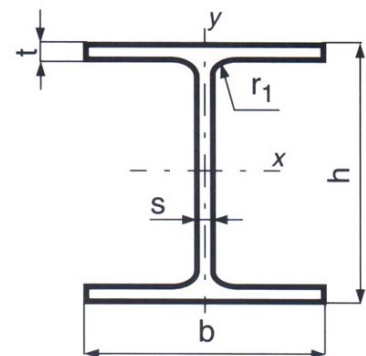
#### Samostatná nosná konstrukce stroje:

Samostatnou nosnou konstrukci bych chtěl vyrobit buď z tyče průřezu HAE nebo z hliníkových profilů větší rozměrů než jsou testované. A celé jej pojistil trojúhelníkovou výztuží.

- 1) Možnost návrhu: Pomocí tyče průřezu HEA. Tento profil využijeme na nosný profil.

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad (28)$$

$$W_o = \frac{F_{din} \cdot L}{R_e} \quad (29)$$



Obr.82 HEA profil

Kde  $\sigma_o$  je napětí v ohybu v [N/mm<sup>2</sup>],  $M_o$  ohybový moment v [Nm],  $W_o$  ohybový průřezový modul v [mm<sup>3</sup>],  $R_e$  mez kluzu materiálu HEA profilu v [N/mm<sup>2</sup>] a L výška ramene na kterém se testuje v [mm].

Materiál tyče: S235JR (1.0038) dle EN 10025-2

Obdobná: ČSN 11 375

$$R_e = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$W_o = \frac{40\,000 \cdot 800}{360} = 91\,111,1 \text{ mm}^3 = 91 \text{ cm}^3 \quad (29)$$

V katalogu jsem našel, že nejbližší vyšší průřezový modul  $W_o$  [ $\text{mm}^3$ ] je pro tyč průřezu HEA, válcovanou za tepla, DIN 1025-2, HEA 140. Rozměry tyče jsou v tabulce č.2.

Tabulka č.2: Rozměry HEA profilu

Šířka příruby	b	140 mm
Výška průřezu	h	133 mm
Tloušťka příruby	t	8,5 mm
Tloušťka stojiny	s	5,5 mm

Tuto variantu jsem zvolil jako výhodnější. Tato varianta je levnější a konstrukčně jednodušší. Kontrola jsem provedl i MKP metodou viz příloha č.4.

Tato varianta je vidět ve výrobních výkresech v příloze č.14

## 2) Možnost návrhu: Pomocí hliníkových profilů

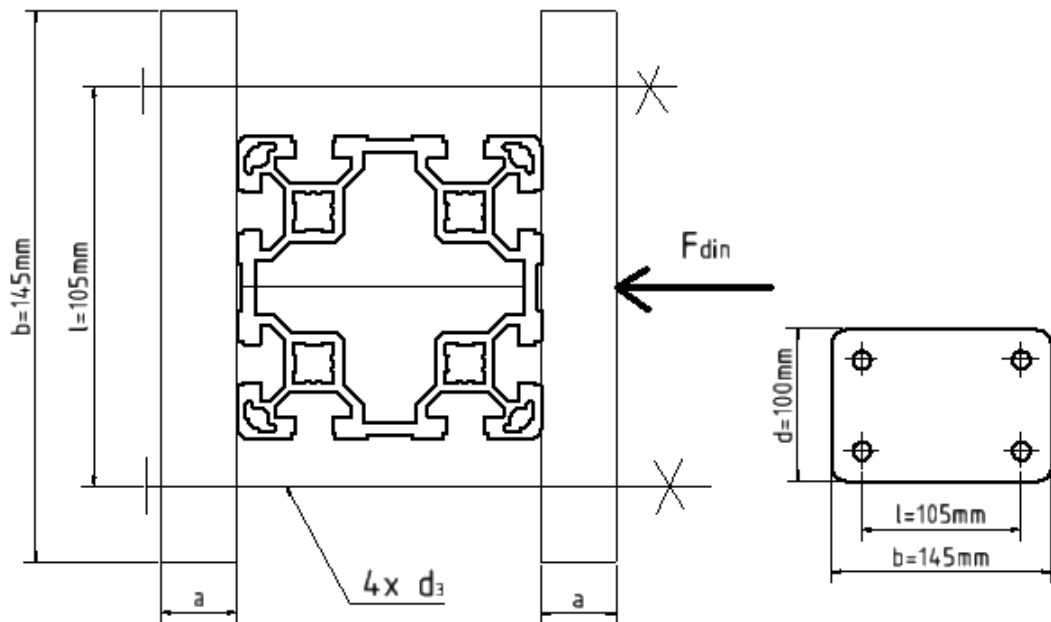
Materiál: EN-AW 6060

$$R_{p0,2} = 195 \text{ N/mm}^2$$

$$W_o = \frac{40\,000 \cdot 800}{195} = 168\,205,1 \text{ mm}^3 = 168 \text{ cm}^3 \quad (29)$$

V katalogu jsem našel, že nejbližší vyšší průřezový modul  $W_o$  [ $\text{mm}^3$ ] je pro dva hliníkové stavebnicové profily 90x180 – model tohoto návrhu lze vidět v příloze č.4.

### 3.3 Výpočet a návrh horního upevnění profilu



Obr.83 Horní upevnění

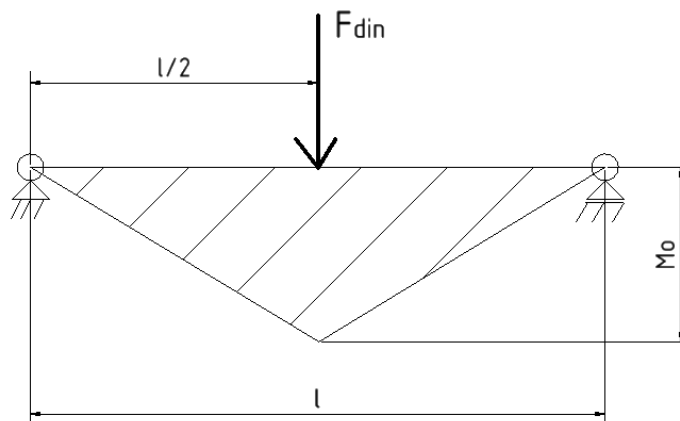
Síla, kterou přenášíme na profil, je přímo od pístu, není na žádné páce.

Deska je spojena 4 šrouby, tak se mezi ně síla rozloží mezi všechny rovnoměrně

$$F_s = F_{din}/4 = 41/4 = 10,25 \text{ kN}$$

Volím šrouby s pevností 8.8, které mají mez pevnosti  $R_{m\dot{s}} = 800 \text{ N/mm}^2$  a materiál desky ocel třídy 11 500 s mezí kluzu  $R_{eD}=250 \text{ N/mm}^2$

V tomto schématu je vidět jak se rozloží ohybový moment po desce. A z něho vypočtu potřebný rozměr šroubů.



Obr.84 Rozložení ohybového momentu



Výpočet malého průměru šroubu  $d_3$  ze síly na šroub  $F_s$  [N] a meze pevnosti  $Rm_s$  [N/mm<sup>2</sup>]. Dále výpočet ohybového momentu, který použijí na výpočet potřebné tloušťky desky  $a$  [mm], které dále potřebujeme  $d_D$  [mm] výšku desky a mez kluzu desky  $Re_D$  [N/mm<sup>2</sup>].

$$d_3 = \sqrt{\frac{F_s \cdot 1,2 \cdot 2}{0,75 \cdot Rm_s} \cdot 4} \cdot \pi \quad (30)$$

$$Mo = \frac{F_{din} \cdot \left(\frac{l}{2}\right)^2}{l} \quad (31)$$

$$a = \sqrt{\frac{6 \cdot Mo}{d_D \cdot Re_D}} \quad (32)$$

Číselné dosazení do vzorců pro výpočet se zadanými hodnotami:

$$d_3 = \sqrt{\frac{10,25 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot 2}{0,75 \cdot 800} \cdot 4} \cdot \pi = 3,61mm \quad (30)$$

$$Mo = \frac{10,25 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{105}{2}\right)^2}{105} = 269\,062,5 \text{ Nmm} \quad (31)$$

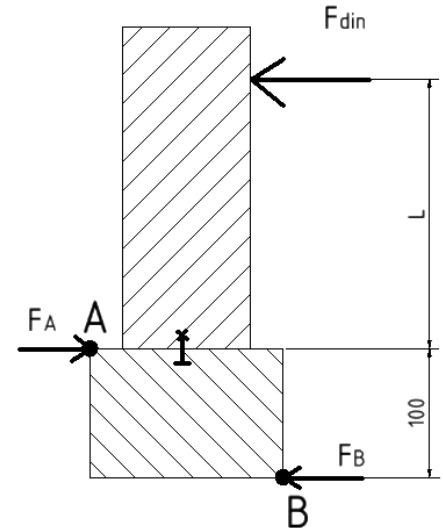
$$a = \sqrt{\frac{6 \cdot 269\,062,5}{100 \cdot 250}} = 8,04mm \quad (32)$$

Z výpočtů vyšlo, že potřebuji čtyři šrouby se závitem M6 a desku o tloušťce alespoň 10mm.

### 3.4 Výpočet a návrh svěráků profilu

Síla na svěráku vypočtená z momentové podmínky k bodu A. Schéma můžete vidět na obrázku č. 85.

$$\begin{aligned}
 \sum Mb &= 0 \\
 F_{din} \cdot L - F_a \cdot 100 &= 0 \\
 F_a &= \frac{F_{din} \cdot L}{100} \\
 F_{a1} &= \frac{F_{din} \cdot 400}{100} = 4 \cdot F_{din} = 8 \cdot 17 = 136 \text{ kN} \\
 F_{a2} &= \frac{F_{din} \cdot 800}{100} = 8 \cdot F_{din} = 8 \cdot 42 = 336 \text{ kN} \quad (33)
 \end{aligned}$$



Obr.85 Síla na profilu

Kde  $F_{din}$  [N] je síla pro dimenzování konstrukce a  $F_a$  [N] síla v bodě A.

Toto zatížení unese jen málo sériově vyráběných strojních svěráků, například pneumatický strojní svěrák VMC-5P (informace příloha č.8), ale ten je moc drahý. Proto svěráky udělám ze spojených desek. Svěráky budou přidělány svěrkami k zemi s T- drážky do kterých se bude přenášet napětí.

Výpočet tloušťky desek a volba počtu šroubu a jejich velikosti pro zatížení  $F_a=336\text{kN}$

Šroub pevnosti 12.9 má mez pevnosti  $R_{e\check{s}} = 1200 \text{ N/mm}^2$ .

Materiál desky ocel 11 500 má mez kluzu  $R_{eD}=250 \text{ N/mm}^2$ .

Pomocí tohoto vzorce vypočítám malý průměr šroubu  $d_3$  [mm] a z toho pak volím z tabulek potřebnou velikost závitu.

$$d_3 = \sqrt{\frac{F_{\check{s}} \cdot 1,2 \cdot 2}{0,75 \cdot R_{m\check{s}}} \cdot 4} \quad (34)$$

Číselné hodnoty veličin a výsledků viz Tabulka č.4 příloha č.2.

Dopočítám potřebný počet závitů  $i$  [-], které vydrží dané otažení.

$$i = \frac{4F_s}{p_D \cdot \pi \cdot (d_1^2 - D_1^2)} \quad (35)$$

Kde  $p_D$  [N/mm<sup>2</sup>] je dovolený tlak v závitech,  $F_s$  [N] síla na šroubu a  $d_1$  velký průměr šroubu a  $D_1$  malí průměr matice oboje v [mm].

Číselné hodnoty veličin a výsledků viz tabulka č.5, která je v příloze č.3.

Kvůli velkému rozsahu velikosti profilů jsem zvolil 3 svěráky. Výrobní výkresy svěráků v příloze č.14.

Malý svěrák pro profily	20x20 – 45x45
Svěrák pro profily	50x50– 80x80
Velký svěrák pro profily	80x80– 100x100

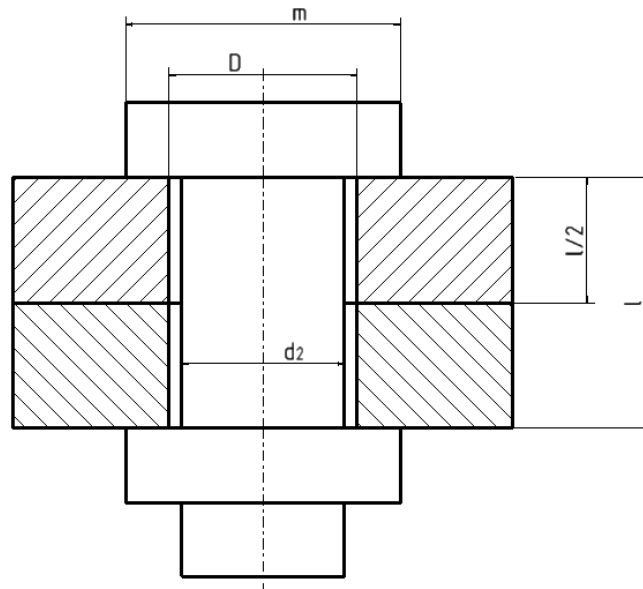
Do svěráku přijde vždy profil délky 100 a uprostřed něho bude testovaný spoj.

### 3.5 Výpočet šroubového spojení s předpětím

V této kapitole se budu pomalu přibližovat k reálnému šroubovému spoji profilů s předpětím.

Nejprve výpočet spojení desek spojem s předpětím. A to desek z materiálu EN-AW 1050A (Al 99,5) a EN-AW 6060 spojené šrouby s maticí M8 a M12. Výpočet provádím pomocí metody s mezikružím. Pak tuto metodu srovnávám s ostatními metodami a to i s MKP analýzou.

Všechny vypočtené grafy tuhostí jsou nakresleny ještě v příloze č.5 jejich porovnání je v příloze č.6.



Obr.86 Rozměry desky

#### Rozměry závitu – M12 8.8

$$d_3 = 9,853\text{mm}$$

$$d_2 = 10,863\text{mm}$$

$$P = 1,75\text{mm}$$

$$S_3 = 76,248\text{mm}^2$$

$$R_m = 800\text{N} / \text{mm}^2$$

$$R_e = 640\text{N} / \text{mm}^2$$

$$\sigma_{C(-1)} = 245\text{N} / \text{mm}^2$$

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{N} / \text{mm}^2$$

### Výpočet tuhosti šroubu

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{E} \cdot \frac{l}{S_s} = \frac{1}{2,1 \cdot 10^5} \cdot \frac{30}{\frac{\pi \cdot 10,863^2}{4}} = 1,541 \cdot 10^{-6} \quad (18)$$

$$C_1 = C_s = 0,6488 \cdot 10^6 \text{ N/mm}$$

Kde  $C_1$  je tuhost šroubu a  $C_2$  tuhost desky v [N/mm].

### Výpočet tuhosti desky

$$C_2 = C_d = \frac{\pi \cdot E}{4 \cdot l} \cdot [(2,5 \cdot D)^2 - D^2] = \frac{\pi \cdot 0,7 \cdot 10^5}{4 \cdot 30} \cdot [(2,5 \cdot 13)^2 - 13^2] = 1,626 \cdot 10^6 \text{ N/mm} \quad (15)$$

Kde  $\sigma_{c(-1)}^x$  je korigovaná mez únavy [N/mm<sup>2</sup>],  $\Psi_\sigma^x$  [-] je součinitel bezpečnosti zatížení,  $F_{hš}$  [N] maximální síla na šroubu a  $k_\sigma$  [-] je bezpečnost napětí.

### .Výpočet maximálně zatěžující síly přes šroub:

$$Q_0 = Q_{1m} = \left(1,3 + \frac{C_1}{C_1 + C_2}\right) \cdot F_{hš} = \left(1,3 + \frac{0,6488}{0,6488 + 1,626}\right) \cdot F_{hš} = 1,5852 \cdot F_{hš} \quad (36)$$

$$Q_{1a} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot F_{hš} = \frac{0,6488}{0,6488 + 1,626} \cdot F_{hš} = 0,2852 \cdot F_{hš} \quad (37)$$

$$\sigma_{c(-1)}^x = \frac{\sigma_{c(-1)}}{5} = \frac{245}{5} = 49 \text{ N/mm}^2 \quad (40)$$

$$\Psi_\sigma^x = \frac{0,02 + 2 \cdot R_m \cdot 10^4}{5} = \frac{0,02 + 2 \cdot 800 \cdot 10^4}{5} = 0,0354 \quad (41)$$

$$1,5 = \frac{49 - 0,0354 \cdot \frac{1,5852 \cdot F_{hš}}{S_3}}{0,2852 \cdot \frac{F_{hš}}{S_3}} \quad (43)$$

$$F_{hš} = \frac{49 \cdot S_3}{1,5 \cdot 0,2852 + 0,0354 \cdot 1,5852} = \frac{49 \cdot 76,248}{1,5 \cdot 0,2852 + 0,0354 \cdot 1,5852} = 7720 \text{ N}$$

$$\sigma_{Q_0} = \frac{Q_0}{S_3} = \frac{1,5852 \cdot F_{hš}}{S_3} = \frac{1,5852 \cdot 7720}{76,248} = 160,5 \text{ N/mm}^2 \quad (38)$$

$$\sigma_{Q_{1a}} = \frac{Q_{1a}}{S_3} = \frac{0,2852 \cdot F_{hš}}{S_3} = \frac{0,2852 \cdot 7720}{76,248} = 28,9 \text{ N/mm}^2 \quad (39)$$

$$k_\sigma = \frac{\sigma_{c(-1)}^x - \Psi_\sigma^x \cdot \sigma_{Q_0}}{\sigma_{Q_{1a}}} = \frac{49 - 0,0354 \cdot 160,5}{28,9} = 1,5 \quad (42)$$

### Výpočet maximálně zatěžující síly přes desku:

Materiál EN-AW 1050A

$$R_m = 65 \text{ N/mm}^2$$

$$R_e = 20 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c(-1)} = 6 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 0,7 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$S = \frac{\pi \cdot [(2,5 \cdot D)^2 - D^2]}{4} = 696,8 \text{ mm}^2 \quad (44)$$

$$\sigma_{c(-1)}^x = \frac{\sigma_{c(-1)}}{5} = \frac{6}{5} = 1,2 \text{ N/mm}^2 \quad (40)$$

$$\psi_\sigma^x = \frac{0,02 + 2 \cdot R_m \cdot 10^4}{5} = \frac{0,02 + 2 \cdot 65 \cdot 10^4}{5} = 0,0066 \quad (41)$$

$$1,5 = \frac{1,2 - 0,0066 \cdot \frac{1,5852 \cdot F_{h\delta}}{S}}{\frac{0,2852 \cdot F_{h\delta}}{S}} \quad (43)$$

$$F_{hD} = \frac{1,2 \cdot S}{1,5 \cdot 0,2852 + 0,0066 \cdot 1,5852} = \frac{1,2 \cdot 76,248}{1,5 \cdot 0,2852 + 0,0066 \cdot 1,5852} = 1908,3 \text{ N}$$

$$\sigma_{Q_0} = \frac{Q_0}{S} = \frac{1,5852 \cdot F_{h\delta}}{S} = \frac{1,5852 \cdot 1908,3}{696,8} = 4,3 \text{ N/mm}^2 \quad (38)$$

$$\sigma_{Q_{1a}} = \frac{Q_{1a}}{S} = \frac{0,2852 \cdot F_{hD}}{S} = \frac{0,2852 \cdot 1908,3}{696,8} = 0,78 \text{ N/mm}^2 \quad (39)$$

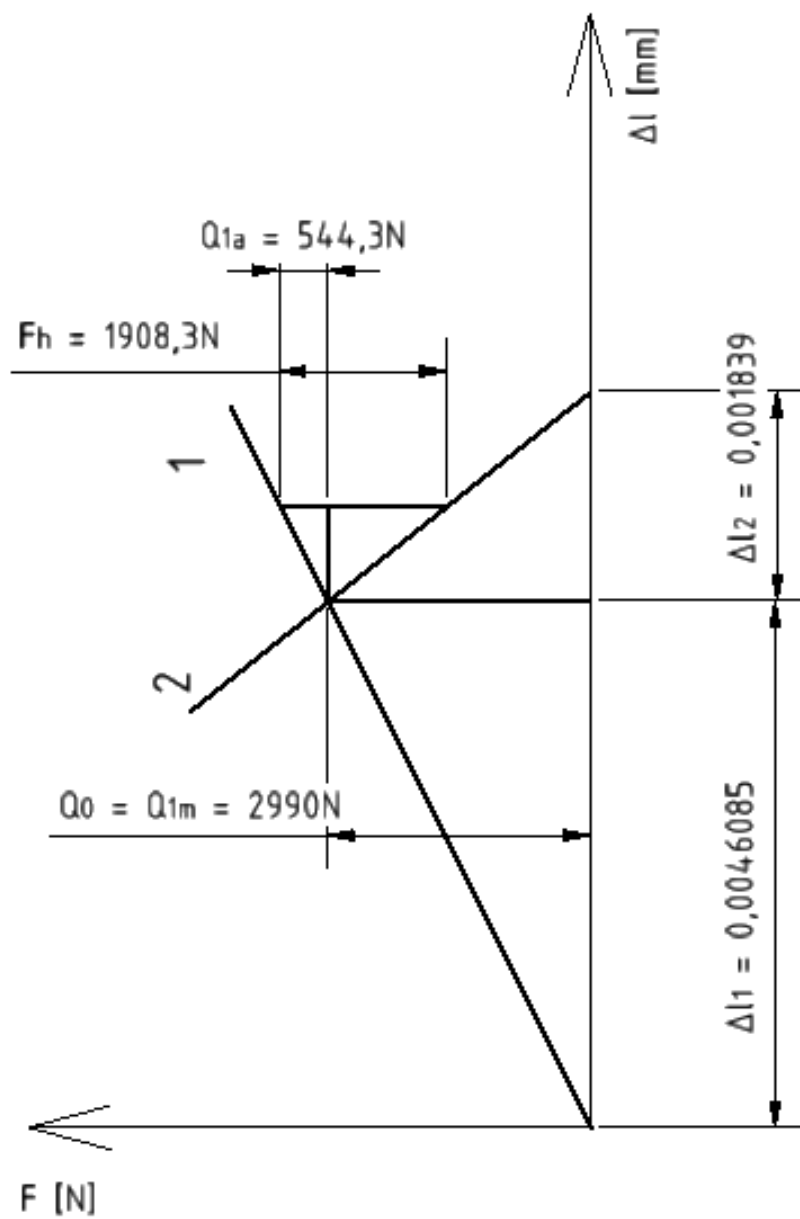
$$k_\sigma = \frac{\sigma_{c(-1)}^x - \psi_\sigma^x \cdot \sigma_{Q_0}}{\sigma_{Q_{1a}}} = \frac{1,2 - 0,0066 \cdot 4,3}{0,78} = 1,5 \quad (42)$$

$$Q_0 = 1,567 \cdot F_{hD} = 1,567 \cdot 1908,3 = 2990 \text{ N} \quad (36)$$

$$Q_{1a} = 0,2852 \cdot F_{hD} = 0,2852 \cdot 1908,3 = 544,3 \text{ N} \quad (37)$$

$$\Delta l_1 = \frac{Q_0}{C_1} = \frac{2990}{0,6488 \cdot 10^6} = 0,0046085 \text{ mm} \quad (45)$$

$$\Delta l_2 = \frac{Q_0}{C_2} = \frac{2990}{1,626 \cdot 10^6} = 0,001839 \text{ mm}$$



Obr.87 Diagram



## Výpočet maximálně zatěžující síly přes desku

Materiál EN-AW 6060

$$R_m = 245 \text{ N/mm}^2$$

$$R_e = 195 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c(-)} = 58,5 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 0,7 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$S = \frac{\pi \cdot [(2,5 \cdot D)^2 - D^2]}{4} = 696,8 \text{ mm}^2 \quad (44)$$

$$\sigma_{c(-)}^x = \frac{\sigma_{c(-)}}{5} = \frac{58,5}{5} = 11,7 \text{ N/mm}^2 \quad (40)$$

$$\psi_\sigma^x = \frac{0,02 + 2 \cdot R_m \cdot 10^4}{5} = \frac{0,02 + 2 \cdot 245 \cdot 10^4}{5} = 0,0138 \quad (41)$$

$$1,5 = \frac{11,7 - 0,0138 \cdot \frac{1,585 \cdot 2 \cdot F_{hD}}{S}}{0,285 \cdot 2 \cdot \frac{F_{hS}}{S}} \quad (43)$$

$$F_{hD} = \frac{11,7 \cdot S}{1,5 \cdot 0,285 \cdot 2 + 0,0138 \cdot 1,585 \cdot 2} = \frac{11,7 \cdot 696,8}{1,5 \cdot 0,285 \cdot 2 + 0,0138 \cdot 1,585 \cdot 2} = 18\,129 \text{ N}$$

$$\sigma_{Q_0} = \frac{Q_0}{S} = \frac{1,585 \cdot 2 \cdot F_{hD}}{S} = \frac{1,585 \cdot 2 \cdot 18\,129}{696,8} = 41,24 \text{ N/mm}^2 \quad (38)$$

$$\sigma_{Q_{1a}} = \frac{Q_{1a}}{S} = \frac{0,285 \cdot 2 \cdot F_{hS}}{S} = \frac{0,285 \cdot 2 \cdot 18\,129}{696,8} = 7,42 \text{ N/mm}^2 \quad (39)$$

$$k_\sigma = \frac{\sigma_{c(-)}^x - \psi_\sigma^x \cdot \sigma_{Q_0}}{\sigma_{Q_{1a}}} = \frac{11,7 - 0,0138 \cdot 41,24}{7,42} = 1,5 \quad (42)$$

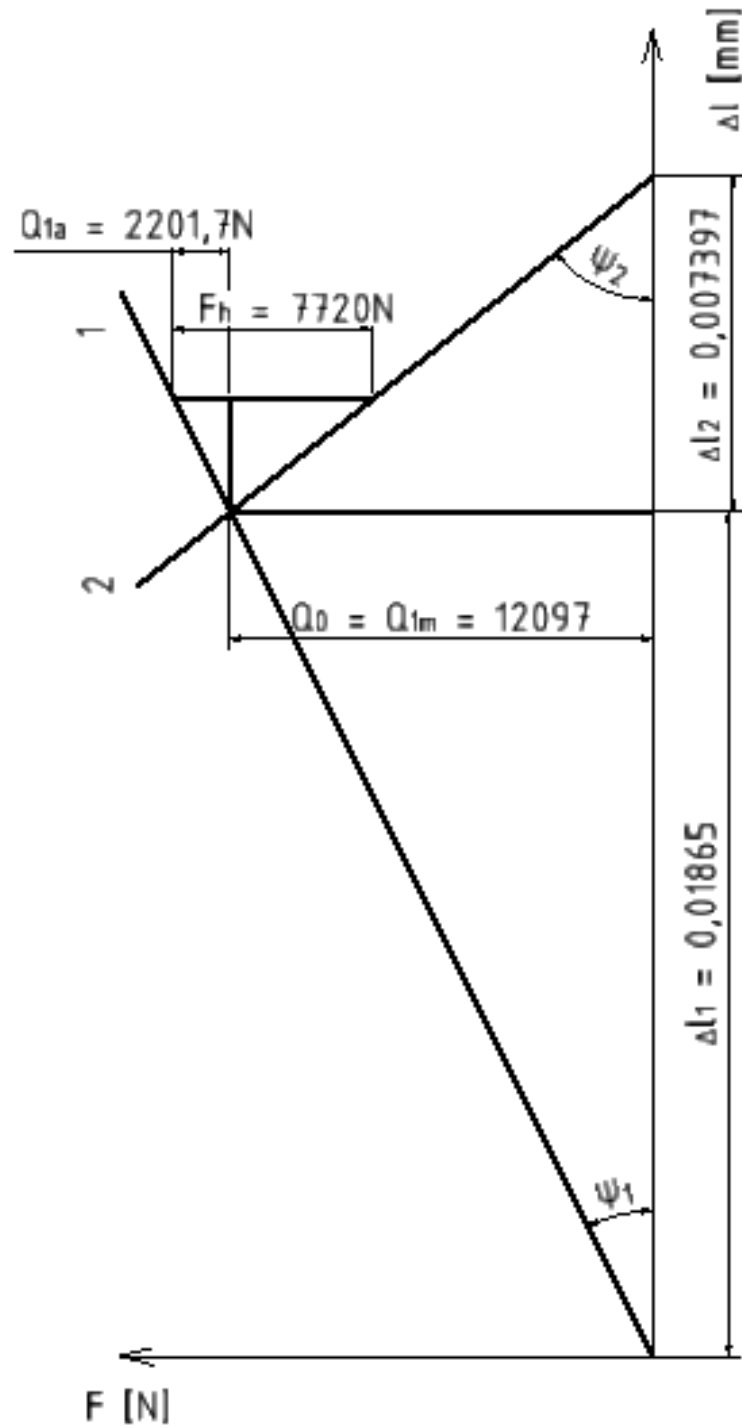
**Předpětí pro tento spoj bude počítáno ze šroubu, který má menší pevnost:**

$$Q_0 = 1,567 \cdot F_{hS} = 1,567 \cdot 7\,720 = 12\,097 \text{ N} \quad (36)$$

$$Q_{1a} = 0,2852 \cdot F_{hS} = 0,2852 \cdot 7\,720 = 2\,201,7 \text{ N} \quad (37)$$

$$\Delta l_1 = \frac{Q_0}{C_1} = \frac{12\,097}{0,6488 \cdot 10^6} = 0,01865 \text{ mm} \quad (45)$$

$$\Delta l_2 = \frac{Q_0}{C_2} = \frac{12\,097}{1,626 \cdot 10^6} = 0,007397 \text{ mm}$$



Obr.88 Diagram

### Rozměry závitu – M8 8.8

$$\begin{aligned} d_3 &= 6,466\text{mm} & d_2 &= 7,188\text{mm} \\ P &= 1,25\text{mm} & S_3 &= 32,837\text{mm}^2 \\ R_m &= 800\text{N/mm}^2 & R_e &= 640\text{N/mm}^2 \\ \sigma_{C(-1)} &= 245\text{N/mm}^2 & E &= 2,1 \cdot 10^5 \text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

### Výpočet tuhosti šroubu

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{E} \cdot \frac{l}{S_s} = \frac{1}{2,1 \cdot 10^5} \cdot \frac{20}{\frac{\pi \cdot 7,188^2}{4}} = 2,347 \cdot 10^{-6} \quad (18)$$

$$C_1 = C_s = 0,426 \cdot 10^6 \text{N/mm}$$

### Výpočet tuhosti desky

$$C_2 = C_d = \frac{\pi \cdot E}{4 \cdot l} \cdot [(2,5 \cdot D)^2 - D^2] = \frac{\pi \cdot 0,7 \cdot 10^5}{4 \cdot 20} \cdot [(2,5 \cdot 9)^2 - 9^2] = 1,169 \cdot 10^6 \text{N/mm} \quad (15)$$

### Výpočet maximálně zatěžující síly přes šroub

$$Q_0 = Q_{1m} = \left(1,3 + \frac{C_1}{C_1 + C_2}\right) \cdot F_{hS} = \left(1,3 + \frac{0,426}{0,426 + 1,169}\right) \cdot F_{hS} = 1,567 \cdot F_{hS} \quad (36)$$

$$Q_{1a} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \cdot F_{hS} = \frac{0,426}{0,426 + 1,169} \cdot F_{hS} = 0,267 \cdot F_{hS} \quad (37)$$

$$\sigma_{c(-1)}^x = \frac{\sigma_{c(-1)}}{5} = \frac{245}{5} = 49 \text{N/mm}^2 \quad (40)$$

$$\psi_\sigma^x = \frac{0,02 + 2 \cdot R_m \cdot 10^4}{5} = \frac{0,02 + 2 \cdot 800 \cdot 10^4}{5} = 0,0354 \quad (41)$$

$$1,5 = \frac{49 - 0,0354 \cdot \frac{1,567 \cdot F_{hS}}{S_3}}{\frac{0,267 \cdot F_{hS}}{S_3}} \quad (43)$$

$$F_{hS} = \frac{49 \cdot S_3}{1,5 \cdot 0,267 + 0,0354 \cdot 1,567} = \frac{49 \cdot 32,837}{1,5 \cdot 0,267 + 0,0354 \cdot 1,567} = 3\,529 \text{N}$$

$$\sigma_{Q_0} = \frac{Q_0}{S_3} = \frac{1,567 \cdot F_{hS}}{S_3} = \frac{1,567 \cdot 3\,529}{32,837} = 168,4 \text{N/mm}^2 \quad (38)$$

$$\sigma_{Q_{1a}} = \frac{Q_{1a}}{S_3} = \frac{0,267 \cdot F_{hS}}{S_3} = \frac{0,267 \cdot 3\,529}{32,837} = 28,7 \text{N/mm}^2 \quad (39)$$

$$k_\sigma = \frac{\sigma_{c(-1)}^x - \psi_\sigma^x \cdot \sigma_{Q_0}}{\sigma_{Q_{1a}}} = \frac{49 - 0,0354 \cdot 168,4}{28,7} = 1,5 \quad (42)$$

### Výpočet maximálně zatěžující síly přes desku:

Materiál EN-AW 1050A

$$R_m = 65 \text{ MPa} \qquad R_e = 20 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c(-1)} = 6 \text{ MPa} \qquad E = 0,7 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{\pi \cdot [(2,5 \cdot D)^2 - D^2]}{4} = 334 \text{ mm}^2 \quad (44)$$

$$\sigma_{c(-1)}^x = \frac{\sigma_{c(-1)}}{5} = \frac{6}{5} = 1,2 \text{ N/mm}^2 \quad (40)$$

$$\psi_\sigma^x = \frac{0,02 + 2 \cdot R_m \cdot 10^4}{5} = \frac{0,02 + 2 \cdot 65 \cdot 10^4}{5} = 0,0066 \quad (41)$$

$$1,5 = \frac{1,2 - 0,0066 \cdot \frac{1,567 \cdot F_{h\delta}}{S}}{\frac{0,267 \cdot F_{hD}}{S}} \quad (43)$$

$$F_{hD} = \frac{1,2 \cdot S}{1,5 \cdot 0,267 + 0,0066 \cdot 1,567} = \frac{1,2 \cdot 334}{1,5 \cdot 0,267 + 0,0066 \cdot 1,567} = 975,5 \text{ N}$$

$$\sigma_{Q_0} = \frac{Q_0}{S} = \frac{1,567 \cdot F_{hD}}{S} = \frac{1,567 \cdot 975,5}{334} = 4,576 \text{ N/mm}^2 \quad (38)$$

$$\sigma_{Q_{1a}} = \frac{Q_{1a}}{S} = \frac{0,267 \cdot F_{hD}}{S} = \frac{0,267 \cdot 975,5}{334} = 0,779 \text{ N/mm}^2 \quad (39)$$

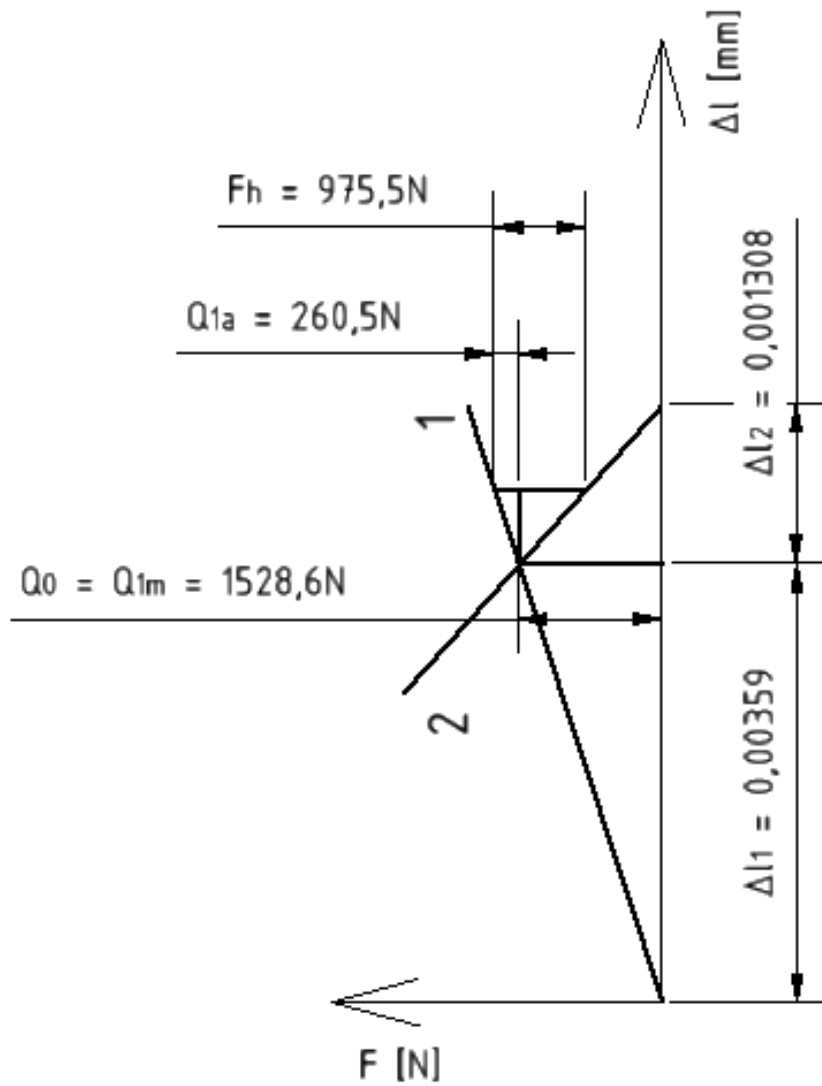
$$k_\sigma = \frac{\sigma_{c(-1)}^x - \psi_\sigma^x \cdot \sigma_{Q_0}}{\sigma_{Q_{1a}}} = \frac{1,2 - 0,0066 \cdot 4,576}{0,779} = 1,5 \quad (42)$$

$$Q_0 = 1,567 \cdot F_{hD} = 1,567 \cdot 975,5 = 1\,528,6 \text{ N} \quad (36)$$

$$Q_{1a} = 0,267 \cdot F_{hD} = 0,267 \cdot 975,5 = 260,5 \text{ N} \quad (37)$$

$$\Delta l_1 = \frac{Q_0}{C_1} = \frac{1\,528,6}{0,426 \cdot 10^6} = 0,00359 \text{ mm} \quad (45)$$

$$\Delta l_2 = \frac{Q_0}{C_2} = \frac{1\,528,6}{1,169 \cdot 10^6} = 0,001308 \text{ mm}$$



Obr.89 Diagram

### Výpočet maximálně zatěžující síly přes desku:

#### Materiál EN-AW 6060

$$R_m = 245 \text{ MPa}$$

$$R_e = 195 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c(-1)} = 58,5 \text{ MPa}$$

$$E = 0,7 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{\pi \cdot [(2,5 \cdot D)^2 - D^2]}{4} = 334 \text{ mm}^2 \quad (44)$$

$$\sigma_{c(-1)}^x = \frac{\sigma_{c(-1)}}{5} = \frac{58,5}{5} = 11,7 \text{ N/mm}^2 \quad (40)$$

$$\psi_\sigma^x = \frac{0,02 + 2 \cdot R_m \cdot 10^4}{5} = \frac{0,02 + 2 \cdot 245 \cdot 10^4}{5} = 0,013 \text{ 8} \quad (41)$$

$$1,5 = \frac{11,7 - 0,013 \text{ 8} \cdot \frac{1,567 \cdot F_{hS}}{S}}{\frac{0,267 \cdot F_{hS}}{S}} \quad (43)$$

$$F_{hD} = \frac{11,7 \cdot S}{1,5 \cdot 0,267 + 0,013 \text{ 8} \cdot 1,567} = \frac{11,7 \cdot 334}{1,5 \cdot 0,267 + 0,013 \text{ 8} \cdot 1,567} = 10 \text{ 329,6 N}$$

$$\sigma_{Q_0} = \frac{Q_0}{S} = \frac{1,567 \cdot F_{hD}}{S} = \frac{1,567 \cdot 10 \text{ 329,6}}{334} = 48,5 \text{ N/mm}^2 \quad (38)$$

$$\sigma_{Q_{1a}} = \frac{Q_{1a}}{S} = \frac{0,267 \cdot F_{hS}}{S} = \frac{0,267 \cdot 10 \text{ 329,6}}{334} = 8,25 \text{ N/mm}^2 \quad (39)$$

$$k_\sigma = \frac{\sigma_{c(-1)}^x - \psi_\sigma^x \cdot \sigma_{Q_0}}{\sigma_{Q_{1a}}} = \frac{11,7 - 0,0138 \cdot 48,5}{8,25} = 1,34 \quad (42)$$

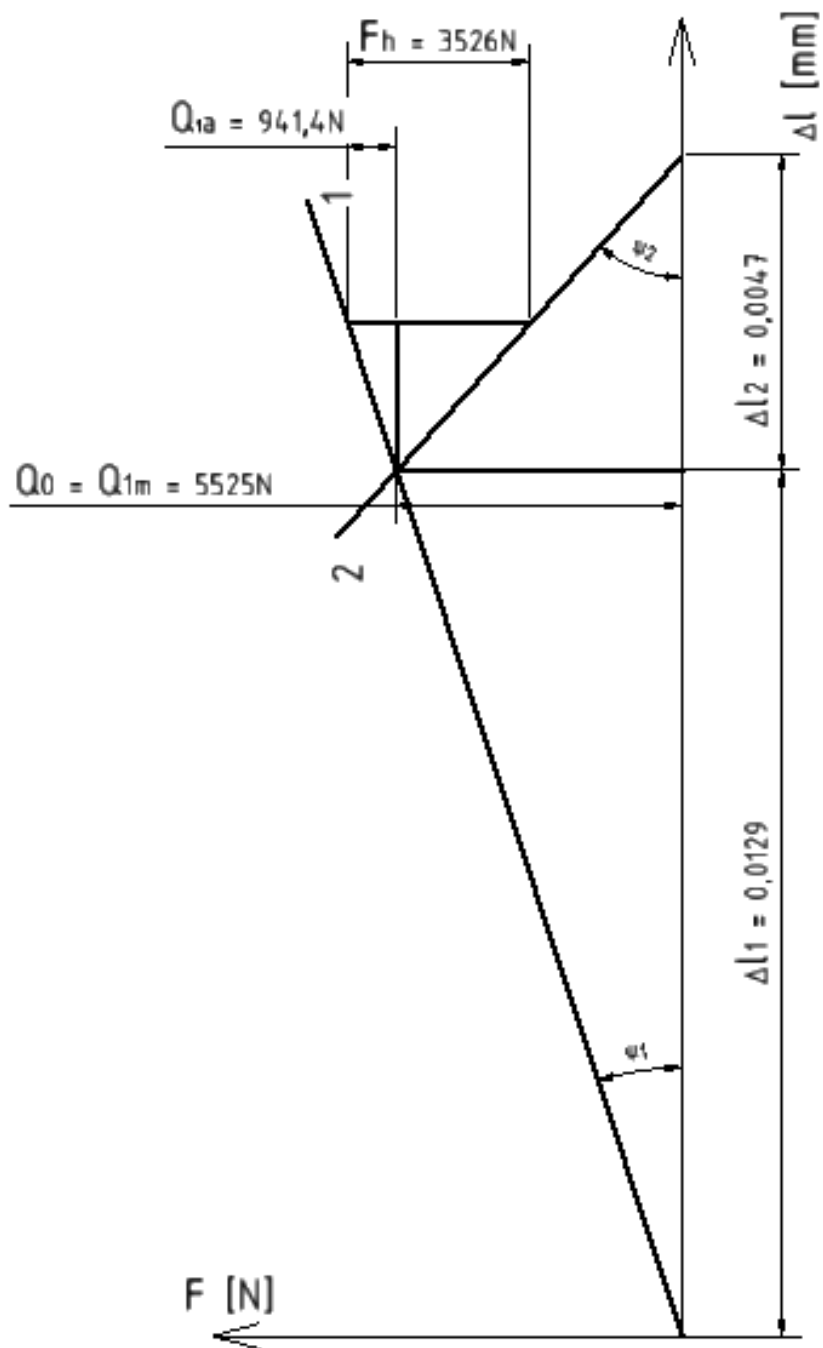
#### Předpětí pro tento spoj bude počítán ze šroubu ten má menší pevnost:

$$Q_0 = 1,567 \cdot F_{hS} = 1,567 \cdot 3 \text{ 526} = 5 \text{ 525 N} \quad (36)$$

$$Q_{1a} = 0,267 \cdot F_{hS} = 0,267 \cdot 3 \text{ 526} = 941,4 \text{ N} \quad (37)$$

$$\Delta l_1 = \frac{Q_0}{C_1} = \frac{5 \text{ 525}}{0,426 \cdot 10^6} = 0,012 \text{ 9 mm} \quad (45)$$

$$\Delta l_2 = \frac{Q_0}{C_2} = \frac{5 \text{ 525}}{1,169 \cdot 10^6} = 0,004 \text{ 7 mm}$$



Obr.90 Diagram

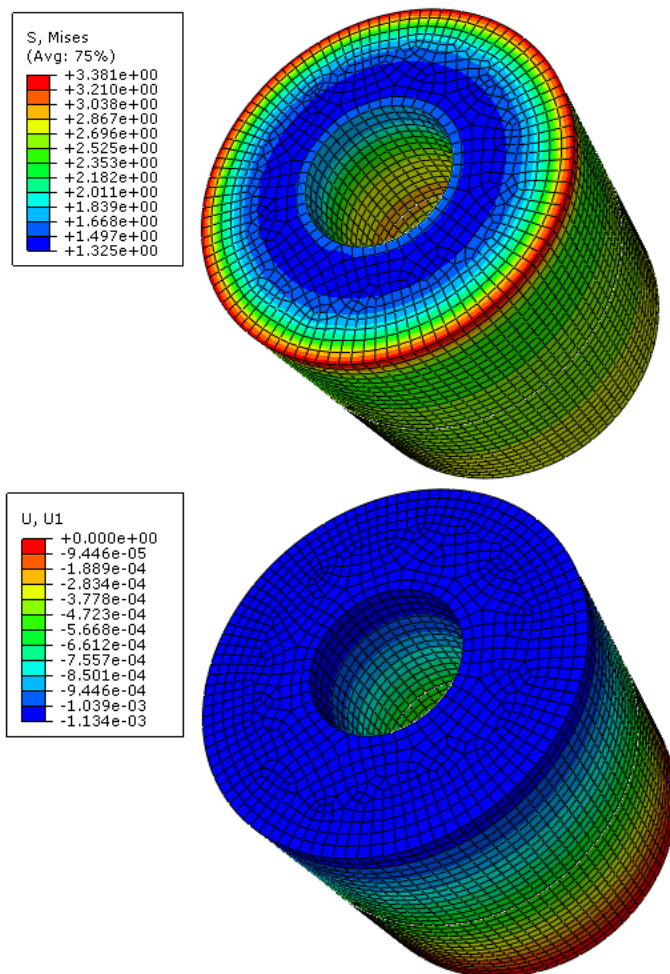


### 3.6 Porovnání výsledků MKP a analytických výpočtů:

Tato kapitola obsahuje MKP výpočty a jejich porovnání s analytickými výpočty jednotlivých metod výpočtů předepjatých spojů.

#### Výpočet tuhosti desek s dírou pro šroub metodou nahrazení mezikružší:

Deska je uložena pevně za spodní rovinnou část a má zde nadefinovaný nulový posuv do všech směrů. Na horní plochu působí tlaková síla o velikosti 1900N. Síť je vytvořena z hexa-dominantních prvků o velikosti 1mm. Provedl jsem statickou strukturální analýzu.



Obr.91 MKP mezikružší

První obr. znázorňuje napětí dle Misese [N/mm<sup>2</sup>] v druhém obr. je znázorněna celková deformace [mm].

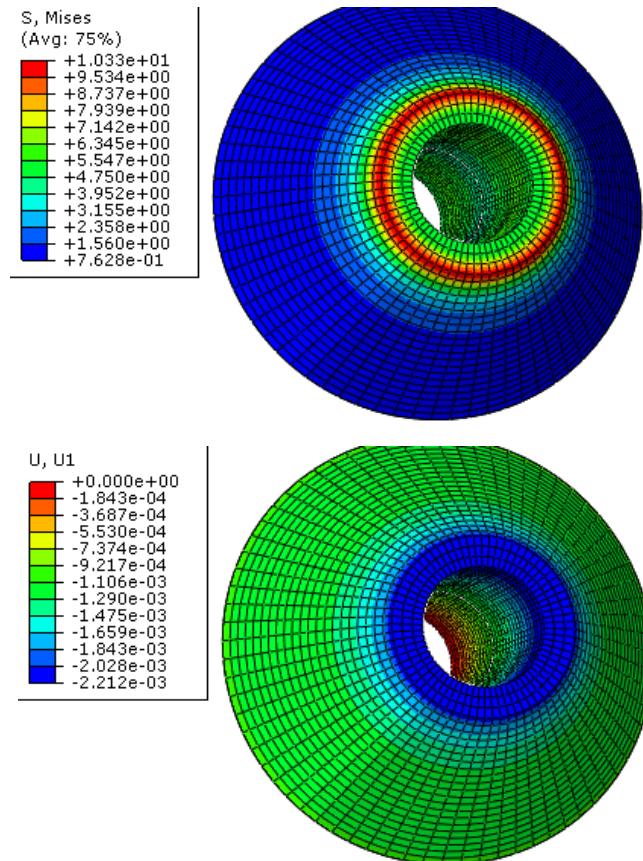
Výpočet pomocí **MKP** 
$$C = \frac{F}{\Delta l} = \frac{1900}{1,134 \cdot 10^{-3}} = 1,675 \cdot 10^6 \text{ N/mm} \quad (46)$$

Vzorec pro výpočet tuhosti  $C$  z MKP z deformace  $\Delta l$  [mm] a zatížení  $F$  [N].

**Analytický výpočet** 
$$C = 1,626 \cdot 10^6 \text{ N/mm}$$

## Výpočet tuhosti desek s dírou pro šroub M12 metodou nahrazení komolým kuželem Roetcherovou metodou ( $\alpha = 45^\circ$ ):

Kužel je uložen pevně za spodní rovinnou část a má zde nadefinovaný nulový posuv do všech směrů. Na horní plochu působí tlaková síla o velikosti 1900N. Síť je vytvořena z hexa-dominantních prvků o velikosti 1mm. Provedl jsem statickou strukturální analýzu.



Obr.92 MKP Roetcher

První obr. znázorňuje napětí dle Misese [ $N/mm^2$ ] v druhém obr. je znázorněna celková deformace [mm].

$$\text{Výpočet pomocí MKP } C = \frac{F}{\Delta l} = \frac{1\,900}{2,209 \cdot 10^{-3}} = 0,86 \cdot 10^6 \text{ N/mm} \quad (46)$$

**Analytický výpočet:**

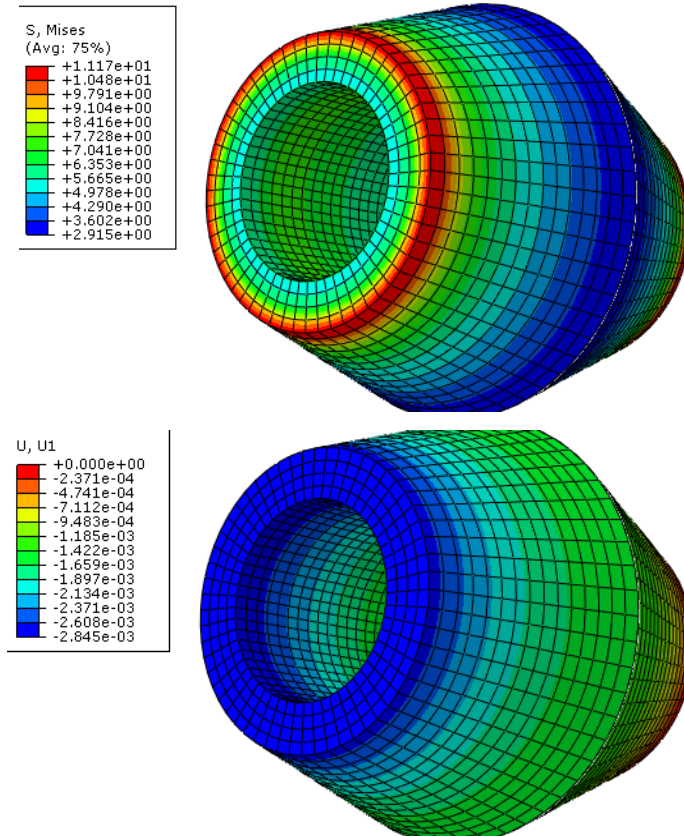
$$C_D = \frac{\pi \cdot E_D \cdot D \cdot \text{tg}(\alpha)}{2 \cdot \ln \left[ \frac{m+D}{m-D} \cdot \frac{m+l \cdot \text{tg}(\alpha) - D}{m+l \cdot \text{tg}(\alpha) + D} \right]}$$

$$C_D = \frac{\pi \cdot 0,7 \cdot 10^5 \cdot 13 \cdot 1}{2 \cdot \ln \left[ \frac{19,6+13}{19,6-13} \cdot \frac{19,6+30 \cdot 1 - 13}{19,6+30 \cdot 1 + 13} \right]} \quad (14)$$

$$C_D = 1,34 \cdot 10^6 \text{ N/mm}$$

## Výpočet tuhosti desek s dírou pro šroub M12 metodou nahrazení komolým kuželem VDI metodou pro hliník ( $\alpha=18,263^\circ$ ):

Kužel je uložen pevně za spodní rovinnou část a má zde nadefinovaný nulový posuv do všech směrů. Na horní plochu působí tlaková síla o velikosti 1900N. Síť je vytvořena z hexa-dominantních prvků o velikosti 1mm. Provedl jsem statickou strukturální analýzu.



Obr.93 MKP VDI

První obr. znázorňuje napětí dle Misese [ $N/mm^2$ ] v druhém obr. je znázorněna celková deformace [mm].

$$\text{Výpočet pomocí MKP } C = \frac{F}{\Delta l} = \frac{1\,900}{2,845 \cdot 10^{-3}} = 0,668 \cdot 10^6 \text{ N/mm} \quad (46)$$

$$C_D = \frac{\pi \cdot E_D \cdot D \cdot \text{tg}(\alpha)}{2 \cdot \ln \left[ \frac{m+D}{m-D} \cdot \frac{m+l \cdot \text{tg}(\alpha) - D}{m+l \cdot \text{tg}(\alpha) + D} \right]}$$

**Analytický výpočet:**

$$C_D = \frac{\pi \cdot 0,7 \cdot 10^5 \cdot 13 \cdot 0,33}{2 \cdot \ln \left[ \frac{19,6+13}{19,6-13} \cdot \frac{19,6+30 \cdot 0,33 - 13}{19,6+30 \cdot 0,33 + 13} \right]} \quad (14)$$

$$C_D = 0,724 \cdot 10^6 \text{ N/mm}$$

Tabulky č.6: Porovnání analytických výpočtů a MKP

Typ	Tuhost [ $\times 10^6$ N/mm]		Rozdíl [%]
	Analytický	MKP	
Mezikruží	1,626	1,675	3,014
Roetcherovou metodou	1,34	0,899	32,910
VDI	0,724	0,668	7,735

V tabulce můžete vidět jednotlivé analytické metody výpočtů tuhosti s porovnání MKP analýzou.

První metodou je výpočet spoje pomocí mezikruží, ta se liší od MKP jen o 3,014%. Výsledek MKP analýzy této metody jsou vidět na obr. 91. Další je Roetcherovou metodou která mezi MKP analýzou a analytickým výpočtem je velký rozdíl a to 32,91%. Výsledky MKP analýzy jsou vidět na obr. 92.

Poslední metoda, kterou jsem počítal je VDI hliníku a tam se liší hodnoty jen o 7,735%. MKP analýza této metody na obr. 93.

Tabulka č.7: Porovnání jednotlivých metod

Typ	Tuhost [ $\times 10^6$ N/mm]	Rozdíl [%]
Mezikruží	1,626	0
Roetcherovou metodou	1,34	17,589
VDI	0,724	55,474
Deska MKP	0,905	44,342

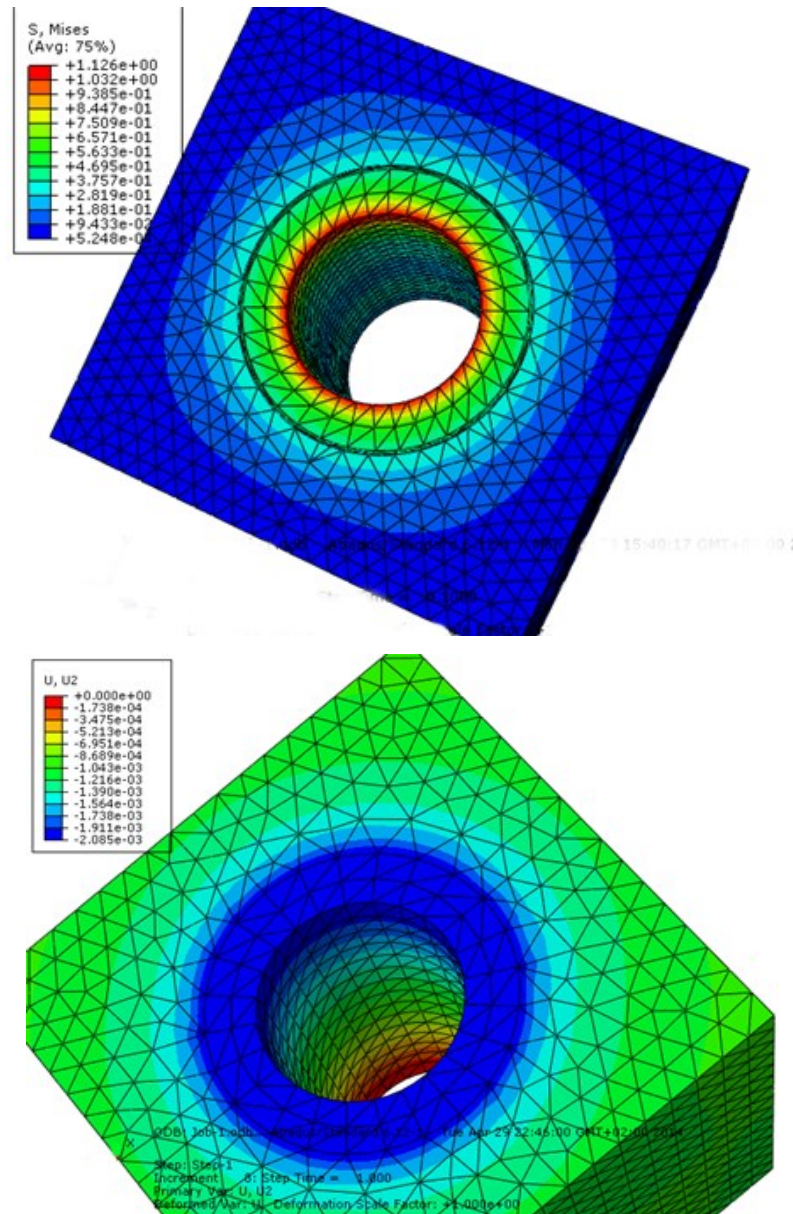
V této tabulce porovnávám jednotlivé metody výpočtu tuhostí. Jako 100% hodnota je brána metoda mezikruží, o 17,589% má menší tuhost Roetcherovou metodou. Další metoda je VDI hliník je o 55,474% menší. Je tu vidět porovnání i s MKP analýzou desky, která je o 44,342% menší. Výsledek této analýzy je vidět na obr. 97.



## Výsledky MKP analýzy přibližování ke skutečnému tvaru a zatěžování profilů:

### Přiblížení k profilu desky

Model je uložen pevně za spodní rovinnou část a má zde nadefinovaný nulový posuv do všech směrů. Na horní plochu působí tlaková síla o velikosti 1900N na kruhovou výseč o průměru 18mm. Síť je vytvořena z hexa-hedronových prvků o velikosti 1mm. Provedl jsem statickou strukturální analýzu.



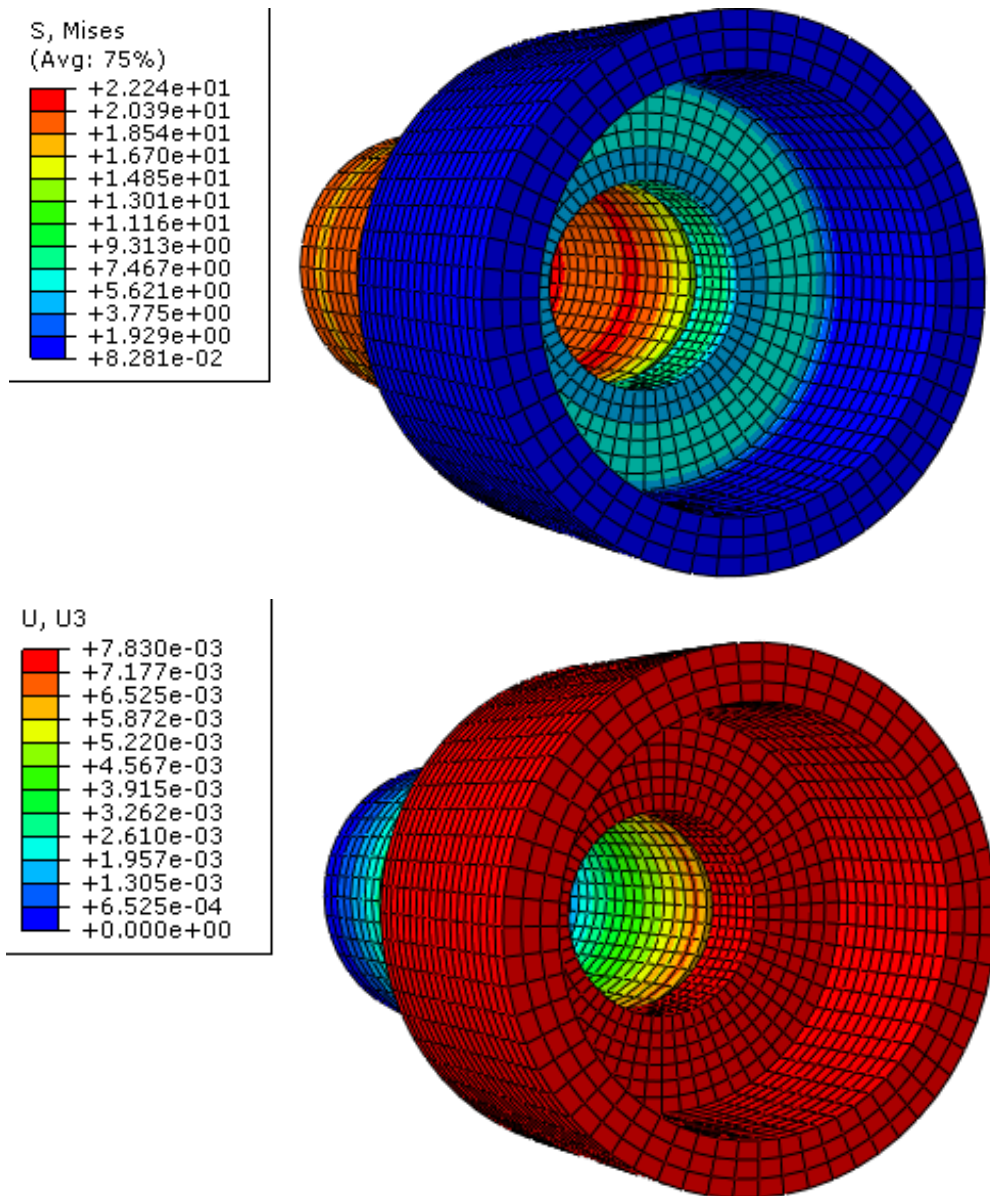
Obr.97 MKP desky

První obr. znázorňuje napětí dle Misesa [ $N/mm^2$ ] v druhém obr. je znázorněna celková deformace [mm].

$$C = \frac{F}{\Delta l} = \frac{1\,000}{2,058 \cdot 10^{-3}} = 0,923 \cdot 10^6 \text{ N/mm} \quad (46)$$

### Přiblížení k profilu s kruhovou plochou

Model je uložen pevně za spodní rovinnou část a má zde nadefinovaný nulový posuv do všech směrů. Na horní plochu působí tlaková síla o velikosti 1900N na kruhovou výseč o průměru 18mm. Síť je vytvořena z hexa-dominantních prvků o velikosti 1mm. Provedl jsem statickou strukturální analýzu.



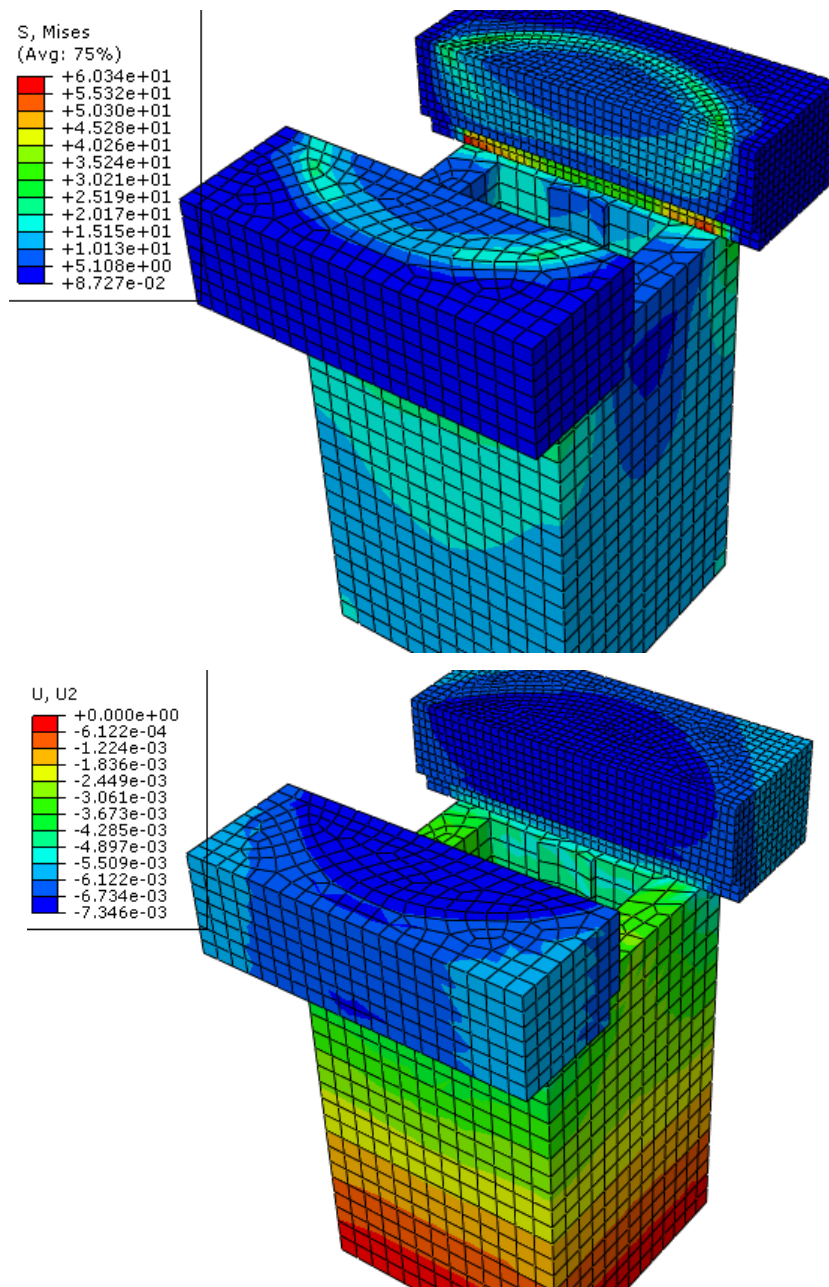
Obr.94 MKP kruhové

První obr. znázorňuje napětí dle Misese [N/mm<sup>2</sup>] v druhém obr. je znázorněna celková deformace [mm].

$$C = \frac{F}{\Delta l} = \frac{1\,900}{7,830 \cdot 10^{-3}} = 0,243 \cdot 10^6 \text{ N/mm} \quad (46)$$

## Model profilu

Model je uložen pevně za spodní rovinnou část a má zde nadefinovaný nulový posuv do všech směrů. Na horní plochu působí tlaková síla o velikosti 1900N na kruhovou výseč o průměru 18mm. Síť je vytvořena z hexa-dominantních prvků o velikosti 1mm. Provedl jsem statickou strukturální analýzu.



Obr.95 MKP kvádrové

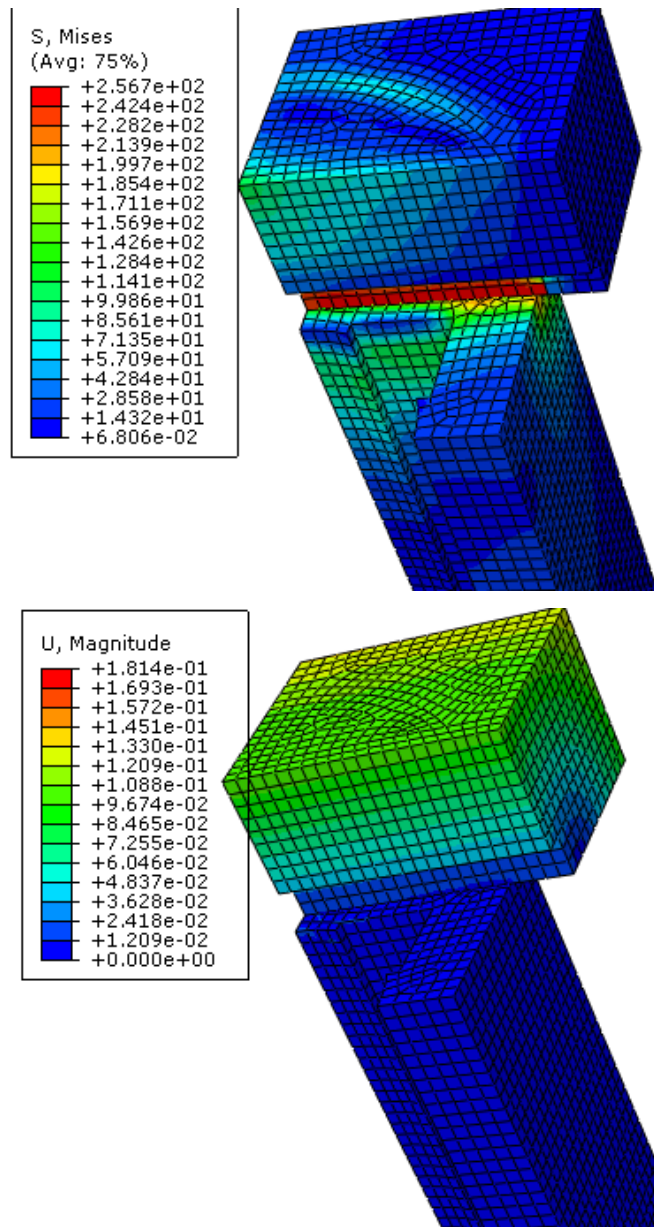
První obr. znázorňuje napětí dle Misese [ $N/mm^2$ ] v druhém obr. je znázorněna celková deformace [mm].

$$C = \frac{F}{\Delta l} = \frac{1\,900}{7,346 \cdot 10^{-3}} = 0,258 \cdot 10^6 \text{ N/mm} \quad (46)$$



### Model profilu s využitím symetričnosti

Model je uložen pevně za spodní rovinnou část a má zde nadefinovaný nulový posuv do všech směrů. Na horní plochu působí tlaková síla o velikosti 1900N na kruhovou výseč o průměru 18mm. Síť je vytvořena z hexa-dominantních prvků o velikosti 1mm. Provedl jsem statickou strukturální analýzu.



Obr.96 MKP kvádrové symetrie

První obr. znázorňuje napětí dle Misese [ $N/mm^2$ ] v druhém obr. je znázorněna celková deformace [mm].

$$C = \frac{F}{\Delta l} = \frac{250}{9,906 \cdot 9 \cdot 10^{-2}} = 0,252 \cdot 10^6 N / mm \quad (46)$$

Tabulka č.8: Porovnání MKP analýz

Typ MKP	Tuhost [ $\times 10^6$ N/mm]	Rozdíl [%]
Kvádrové	0,258	0
Kvádrové 1/4	0,252	2,326
Kruhové	0,243	5,814
Deska	0,905	250,775

V této tabulce je vidět porovnání MKP analýz přiblížení k reálnému předpětí v profilech. Tyto výsledky jsou vidět na obr. 94 až 96.

Jako 100% beru kvádrový typ MKP a k této hodnotě ostatní porovnávám.

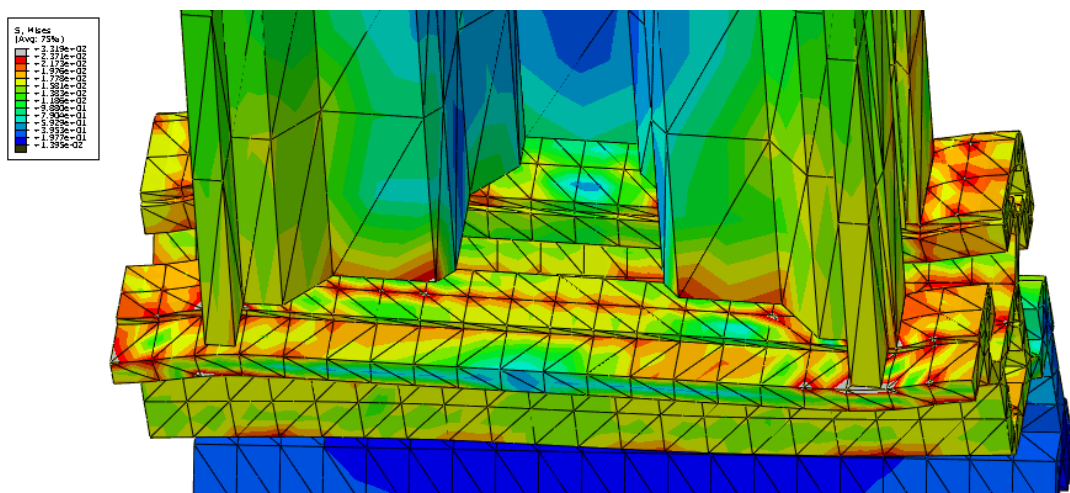
Využití symetričnosti dojdeme jen k malému rozdílu (2,326%), ale symetrií se ušetří mnoho elementů a tím je možnost je zmenšit.

Dále nahrazení profilu pomocí kruhových trubek má rozdíl jen 5,814%.

Pro ty samé hodnoty výpočet desky vyjde 2,5x větší tuhost.

### MKP přiblížení spoje profilů:

Model je uložen pevně za spodní část dolního profilu a má zde nadefinovaný nulový posuv do všech směrů, horní profil je k němu připevněn na pevně a působí na něj tahová síla o velikosti 2000N. Síť je vytvořena z hexa-hedronových prvků o velikosti 1mm v důležité části dolního profilu. Provedl jsem statickou strukturální analýzu.



Obr.98 MKP Spojie centrálním šroubem

## 4 Experimentální měření

Tato část je zaměřena na metodiku experimentálního měření a vyhodnocování výsledků.

### 4.1 Návod na měření

Testovaná délka profilu 20x20 až 60x60 – 400mm, ale potřebná délka měřeného profilu 500mm.

Testovaná délka profilu 80x80 až 100x100 – 800mm, ale potřebná délka měřeného profilu 900mm.

Délka profilu upevněného ve svěráku je vždy 100mm.

1) Upevníme hliníkový profil s testovaným šroubovým spojem, začneme zatěžovat silou, která se pomalu lineárně zvyšuje do doby, než dojde k trvalé deformaci spoje. Pomocí silového čidla a čidla polohy, vytvoříme trhací diagram. Z něho zjistíme mez kluzu  $R_{p0,2}$ .

2) Další spoje zatěžujeme dynamicky, abychom vytvořili křivky životnosti. Zátěž provádíme nižším zatížením než je mez kluzu a zjistíme počet cyklů, při kterých dojde k porušení. Pro další testování opět napětí snížíme. Tímto způsobem pokračujeme až do zatížení, při kterém nedojde k porušení spoje při více než  $10^7$  cyklů. Tuto hodnotu nazýváme mez únavy  $\sigma_{c(-1)}$ .

3) Celé měření můžeme provádět při jiných podmínkách a zjišťovat jak ty to podmínky ovlivní životnost a pevnost spoje.

Měnit můžeme předpětí šroubů, vliv výrobní a geometrické přesnosti (např.: přesnost kolmosti řezu, přesnosti velikosti a polohy díry pro rychlospojky), rychlost a velikost rázů, vliv teploty.

4) V průběhu testování také můžeme zjišťovat, jestli se spoj bude samovolně povolovat.

## 4.2 Měřicí čidla a přístroje

Bude měřena výchylka profilu a síla na profil působící. Výsledky se zanesou do trhacího diagramu. Dojde se k zjištění  $R_{p0,2}$ , který dále použiji k měření životnosti. Rozšířením o odečítání počtu cyklů lze vykreslit body Wöhlerovu křivku.

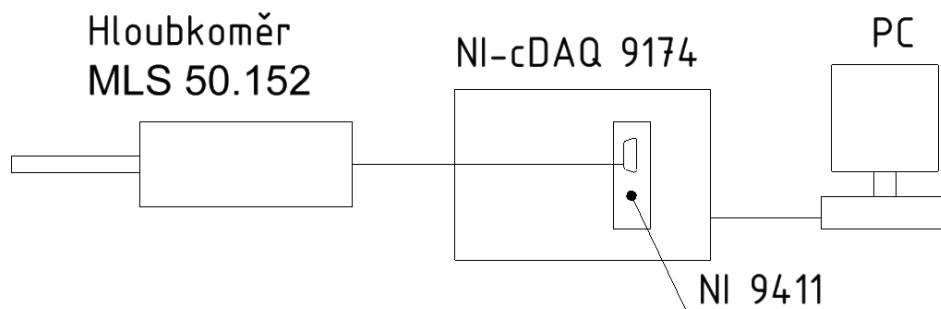
- Měřím:
- a) Polohu (počet cyklů)
  - b) Sílu

### 4.2.A Poloha

Bude měřena hloubkoměrem MSL 50.152 od firmy LARM vis. Příloha č. 11.

Měření s rozsahem  $5\mu\text{m}$  a s přesností  $5/4 = 1,25\mu\text{m}$ .

Podrobné schéma zapojení v příloze č.18.



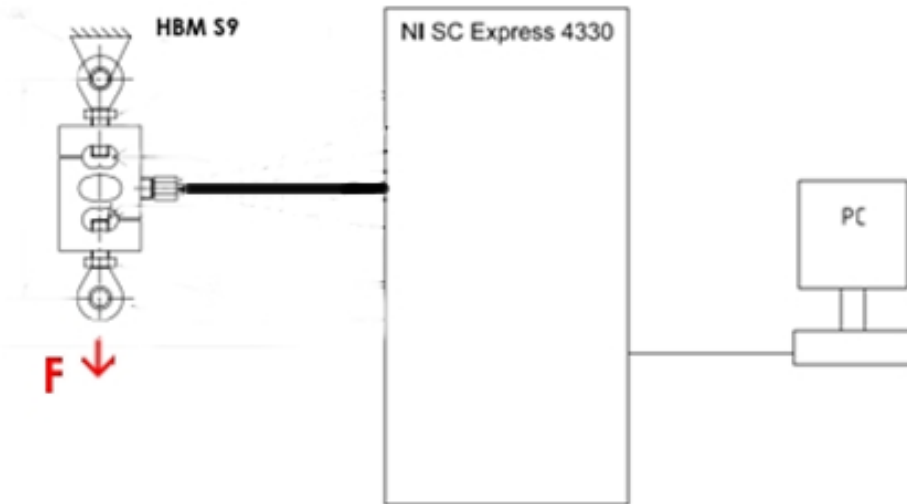
Obr.99 Schéma zapojení hloubkoměru



Obr.100 Hloubkoměr

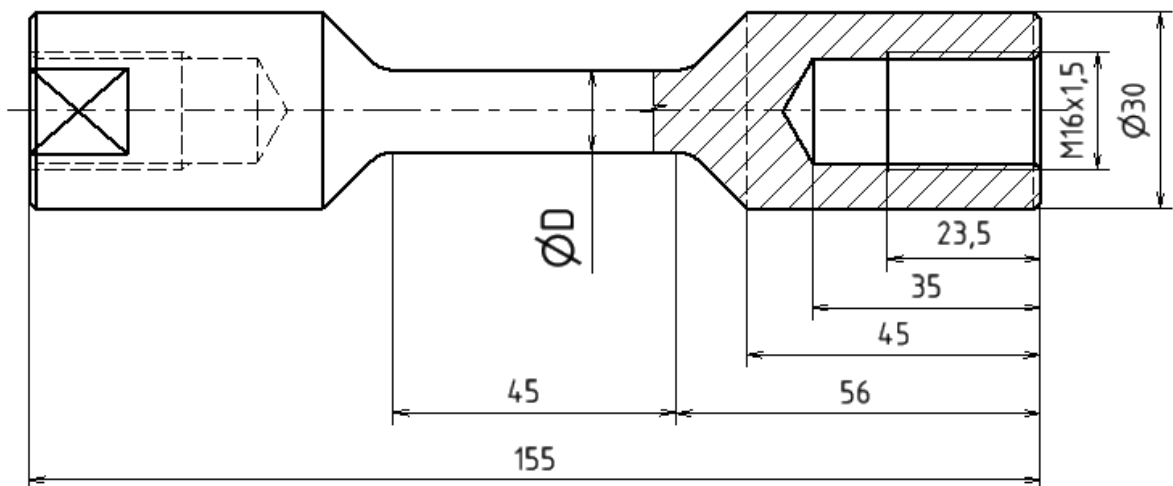
## 4.2.B Síla

Bude měřena do 10kN pomocí silového čidla S9 od firmy HBM vis. příloha č. 10. Měřená bude s přesností  $\pm 5\text{N}$ .

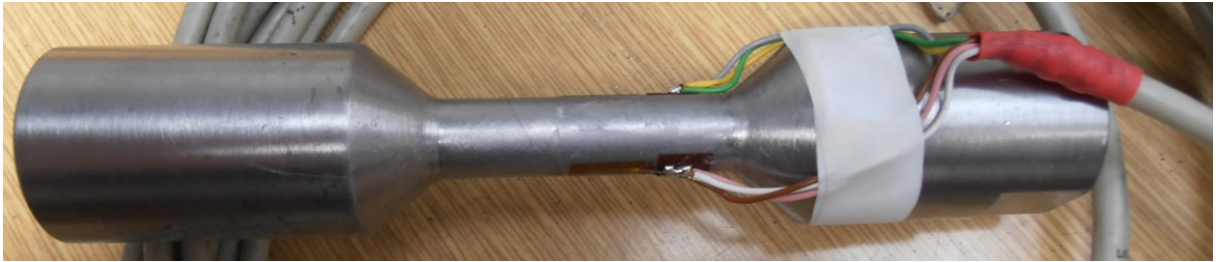


Obr.101 Schéma zapojení silového čidla

Pro síly větší než 10kN bude měřena pomocí silových čidel LK. Průměr  $D$  válcovitá část čidla, na který se doprostřed nalepí tenzometry, byl napočítán pro zatížení do 22, 18 a 12,5kN pro tlak  $100\text{N}/\text{mm}^2$ .



Obr.102 Silové čidlo LK1



Obr.103 Silové čidlo LK1

$$D_{12,5} = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 12\,500}{\pi \cdot 100}} = 12,62\text{mm} \quad (47)$$

$$D_{18} = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 18\,000}{\pi \cdot 100}} = 15,14\text{mm} \quad (47)$$

$$D_{22} = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 22\,000}{\pi \cdot 100}} = 16,73\text{mm} \quad (47)$$

Z důvodu usnadnění výroby budou jen 2 silová čidla LK a to pro rozsah 10 – 14kN průměr  $D = 12,35\text{mm}$  a pro 15 – 20kN  $D=16\text{mm}$ . Tyto úpravy jejich přesnost neovlivní. Výrobní výkres v příloze č.14.

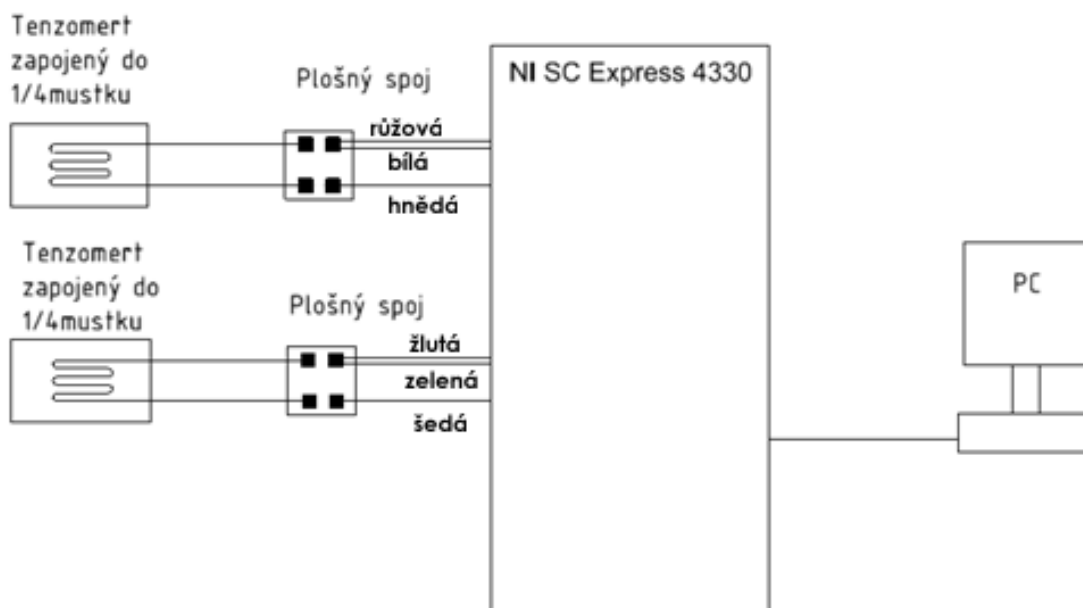
### Tenzometry:

Použiji plošné pole LS5 od firmy HBM viz příloha č. 12

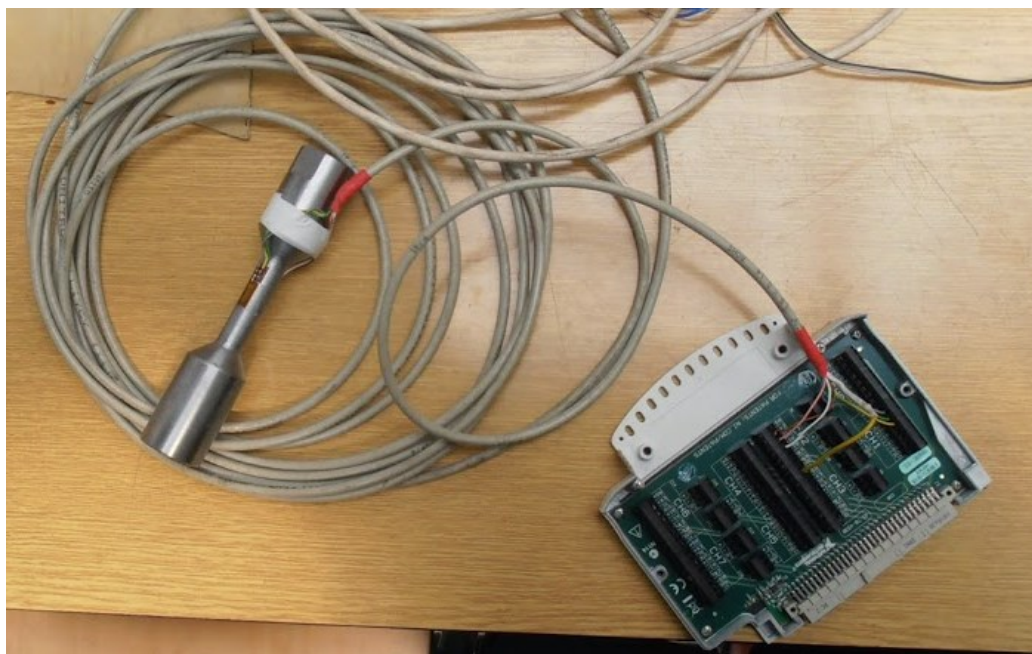
Tenzometry LY 11 6/120 od firmy HBM viz příloha č. 12 s odporem  $120\Omega \pm 0,35\%$  a k-faktorem  $2,04 \pm 1\%$ .

Tenzometry nalepené na válci jsou zapojeny do čtvrt můstku ležící přesně naproti sobě. Měříme jimi jen tlak, a proto toto zapojení postačí. Jelikož tenzometry jsou zapojeny proti sobě, může díky tomu odečíst přídatný ohyb. Obecné informace a návod k jejich instalaci v příloze č.13 a schéma zapojení v příloze č.18.





Obr.104 Schéma zapojení silového čidla LK1



Obr.105 Zapojení silového čidla LK1

### Zabezpečení měření:

Pojištění proti vytažení celé délky pístu a tím porušení čidel, je píst naprogramován na maximální délku vytažení. Dále je tu k pojištění zarážka a proti samovolnému pádu se použije podpěra.

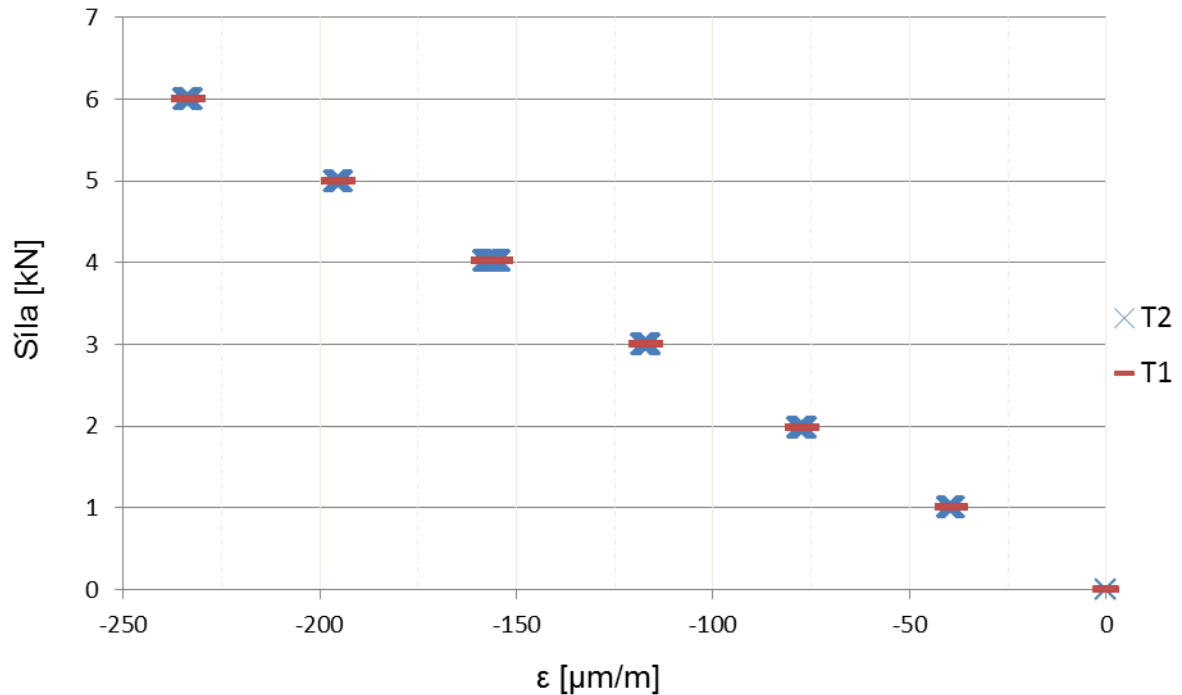


### 4.2.C Cejchování silového čidla LK1

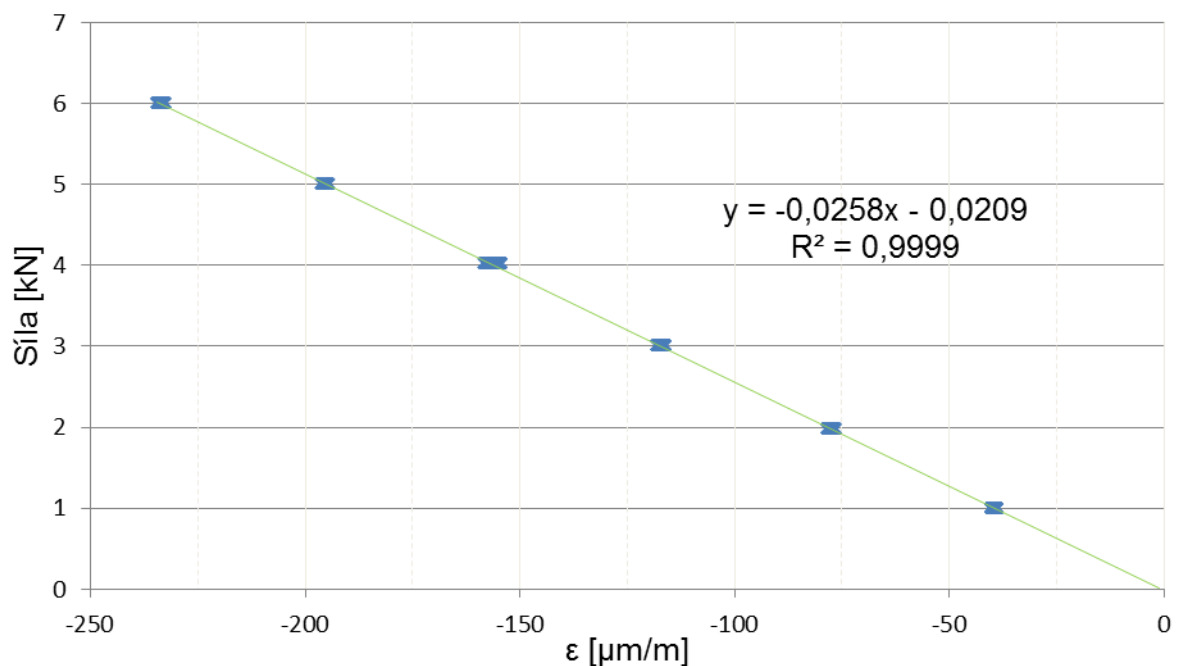
Proběhlo na univerzální trhačí stroj Heckert FPZ 100/1.

Hodnoty z tenzometrů přenášeny přes NI SC Express 4330 do PC. Následně upraveny do grafu ukazující průběh napětí.

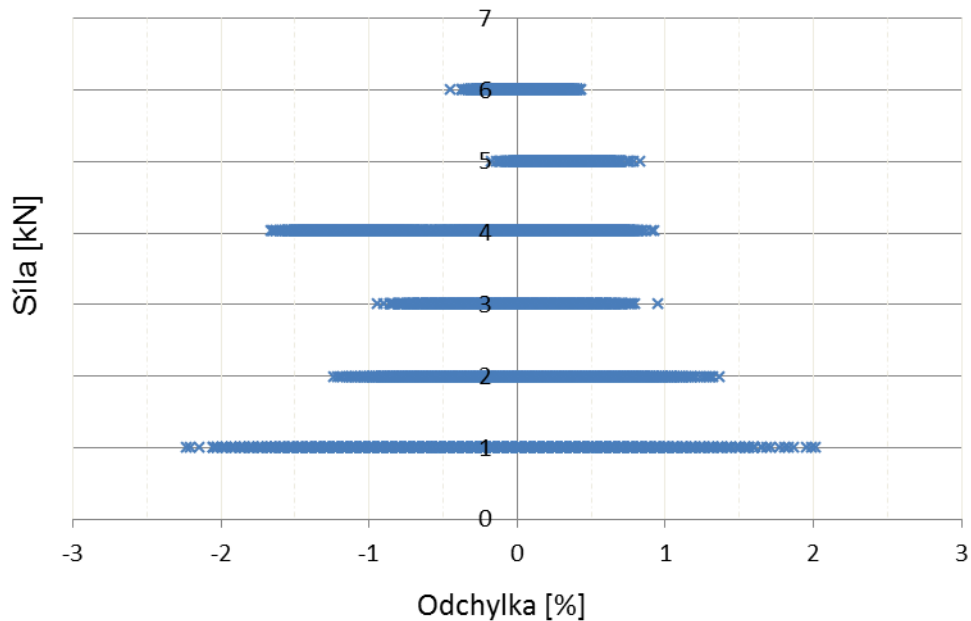
**Grafy:**



Obr.106 Graf cejchování silového čidla LK1



Obr.107 Graf s lineární regresí



Obr.108 Graf odchyly měření

### Závěr cejchování:

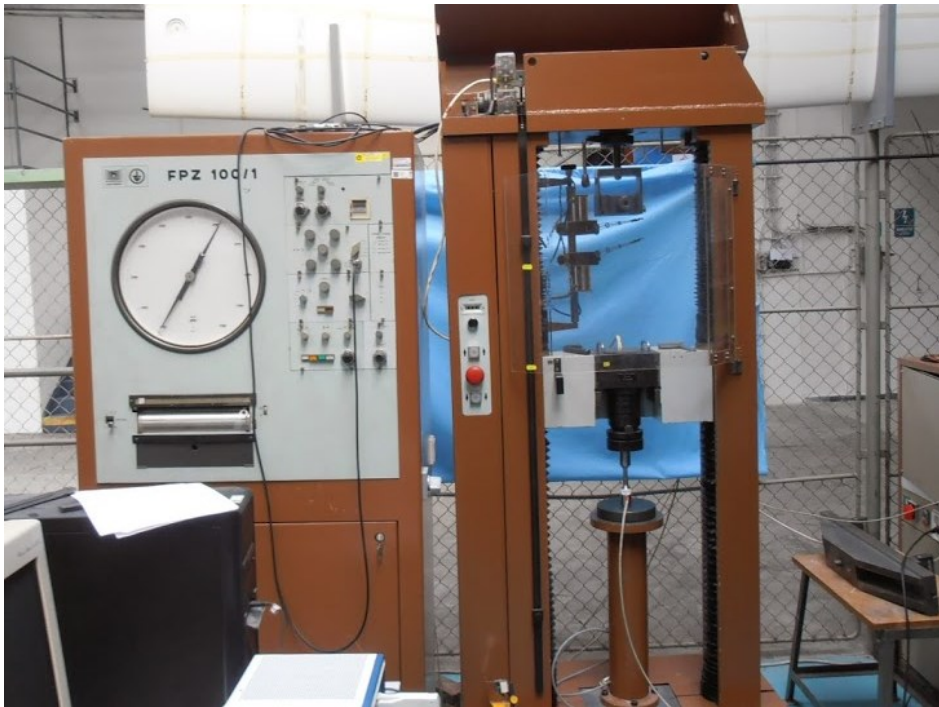
V grafu na obr. 105 je zaznamenán průběh obou tenzometrů. Ten je totožný a lineárně klesající.

Graf na obr. 106 znázorňuje průběh tlakové složky napětí čidla, který lineárně klesá se zatížením, jak jsem předpokládal.

Směrnice průběhu je  $y = -0,0258x - 0,0209$ , kde  $y$  představuje zatěžující sílu v kN a  $x$  poměrnou deformaci tenzometru v  $\mu\text{m}/\text{m}$ .

Graf na obr.107 zaznamenává odchylku měření v rozsahu  $\langle -2,23 ; 2,02 \rangle \%$ . Pro měření je postačující odchylka do 5%. Z toho plyne, že toto čidlo se může použít.

Chyba pro celý rozsah (2-12kN) měření je 0,653%.



*Obr.109 Průběh cejchování*



*Obr.110 Průběh cejchování*

#### 4.2.D Nejistoty měření

U každého přesného měření je potřeba vědět, jak přesně bylo měření provedeno. Nejistota měření je vyjádřena intervalem, ve kterém se nachází skutečná hodnota měřené veličiny s určitou pravděpodobností. Nejistota měření ovlivňuje nejen přesnost použitých přístrojů, ale také zvolená metoda měření a dále také nesmíme vyloučit vliv náhodných chyb. Podle způsobu vyhodnocení rozlišujeme nejistotu typu A nebo B. Jejich sloučením vzniká nejistota typu C (kombinovaná).[7]

Nejistota typu A – určována statistickými metodami ze změřených dat – náhodné vlivy

Nejistota typu B – dána z informací měřicího přístroje – chyby měření

Nejistota typu C – definovaná jako kombinovaná nejistota měření

#### Nejistoty tenzometrie

Nejistoty ohmického odporu tenzometru  $u_{BO}$  [%] a nejistota k-faktoru snímače  $u_{BK}$  [%] jsou dány výrobcem tenzometru.

Tabulka č.9: Dílčí nejistoty tenzometrických snímačů řady Y [111]

Veličina	Nejistota měření [%]
Ohmický odpor R [ $\Omega$ ]	$\pm 0,35$
k-faktor k [-]	$\pm 1$

Výsledná nejistota poměrné deformace  $\varepsilon$  [mm/m] je dána, kromě uvedených parametrů, také změnou odporu tenzometru. Nejistota změny odporu tenzometru je dána kalibrační hodnotou měřicího zesilovače. Předpokládáme-li, že na intervalu odchylky odporu tenzometru je rozdělení pravděpodobnosti odchylky výsledku měření pod tímto vlivem normální, redukuje se nejistota vztažená k odporu součinitelem hodnoty 3. Pak lze výpočtem stanovit nejistotu ohmického odporu  $u_{BO}$  [%] snímače následujícím způsobem:

$$u_{BO} = \frac{0,35\%}{3} = 0,12\% \quad (48)$$

**Příklad:**

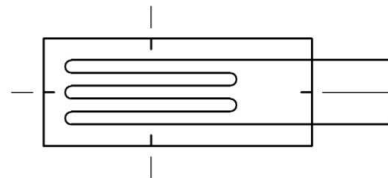
Pro tenzometr o jmenovitém odporu  $R = 120\Omega$  bude konkrétní nejistota odporu  $u_{BO} = 0,14\Omega$ .

Předpokládáme-li, že na intervalu odchyly K-faktoru snímače je rozdělení pravděpodobnosti odchyly výsledku měření pod tímto vlivem rovnoměrné, redukuje se nejistota vztažená ke k-faktoru součinitelem hodnoty 1,73. Pak lze výpočtem stanovit nejistotu k-faktoru snímače  $u_{BK} [\%]$  následujícím způsobem:

$$u_{BK} = \frac{1\%}{1,73} = 0,58\% \quad (49)$$

**Nejistota geometrie tenzometru –  $u_{B1}$**

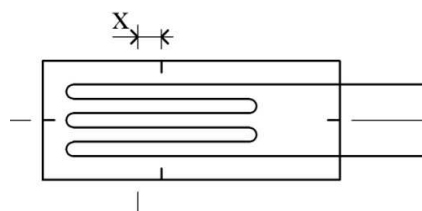
Nejistota geometrie tenzometru je ovlivněna přesností nalepení tenzometru na dané místo měřené součástky. Dané místo součástky musí být předem vyznačeno umístovacím křížem (viz obr. 100), který podle volby geometrie tenzometru udává, jak přesně má být nalepen.



Obr.111 Umístovací kříž tenzometru [22]

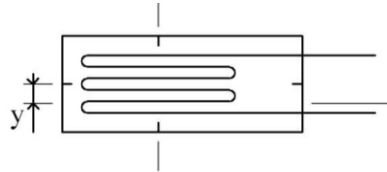
Pomocí vyznačeného umístovacího kříže tenzometru se velmi snížila nejistota geometrie, která je dána následujícími třemi faktory:

- $x$  [mm] posun = horizontální posunutí tenzometru



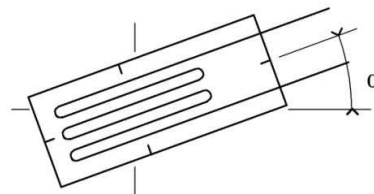
Obr.112 Horizontální posunutí tenzometru [22]

-  $y$  [mm] posun = vertikální posunutí tenzometru



Obr.113 Vertikální posunutí tenzometru [22]

-  $\alpha$  [°] natočení = úhel natočení tenzometru



Obr.114 Úhel natočení tenzometru [22]

Výrobci udávají, že největší poměrná deformace tenzometrů řady Y je  $50\,000\mu\text{m}/\text{m} = 50\text{mm}/\text{m}$ . Předpokládáme-li lineární nárůst deformace, je pak koeficient změny  $k$  [-] dán následujícím vztahem:

$$k = \frac{50}{y} \quad (50)$$

kde  $y$  [mm] je nejvzdálenější poloha hrany tenzometru vzhledem k neutrální ose.

Nejistotu měření poměrné deformace  $u_{B1y}$  [ $\mu\text{m}/\text{m}$ ] se stanovuje podle následujícího vztahu:

$$u_{B1y} = k \frac{\Delta y}{3} \quad (51)$$

kde  $\Delta y$  je definovaná přípustná míra nejistoty posunu 0,2mm. Předpokládáme, že pravděpodobnost odchylky měření je normální a součinitel hodnoty je 3.

„Příklad č.1:

V extrémním případě, kdy výška  $y$  je šířka tenzometru +0,2mm, tenzometr má šířku 9,5mm a při dosažení maximální poměrné deformace 50mm/m v krajním vlákne vzhledem k neutrální ose, je výpočtem stanovena možná nejistota měření  $u_{BKy}$  [mm/m] následovně:

$$u_{BKy} = \frac{50\text{mm}/\text{m}}{9,7\text{mm}} \cdot \frac{0,2\text{mm}}{3} = 0,3436\text{mm}/\text{m} \quad (51)$$

což při měřené maximální deformaci 25,5155mm/m činí 1,35%.

*Příklad č.2:*

V reálném případě výška  $y$  činí 100mm, tenzometr má šířku 9,5mm a při dosažení maximální poměrné deformace 50mm/m v krajním vlákne vzhledem k neutrální ose je výpočtem stanovena možná nejistota měření  $u_{BK_y}$  [mm/m] následovně:

$$u_{BK_y} = \frac{50\text{mm}/m}{100\text{mm}} \cdot \frac{0,2\text{mm}}{3} = 0,033 \text{ mm}/m \quad (51)$$

což při měřené maximální deformaci 47,625mm/m činí 0,07%.

Za předpokladu konstantní deformace v konstantní vzdálenosti od neutrální osy je nejistota měření z hlediska  $x$  [mm] posunu rovna nule, tedy  $u_{B1_x} = 0 \text{ } \mu\text{m}/m$ . Nejistota geometrie tenzometru pro poměrnou deformaci z hlediska natočení o úhel  $\alpha$  [°] závisí na velikosti měřené poměrné deformace  $\varepsilon$  [ $\mu\text{m}/m$ ] a úhlu natočení  $\alpha$  [°]. Pro definovanou přípustnou míru nejistoty natočení ( $\alpha = 5^\circ$ ) byla při znalosti Hookova zákona vypočtena hodnota poměrného přetvoření a stanovena hodnota nejistoty měření.

$$u_{BK_\alpha} = \frac{1,429 \cdot 10^{-5}}{3} = 4,76 \cdot 10^{-6} \text{ m}/m = 4,76 \mu\text{m}/m \quad (52)$$

Po dosazení výše uvedených hodnot do vztahu (52) můžeme vypočítat nejistotu geometrie tenzometru  $u_{B1}$  [ $\mu\text{m}/m$ ] pro poměrnou deformaci z hlediska natočení o úhel  $\alpha$  [°] následujícím způsobem:

$$u_{B1} = \sqrt{u_{B1_y}^2 + u_{B1_x}^2 + u_{B1_\alpha}^2} \quad (53)$$

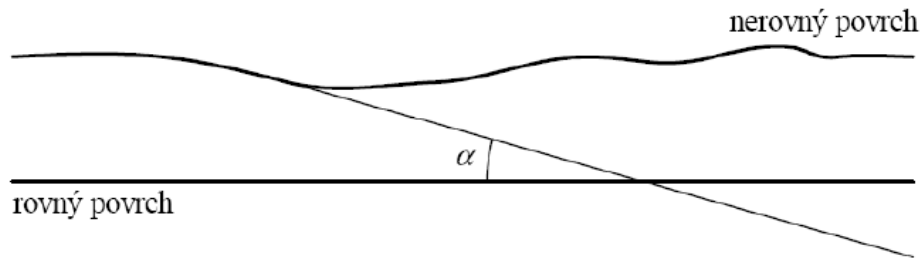
Vzhledem k tomu, že uvažujeme pouze s prutovými prvky zatíženými osovými silami je rozložení napětí v průřezu rovnoměrné a tedy hodnota nejistoty geometrie prutu  $u_{B1_x} = u_{B1_y} = 0 \text{ } \mu\text{m}/m$ . Nejistotu geometrie snímače  $u_{B1}$  [ $\mu\text{m}/m$ ] lze souhrnně vyjádřit podle následujícího vztahu:

$$u_{B1} = \sqrt{0 + 0 + 4,76^2} = 4,76 \mu\text{m}/m \quad (53)$$



### Nejistota geometrie kvality povrchu měřeného místa – $u_{B2}$

Abychom dodrželi pravidla lepení tenzometru, které lepíme pomocí speciálních tenzometrických lepidel, musíme povrch na daném místě obrousit a tím dojde k případným nerovnostem. Na obr. 104 je vidět jak po broušení povrch nezůstane dokonale rovný, jelikož se používá povětšinou ruční nářadí.



Obr. 115 Nerovný povrch měřeného místa [22]

Přípustná nerovnost povrchu je velmi malá (max.  $0,5^\circ$ ). Uvažujeme-li o maximální délce tenzometru řady Y 10 mm, pak je maximální možný úbytek materiálu 0,087mm. Chyba měření poměrné deformace  $\varepsilon$  je pak o několik řádů níž než vlastní hodnoty měření, proto lze považovat tuto nejistotu měření za rovnu nule, tedy  $u_{B2} = 0 \mu\text{m/m}$ . [22]

#### Další nejistoty:

- lepidla  $u_{B3}$  [ $\mu\text{m/m}$ ]
- teplotní deformace snímače  $u_{B4}$  [ $\mu\text{m/m}$ ]
- příčné deformace tenzometru  $u_{B5}$  [ $\mu\text{m/m}$ ]
- kabelu propojujícího tenzometr s dynamickou měřicí ústřednou  $u_{B6}$  [ $\mu\text{m/m}$ ]
- dynamické měřicí ústředny  $u_{B7}$  [ $\mu\text{m/m}$ ]
- kabelu propojujícího měřicí zesilovač s měřicím PC  $u_{B8}$  [ $\mu\text{m/m}$ ]
- hardwaru a softwaru měřicího PC  $u_{B9}$  a  $u_{B10}$  [ $\mu\text{m/m}$ ]

Z důsledku plastických deformací, které jsou známy od výrobce, vzniká nejistota lepidla  $u_{B3}$  [ $\mu\text{m/m}$ ]. Tato plastická deformace vzniká z nedokonalých pružných vlastností lepení lepidla.

Teplotní deformace snímače  $u_{B4}$  [ $\mu\text{m/m}$ ] je definována na balení tenzometrů pomocí poměrné deformace, která je vztažena na  $1^\circ\text{C}$ . Měření většinou probíhá

v laboratořích při teplotách v rozmezích 15 – 40°C a tomu odpovídá deformace  $\pm 9 \mu\text{m/m}$ .

Příčná deformace je udávána výrobcem 0,1% při referenční teplotě, ale tuto nejistotu lze položit nule z důvodu kontrakce  $u_{B5} = 0 \mu\text{m/m}$ .

Propojením dynamické ústředny šestižilovým stíněným kabelem a teplotní kompenzací roztažnosti v dynamické měřicí ústředně, můžeme tuto nejistotu zanedbat  $u_{B6} = 0 \mu\text{m/m}$ .

V kalibračním listu dynamické měřicí ústředny se dočteme zjištěné hodnoty chyb, ze kterých je vyčíslena rozšířená nejistota  $u_{B7}$  [ $\mu\text{m/m}$ ] dynamické měřicí ústředny a uveden koeficient rozšíření  $k$  [-].

V řídicí jednotce dynamické měřicí ústředny dochází k převádění analogových dat na digitální, která jsou dále v GPIB sběrnici měřicího PC vyhodnocována. V přenosu dat je nejistota nepřijatelná (např. vlivem elektromagnetického rušení)  $u_{B8} = 0 \mu\text{m/m}$ .

Z důvodu záznamu v digitální podobě se o nejistotě hardwaru ani softwaru měřicího PC neuvažuje  $u_{B9} = 0 \mu\text{m/m}$ .

Výsledná standardní nejistota  $u_B$  [ $\mu\text{m/m}$ ] typu B se stanoví přenosem a sloučením odhadnutých nejistot různého původu při použití zákona šíření nejistot. [22]

**Pro poměrnou deformaci  $\varepsilon$  [ $\mu\text{m/m}$ ] platí následující vztah  $u_{B\varepsilon}$  [ $\mu\text{m/m}$ ]:**

$$u_{B\varepsilon} = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} u_{Bi}^2} \quad (54)$$

**Pro mechanické napětí  $\sigma$  platí analogický k předchozímu vztahu následující vztah  $u_{B\sigma}$  [ $\text{N/mm}^2$ ]:**

$$u_{B\sigma} = u_{B\varepsilon} \cdot E \cdot 10^{-6} \quad (54)$$

**Standardní rozšířená nejistota měření  $U_\sigma$  [ $\text{N/mm}^2$ ]:**

$$U_\sigma = k \cdot u_{B\sigma} \quad (55)$$

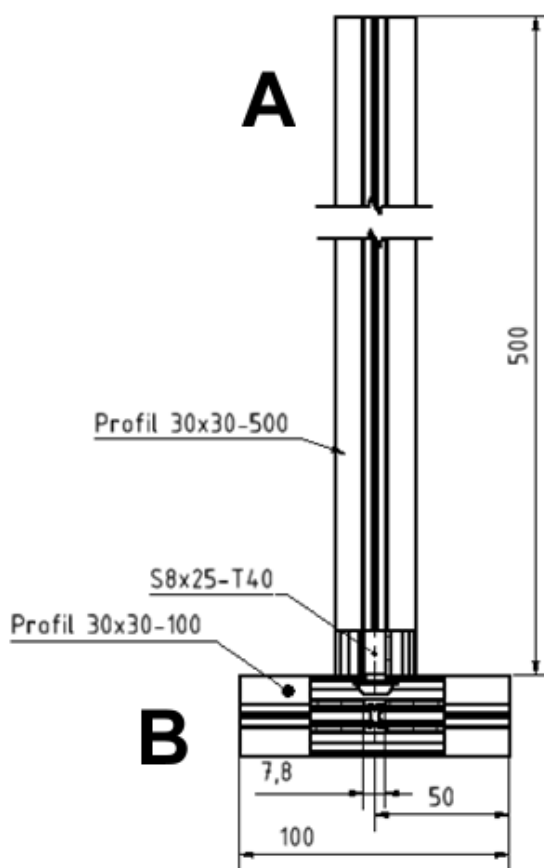
$k = 2$       výskyt hodnoty s pravděpodobností 95%

### 4.3 Naměřené hodnoty a jejich zpracování

Pro měření jsem použil profil 30x30 o délce 500 a 100mm od firmy Bosch Rexroth. Maximální dovolené zatížení dle katalogu pro ten typ profilů na rameni 400mm je 1593N. Profily jsou spojeny centrálním šroubem (S8x25-T40) s montážním momentem  $25 \pm 1$  Nm. Maximální dovolené zatížení dle katalogu pro tento spoj na rameni 400mm je 107,5N.

Testování proběhlo na 3. typu testovacího zařízení, tento typ je vyroben pro rychlé měření malých profilů. Model zařízení lze vidět v příloze č.19.

Sílu jsem měřil pomocí silového čidla LK1.

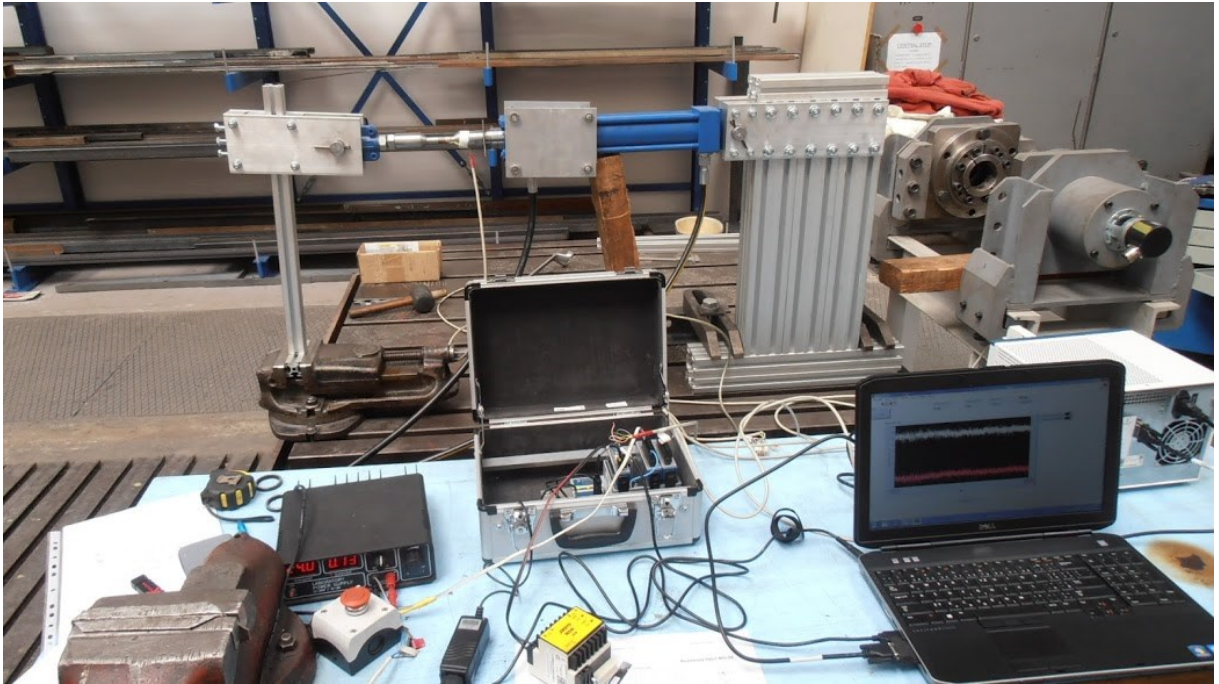


Obr. 116 Profil k testování

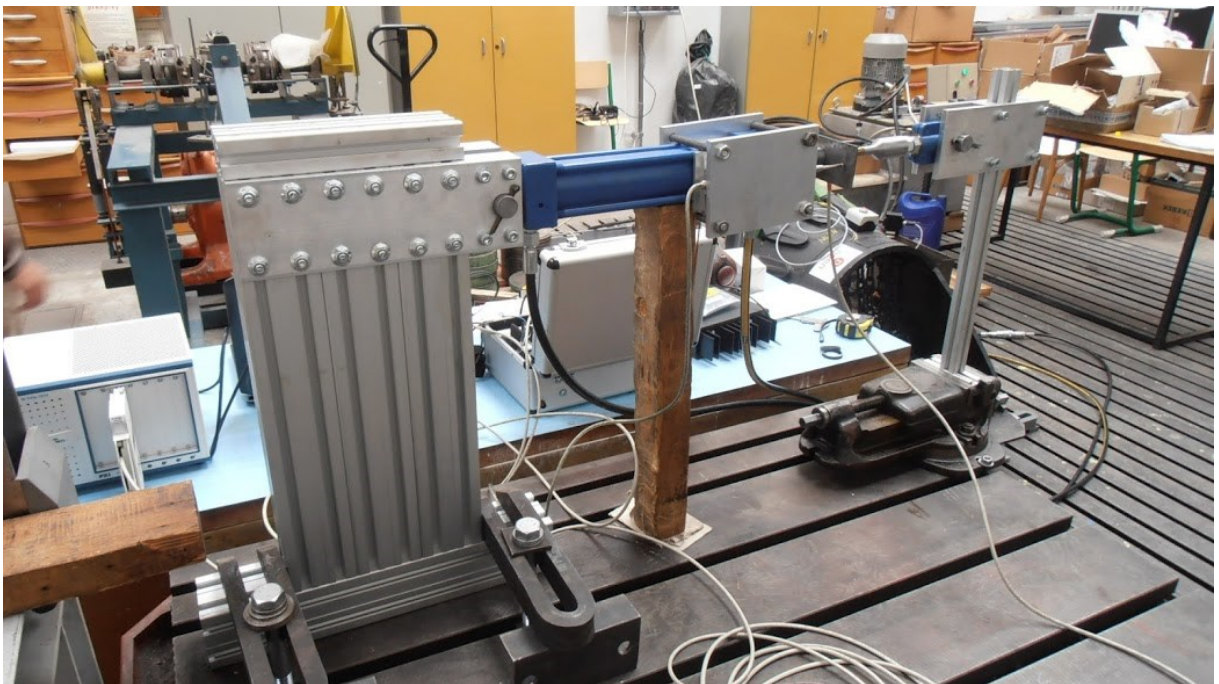


Obr. 117 Profily k testování

Na obr. 118 a 119 je vidět umístění testovacího zařízení č.3 v testovací hale.



Obr. 118 Měření

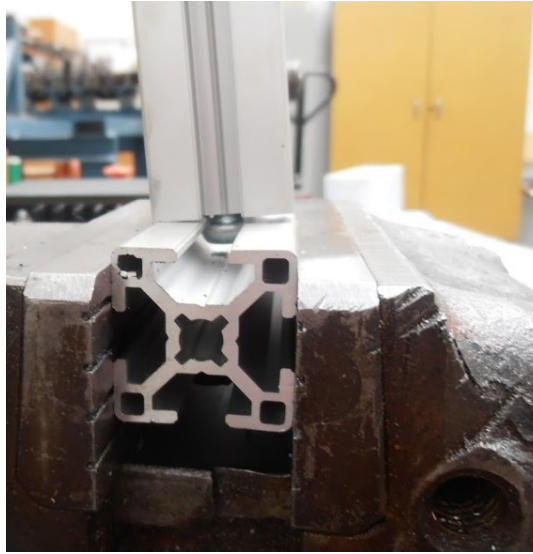


Obr. 119 Měření





Na obr. 120 je vidět jak se profil ve spoji vychýlí při trvalé deformaci.



Obr. 120 Profil při testování

## Výsledek měření

Profily 2 a 3 byly namáhány tahem, 1 a 4 tlakem a profily 5-8 míjivým namáháním.

Profily namáhané míjivými cykly řízenými polohou (průhybem nosníku). Byly zkoušeny jen 150 cykly pro různé zatížení. Tato zkouška proběhla pro ověření funkce stroje a záznamu měření při cyklickém namáhání.

Profil A (podle obr. 116) se nedostal na mez plasticity. K trvalé deformaci došlo u profilu B a to stříhem od hlavy šroubu, ale u samostatné šroubové dvojice k deformaci nedošlo.

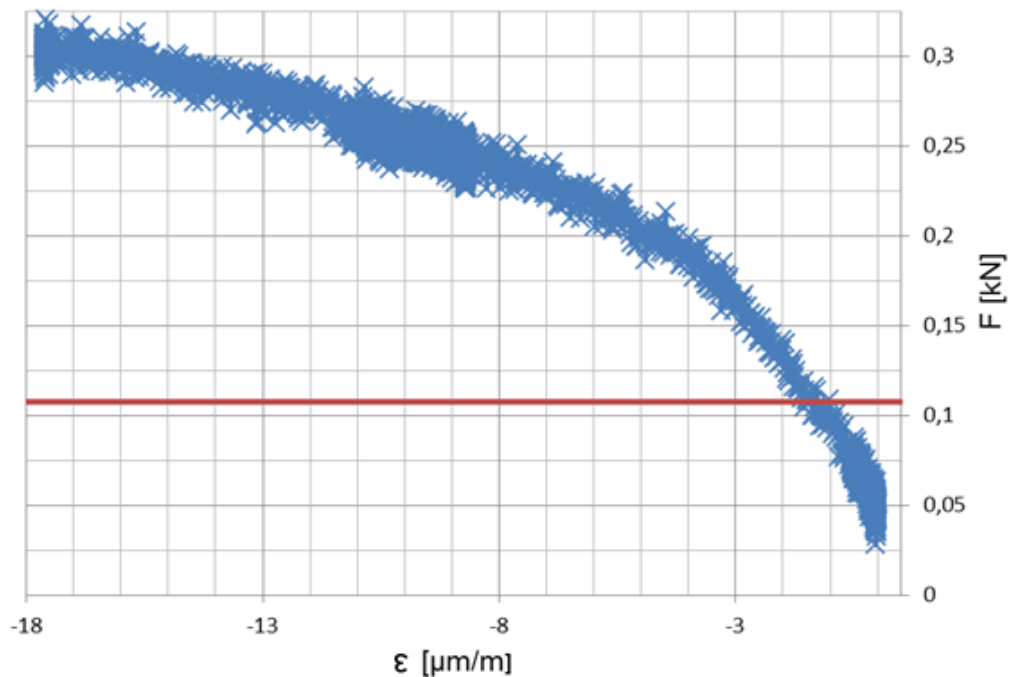
Průběh sil u čtyř vybraných profilů lze vidět na obr. 122 – 125. U cyklického zatěžování spoje se deformace projevila poklesem zatížení. Tento jev je vidět v grafu na obr. 123.

Konstrukce Wöhlerovy křivky nebyla vytvořena kvůli časové náročnosti laboratorních měření. Pro správné vyhodnocení a vykreslení jednotlivých bodů měření by bylo nutné provést experiment s větším počtem kusů vzorků pro každou hodnotu zatížení. Znamenalo by to pro jeden typ spoje řádově stovky kusů vzorků a tedy také experimentů s různou dobou trvání. To by bylo již nad rámec této práce. Tento experiment tedy bude proveden v navazujícím výzkumu.

Maximální průhyb v [mm] je počítán v 400mm profilu A (výsuv hydraulického válce), měřen hloubkoměrem a  $F$  [N] je maximální zatížení naměřené pomocí silového čidla LK1.

### PROFIL č.1

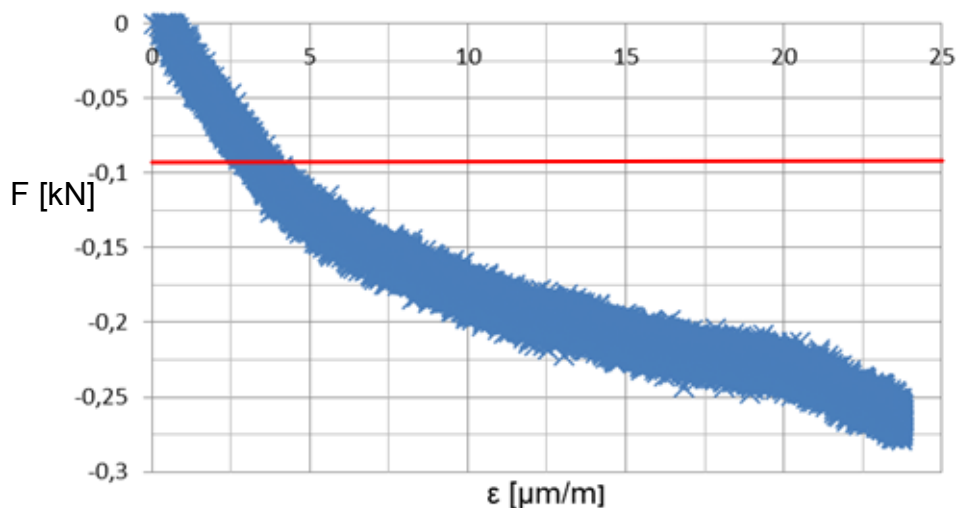
Profil byl namáhán tlakem do chvíle trvalé deformace. Červená čára v grafu znázorňuje maximální dovolené zatížení spoje dle katalogu.



Obr. 121 Trhací diagram profilu č.1ε

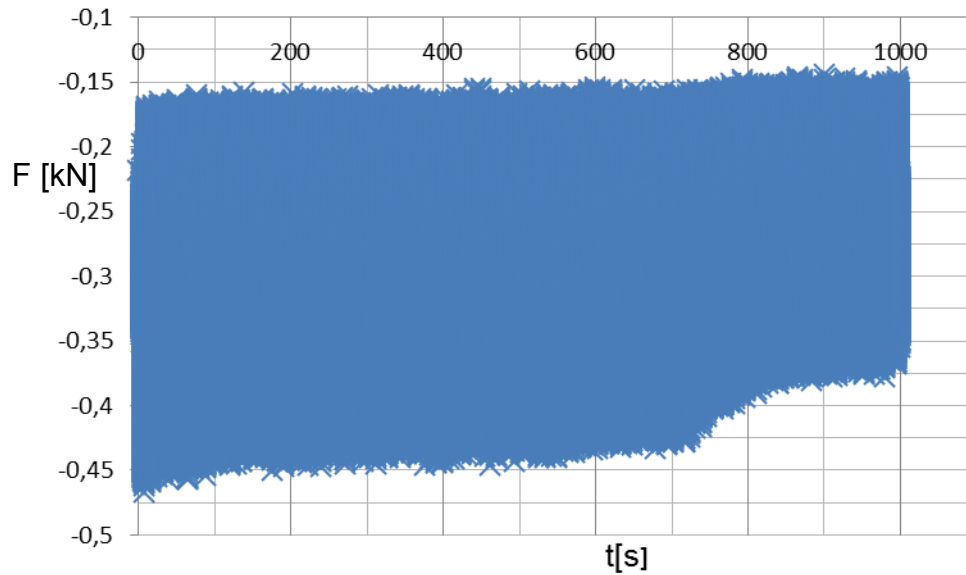
### PROFIL č.3

Profil byl namáhán tahem do chvíle trvalé deformace.



Obr. 122 Trhací diagram profilu č.3

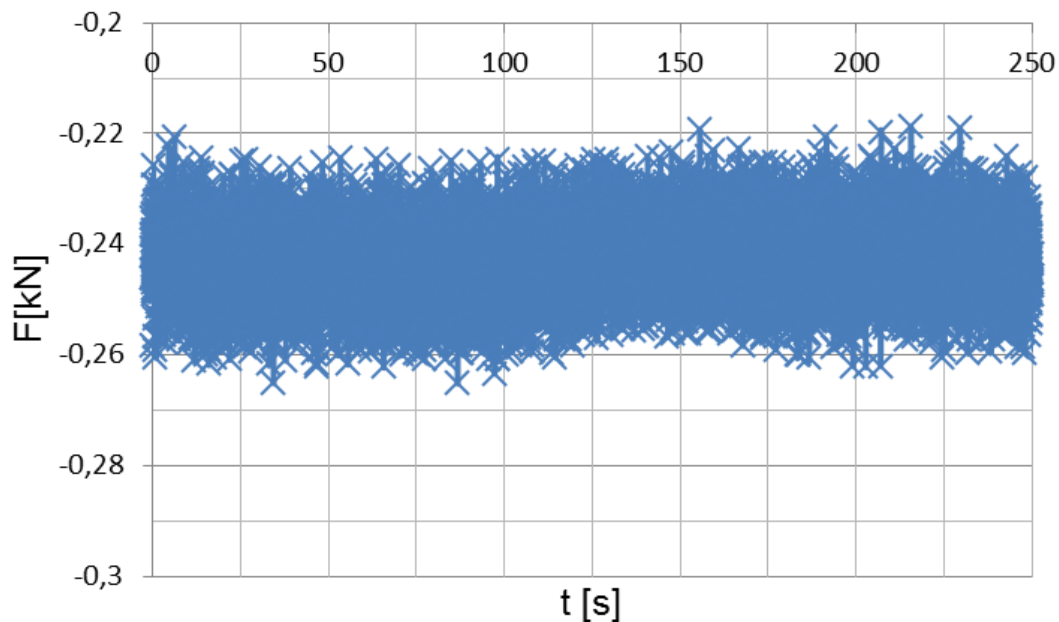
### PROFIL 5 – mijivé zatížení $v=0-15\text{mm}$



Obr. 123 Průběh síly profilu č.5

V grafu na obr.124 je vidět, že k trvalé deformaci došlo a to při 90.cyklu.

### PROFIL 6– mijivé zatížení $v=0-10\text{mm}$



Obr. 124 Průběh síly profilu č.6

V grafu na obr.124 je vidět, že k trvalé deformaci nedošlo a profil by vydržel další cykly.



Při větším zatěžování dojde až k takto výrazné trvalé deformaci. A poté k vylomení profilu.



Obr. 125 Deformace profilu



Obr. 126 Vylomení profilu

## 5. Závěr

Rešeršní část diplomové práce obsahuje přehled výrobců hliníkových stavebnicových profilů a různých druhů spojů. Dále obsahuje rešerši postupů zjišťování a vyhodnocování životnosti (trhací zkouška a Wöhlerovova křivka), rešerši o vlastnostech hliníkových slitin, jak jsou ovlivněny eloxováním a porovnáním vlastností s ocelí.

Navrhl jsem univerzální testovací zařízení a provedl u něho kontrolní výpočty. Tímto zařízením je možno zkoušet profily různých velikostí a typů, a taktéž různé druhy spojů. Výkresová dokumentace testovacího stroje je v příloze 14 a 15.

Do testovacího zařízení jsem zvolil hloubkoměr MLS 50.152 pro měření vzdálenosti, pro sílu do 10kN silová čidla S9 od firmy HBM a pro vyšší síly do 20kN silová čidla LK, s nalepenými tenzometry zapojenými do čtvrtmostu. K testovacímu stroji jsem vytvořil metodiku experimentálního měření.

Byl proveden experiment, který ověřil správnost navržených postupů včetně dílčích vyhodnocení naměřených dat. Protože pro správné vyhodnocení únavových zkoušek je nutné provést každé měření opakovaně, je pro konkrétní typ spoje nutné provést měření v řádu stovek kusů vzorků. To by již časově i objemem zpracovaných dat bylo nad rámec této práce. Tímto rozsáhlým měřením se bude zabývat navazující výzkum.

Tímto byly splněny všechny vytyčené cíle zadání mé práce.

## 6. Použité zkratky

Veličina	Jednotka	Název veličiny
$R_{p0,2}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	Smluvní mez kluzu v tahu
$R_e$	[N/mm <sup>2</sup> ]	Mez kluzu v tahu
$R_m$	[N/mm <sup>2</sup> ]	Mez pevnosti v tahu
$R_{c(-1)}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	Mez únavy
$W_o$	[mm <sup>3</sup> ]	Průřezový modul
$L$	[mm]	Rameno síly
$F_D$	[N]	Dovolená síla profilu
$F_{din}$	[N]	Síla pro dimenzování konstrukce
$F_{\dot{S}}$	[N]	Síla na šroubu
$d_3$	[mm]	Malý průměr šroubu
$d_2$	[mm]	Střední průměr šroubu
$d_1$	[mm]	Velký průměr šroubu
$D_1$	[mm]	Malý průměr matice
$P$	[mm]	Rozteč šroubu
$S_3$	[mm <sup>2</sup> ]	Plocha šroubu na $d_3$
$E$	[N/mm <sup>2</sup> ]	Modul pružnosti v tahu
$M_o$	[Nm]	Moment v ohybu
$\sigma_o$	[N/mm <sup>2</sup> ]	Napětí v ohybu
$C_{\dot{S}}=C1$	[N/mm]	Tuhost šroubu
$C_T=C2$	[N/mm]	Tuhost trubky
$C_D=C2$	[N/mm]	Tuhost desky
$S_{\dot{S}}$	[mm <sup>2</sup> ]	Plocha šroubu na $d_2$
$l$	[mm]	Délka mezi šrouby
$a$	[mm]	Tloušťka desky
$d_D$	[mm]	Výška desky
$E_D$	[N/mm <sup>2</sup> ]	Modul pružnosti desky v tahu
$E_{\dot{S}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	Modul pružnosti šroubu v tahu
$D$	[mm]	Průměr díry pro šroub
$m$	[mm]	Průměr pod hlavou šroubu
$S_i$	[mm <sup>2</sup> ]	Plocha průřezu trubky

$l_i$	[mm]	Délka určitého průřezu trubky
$D_T$	[mm]	Vnější průměr trubky
$l$	[-]	Počet závitů
$p_D$	[N/mm <sup>2</sup> ]	Dovolený tlak
$Q_0=Q_{m1}$	[N]	Velikost zatížení předepjatého spoje
$Q_{1a}$	[N]	Velikost zatížení amplitudy předepjatého spoje
$\Delta l_1$	[mm]	Deformace částí č. 1
$\Delta l_2$	[mm]	Deformace částí č. 2
$\sigma_{Q_0}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	Napětí předepjatého spoje
$\sigma_{Q_{1a}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	Amplituda napětí předepjatého spoje
$\Psi_\sigma^x$	[-]	Součinitel bezpečnosti zatížení
$k_\sigma$	[-]	Bezpečnost napětí
$F_h$	[N]	Maximální síla na předepjatý spoj
$C$	[N/mm]	Tuhost MKP
$\Delta l$	[mm]	Deformace MKP
$F$	[N]	Zatížení MKP
$a$	[mm]	Střední příčka matice
$\varphi'$	[°]	Úhel tření v závitech
$\gamma$	[°]	Úhel stoupání
$M_{KK}$	[Nm]	Utahovací moment na klíči
$M_{TM}$	[Nm]	Moment tření pod maticí
$M_{KZ}$	[Nm]	Moment v závitové dvojici
$F_T$	[N]	Třecí síla
$F$	[N]	Obvodová síla na šroubu
$R$	[N]	Částečná výslednice síly tření a normální síly
$F_N$	[N]	Normálová síla
$u_B$	[μm/m]	Nejistota typu B
$D_\check{c}$	[mm]	Průměr silového čidla
$\varepsilon$	[μm/m]	Poměrná deformace
$v$	[mm]	Maximální průhyb
$F_{max}$	[mm]	Maximální síla
$\Psi_{1,2}$	[-]	Tangenty úhlů sklonu přímek
$u$	[ ]	Nejistoty

## 7. Použitá literatura

- [1] ŠVEC, V. *Části a mechanismy strojů Mechanické převody*. Praha: ČVUT, 2008.
- [2] ŠVEC, V. *Části a mechanismy strojů Příklady*. Praha: ČVUT, 2003.
- [3] LEINVEBER, J., ŘASA, J., VÁVRA, P., *Strojírenské tabulky-upravené vydání*. Praha: Scienta, 1999.
- [4] DRASTÍK, F. *Strojírenské tabulky pro konstrukci i dílnu* Praha: MONTANEX, 2003.
- [5] POSPÍCHAL, J. *Technické kreslení*. Praha: ČVUT, 2009.
- [6] SLANEC, K. *Konstruování Geometrická přesnost výrobků 1.-3.díl*. Praha: ČVUT, 2006.
- [7] Jančík, L., Zýma, J., *Části a mechanismy strojů*. Praha: ČVUT, 2004.
- [8] RŮŽIČKA, M., HANKE, M., ROST, M., *Dynamická pevnost a životnost*. Praha: ČVUT, 1987.
- [9] MICHALEC, J. *Pružnost a pevnost I.* Praha: ČVUT, 2001.
- [10] Únavové poškození konstrukce při časově proměnlivém zatížení. [online]. [citováno 11.3.2014]. Dostupný z :  
[bacula.nti.tul.cz/~petr.sidlof/vyuka/LA1/Materialy%20k%20prednaskam%20\(cesky\)/9\\_lekce\\_Unava\\_071104\\_AnP.pdf](http://bacula.nti.tul.cz/~petr.sidlof/vyuka/LA1/Materialy%20k%20prednaskam%20(cesky)/9_lekce_Unava_071104_AnP.pdf)
- [11] Nízkocykliclové a vysokocyklové únavové vlastnosti ADI. [online]. [citováno 11.3.2014]. Dostupný z :  
[dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/6271/Disertacni\\_prace\\_Josef\\_Zapletal.pdf?sequence=1](http://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/6271/Disertacni_prace_Josef_Zapletal.pdf?sequence=1)
- [12] BOLEK, A., KOCHMAN, J., *Části strojů 1.svazek*. Nakladatelství technické literatury, 1989.
- [13] Mechanická degradace hliníkových slitin [online]. [citováno 11.3.2014]. Dostupný z: [mnet.mendelu.cz/mendelnet09agro/files/articles/tech\\_dostal.pdf](http://mnet.mendelu.cz/mendelnet09agro/files/articles/tech_dostal.pdf)
- [14] Základní vlastnosti materiálů a jejich zkoušení slitin [online]. [citováno 11.3.2014]. Dostupný z: [www.ateam.zcu.cz/zkousky\\_mat.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/zkousky_mat.pdf)
- [15] REMEK, B., HATSCHBACH, P., VÁVRA, J. *Experimentální metody a měření v dopravní technice*. Praha: ČVUT, 2011.
- [16] Slitiny hliníku. [online]. [citováno 31.3.2014]. Dostupný z :  
[www.ehlinik.cz/prilohy/zakladni-technicke-informace.pdf](http://www.ehlinik.cz/prilohy/zakladni-technicke-informace.pdf)

- 
- [17] Mechanické zkoušky. [online]. [citováno 7.4.2014]. Dostupný z :  
[www.sssebrno.cz/files/ovmt/tahova\\_zkouska.pdf](http://www.sssebrno.cz/files/ovmt/tahova_zkouska.pdf)
- [18] Pevnost a lom látek. [online]. [citováno 7.4.2014]. Dostupný z :  
[physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz\\_fyziky\\_pro\\_DS/display.php/kontinuum/2\\_6](http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/kontinuum/2_6)
- [19] Hloubkoměr. [online]. [citováno 27.10.2014]. Dostupný z : [www.larm.cz](http://www.larm.cz)
- [20] Měřicí čidla. [online]. [citováno 27.10.2014]. Dostupný z : [www.hbm.cz](http://www.hbm.cz)
- [21] Měřicí čidla. [online]. [citováno 27.10.2014]. Dostupný z : [www.jirkapol.cz](http://www.jirkapol.cz)
- [22] VOHLÍDAL, M. *Stanovení teoretické hodnoty nejistoty měření plného tenzometrického Wheatstnova můstku: Diplomová práce*. Univerzita Pardubice, 2010.
- [23] Tenzometry. [online]. [citováno 3.11.2014]. Dostupný z :  
[www.aterm.cz/Tenzometry.htm](http://www.aterm.cz/Tenzometry.htm)
- [24] HBM. [online]. [citováno 3.11.2014]. Dostupný z: [www.hbm.cz](http://www.hbm.cz)
- [25] Experimentální mechanika. [online]. [citováno 3. 11. 2014]. Dostupný z:  
[ean2011.fme.vutbr.cz/img/fckeditor/file/opory/Experimentalni\\_mechanika.pdf](http://ean2011.fme.vutbr.cz/img/fckeditor/file/opory/Experimentalni_mechanika.pdf)
- [26] Tenzometry. [online]. [citováno 3. 11. 2014]. Dostupný z: [pravě.spectator.cz](http://pravě.spectator.cz)
- [27] Tenzometry. [online]. [citováno 3.11.2014]. Dostupný z :  
[www.mmspektrum.com/clanek/aplikace-kovovych-tenzometru-v-technicke-praxi.html](http://www.mmspektrum.com/clanek/aplikace-kovovych-tenzometru-v-technicke-praxi.html)
- [28] Nejistoty. [online]. [citováno 24.11.2014]. Dostupný z :  
[www1.fs.cvut.cz/cz/u12110/tem/nejistoty/Nejistoty-uvod.pdf](http://www1.fs.cvut.cz/cz/u12110/tem/nejistoty/Nejistoty-uvod.pdf)
- [29] Pohlídal, M. *Experimentální ověřování konstrukcí 10*. Praha: ČVUT, 1999.
- [30] ČERNOHORSKÝ, J. *Senzory s kovovými tenzometry v technické praxi*. Automa, 2008.
- [31] Tenzometry. [online]. [citováno 26.11.2014]. Dostupný z :  
[www.fsiforum.cz/upload/soubory/databaze-predmetu/6SM/TENZOMETRY.pdf](http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/databaze-predmetu/6SM/TENZOMETRY.pdf)
- [32] Tenzometry. [online]. [citováno 26.11.2014]. Dostupný z :  
[pruznost.unas.cz/EMCS\\_13\\_14.pdf](http://pruznost.unas.cz/EMCS_13_14.pdf)
- [33] MICHNA, Š., et al. *Encyklopedie hliníku*. Prešov: Adin s.r.o, 2005.
- [34] PLUHAŘ, J., KORITTA, J., et al. *Strojírenské materiály*. Praha: SNTL, 1981.
- [35] SKOUMALOVÁ, Z. *Statické a únavové vlastnosti vybrané slitiny hliníku: Bakalářská práce*. Brno: VUT Brno, 2008.
- [36] BELHÁČ, J. *Srovnání vybraných mechanických vlastností slitin hliníku a konstrukčních ocelí: Bakalářská práce*. Brno: VUT Brno, 2009.
-



- [37] Přehled technických kovů užívaných ve strojírenství. [online]. [citováno 18.2.2015]. Dostupný z : [www.pf.jcu.cz/structure/departments/kaft/wp-content/uploads/Ing\\_Hladky\\_3.pdf](http://www.pf.jcu.cz/structure/departments/kaft/wp-content/uploads/Ing_Hladky_3.pdf)
- [38] Eloxování hliníku. [online]. [citováno 3.3.2015]. Dostupný z : [www.astronom.cz/procyon/chemistry/elox.html](http://www.astronom.cz/procyon/chemistry/elox.html)
- [39] Eloxování hliníku. [online]. [citováno 3.3.2015]. Dostupný z : [www.eloxtech.cz/eloxovani.htm](http://www.eloxtech.cz/eloxovani.htm)
- [40] Eloxování hliníku. [online]. [citováno 3.3.2015]. Dostupný z : [www.remerx.cz/eloxovna](http://www.remerx.cz/eloxovna)
- [41] VERLAG, Dashöfe. *Lexikon kovů se zahraničními ekvivalenty*. [počítačový program]. Ver. 1.4. [Praha], 2010
- [42] Bosch Rexroth. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.boschrexroth.cz](http://www.boschrexroth.cz)
- [43] Katalog Bosch Rexroth. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.pkservis.com/data/web/upload/57\\_Bosch\\_skf/montazni\\_technika\\_rexroth.pdf](http://www.pkservis.com/data/web/upload/57_Bosch_skf/montazni_technika_rexroth.pdf)
- [44] KANYA. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.kanya.com](http://www.kanya.com)
- [45] Katalog KANYA. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.kanya.com/global/PVS-pdf/Gesamtkatalog\\_Schweiz\\_2013.pdf](http://www.kanya.com/global/PVS-pdf/Gesamtkatalog_Schweiz_2013.pdf)
- [46] Maytel. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.maytec.org](http://www.maytec.org)
- [47] Katalog Maytel. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.maytec.org/\\_neue\\_daten/sites/download/kataloge/files/K1-2013-D-EUR\\_b.pdf](http://www.maytec.org/_neue_daten/sites/download/kataloge/files/K1-2013-D-EUR_b.pdf)
- [48] ITEM. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.item24.cz](http://www.item24.cz)
- [49] Katalog ITEM. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.haberkorn.cz/files/file/právě-hlinikovych-profilu/ke-stazeni/MB7\\_CZ.pdf](http://www.haberkorn.cz/files/file/právě-hlinikovych-profilu/ke-stazeni/MB7_CZ.pdf)
- [50] Technické údaje ITEM. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [catalog.item24.com/images/medienelemente/DOK/DATA/DOK\\_DATA\\_profil-tech-daten\\_\\_SEN\\_\\_AIN\\_\\_V1.pdf](http://catalog.item24.com/images/medienelemente/DOK/DATA/DOK_DATA_profil-tech-daten__SEN__AIN__V1.pdf)
- [51] ALUCOMPLAST. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.alucomplast.cz](http://www.alucomplast.cz)
- [52] Katalog ALUCOMPLAST. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [alucomplast.cz/files/katalog.pdf](http://alucomplast.cz/files/katalog.pdf)
- [53] ANS Praha. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.ans-praha.eu/hlinikove-profilu/právě-speedline](http://www.ans-praha.eu/hlinikove-profilu/právě-speedline)



- [54] Katalog Minitec. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.minitec.de/de/index.php?id=193102&downloadId=224384](http://www.minitec.de/de/index.php?id=193102&downloadId=224384)
- [55] ASKMT. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.askmt.com](http://www.askmt.com)
- [56] Katalog ASKMT. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.askmt.com/soubor-katalog-produktu-hlinikove-profil-y-profil-rastr-40-3-.pdf](http://www.askmt.com/soubor-katalog-produktu-hlinikove-profil-y-profil-rastr-40-3-.pdf)
- [57] Katalog ASKMT. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.askmt.com/soubor-katalog-produktu-hlinikove-profil-y-profil-rastr-45-4-.pdf](http://www.askmt.com/soubor-katalog-produktu-hlinikove-profil-y-profil-rastr-45-4-.pdf)
- [58] Technické údaje ASKMT. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[askmt-public.sharepoint.com/Documents/Profily%20ASKMT%20-%20Technick%C3%BD%20List.pdf](http://askmt-public.sharepoint.com/Documents/Profily%20ASKMT%20-%20Technick%C3%BD%20List.pdf)
- [59] ALUTEC K&K. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.aluteckk.cz](http://www.aluteckk.cz)
- [60] Katalog ALUTEC K&K. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.aluteckk.cz/katalog](http://www.aluteckk.cz/katalog)
- [61] ALTRATEC. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.altratec.de](http://www.altratec.de)
- [62] Katalog ALTRATEC. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.altratec.de/index.php/modular-profiles.html](http://www.altratec.de/index.php/modular-profiles.html)
- [63] Technická zpráva ALTRATEC. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.altratec.de/index.php/modular-profiles.html?file=tl\\_files/altratec/pdf/profilbaukasten/ak107-108.pdf](http://www.altratec.de/index.php/modular-profiles.html?file=tl_files/altratec/pdf/profilbaukasten/ak107-108.pdf)
- [64] PALETTI. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.paletti.de](http://www.paletti.de)
- [65] Katalog PALETTI. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.paletti.de/downloads/pdf/eng/catalog.pdf](http://www.paletti.de/downloads/pdf/eng/catalog.pdf)
- [66] HEPCO. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.hepcomotion.com](http://www.hepcomotion.com)
- [67] Katalog HEPCO [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.hepcomotion.com/en/mcs-machine-construction-právě-literature-downloads-pg-16-get-31](http://www.hepcomotion.com/en/mcs-machine-construction-právě-literature-downloads-pg-16-get-31)
- [68] MSV. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.msv-systems.cz](http://www.msv-systems.cz)
- [69] RK ROSE+KRIEGER. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.rk-rose-krieger.com](http://www.rk-rose-krieger.com)
- [70] Katalog RK ROSE+KRIEGER. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[rk-rose-krieger.com/fileadmin/catalogue/profiltechnik/bl\\_blocan\\_profilsysteme\\_dgb.pdf](http://rk-rose-krieger.com/fileadmin/catalogue/profiltechnik/bl_blocan_profilsysteme_dgb.pdf)
- [71] ROBOUNITS. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.robotunits.com](http://www.robotunits.com)

- 
- [72] Katalog ROBOUNITS. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.robotunits.com/downloads/Robotunits-Product-Catalog-13.1e.pdf](http://www.robotunits.com/downloads/Robotunits-Product-Catalog-13.1e.pdf)
- [73] PPPRODUKT. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.msplusautomation.com](http://www.msplusautomation.com)
- [74] MS + AUTOMATION. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.ans-praha.eu/hlinikove-profilu/prave-speedline](http://www.ans-praha.eu/hlinikove-profilu/prave-speedline)
- [75] Katalog MS + AUTOMATION. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.msplusautomation.com/files/255d82ba-1fa2-4257-8915-fb07ee2e82f0.pdf](http://www.msplusautomation.com/files/255d82ba-1fa2-4257-8915-fb07ee2e82f0.pdf)
- [76] Alucad Bohemia. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.alucad.cz](http://www.alucad.cz)
- [77] Katalog Alucad Bohemia. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.alunet.cz/produkty/#hlinikovy-prave-pro-vystavnictvi](http://www.alunet.cz/produkty/#hlinikovy-prave-pro-vystavnictvi)
- [78] AluPa. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.alupa.cz](http://www.alupa.cz)
- [79] Katalog AluPa. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.alupa.cz/editor/filestore/File/Vykresove%20profilu%20skladem.pdf](http://www.alupa.cz/editor/filestore/File/Vykresove%20profilu%20skladem.pdf)
- [80] ehlinik.cz. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [ehlinik.cz](http://ehlinik.cz)
- [81] Katalog ehlinik.cz. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.ehlinik.cz/stavebnicovy-prave-kombi/kat-I200000101.html](http://www.ehlinik.cz/stavebnicovy-prave-kombi/kat-I200000101.html)
- [82] ALVÁRIS. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.alvaris.eu](http://www.alvaris.eu)
- [83] Katalog ALVÁRIS. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.alvaris.eu/cz/downloads](http://www.alvaris.eu/cz/downloads)
- [84] Výpočet ALVÁRIS. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.alvaris.eu/berechnung/index.html?lang=cz](http://www.alvaris.eu/berechnung/index.html?lang=cz)
- [85] FM – Systeme. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.fm-systeme.de](http://www.fm-systeme.de)
- [86] Katalog FM – Systeme. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.fm-systeme.de/fileadmin/dokumente/downloads/aluprofil-systeme/Aluprofilkatalog.pdf](http://www.fm-systeme.de/fileadmin/dokumente/downloads/aluprofil-systeme/Aluprofilkatalog.pdf)
- [87] Schnaithmann. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.schnaithmann.de](http://www.schnaithmann.de)
- [88] Katalog Schnaithmann. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.schnaithmann.de/fileadmin/pdf/FPS\\_Katalog.pdf](http://www.schnaithmann.de/fileadmin/pdf/FPS_Katalog.pdf)
- [89] Nanotech. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.i-nanotech.cz](http://www.i-nanotech.cz)
- [90] Katalog Nanotech. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.i-nanotech.cz/index.php/hlinikove-systemy/sigma](http://www.i-nanotech.cz/index.php/hlinikove-systemy/sigma)
-

- 
- [91] MiniTec. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.minitec.cz](http://www.minitec.cz)
- [92] Infento. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.infento.nl](http://www.infento.nl)
- [93] mechatroniclabs.eu. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[mechatroniclabs.eu](http://mechatroniclabs.eu)
- [94] Katalog mechatroniclabs.eu. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.mechatroniclabs.eu/minibeams.html](http://www.mechatroniclabs.eu/minibeams.html)
- [95] Mero Tek. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.mero.de](http://www.mero.de)
- [96] Katalog Mero Tek. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.mero.de/images/ausstellungssysteme/download/r8plus/d2030de\\_r8\\_r8plus\\_bauteilkatalog\\_ohne\\_preise\\_2012.pdf](http://www.mero.de/images/ausstellungssysteme/download/r8plus/d2030de_r8_r8plus_bauteilkatalog_ohne_preise_2012.pdf)
- [97] VALUFRAME. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.valuframe.co.uk](http://www.valuframe.co.uk)
- [98] Katalog VALUFRAME. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.valuframe.co.uk/Valuframe%202012%20V1.3.pdf](http://www.valuframe.co.uk/Valuframe%202012%20V1.3.pdf)
- [99] ALUSIC. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.alusic.com](http://www.alusic.com)
- [100] Katalog ALUSIC. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.metalcenter.it/uploads/media/ALUSIC\\_CATALOGO\\_GENERALE\\_COMPLETO\\_01.pdf](http://www.metalcenter.it/uploads/media/ALUSIC_CATALOGO_GENERALE_COMPLETO_01.pdf)
- [101] PROAL. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[hlinikove-profilu.proal.cz/specialni/vykresove-profilu.htm](http://hlinikove-profilu.proal.cz/specialni/vykresove-profilu.htm)
- [102] MAGE GEHRING. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.mage.at/cz/107výrobky/extruze-hliniku.html](http://www.mage.at/cz/107výrobky/extruze-hliniku.html)
- [103] Constellium. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.constellium.com](http://www.constellium.com)
- [104] HP STEEL. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.hpsteel.cz](http://www.hpsteel.cz)
- [105] Keramet. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.keramet.cz](http://www.keramet.cz)
- [106] Alumeco. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.alumeco.cz](http://www.alumeco.cz)
- [107] FATH. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.fath.net](http://www.fath.net)
- [108] Katalog FATH. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.fath.net/en/news/catalogue-download-and-order-service.html](http://www.fath.net/en/news/catalogue-download-and-order-service.html)
- [109] Pevnost a lom látek [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz\\_fyziky\\_pro\\_DS/display.php/kontinuum/2\\_6](http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/kontinuum/2_6)
- [110] Diagram zkoušky tahem pro různé kovy. [online]. [citováno 16.3.2015].  
Dostupný z : [www.ateam.zcu.cz/sigma\\_epsilon.gif](http://www.ateam.zcu.cz/sigma_epsilon.gif)
- [111] HBM. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [www.hbm.cz](http://www.hbm.cz)
-

- 
- [112] Tažení profilů. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z : [sapagroup.com](http://sapagroup.com)
- [113] Momentový klíč. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[pixgood.com/torque-wrench.html](http://pixgood.com/torque-wrench.html)
- [114] Plný můstek. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.peoi.org/Courses/Coursesen/circuit1/ch/ch9g.html](http://www.peoi.org/Courses/Coursesen/circuit1/ch/ch9g.html)
- [115] Strojní svěráky Vabex. [online]. [citováno 16.3.2015]. Dostupný z :  
[www.strojniveraky.cz](http://www.strojniveraky.cz)
- [116] *Příručka o hliníku*. Praha: SNTL, 1969.
- [117] PUCHNA, B. *Povrchová úprava hliníku a hliníkových slitin*. Praha:  
Min. hutního prům. a rudných dolů, 1952.
- [118] SEDLÁČEK, V. *Únava hliníkových a titanových slitin*. SNTL, 1989.
- [119] RUBEŠ, J. *Anodická oxydace hliníku*. SNTL, 1961.
- [120] DOSTÁL, P. *Korozní a napěťová degradace Al-Mg slitin: Diplomová práce*.  
Mendelova univerzita v Brně, 2011.
- [121] VOJTĚCH, D. *Kovové materiály*. VŠCHT Praha, 2006.
- [122] National Instruments. [online]. [citováno 15.4.2015]. Dostupný z: [czech.ni.com](http://czech.ni.com)
- [123] MK profil. [online]. [citováno 8.6.2015]. Dostupný z: [www.mk-group.com](http://www.mk-group.com)

## 8. Seznam obrázků

Obr.1 Výrobní linka [44]	2
Obr.2 Pojízdny sklad [42]	2
Obr.3 Polohovací stroj linka [44]	2
Obr.4 Konstrukce manipulátoru s dopravníkem [44]	3
Obr.5 Pracovní stůl [42]	3
Obr.6 Posuvný portál [69]	3
Obr.7 Dopravník [87]	3
Obr.8 Trojkolka [92]	3
Obr.9 Tažení profilů [112]	4
Obr.10 Tažnice [82]	4
Obr.11 Druhy profilů [73]	6
Obr.12 Řady profilů [42]	7
Obr.13 Sortiment firmy [42]	7
Obr.14 Řady profilů [44]	8
Obr.15 Profily [44]	8
Obr.16 Řady profilů [46]	9
Obr.17 Ohýbaný profil [46]	9
Obr.18 Profil 160x160 [46]	9
Obr.19 Skládání profilu [48]	10
Obr.20 Profil se spoji [48]	10
Obr.21 Rastr profilů [51]	11
Obr.22 Profily 40x40 [53]	11
Obr.23 Rastr profilů [55]	12
Obr.24 Profily [59]	13
Obr.25 Profily [61]	13

---

Obr.26 Profily [64]	14
Obr.27 Profily 120x120 a 160x160 [64]	14
Obr.28 Rastr profilů [66]	15
Obr.29 Profily [68]	15
Obr.30 Řada profilů [69]	16
Obr.31 Ohýbané profily [69]	16
Obr.32 Drážka 14 [71]	17
Obr.33 Druhy profilů [73]	17
Obr.34 Řady profilů [74]	18
Obr.35 Profil 30x30 [80]	18
Obr.36 Řady profilů [82]	19
Obr.37 Profily [85]	20
Obr.38 Profily [87]	20
Obr.39 Profily [89]	21
Obr.40 Profily [91]	21
Obr.41 Profil 40x40 [92]	22
Obr.42 Mini Profily [93]	22
Obr.43 Profily [95]	23
Obr.44 Centrální šroub [42]	25
Obr.45 Centrální šroub s podložkou [82]	25
Obr.46 T-matice [55]	26
Obr.47 T-šroub [42]	26
Obr.48 Úhelníky [82]	26
Obr.49 Spojky [82]	26
Obr.50 Druhy rohových spojek [42]	27
Obr.51 Rohová spojka [107]	27
Obr.52 Vnitřní úhelník [66]	27

---

---

Obr.53 Nastavitelný úhel [42]	28
Obr.54 Skosený úhelník [49]	28
Obr.55 Spojka s úhlem [49]	28
Obr.56 Různoběžné spoje [49]	28
Obr.57 Prodlužovací spoje [49]	29
Obr.58 Rovnoběžné spoje [49]	29
Obr.59 Pojišťovací spoj [49]	29
Obr.60 Tepavé napětí	32
Obr.61 Míjivé napětí	32
Obr.62 Střídavé napětí	32
Obr.63 Souměrně střídavé napětí	32
Obr.64 Diagram životnosti [10]	33
Obr.65 Experimentální určení [10]	35
Obr.66 Wöhlerova křivka [14]	36
Obr.67 Tahový diagram [109]	39
Obr.68 Porovnání vybraných typů tvářených hliníkových slitin z hlediska pevnosti [35]	40
Obr.69 Příklady pracovních diagramů různých kovů a slitin [110, 36]	41
Obr.70 Schematicky nakreslené dvě Wöhlerova křivky [35]	42
Obr.71 Wöhlerova křivka slitiny hliníku a nástrojové oceli [36]	43
Obr.72 Diagram předepjatého spoje [12]	44
Obr.73 Křivka předpětí [12]	45
Obr.74 Souměrně střídavé	46
Obr.75 Míjivé	46
Obr.76 Tepavé	47
Obr.77 Rozměry trubky	48
Obr.78 Rozměry desky	48

---



---

Obr.79 Úhel stoupání	50
Obr.80 Rozložení sil	51
Obr.81 Momentový klíč [113]	51
Obr.82 HEA Profil	53
Obr.83 Horní upevnění	55
Obr.84 Rozložení ohybového momentu	55
Obr.85 Síla na profilu	57
Obr.86 Rozměry desky	59
Obr.87 Diagram	62
Obr.88 Diagram	64
Obr.89 Diagram	67
Obr.90 Diagram	69
Obr.91 MKP mezikruží	70
Obr.92 MKP Roetcher	71
Obr.93 MKP VDI	72
Obr.94 MKP kruhové	75
Obr.95 MKP kvádrové	76
Obr.96 MKP kvádrové symetrie	77
Obr.97 MKP deska	74
Obr.98 MKP Spoje centrálním šroubem	
Obr.99 Schéma zapojení hloubkoměru	80
Obr.99 Hloubkoměr	80
Obr.101 Schéma zapojení silového čidla	81
Obr.102 Silové čidlo LK1	81
Obr.103 Silové čidlo LK1	82
Obr.104 Schéma zapojení silového čidla LK1	83
Obr.105 Zapojení silového čidla LK1	83

---

---

Obr.106 Graf cejchování silového čidla LK1	84
Obr.107 Graf s lineární regresí	84
Obr.108 Graf odchylky měření	85
Obr.109 Průběh cejchování	86
Obr.110 Průběh cejchování	86
Obr.111 Umisťovací kříž tenzometru [22]	88
Obr.112 Horizontální posunutí tenzometru [22]	88
Obr.113 Vertikální posunutí tenzometru [22]	89
Obr.114 Úhel natočení tenzometru [22]	89
Obr.115 Nerovný povrch měřeného místa [22]	91
Obr.116 Profil k testování	93
Obr.117 Profily k testování	93
Obr.118 Měření	94
Obr.119 Měření	94
Obr.120 Profil při testování	95
Obr.121 Trhací diagram profilu č.1	96
Obr.122 Trhací diagram profilu č.3	96
Obr.123 Průběh síly profilu č.5	97
Obr.124 Průběh síly profilu č.6	97
Obr.125 Deformace profilu	98
Obr.126 Vylomení profilu	98

## 9. Seznam tabulek

tab.1 Rozměry a hodnoty pístů [42]	57
tab.2 Rozměry HEA profilu	58
tab.3 Síla pro dimenzování	Příloha č.1
tab.4 Rozměry šroubů svěráků	Příloha č.2
tab.5 Potřebný počet závitů	Příloha č.3
tab.6 Porovnání analytických výpočtů a MKP	77
tab.7 Porovnání jednotlivých metod	77
tab.8 Porovnání MKP analýz	78
tab.9 Dílčí nejistoty tenzometrických snímačů řady Y [111]	86
tab.10 Porovnání tvrdostí [39]	41

## 10. Seznam příloh

1. tab.1.: Dimenzování síly
2. tab.2.: Šroub pro profil
3. tab.3.: Síla na šroubu
4. MKP konstrukce
5. Diagramy předepjatého šroubu
6. Společný diagram předepjatých šroubů
7. Mechanické a technologické vlastnosti hliníkových slitin [16]
8. Katalogový list strojního pneumatického svěráku Vertex [115]
9. Katalogový list hydraulického pístu CDT3MP5/50/36/250Z10/B16FDMWW [42]
10. Katalogový list silové čidlo [20, 21]
11. Katalogový list hloubkoměr MLS 50.152 [19]
12. Katalogové listy tenzometry [111]
13. Tenzometry
14. Výrobní výkresy
15. Kusovník
16. Materiálové listy hliníkových slitin EN AW 6060 a 6063 [41]
17. Hydraulický obvod zapojení
18. Elektrický obvod zapojení čidel
19. Testovací zařízení

## 11. Použité programy

1. Microsoft Exel 2003
2. Microsoft Word 2003
3. Autodesk Inventor Professional 2015
4. Adobe Reader 9
5. Abaqus CAE
6. Mtpo 3.6

## Příloha č. 13

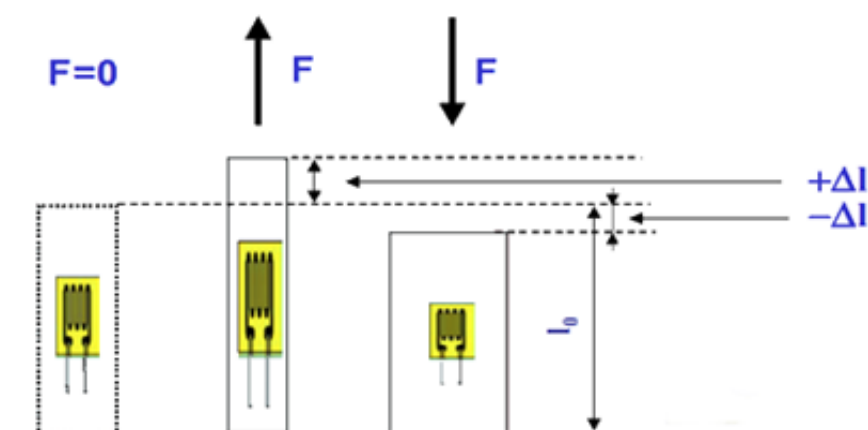
### Tenzometry

„Tenzometr je pasivní elektrotechnická součástka používaná k nepřímému měření mechanického napětí na povrchu součástky prostřednictvím měření její deformace. Převádí deformaci na změnu elektrického odporu, který pak můžeme měřit.“

Tenzometry je třeba k měřenému povrchu připevnit velmi tenkou vrstvou tmelu (lepidla), který musí zároveň vytvářet dostatečný izolační odpor.

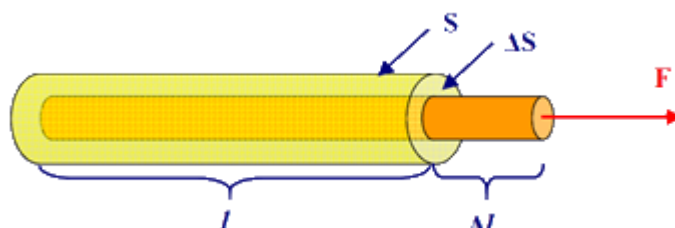
#### Základní princip

Vlivem zatížení se materiál deformuje. Deformace se projevují i na povrchu materiálu.



Obr. 150 Deformace [24]

Tato změna se přenáší na tenzometr, který takto mění svůj odpor. Odpor je lineárně úměrný prodloužení povrchu materiálu. A projevuje se zde Wheatstnova změna odporu vodiče.



Obr. 151 Odpor vodičů [26]

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (57)$$

$$\frac{\Delta R}{R} = K \varepsilon \quad (58)$$

Vzorec (57) je vyjádřením odporu vodičů, z kterých se odvozením dostaneme až k vzorci (58) pro kovové tenzometry.

Kde:

**$\Delta R$**  změna elektrického odporu

**$R_0$**  jmenovitý odpor tenzometru

**$K$**  charakteristický koeficient snímače (tenzometrická konstanta, součinitel deformační citlivosti)

**$\varepsilon$**  relativní prodloužení  $\varepsilon = \Delta l / l$ , kde

**$\Delta l$**  změna délky snímače

**$l$**  délka snímače

U kovových tenzometrů je hodnota koeficientu  $k$  přibližně 2. Elektrický odpor kovových tenzometrů bývá 120 až 600Ω. Přesnost měření pozitivně ovlivňuje nízký teplotní součinitel konstantou elektrického odporu.

Pro názornost lze uvést příklad, jak se změní odpor 600Ω tenzometru při poměrném prodloužení 1μm/m:

Řešení je:  $\Delta R = R_0 \cdot k \cdot \varepsilon = 600 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 1,2 \text{ m}\Omega$  (58)

## Tenzometry se dělí do dvou skupin

- 1) Kovové
  - a) drátkové
  - b) foliové
  - c) vrstvené
- 2) Polovodičové

### Kovové tenzometry

Kovové tenzometry jsou většinou vyráběny z konstantanu (60% Cu a 40% Ni) nebo z chromniklové slitiny (80% Cr a 20%Ni). Základním parametrem tenzometru je koeficient  $k$  vyjadřující poměr mezi relativní změnou odporu a relativní změnou délky.

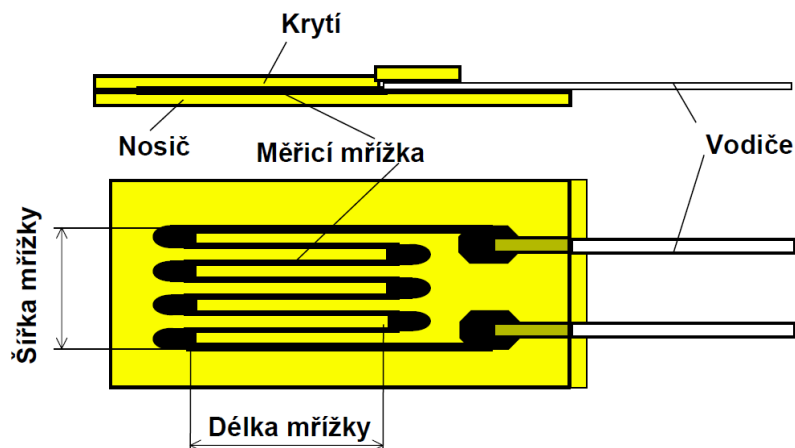
Uplatnění najdeme hlavně v aplikacích, kde je požadována velká přesnost měření. Jedná se zejména o měření povrchových deformací kriticky namáhaných součástí, dále měření zatížení, síly, tlaku a krouticího momentu. [23]

### Foliové tenzometry

V současné době to jsou nejužívanější kovové tenzometry. Používám ho i ve své diplomové práci pro měření síly na tlakových válečkách jako náhradu silového čidla. Foliové odporové tenzometry se vyrábějí leptáním geometrického tvaru tenzometru do konstantanové fólie o tloušťce 5-8 $\mu$ m slepené s izolační podložkou. To zaručuje i dobrou sériovost výroby. [30]

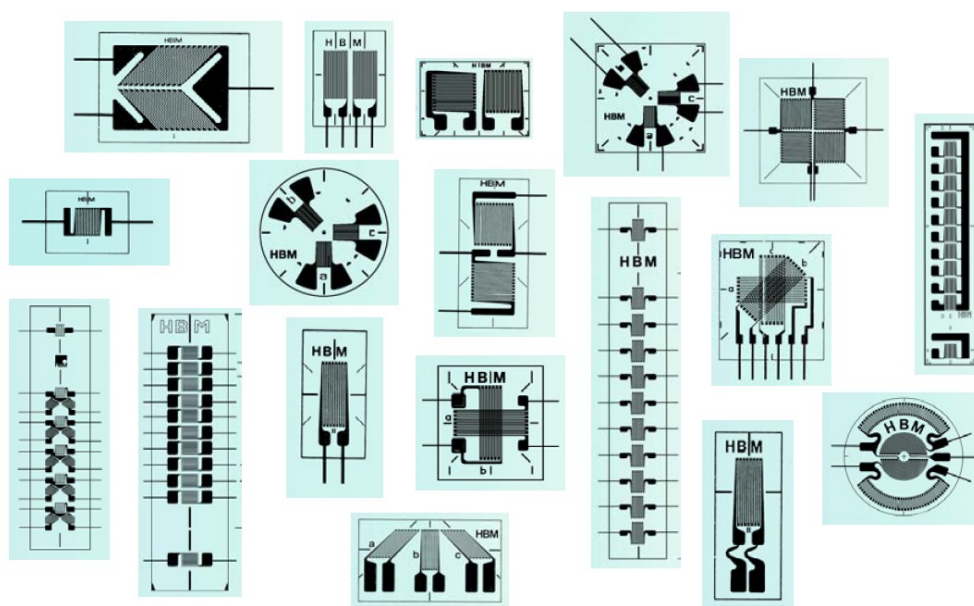
Výhodou foliových tenzometrů je, že lze připustit větší proudové zatížení díky lepšímu odvodu tepla. Dokáží přenést menší zatížení smykové síly, protože jsou velmi citlivé. Je to i díky svému meandrovému uspořádání, při kterém se celkové prodloužení násobí počtem rovnoběžných drah vedoucích ve směru měřeného prodloužení. V příčném směru je naopak změna délky velmi malá.





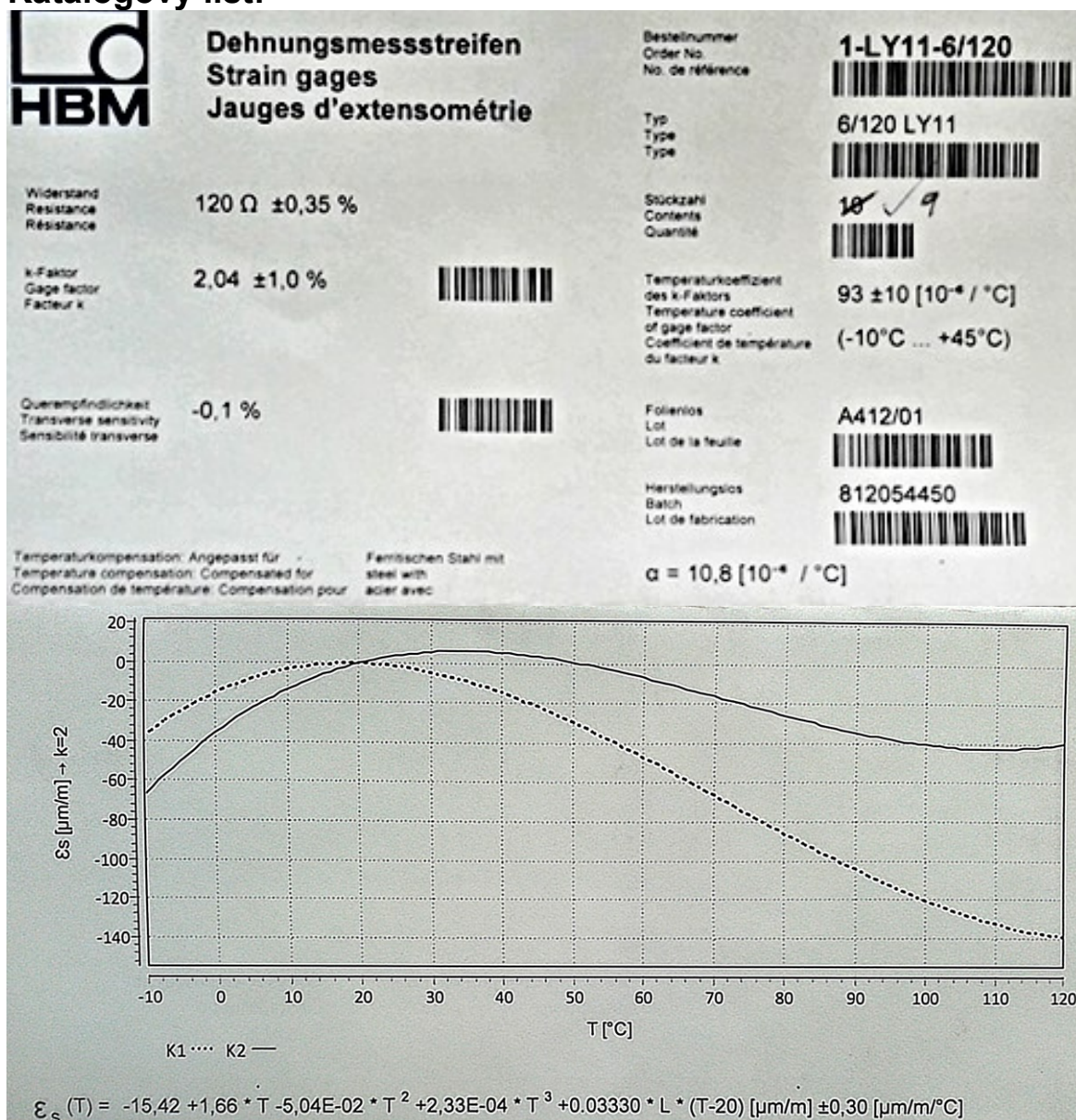
Obr.152 Foliový tenzometr [24]

Odporové tenzometry se díky své jednoduché výrobě leptáním vyrábí v různých typech a velikostech. Kromě délky se liší také tvarem měřicí mřížky. Je vyráběno velké množství druhů uložení měřicí mřížky a různé druhy pájecích kontaktů. Mezi rozdíly také patří poloha a počet měřících mřížek. Existují tenzometry pro běžné použití, ale i pro speciální aplikace. Velký počet tvarů a délek je výsledkem požadavků na velké množství rozdílných aplikací a použití. Různé druhy můžete vidět na obrázku č.109.



Obr.153 Druhy foliových tenzometrů [24]

## Katalogový list:



Obr. 154 Katalogový list

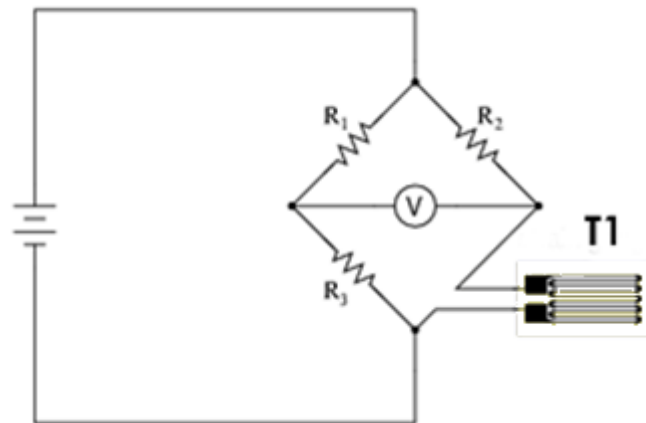
## Tenzometrické snímače

„Výroba tenzometrických snímačů je technologicky velmi náročná. Důležitý je zejména výběr vhodného materiálu pro měrný člen, jeho tvar a následné mechanické a tepelné zpracování.

Požadavky minimální hystereze a dopružování jsou při zkoumání materiálů pro měrný člen získány většinou empiricky bez fyzikálního zdůvodnění.“

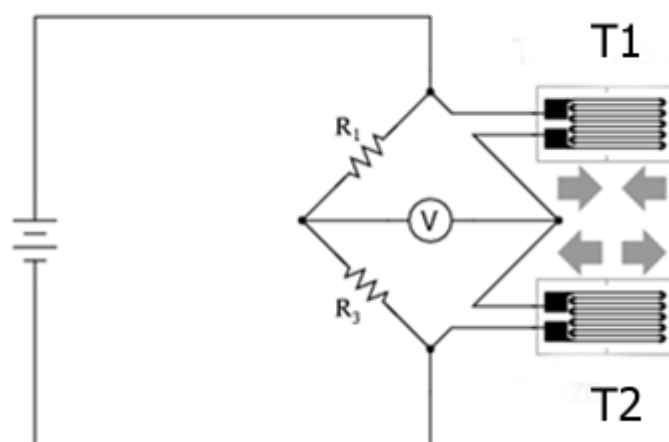
Pro většinu tenzometrických snímačů se využívá zapojení do Wheatstoneova můstku. Nejčastěji se používá zapojení do polovičního můstku nebo do úplného. Použití čtvrtinového můstku, to znamená zapojení pouze jednoho tenzometru je nevhodné z důvodu nezbytné teplotní kompenzace. [27]

**Čtvrt můstek** je vytvořen z jednoho tenzometru a zbytek můstku je doplněn náhradními odpory. Nevýhodou zapojení je nelineární a teplotně nestabilní. (teplota není kompenzována). Toto zapojení se využívá k měření tahu a tlaku.



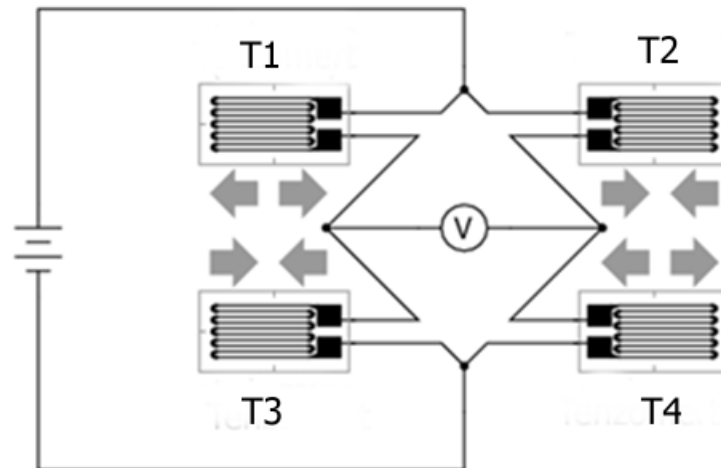
Obr.155 Čtvrt můstek [114]

**Poloviční můstek** je vytvořen z dvou tenzometrů nalepených na měrném členu tak, aby se jejich signály sčítaly. Aby se doplnil můstek, jsou do něho zapojeny 2 rezistory s pevnými hodnotami odporu. Půlený můstek je nejčastěji používán při měření ohybu nosníku. Využívá se zde zapojení tenzometrů na protější strany nosníku a to tak, že se jeden z nich prodlužuje (na straně namáhané tahem) a druhý se zkracuje (na straně namáhané tlakem). Díky zapojení 2 tenzometrů se celkové prodloužení nosníku vyruší, např. teplem.(vzájemně se kompenzují). Dále se používá pro tah a ohyb.



Obr.156 Poloviční můstek [114]

**Úplné můstkové zapojení** s dvěma natahovanými a s dvěma stlačovanými tenzometry má 2x vyšší citlivost a je úplně teplotně kompenzované, ale prostorově náročné. Používá se k měření síly, tlaku a kroutícího momentu.



Obr.157 Plný můstek [114]

Výpočet citlivosti zapojení můstků:

$$e = \frac{E}{4} K \varepsilon \quad (59)$$

Kde E je počet tenzometrů zapojených v obvodu.

### Instalace tenzometrů

Nejprve si připravím potřebný materiál:

- tenzometry
- jemný smirkový papír
- odmašťovací roztok, tampony
- tenzometrické lepidlo, slabou plastovou fólii, izolepu
- měřítko nebo pravítko
- nůžky, pinzetu, rýsovací jehlu

Nejprve očistíme plochu od ostrých hran a nečistot jemným smirkovým papírem. Poté toto místo odmastíme a následně tampony dočistíme povrch. Pomocí izolepy na jedné straně nastavíme a správně orientujeme tenzometr. Tenzometr nazvedneme a

naneseme pod něj tenkou vrstvu lepidla. Palcem za pomoci slabé plastové fólie přitlačíme tenzometr a za stálého působení tlaku čekáme do vytvrzení lepidla (každé lepidlo schne jinak dlouho). Po vytvrzení odstraníme izolepu. Tenzometr již drží sám. Následně přiletujeme vodiče a pak zkontrolujeme správnost připevnění tenzometru. Tenzometr zakryjeme vrstvou lepidla, které ho bude chránit před mechanickým poškozením, vlhkostí a bude působit jako částečná tepelná ochrana.

Detailní popis instalace tenzometrů nalezneme v [22].

Na každém tenzometru je vyznačena osa pro správné nalepení. Je třeba, aby se osa tenzometru shodovala s umístovacím křížem konstrukce. Pokud tyto osy mají od kříže větší odchylku posunu v osách x, y 0,2 mm a natočení  $\alpha$  větší než  $5^\circ$ , je nutné tenzometr odbrousit a nalepit nový. Jinak by docházelo k velkým chybám. [28]

### **Dosahovaná přesnost měření**

Ve strojírenství, krom vážící techniky nejsou na přesnost příliš přísné podmínky. Pro měření sil je dostačující, když se chyba měření pohybuje v rozsahu 0,1 – 1%. Této přesnosti je možné dosáhnout v rozsahu teplot  $-20$  až  $+40$  °C. Kovové tenzometry umožňují konstruovat snímače i pro dynamická měření. Frekvenční rozsah měření je omezen vlastní frekvencí měřicího členu (jeho vysokou tuhostí). Ke špičkové přesnosti přispěly dlouhodobé analytické a experimentální studie vlivu efektů vyšších řádů. Stále ještě zůstává velká nepřesnost v měřicím signálu a v signálu teplotního šumu ( $U_{\text{SUMU}} = 10^{-8}$  V). [27]

### **Rušivé vlivy působící při měření s tenzometry**

**Teplotou** je ovlivněna vodivost materiálu tenzometru a také jejich roztažnost.

Teplotu můžeme kompenzovat zapojením do plného můstku nebo pomocí kompenzačního tenzometru.

**Tečení (creep)** je způsobeno působením konstantního mechanického zatížení a díky tomu tenzometr po čase ztrácí citlivost.

**Příčná citlivost** je důležitá z hlediska příčného namáhání na aktivní délku. Tenzometry mívají běžně příčnou citlivost menší než 0,008. Většinou příčná citlivost bývá kompenzována už při cejchování tenzometru.

**Hystereze** tenzometru je obvykle zanedbatelná. Větší vliv na toto hledisko má materiál, na kterém je tenzometr nalepen.

**Vlhkost** ovlivňuje hydroskopickou nosnost podložky, která mění s obsahem vody své rozměry. Vlastnosti s vlhkostí také mění některá lepidla. Proto se po nalepení tenzometru překrývá ochranou proti vlhkosti.

**Elektromagnetické pole** může být ovlivněno indukcí v kabelech, které je způsobeno silným střídavým magnetickým polem. Naproti tomu lze elektrickou složku pole snadno odstínit.

**Vyhodnocení signálu z tenzometrů**, které jsou nejčastěji zapojovány do Wheatstoneova můstku. Tenzometry jsou vyráběny ve standardní řadě hodnot odporů, 120, 300, nebo 600  $\Omega$ . Pro jejich napájení se používá stejnosměrný i střídavý proud. Výhodnější je střídavé napájení kvůli snadnému odstranění vlivu rušivých změn způsobené např. teplotou.

### **Dynamika měření**

„Proměnné mechanické namáhání se v materiálu pod tenzometrem šíří ve formě mechanického vlnění. Pokud by, ve speciálním případě, byla vlnová délka tohoto vlnění právě rovna délce tenzometru, výstupní signál tenzometru by byl nulový (polovina tenzometru natažena, druhá polovina stejně stlačena). Tenzometr ve snímači je nalepen na deformační element (nosník, membrána), jehož vlastní mechanická frekvence kmitání, musí být dostatečně vysoká, aby element stačil změny měřené veličiny sledovat. Třetím vlivem omezujícím dynamiku měření je již zmíněna velikost nosné frekvence napájecího proudu.“ [30]

### **Dále ovlivňuje rušení v kabelech a přesnost PC.**

Současné elektronické zesilovače, software ani hardware PC neovlivňují přesnost měřených signálů, která je v řádu  $10^{-5}$  V.

**Použité zkratky**

R	[ $\Omega$ ]	Jmenovitý odpor
$\Delta R$	[ $\Omega$ ]	Změna v odporu
L	[mm]	Jmenovitá délka
$\Delta l$	[mm]	Změna v délce
k	[-]	Tenzometrická konstanta
$\varepsilon$	[-]	Deformace
$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Hustota
S	[mm <sup>2</sup> ]	Plocha
e	[-]	Citlivost zapojení
E	[kg/m <sup>3</sup> ]	Počet tenzometrů v obvodu
$u_B$	[ $\mu\text{m}/\text{m}$ ]	Nejistota typu B
E	[N/mm <sup>2</sup> ]	Modul pružnosti v tahu

**Seznam obrázků**

Obr.150 Deformace [24]	1
Obr.151 Odpor vodičů [26]	1
Obr.152 Foliový tenzometr [24]	3
Obr.153 Druhy foliový tenzometrů [24]	4
Obr.154 Katalogový list	4
Obr.155 Čtvrt můstek [114]	7
Obr.156 Poloviční můstek [114]	7
Obr.157 Plný můstek [114]	8



**Příloha č. 16****Materiálové listy hliníkových slitin EN AW 6060 a 6063 [41]**

ČSN EN 573 STN EN 573 TŘÍDICÍ ZNAK 42 1401			Slitina hliníku tvářená pro všeobecné účely					SLITINA EN AW-6060 [AlMgSi]		
Chemické složení [hm. %]										
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	ostatní		Al
								jednotl.	celkem	
0,30–0,60	0,10–0,30	0,10	0,10	0,35–0,60	0,05	0,15	0,10	0,05	0,15	zbytek
Polotovary										
[1]	tenké plechy pro výměníky tepla			ČSN EN 683-1			1*)			
				ČSN EN 683-2(42 4084)			2)			
				ČSN EN 683-3			3*)			
[2]	tyče a trubky tažené za studena			ČSN EN 754-1			1)			
				ČSN EN 754-2(42 4085)			2)			
	– tyče kruhové			ČSN EN 754-3			3*)			
	– tyče čtvercové			ČSN EN 754-4			3*)			
	– tyče ploché			ČSN EN 754-5			3*)			
	– tyče šestihřanné			ČSN EN 754-6			3*)			
	– trubky bezešvé			prČSN EN 754-7			3*)			
	– trubky lisované komorovou maticí			prČSN EN 754-8			3*)			
[3]	lisované tyče, trubky a profily			ČSN EN 755-1(42 1419)			1)			
				ČSN EN 755-2(42 4086)			2)			
	– tyče kruhové			ČSN EN 755-3(42 7511)			3)			
	– tyče čtvercové			ČSN EN 755-4(42 7521)			3)			
	– tyče ploché			ČSN EN 755-5(42 7525)			3)			
	– tyče šestihřanné			ČSN EN 755-6(42 7531)			3)			
	– trubky bezešvé			prČSN EN 755-7			3*)			
	– trubky lis. komor. maticí			prČSN EN 755-8			3*)			
	– profily			prČSN EN 755-9			3*)			
[4]	tažené dráty			ČSN EN 1301-1(42 1418)			1)			
				ČSN EN 1301-2(42 4087)			3)			
				ČSN EN 1301			3)			

**Mechanické vlastnosti**

Polotovár	profily [3]		
Rozměr e [mm] <sup>4)</sup>	≤ 15	≤ 3	3–25
Stav <sup>5)</sup>	T64 <sup>6)</sup>	T66	T66
Mez kluzu R <sub>p</sub> 0,2 [MPa]	120	160	150
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	180	215	195
Tažnost A <sub>50</sub> (A) [%]	10 (12)	6 (8)	6 (8)
Tvrdość HB	–	–	–

Polotovár	profily [3]				
Rozměr e [mm] <sup>4)</sup>	≤ 25	≤ 5	5–25	≤ 3	3–25
Stav <sup>5)</sup>	T4	T5	T5	T6	T6
Mez kluzu R <sub>p</sub> 0,2 [MPa]	60	120	100	150	140
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	120	160	140	190	170
Tažnost A <sub>50</sub> (A) [%]	14 (16)	6 (8)	6 (8)	6 (8)	6 (8)
Tvrdość HB	–	–	–	–	–

**Porovnání se zahraničními materiály**

ISO		EURO		Německo	
AlMgSi	ISO 209-1	–	–	AlMgSi0,5	DIN 1725 T.1
<i>Francie</i>		<i>Velká Británie</i>		<i>Rusko</i>	
6060	NF A50-411	6061	BS 1474	–	–
<i>USA</i>		<i>Japonsko</i>		<i>Kanada</i>	
6061	ASTM B221M	–	–	–	–
<i>Itálie</i>		<i>Rakousko</i>		<i>Švédsko</i>	
P-AlMg0,5Si0,4Fe	UNI 9006/1	AlMgSi0,5	ÖNORM M3430	AlMgSi	SS 144103
<i>Polsko</i>		<i>Maďarsko</i>		<i>Norsko</i>	
–	–	–	–	–	–
<i>Finsko</i>		<i>Švýcarsko</i>		<i>Španělsko</i>	
AlSi1MgPb	SFS 2594	–	–	Al-0,5MgSi	UNE 38350
<i>Belgie</i>		–		–	
6060	NBN P21-001	–		–	

**Poznámky**

- 1) technické dodací předpisy                      1\*) připravovaná norma ČSN EN  
2) mechanické vlastnosti                            2\*) připravovaná norma ČSN EN  
3) mezní úchytky tvaru a rozměrů                3\*) připravovaná norma EN  
4) D = průměr kruhové tyče nebo vnější průměr trubky, S = tloušťka čtvercové, šestihřanné nebo ploché tyče, e = tloušťka stěny trubky nebo profilu  
5) vlastnosti mohou být získány kalením za matricí  
6) vhodné k ohybu  
7) mechanické vlastnosti jsou ovlivněny nejen tepelným zpracováním, ale také průměrem drátu a metodou tažení, a proto jsou hodnoty R<sub>p</sub> 0,2 a A<sub>100</sub> jen informativní  
8) mechanické vlastnosti ve stavech T39 a T89 jsou závislé na stupni tváření za studena resp. na podmínkách stárnutí, a proto se doporučuje, aby byly dohodnuty mezi dodavatelem a odběratelem

V chemickém složení je zpravidla uváděn maximální přijatelný obsah nebo rozmezí přijatelného obsahu každého prvku. V mechanických vlastnostech je zpravidla uváděna minimální přijatelná hodnota nebo rozmezí přijatelných hodnot každé vlastnosti.

<b>ČSN EN 573 STN EN 573 TŘÍDÍCÍ ZNAK 42 1401</b>		<b>Slitina hliníku tvářená pro všeobecné účely</b>						<b>SLITINA EN AW-6063 [AlMg0,7Si]</b>		
<b>Chemické složení [hm. %]</b>										
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	ostatní		Al
								jednotl.	celkem	
0,2–0,6	0,35	0,10	0,10	0,45–0,90	0,10	0,10	0,10	0,05	0,15	zbytek
<b>Polotovary</b>										
[1]	tenké plechy pro výměníky tepla				ČSN EN 683-1	1*)				
					ČSN EN 683-2(42 4084)	2)				
					ČSN EN 683-3(42 7322)	3)				
[2]	tyče a trubky tažené za studena				ČSN EN 754-1	1)				
	– tyče kruhové				ČSN EN 754-2(42 4085)	2)				
	– tyče čtvercové				ČSN EN 754-3(42 7611)	3)				
	– tyče ploché				ČSN EN 754-4(42 7621)	3)				
	– tyče šestihřanné				ČSN EN 754-5(42 7625)	3)				
	– trubky bezešvé				ČSN EN 754-6(42 7631)	3)				
	– trubky lis. komorovou maticí				prČSN EN 754-7	3*)				
					prČSN EN 754-8	3*)				
[3]	lisované tyče, trubky a profily				ČSN EN 755-1(42 1419)	1)				
	– tyče kruhové				ČSN EN 755-2(42 4086)	2)				
	– tyče čtvercové				ČSN EN 755-3(42 7511)	3)				
	– tyče ploché				ČSN EN 755-4(42 7521)	3)				
	– tyče šestihřanné				ČSN EN 755-5(42 7525)	3)				
	– trubky bezešvé				ČSN EN 755-6(42 7531)	3)				
	– trubky lis. komorovou maticí				prČSN EN 755-7	3*)				
	– profily				prČSN EN 755-8	3*)				
					prČSN EN 755-9	3*)				
[4]	tažené dráty				ČSN EN 1301-1(42 1418)	1*)				
					ČSN EN 1301-2(42 4087)	2)				
					ČSN EN 1301-3(42 7412)	3*)				

**Mechanické vlastnosti**

Polotovary	profily [3]			
Rozměr e [mm] <sup>4)</sup>	≤25	≤3	3–25	≤10
Stav <sup>5)</sup>	T4	T5	T5	T6
Mez kluzu R <sub>p</sub> 0,2 [MPa]	65	130	110	170
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	130	175	160	215
Tažnost A <sub>50</sub> (A) [%]	12 (14)	6 (8)	5 (7)	6 (8)
Tvrdość HB	–	–	–	–

Polotovary	profily [3]			
Rozměr e [mm] <sup>4)</sup>	10–25	≤15	≤10	10–25
Stav <sup>5)</sup>	T6	T64 <sup>6)</sup>	T66	T66
Mez kluzu R <sub>p</sub> 0,2 [MPa]	160	120	200	180
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	195	180	245	225
Tažnost A <sub>50</sub> (A) [%]	6 (8)	10 (12)	6 (8)	6 (8)
Tvrdość HB	–	–	–	–

**Porovnání se zahraničními materiály**

ISO		EURO		Německo	
AlMg0,7Si	ISO 209-1	–	–	–	–
Francie		Velká Británie		Rusko	
–	–	6063	BS 1474	AD31	GOST 4784-74
USA		Japonsko		Kanada	
6063	ASTM B221M	6063	JIS H4000	–	–
Itálie		Rakousko		Švédsko	
–	–	–	–	AlMg0,5Si	SS 144104
Polsko		Maďarsko		Norsko	
AlMgSi	PN H-88026	–	–	AlMgSi	NS 17310
Finsko		Švýcarsko		Španělsko	
AlMgSi	SFS 2591	–	–	Al-0,7MgSi	UNE 38337
Belgie		–		–	
6063	NBN P21-001	–		–	

**Poznámky**

- 1) technické dodací předpisy
- 2) mechanické vlastnosti
- 3) mezní úchytky tvaru a rozměrů
- 4) D = průměr kruhové tyče nebo vnější průměr trubky, S = tloušťka čtvercové, šestihranné nebo ploché tyče, e = tloušťka stěny trubky nebo profilu
- 5) vlastnosti mohou být získány kalením za matricí kromě stavů O, H111 a T5
- 6) vhodné k ohybu
- 7) mechanické vlastnosti jsou ovlivněny nejen tepelným zpracováním, ale také průměrem drátu a metodou tažení, a proto jsou hodnoty R<sub>p</sub> 0,2 a A<sub>100</sub> jen informativní
- 8) mechanické vlastnosti ve stavech T39 a T89 jsou závislé na stupni tváření za studena resp. na podmínkách stárnutí, a proto se doporučuje, aby byly dohodnuty mezi dodavatelem a odběratelem

V chemickém složení je zpravidla uváděn maximální přijatelný obsah nebo rozmezí přijatelného obsahu každého prvku. V mechanických vlastnostech je zpravidla uváděna minimální přijatelná hodnota nebo rozmezí přijatelných hodnot každé vlastnosti.

## Příloha č. 8

### Katalogový list strojního pneumatického svěráku Vertex [115]

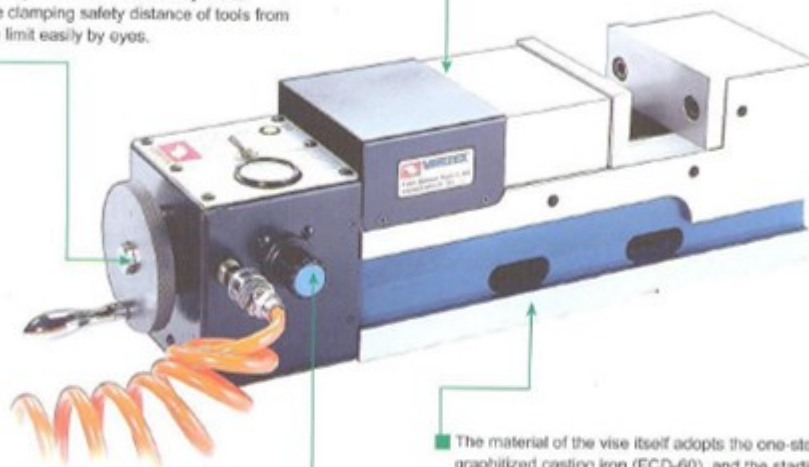
#### Precision Pneumatic Ang-Fixed Power Vise VERTEX

Suitable for mass production and to be used on machine centers, milling machines, drilling machines and special purpose machines.



The greatest safety distance of clamping:  
The switch speed is only 1.5 seconds, and the safety distance of clamping can be up to 8mm. We design the hand wheel safety line in addition for anyone to distinguish the clamping safety distance of tools from exceeding the limit easily by eyes.

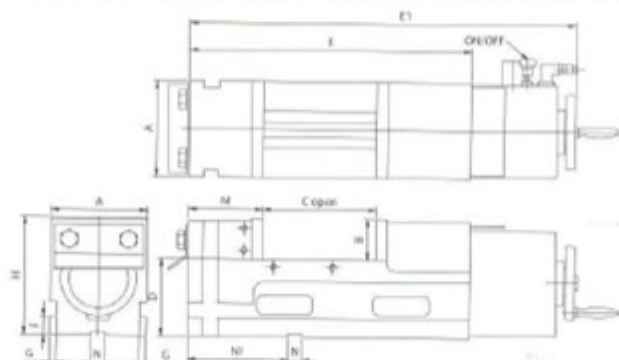
Down trust "semi-spherical segment" mechanism eliminates jaw lifting and work-piece lifting.



The material of the vise itself adopts the one-step design of highductility graphitized casting iron (FCD-60), and the starting rail of the two sides experiences hardening heat treatment (HRC-45°) that can assure good performance on precision, wear-resisting, and tension-resisting.

If the source of air pressure is under low pressure exertion of 8 kg/cm<sup>2</sup>, it can achieve the super strong clamping capacity of 9000 kg/cm<sup>2</sup>. The clamping capacity from 0-9000 kg/cm<sup>2</sup> can be freely set and adjust via pressure regulator. Automatically seeking the highest source of air pressure:

When the pressure regulator sets the regulator sets the required pressure, it will not be out of order because the source of air pressure is low.



Unit: mm

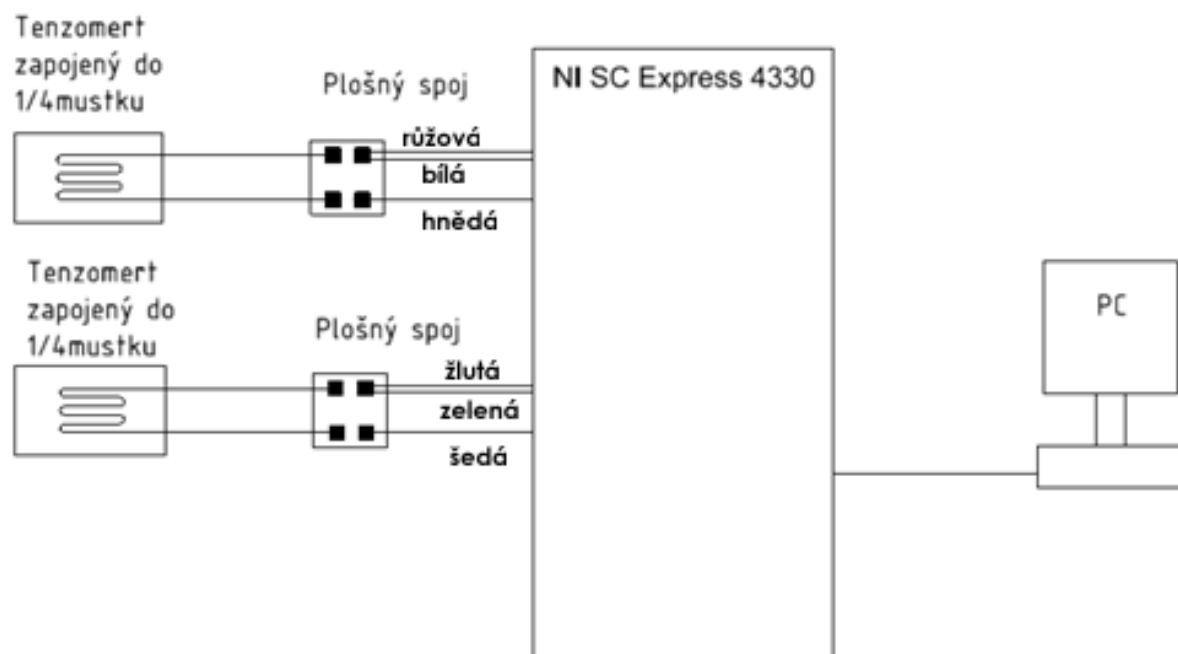
ORDER NO.	A	B	C OPEN	D	E	E1	F	G	H	M	N	N1	Max. Clamp Force (KN)	N.W. (kgs)	CODE NO.
VMC-5P	130	55	150	105	380	520	25	9	160	100	18	136	6000	38	4005-070
VMC-6P	160	58	160	105	400	540	25	9	163	100	18	136	6000	48	4005-071
VMC-6PL	160	58	250	105	490	630	25	9	163	100	18	136	6000	51	4005-072
VMC-7P	180	63	200	110	460	600	25	12	173	108	18	171	9000	65	4005-073
VMC-8P	200	63	200	110	470	610	25	12	173	108	18	171	9000	70	4005-074
VMC-8PL	200	63	300	110	570	710	25	12	173	108	18	171	9000	79	4005-075



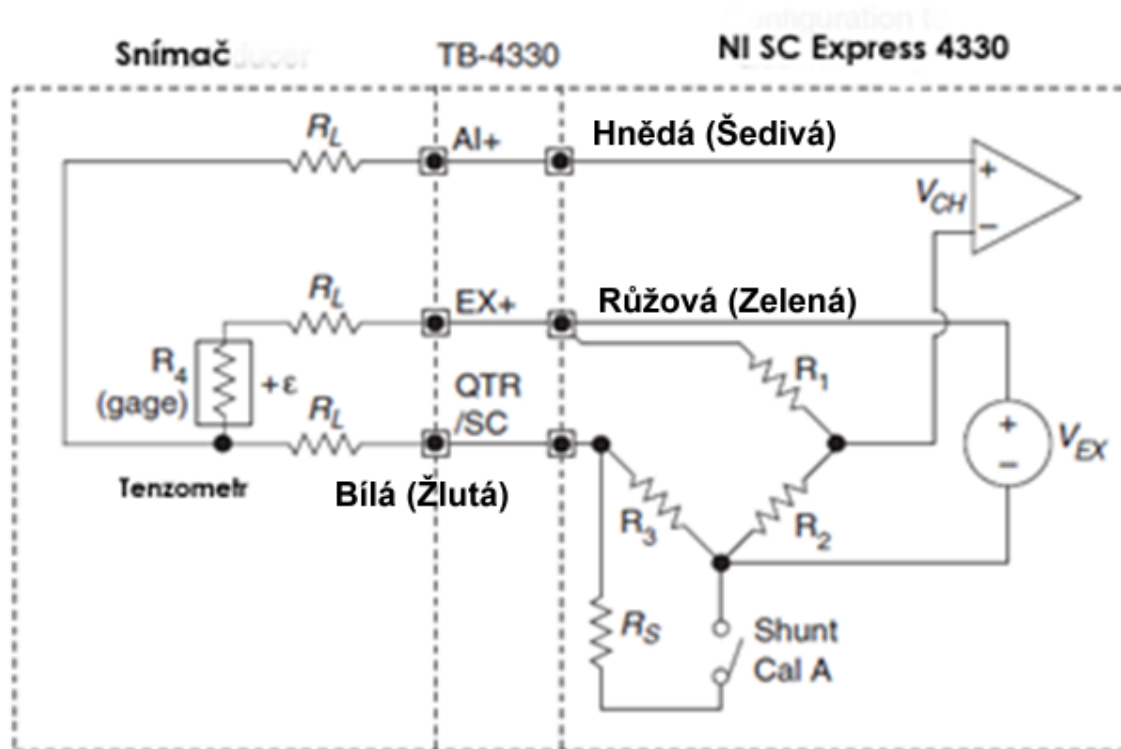
## Příloha č. 18

### Elektrický obvod zapojení čidel

Čtvrt můstkové zapojení tenzometru do sběrnice NI SC Express 4330 pomocí šestižilového odstíněného kabelu a z ní do PC

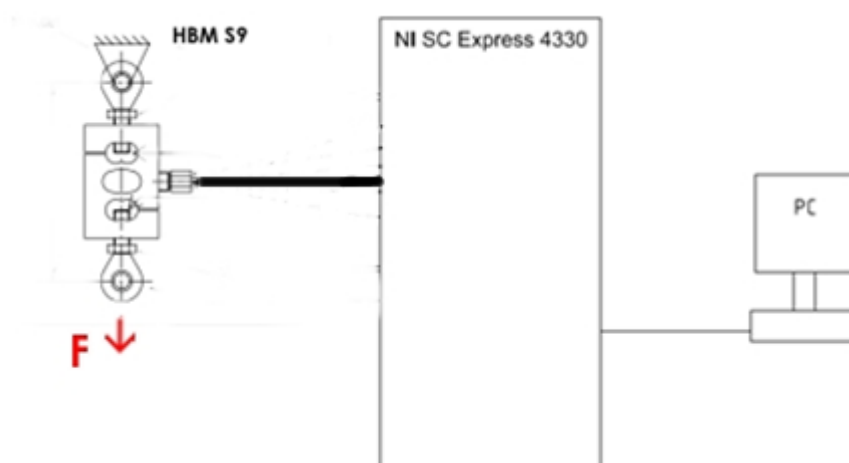


Elektrický obvod mezi tenzometrem a sběrnicí NI SC Express 4330 [122]

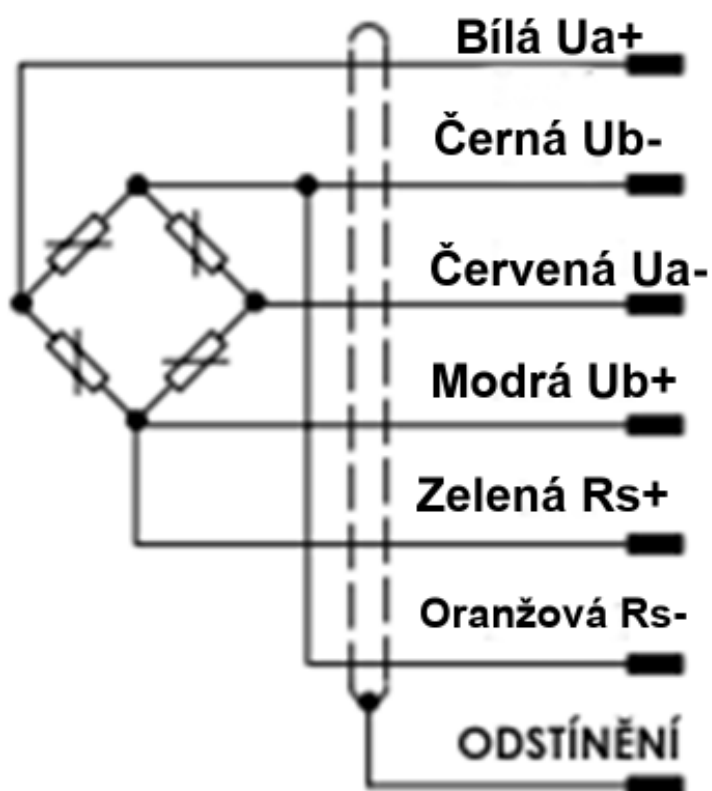


### Zapojení pro siloměr

Zapojení plného mostu tenzometrů, zapojené do sběrnice NI SC Express 4330 pomocí šestižilového odstíněného kabelu a z ní do PC

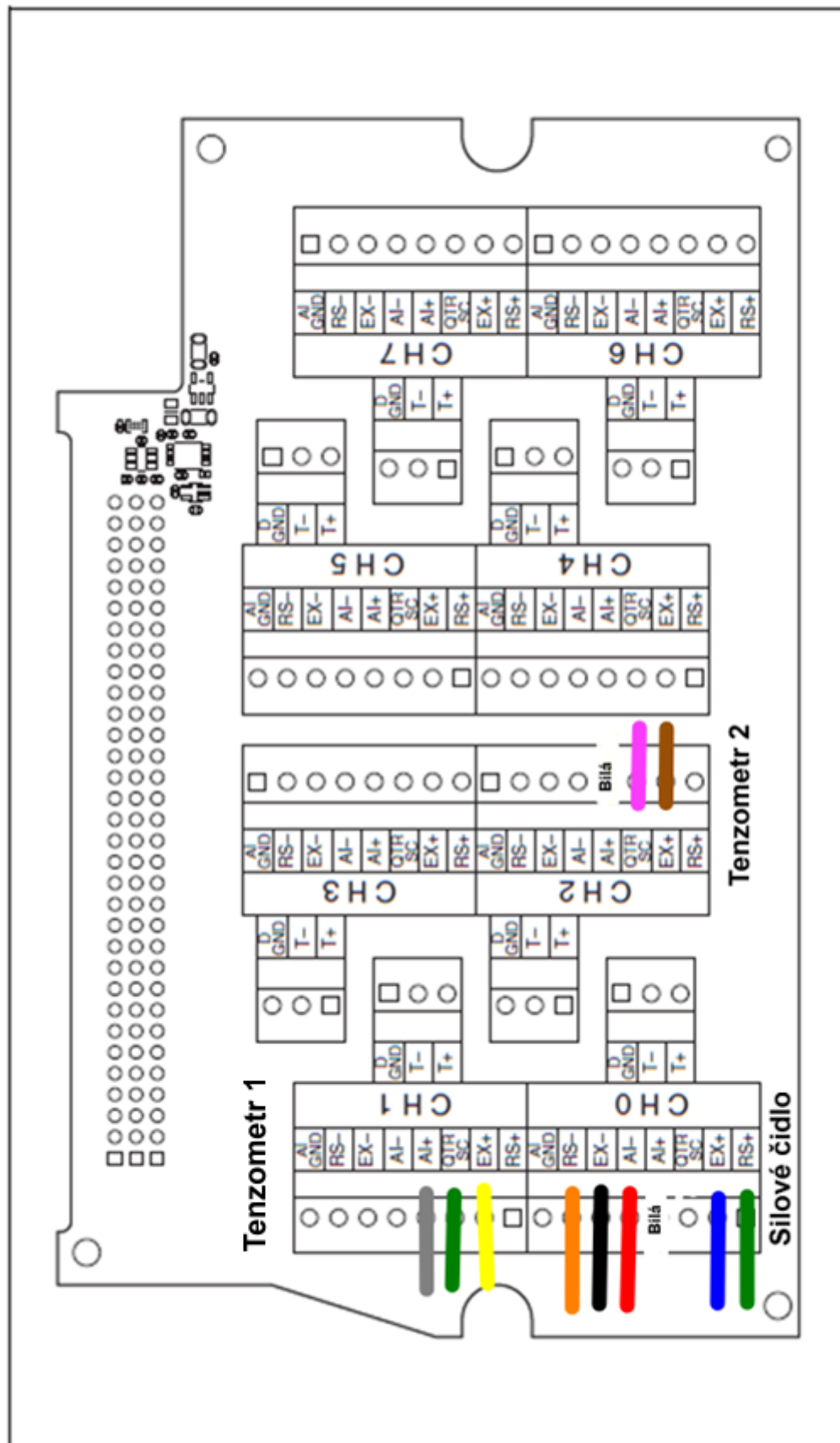


### Elektrický obvod zapojení tenzometrů





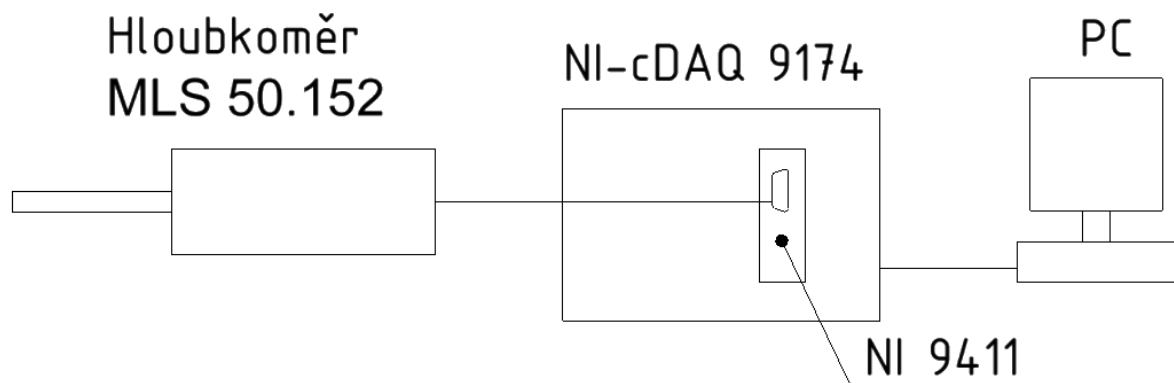
**Podrobné schéma NI SC Express 4330 [122]**



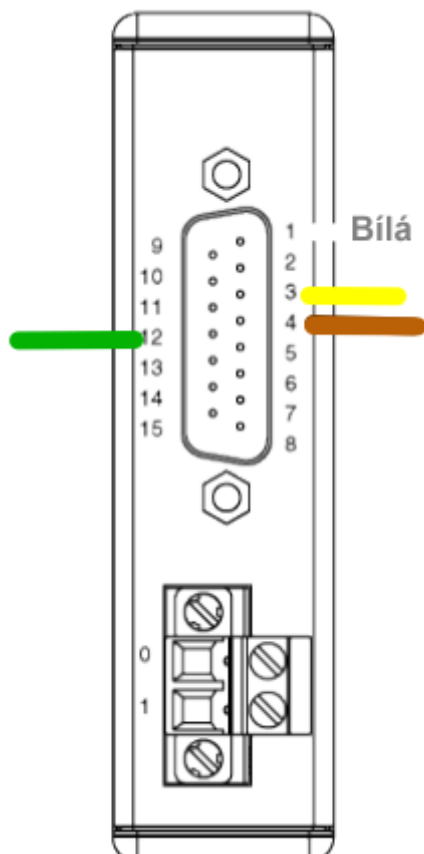
**Figure 4. TB-4330 Circuit Board Parts Locator Diagram**

### Zapojení pro hloubkoměr

Hloubkoměr zapojený do karty NI 9411 vložené do NI – cDAQ 9174 z něhož vedeme do PC.



### Podrobné schéma NI 9411 [122]



- 6-channel, 500 ns digital input
- $\pm 5$  V to 24 V, differential/single-ended digital input
- Compatible with NI CompactDAQ counters

## Příloha č. 1

Tabulka č.3: Síla pro dimenzování

<b>FM-sys.</b>		45x45	
W		8,69	cm3
R <sub>m</sub>		250	N/mm2
F1		5431	N
F2		2716	N
F <sub>din</sub>		8690	N

<b>BOSCH</b>		80x80	
W		33	cm3
R <sub>m</sub>		245	N/mm2
F1		20213	N
F2		10106	N
F <sub>din</sub>		16170	N

<b>FM-sys.</b>		40x40	
W		10	cm3
R <sub>m</sub>		250	N/mm2
F1		6250	N
F2		3125	N
F <sub>din</sub>		10000	N

<b>Paletti</b>		80x80	
W		47,08	cm3
R <sub>m</sub>		245	N/mm2
F1		28837	N
F2		14418	N
F <sub>din</sub>		23069	N

<b>BOSCH</b>		30x30	
W		2,6	cm3
R <sub>m</sub>		245	N/mm2
F1		1593	N
F2		796	N
F <sub>din</sub>		2548	N

<b>BOSCH</b>		60x60	
W		17,4	cm3
R <sub>m</sub>		245	N/mm2
F1		10658	N
F2		5329	N
F <sub>din</sub>		17052	N

<b>ITEM</b>		100x100	
W		86,28	cm3
R <sub>m</sub>		245	N/mm2
F1		52847	N
F2		26423	N
F <sub>din</sub>		42277	N

<b>BOSCH</b>		20x20	
W		0,8	cm3
R <sub>m</sub>		245	N/mm2
F1		490	N
F2		245	N
F <sub>din</sub>		784	N

<b>ITEM</b>		50x50	
W		12,27	cm3
R <sub>m</sub>		245	N/mm2
F1		7515	N
F2		3758	N
F <sub>din</sub>		12025	N

<b>BOSCH</b>		90x90	
W		66,7	cm3
R <sub>m</sub>		245	N/mm2
F1		40854	N
F2		20427	N
F <sub>din</sub>		32683	N

## Příloha č. 2

Tabulka č.4 Rozměry šroubů svěráků

<b>FM-sys.</b>	45x45
F <sub>din</sub>	5431,3 N
Fsverak	21725,0 N
Fšroub	10862,5 N
d3 x2	6,1 mm

Závit M8

<b>BOSCH</b>	80x80
F <sub>din</sub>	16170,0 N
Fsverak	129360,0 N
Fšroub	32340,0 N
d3 x4	10,5 mm

Závit M16

<b>FM-sys.</b>	40x40
F <sub>din</sub>	6250,0 N
Fsverak	25000,0 N
Fšroub	12500,0 N
d3 x2	6,5 mm

Závit M10

<b>Paletti</b>	80x80
F <sub>din</sub>	23069,2 N
Fsverak	184553,6 N
Fšroub	46138,4 N
d3 x4	12,5 mm

Závit M16

<b>BOSCH</b>	30x30
F <sub>din</sub>	2548,0 N
Fsverak	10192,0 N
Fšroub	5096,0 N
d3 x2	4,2 mm

Závit M6

<b>BOSCH</b>	60x60
F <sub>din</sub>	17052,0 N
Fsverak	68208,0 N
Fšroub	34104,0 N
d3 x2	10,8 mm

Závit M16

<b>ITEM</b>	100x100
F <sub>din</sub>	42277,2 N
Fsverak	338217,6 N
Fšroub	84554,4 N
d3 x4	16,9 mm

Závit M24

<b>BOSCH</b>	20x20
F <sub>din</sub>	784,0 N
Fsverak	3136,0 N
Fšroub	1568,0 N
d3 x2	2,3 mm

Závit M4

<b>ITEM</b>	50x50
F <sub>din</sub>	12024,6 N
Fsverak	48098,4 N
Fšroub	24049,2 N
d3 x2	9,0 mm

Závit M12

<b>BOSCH</b>	90x90
F <sub>din</sub>	32683,0 N
Fsverak	261464,0 N
Fšroub	65366,0 N
d3 x4	14,9 mm

Závit M20

### Příloha č. 3

Tabulka č.5 Potřebný počet závitů

<b>FM-sys.</b>		45x45
Fšroub	10862,5	N
d3 x2	6,07	mm
Závit	M10	
d	10	mm
D1	8,376	mm
závitů	2	

<b>BOSCH</b>		80x80
Fšroub	32340	N
d3 x4	10,48	mm
Závit	M16	
d	16	mm
D1	13,835	mm
závitů	4	

<b>FM-sys.</b>		40x40
Fšroub	12500	N
d3 x2	6,51	mm
Závit	M10	
d	10	mm
D1	8,376	mm
závitů	4	

<b>Paletti</b>		80x80
Fšroub	46138,4	N
d3 x4	12,52	mm
Závit	M16	
d	16	mm
D1	13,835	mm
závitů	4	

<b>BOSCH</b>		30x30
Fšroub	5096	N
d3 x2	4,16	mm
Závit	M6	
d	6	mm
D1	4,817	mm
závitů	4	

<b>BOSCH</b>		60x60
Fšroub	34104	N
d3 x2	10,76	mm
Závit	M16	
d	16	mm
D1	13,835	mm
závitů	4	

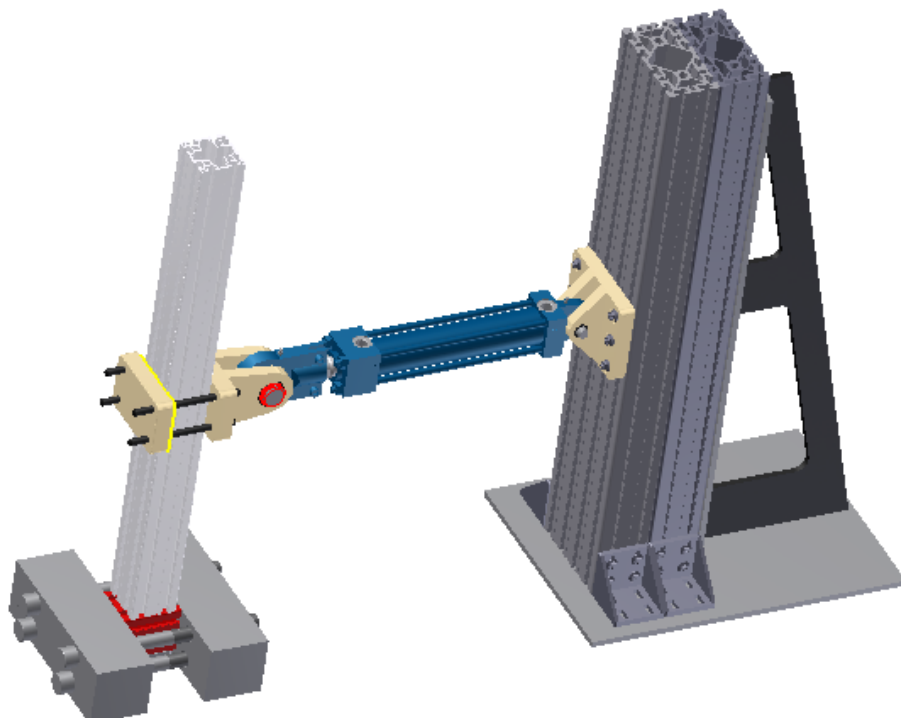
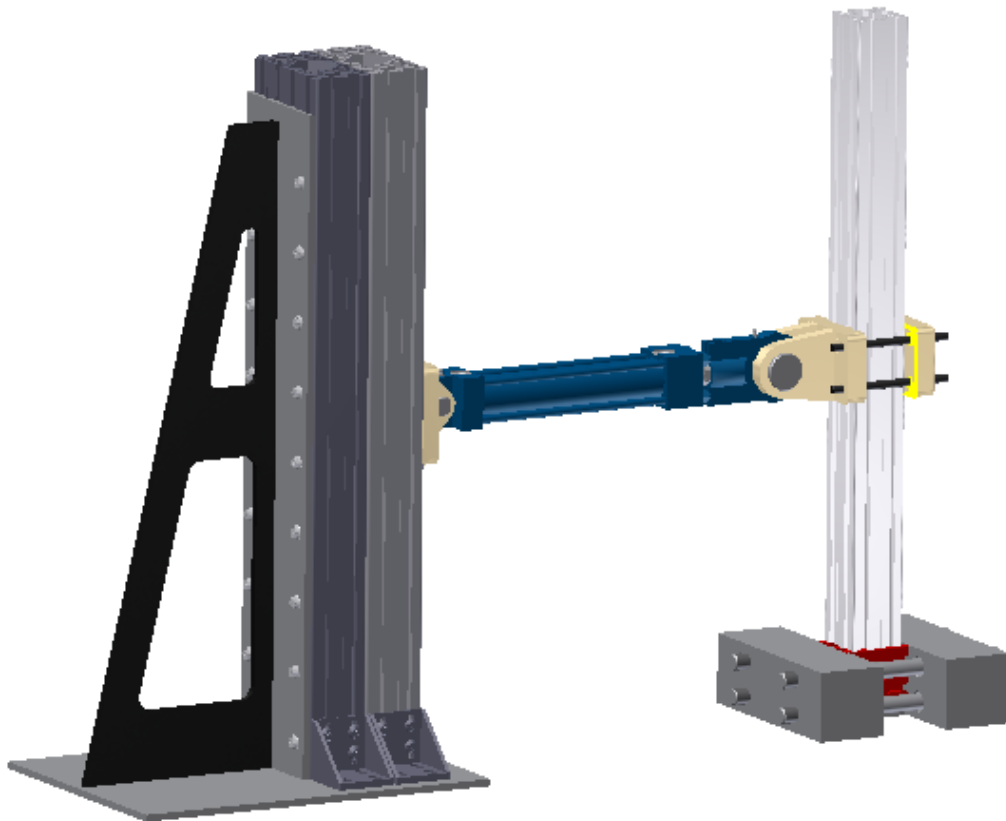
<b>ITEM</b>		100x100
Fšroub	84554,4	N
d3 x4	16,94	mm
Závit	M24	
d	24	mm
D1	20,752	mm
závitů	4	

<b>BOSCH</b>		20x20
Fšroub	1568	N
d3 x2	2,31	mm
Závit	M4	
d	4	mm
D1	3,242	mm
závitů	2	

<b>ITEM</b>		50x50
Fšroub	24049,2	N
d3 x2	9,04	mm
Závit	M12	
d	12	mm
D1	10,376	mm
závitů	4	

<b>BOSCH</b>		90x90
Fšroub	65366	N
d3 x4	M20	mm
Závit	M20	
d	20	mm
D1	17,294	mm
závitů	4	

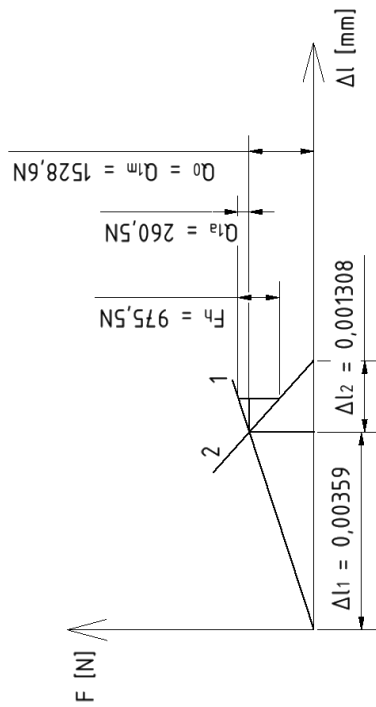




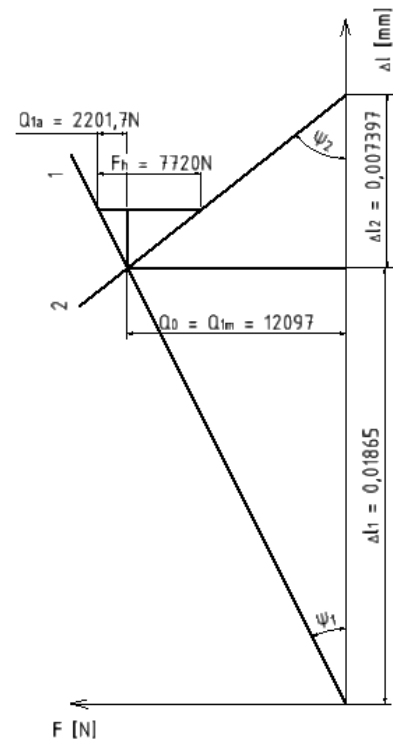


**Příloha č. 5** (obr. 87-90)

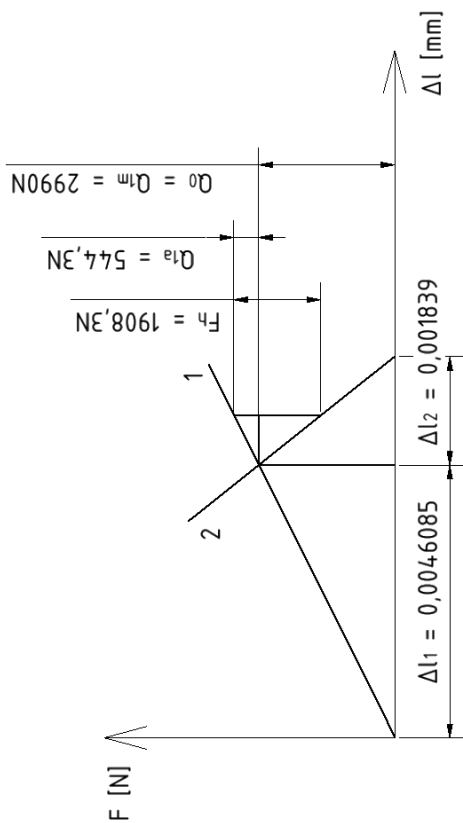
M8 – 1050A



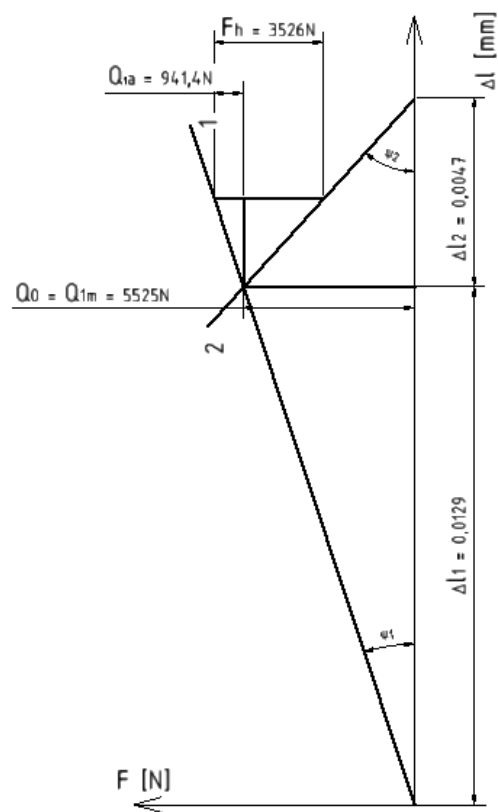
M8 – 6060



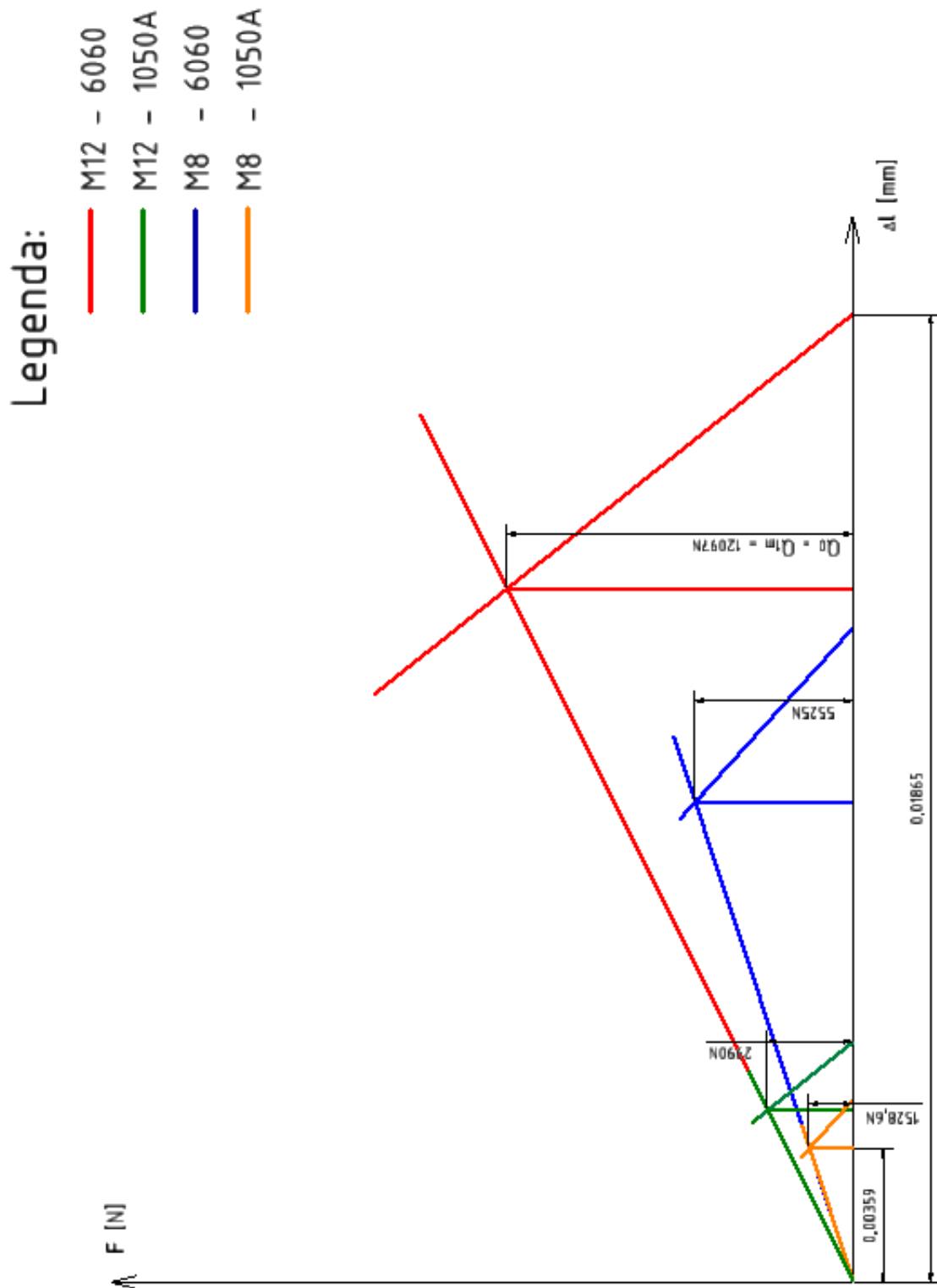
M12 – 1050A



M12 – 6060



**Příloha č. 6**



## Příloha č.7

## Mechanické a technologické vlastnosti hliníkových slitin [16]:

Označení dle EN AW	Označení dle ČSN	Chemické složení	Stav materiálu	Pevnost v tahu Rm (Mpa)	Mez kluzu min. Rp (Mpa)	Tažnost A% min.	Vhodnost k eloxu	Korozní odolnost	Svaritelnost	Obrobitelnost
1050A	42 4005	Al99,5	O/H111 H24	65-95 105-145	20 75	20 4	velmi dobrá	velmi dobrá	velmi dobrá	špatná
2007	42 4254	AlCu4PbMgMn	T4511	330-370	210	8	špatná	špatná	špatná	velmi dobrá
2017A	42 4201	AlCu4Mg	T4	min. 360	240	10	příjatečná	příjatečná	příjatečná	dobrá
2024	42 4203	AlCu4Mg1	T351	min. 400	270	8	špatná	příjatečná	špatná	velmi dobrá
5083	42 4415	AlMg4,5Mn0,7 / AlMg5	H111	min. 270	110	12	příjatečná	velmi dobrá	velmi dobrá	dobrá
5754	42 4413	AlMg3	O/H111	180-250	80	17	dobrá	velmi dobrá	velmi dobrá	dobrá
			H114	190-260	80	15				
			H22	220-270	130	9				
			H24	240-280	160	8				
6060	42 4401	AlMgSi	T4	min. 120	60	16	velmi dobrá	velmi dobrá	velmi dobrá	příjatečná
			T6	190	150	8				
			T64	min. 180	120	12				
			T66	min. 215	160	8				
6063	42 4401	AlMg0,7Si	T4	min. 130	65	12	dobrá	velmi dobrá	velmi dobrá	dobrá
			T6	min. 200	170	8				
			T66	min. 245	200	8				
6082	42 4400	Al Si1MgMn	T4	min. 205	110	14	dobrá	velmi dobrá	dobrá	dobrá
			T6	min. 290	240	8				
			T651	min. 300	240	4				
7075	-	AlZn5,5MgCu	T651	min. 470	400	6	špatná	příjatečná	špatná	velmi dobrá

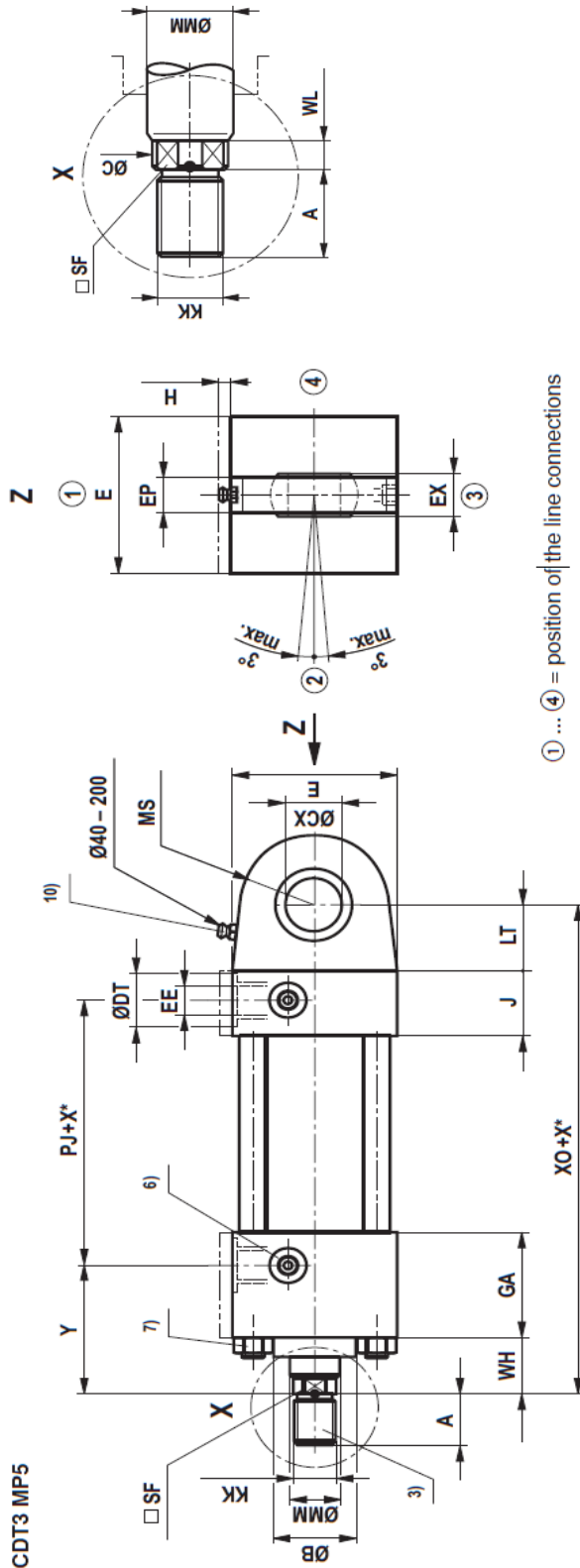
Pozn.: Uvedené hodnoty a údaje jsou pouze orientační.

Stupnice hodnocení:

1. velmi dobrá
2. dobrá
3. přijatelná
4. špatná

## Příloha č.9

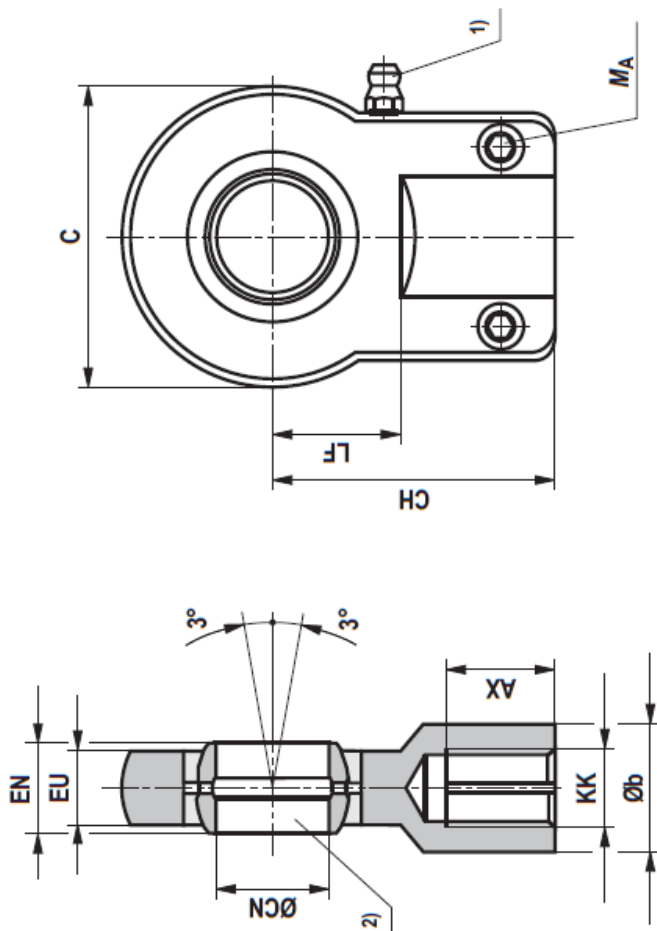
### Katalogový list hydraulického pístu CDT3MP5/50/36/250Z10/B1CFDMWW [42]



① ... ④ = position of the line connections

Píst	Pístnice	Plocha na úhle	Plocha			Síla		Průtok 0,1m/s			Maximální zvyh	
			Pístu	Pístnice	Kroužku	Tlak	F3 [kN]	Vypnuto	Zapnuto	q <sub>v1</sub> [l/min]		q <sub>v2</sub> [l/min]
ØAL	ØMM	φ - A1/A3	A1 [cm <sup>2</sup> ]	A2 [cm <sup>2</sup> ]	A3 [cm <sup>2</sup> ]	F1 [kN]	F2 [kN]	F3 [kN]	q <sub>v1</sub> [l/min]	q <sub>v2</sub> [l/min]	q <sub>v3</sub> [l/min]	
50	36	2,08	19,63	10,18	9,45	31,41	16,29	15,12	11,8	6,1	5,7	1200
	ØAL	ØMM	A max	ØC	SF	WL	ØB f9	E	EE	ØDT	Y ± 2	
		36	M16x1,5	22	34	30	8	50	75±1,5	G 1/2	34	67
	50	ØCX	EP h13	EX	LT min	XO ± 1,5	MS max	GA	J	PJ ± 1,25	WH ± 2	
		25-0,012	17	20-0,12	31	190	33	57,5	33,5	74	25	

### CGKA 25 – Přídavné oko



KK	AX min	ØB	C max	CH js13	ØCN	EN	EU max	LF min	M <sub>A</sub> Nm	C <sub>0</sub> [KN]	F <sub>amd</sub> [kN]
M16x1,5	23	30	65	68	25-0,012	20-0,12	17	30	23	67	24,7

**Příloha č.10**

**Katalogový list silové čidla S9 HBM [20, 21]**

Dimensions under VDI 2638		S9					
		2	5	10	20	50	
		F <sub>nom</sub>		kN			
<p>Force introduction type</p>		class		0.05			
<p>sensitivity deviation tensile/compressive force</p>		C <sub>nom</sub>		mV/V		2	
<p>sensitivity deviation compressive force</p>		d <sub>c</sub>		%		< 0.25	
<p>sensitivity deviation difference</p>		d <sub>zd</sub>		%		< ±0.1	
<p>deviation from zero</p>		d <sub>s,0</sub>		%		< 5	
<p>range of inversion (0.2F<sub>nom</sub> to F<sub>nom</sub>)</p>		u		%		0.1	
<p>deviation</p>		d <sub>lin</sub>		%		0.05	
<p>temperature effect per 10 K by reference to sensitivity</p>		TK <sub>c</sub>		%		0.05	
<p>temperature effect per 10 K by reference to sensitivity</p>		TK <sub>g</sub>		%		0.05	
<p>output resistance</p>		d <sub>Q</sub>		%		±1	
<p>isolation resistance</p>		d <sub>grF+E</sub>		%		< ±0.05	
<p>reference excitation voltage</p>		Re		Ω		> 345	
<p>operating range of the excitation voltage</p>		Ra		Ω		300 - 400	
<p>nominal temperature range</p>		R <sub>is</sub>		GΩ		> 1	
<p>operating temperature range</p>		U <sub>ref</sub>		V		5	
<p>storage temperature range</p>		B <sub>UGT</sub>		V		0.5...12	
<p>reference temperature</p>		B <sub>t, nom</sub>		°C [°F]		-10...+70 [14...158]	
<p>maximum operating force</p>		B <sub>t, g</sub>		°C [°F]		-30...+85 [-22...185]	
<p>limit force</p>		B <sub>t, s</sub>		°C [°F]		-30...+85 [-22...185]	
<p>breaking force</p>		t <sub>ref</sub>		°C [°F]		+22 [71.8]	
<p>limit torque</p>		(F <sub>g</sub> )		%		150	
<p>static lateral limit force*</p>		(F <sub>l</sub> )		%		150	
<p>nominal displacement</p>		(F <sub>b</sub> )		%		> 300	
<p>fundamental resonance frequency</p>		(M <sub>g</sub> )		Nm		6   15   30   60   150	
<p>relative permissible vibrational stress</p>		(F <sub>q</sub> )		%		10	
<p>weight</p>		S <sub>nom</sub>		mm		< 0.4	
<p>degree of protection to DIN EN 60529</p>		f <sub>g</sub>		kHz		1.6   2.2   2.7   2.4	
<p>cable length, 6-wire connection</p>		F <sub>ro</sub>		%		70	
<p>by reference to a force introduction point on the force-introduction surface</p>		Weight		kg		0.77   1.6   1.8	
<p>by reference to a force introduction point on the force-introduction surface</p>		Degree of protection to DIN EN 60529		IP65		6	
<p>by reference to a force introduction point on the force-introduction surface</p>		Cable length, 6-wire connection		m		6	

Nominal force (kN)	A	B	C	D	E
2-10	87.3	57.2	28.6	43.7	24

F	m	H <sub>max</sub>	H <sub>min</sub>
12	M12	172	153

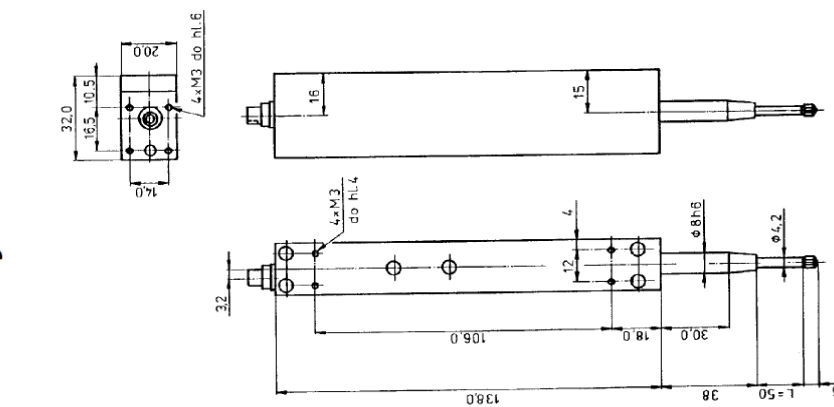
  

$$\Delta m = \pm \frac{10000}{100} \cdot 0,05 = \pm 5N$$

Příloha č.11

Katalogový list hloubkoměr MSL 50.152 [19]

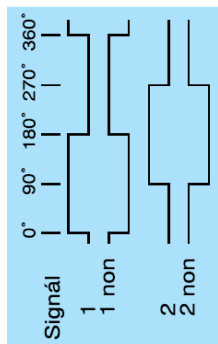
Rožměrový náčrt MSL50



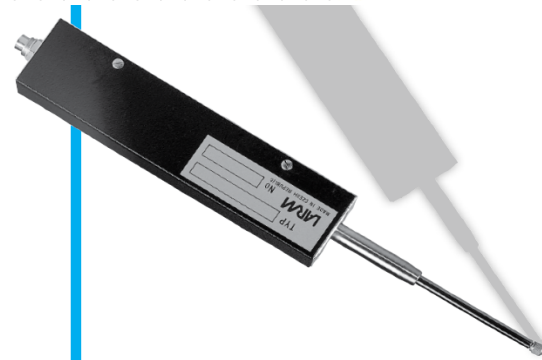
Technické údaje

Provedení výstupních obvodů	push - pull + 10 až + 30	OC NPN	OC NPN	line driver	TTL
Napájecí napětí U <sub>v</sub> [V]	-40	60	60	+ 5	40
Vlastní spotřeba I <sub>v</sub> [mA] max.	150	100	150	150	100
Výstupní frekvence [kHz] max.	± 25	+ 25	+ 25	± 25	-
Zařízení výsti karací U <sub>v</sub> [mA] max.	50	30 nebo 50	5 nebo 10		3
Délka kabelu [m] max.			libovolný s M2,5		
Měřicí délka [mm] min.			libovolná		
Měřicí dotyk			libovolná		
Měřicí poloha <sup>1)</sup>			libovolná		
Příměrná síla vrátě pružiny [N] max.			0,8 ± 0,2		
Rychlost měření [ms <sup>-1</sup> ] max.			pro 5 µm = 1, pro 10 µm = 2		
Hmotnost pohyblivých částí [g] max.			20		
Facilní namáhání tyčky [N] max.			0,2		
Hmotnost měřicí sondy [kg] max.			0,25		

1) U provedení bez vratné pružiny musí být zajištěno pevné mechanické spojení s měřeným zařízením.



Pracovní podmínky  
 Pracovní teplota - relativní vlhkost - absolutní vlhkost  
 Atmosféra bez agresivních látek.



**Montáž**  
 Upinání se provádí za lícovaný průměr 8h6 nebo pomocí čtyř šroubů M3 na čele a boku měřicí sondy. Měřicí tyčka je opatřena závitem M2,5 pro uchycení libovolného měřicího dotyku.  
**Poznáмка:** Měřicí tyčku nelze mazat olejem nebo jinými mazivy, na kterých ulpívá prach a nečistoty. Doporučení - měřicí tyčku čistěte neagresivním odmašťujícím prostředkem pomocí vaty nebo měkké tkaniny.

**Výstupní signály**  
 MSL30 a MSL50 s TTL  
 2 základní signály (1,2) posunutě o 90° elektrických

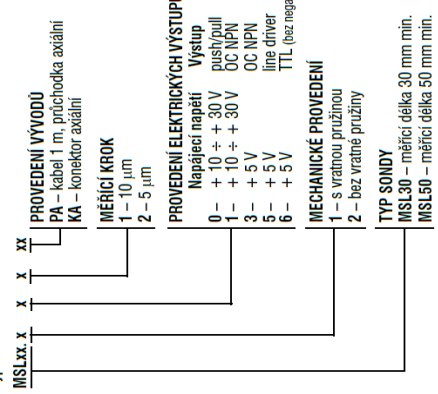
**Výstupní signály**  
 MSL30 a MSL50 s TTL  
 2 základní signály (1,2) posunutě o 90° elektrických  
 MSL30 a MSL50 s push-pull, OC NPN, line driver  
 2 základní signály (1,2) posunutě o 90° elektrických a jejich negace.



**Měřicí sonda MSL30 a MSL50**

Měřicí sonda MSL30 a MSL50 slouží pro přesné odměřování délek souřadnice v krátkém měřicím rozsahu (30 a 50 mm) například v přesném strojírenství, kontrolních a třídících automatech pro automatický sběr dat. Ve spojení s číslicovou indikací lze použít měřicí sondy jako náhradou za číselníkový úchylkomér, a nebo jako například přesný snímač koncové polohy s měřením rychlosti posuvu. Měřicí sonda je vybavena vratnou pružinou s délkou měřicí sondy v libovolné měřicí poloze. Na přání zákazník lze dodat měřicí sondy bez vratné pružiny. Optická informace o délkové poloze je elektronickými obvody převáděna na elektrické impulzy (inkrementy). Měřicí sonda MSL50 má navíc předčítací typ MS.

Typové označení





## Příloha č.12

### 1-LS5, LY11 – 6/120 [111]

# SG / Y series with 1 measuring grid / linear strain gages

Stock types	Variants	No- minal resis- tance	Dimensions (mm) [1 inch = 25.4 mm]				Max. perm. effective bridge excitation voltage	Solder terminals
			Measuring grid		Measuring grid carrier			
	Aluminum	Ω	a	b	c	d	V	
1-LY11-0.6/120	1-LY13-0.6/120	120	0.6	1	5	3.2	1.5	LS 7
1-LY11-1.5/120	1-LY13-1.5/120	120	1.5	1.2	6.5	4.7	2.5	LS 7
1-LY11-3/120	1-LY13-3/120	120	3	1.4	8.5	4.5	4	LS 7
1-LY11-3/120A	1-LY13-3/120A	120	3	1.4	8.5	4.5	4	LS 7
1-LY11-6/120	1-LY13-6/120	120	6	2.8	13	6	8	LS 5
1-LY11-6/120A	1-LY13-6/120A	120	6	2.8	13	6	8	LS 5
1-LY11-10/120	1-LY13-10/120	120	10	4.9	18.5	9.5	13	LS 5
1-LY11-10/120A	1-LY13-10/120A	120	10	4.9	18.5	9.5	13	LS 5
1-LY11-1.5/350	1-LY13-1.5/350	350	1.5	1.2	5.7	4.7	4.5	LS 7
1-LY11-3/350	1-LY13-3/350	350	3	1.5	8.5	4.5	7	LS 7
	1-LY13-3/350A	350	3	1.5	8.5	4.5	7	LS 7
1-LY11-6/350	1-LY13-6/350	350	6	2.9	13	6	14	LS 5
1-LY11-6/350A	1-LY13-6/350A	350	6	2.9	13	6	14	LS 5
1-LY11-10/350	1-LY13-10/350	350	10	5	18.5	9.5	23	LS 5
1-LY11-10/350A	1-LY13-10/350A	350	10	5	18.5	9.5	23	LS 5

#### LY11

Linear strain gage  
Temperature response matched to steel  
with  $\alpha = 10.8 \cdot 10^{-6}/K$

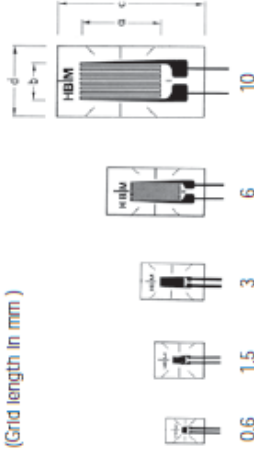
#### LY13

Temperature response matched to aluminum  
with  $\alpha = 23 \cdot 10^{-6}/K$

#### LY1X

Temperature response matching at customer's choice,  
see page 20


Illustrations show actual size  
(Grid length in mm)



Contents per package: 10 pcs.

<p>temperature response                  temperature response at customer's choice matched to the thermal expansion coefficient  <math>\alpha</math> for ferritic steel  <math>\alpha</math> for aluminum  <math>\alpha</math> for plastic material  <math>\alpha</math> for austenitic steel  <math>\alpha</math> for titanium/ gray steel  <math>\alpha</math> for molybdenum  <math>\alpha</math> for quartz                  tolerance of the temperature response                  temperature response with matching in the range of<sup>3)</sup></p>	<p>1/K                  1/K                  1/K                  1/K                  1/K                  1/K                  1/K                  1/K                  °C</p>	<p>specified on each package                  10,8 · 10<sup>-6</sup>                  23 · 10<sup>-6</sup>                  65 · 10<sup>-6</sup>                  16 · 10<sup>-6</sup>                  9 · 10<sup>-6</sup>                  5,4 · 10<sup>-6</sup>                  0,5 · 10<sup>-6</sup>                  ± 0,3 · 10<sup>-6</sup>                  -10... + 120</p>
<p>mechanical hysteresis<sup>1)</sup>                  at reference temperature and strain <math>\epsilon = \pm 1,000 \mu\text{m/m}</math>                  on strain gage type LY 11-6/120                  at 1st load cycle and adhesive Z 70                  at 3rd load cycle and adhesive Z 70                  at 1st load cycle and adhesive X 60                  at 3rd load cycle and adhesive X 60                  at 1st load cycle and adhesive EP 250                  at 3rd load cycle and adhesive EP 250</p>	<p><math>\mu\text{m/m}</math>  <math>\mu\text{m/m}</math>  <math>\mu\text{m/m}</math>  <math>\mu\text{m/m}</math>  <math>\mu\text{m/m}</math>  <math>\mu\text{m/m}</math></p>	<p>1                  0,5                  2,5                  1                  1                  1</p>
<p>maximum elongation<sup>1)</sup>                  at reference temperature using adhesive Z 70                  on strain gage type LY 11-6/120                  absolute strain value <math>\epsilon</math> for positive direction                  absolute strain value <math>\epsilon</math> for negative direction</p>	<p><math>\mu\text{m/m}</math>  <math>\mu\text{m/m}</math></p>	<p>50,000 (<math>\Delta \pm 5 \%</math>)                  50,000 (<math>\Delta \pm 5 \%</math>)</p>
<p>fatigue life<sup>1)</sup>                  at reference temperature using adhesive X 60                  on strain gage type LY 11-6/120                  number of load cycles <math>L_W</math> at                  alternating strain <math>\epsilon_W = \pm 1,000 \mu\text{m/m}</math> and zero point drift  <math>\epsilon_m \Delta \leq 300 \mu\text{m/m}</math>  <math>\epsilon_m \Delta \leq 30 \mu\text{m/m}</math></p>		<p>&gt;&gt; 10<sup>7</sup> (test was interrupted at 10<sup>7</sup>)                  &gt; 10<sup>7</sup> (test was interrupted at 10<sup>7</sup>)</p>
<p>minimum radius of curvature, longitudinal and transverse, at reference temperature                  for strain gages with leads                  for strain gages with integrated solder tabs                      within the measuring grid area                      within the area of the solder tabs                  bonding material that can be used                  cold curing adhesives</p>	<p>mm                  mm                  mm</p>	<p>0,3                  0,3                  2                  Z 70; X 60; X 280</p>


strain gage construction measuring grid material thickness carrier material thickness cover material thickness connections for strain gages without leads	foil SG complete with embedded measuring grid  Constantan foil 3.8 or 5, depending on strain gage type  polyimide 45 ± 10  polyimide 25 ± 5 nickel plated Cu leads, approx. 30mm in length, integrated solder tabs, approx. 1.5mm in length, approx. 1.6 ... 2.2mm wide	μm  μm  μm
nominal resistance resistance tolerance gage factor nominal value of the gage factor gage factor tolerance for 0.6mm and 1.5mm measuring grid length for ≥ 3 mm measuring grid length temperature coefficient of the gage factor nominal value of the temperature coefficient of the gage factor	120, 350, 700, or 1000, depending on SG type ± 0.3 without; ± 0.35 with leads) approx. 2 specified on each package ± 1.5 ± 1 approx. (115 ± 10) · 10 <sup>-6</sup> specified on each package	Ω %  % % 1/K
reference temperature operating temperature range for absolute, i.e. zero point related measurements for relative, i.e. not zero point related measurements	23  -70 ... + 200 -200 ... + 200	°C  °C °C
transverse sensitivity within reference temperature range using adhesive Z 70 on strain gage type LY 11-6/120	specified on each package - 0.1	%



**Dehnungsmessstreifen**  
**Strain gages**  
**Jauges d'extensométrie**


Bestellnummer  
Order No.  
No. de référence

1-LY11-6/120



Widerstand  
Resistance  
Résistance

120 Ω ±0,35 %



Typ  
Type  
Type

6/120 LY11

k-Faktor  
Gage factor  
Facteur k


2,04 ±1,0 %

Stückzahl  
Contents  
Quantité

18 ✓ 9

Querempfindlichkeit  
Transverse sensitivity  
Sensibilité transverse

-0,1 %



Temperaturkoeffizient  
des k-Faktors  
Temperature coefficient  
of gage factor  
Coefficient de température  
du facteur k

93 ±10 [10<sup>-6</sup> / °C]  
(-10°C ... +45°C)

Folienlos  
Lot  
Lot de la feuille

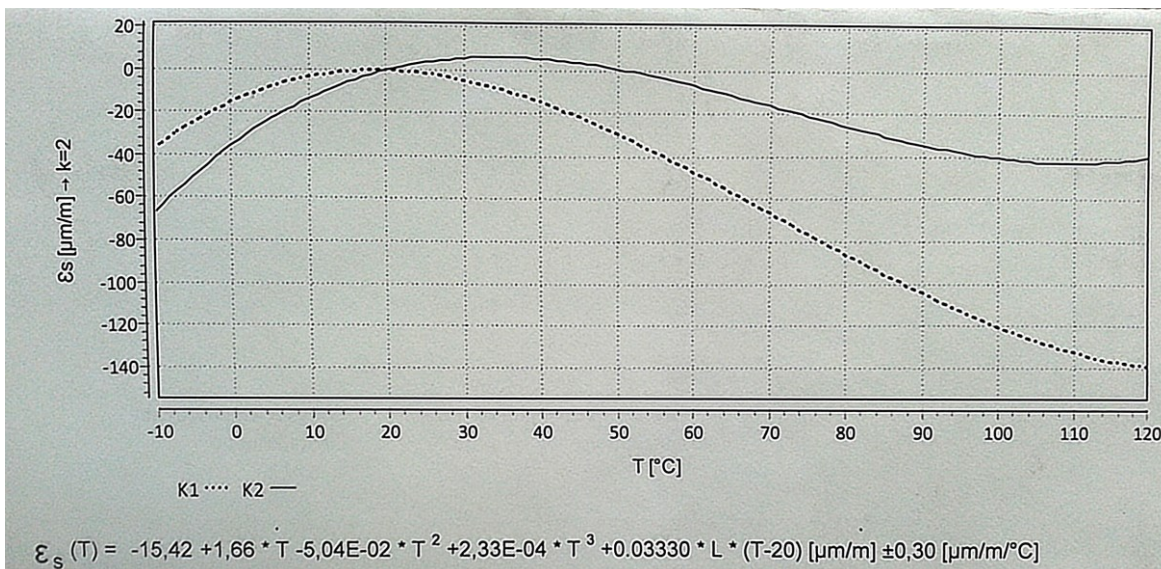
A412/01

Herstellungslot  
Batch  
Lot de fabrication

812054450

Temperaturkompensation: Angepasst für - Ferritischen Stahl mit  
Temperature compensation: Compensated for steel with  
Compensation de température: Compensation pour acier avec

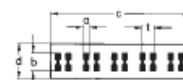
$\alpha = 10,8 [10^{-6} / ^\circ\text{C}]$



Order no.	Dimensions (mm)				Distance t	Contents per package
	Soldering tag		Carrier			
	a	b	c	d		
1-LS 7	1	3	20	6	2	125 pairs
1-LS 5	1.5	4.5	35	10	2.5	125 pairs
1-LS 4	2.5	6.5	50	13	4	125 pairs

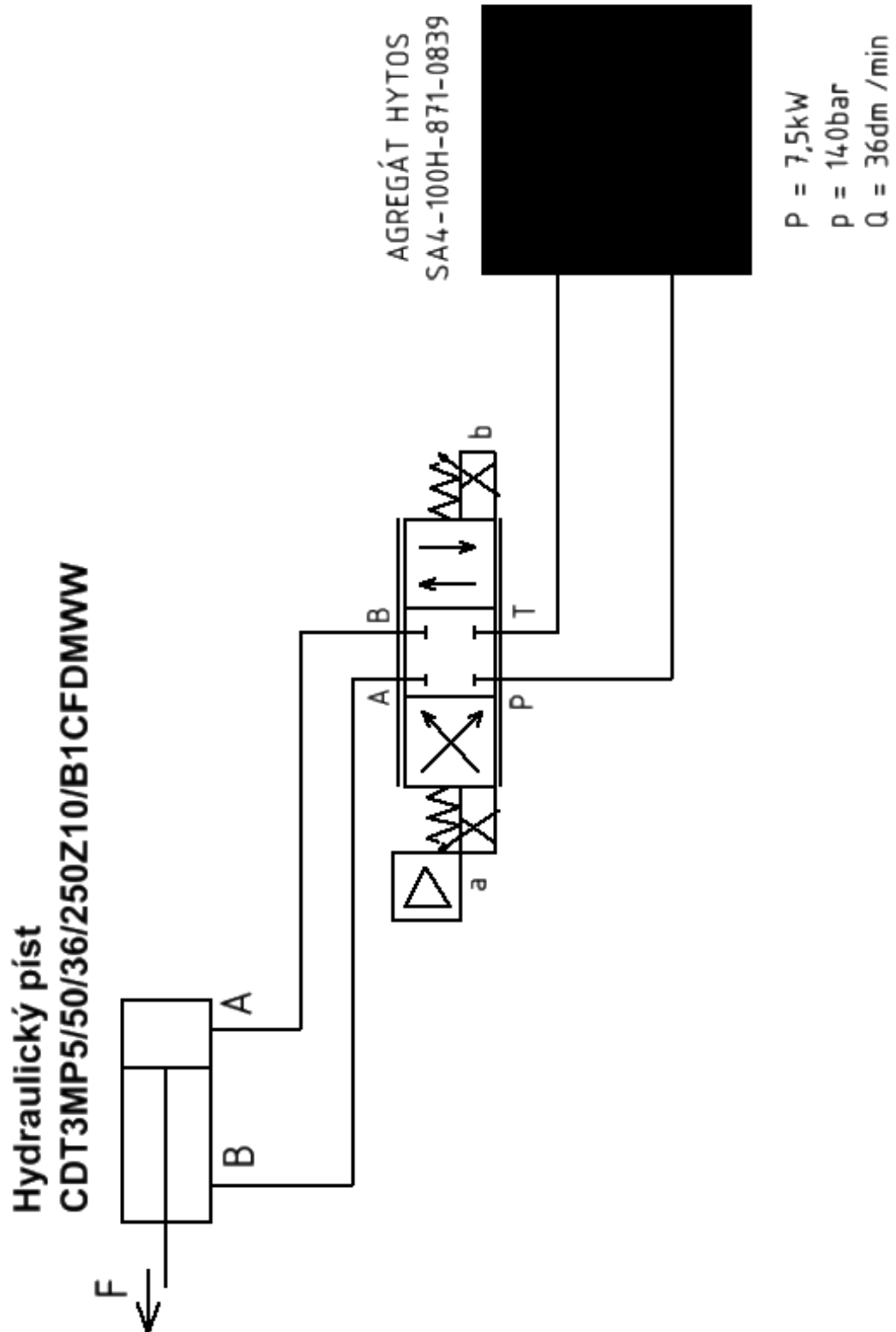
### LS7/5/4

copper, nickel-plated, on polyimide  
attachment to test object: bonding  
usable up to 180°C, for short periods up to 260°C



## Příloha č. 17

### Hydraulický obvod zapojení



## Příloha č.19

