

# **Konstrukce a výroba stanice pro testování externího fixátoru aplikovaného v lékařství**

Bc. Matěj Homola

---

Diplomová práce  
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Matěj Homola**

Osobní číslo: **T17565**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukce a výroba stanice pro testování externího fixátoru aplikovaného v lékařství**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování rešerše diplomové práce
2. Návrh testovací stanice pro externí fixátor a tvorba výrobní dokumentace
3. Výroba testovací stanice
4. Odzkoušení vyrobeného přípravku a testování externích fixátorů s následným vyhodnocením dat

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. TICKOO, Sham.CATIA: kompletní průvodce. Brno: Computer Press, 2012, 696 s. ISBN 978-80-251-3527-3. 2. SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHE a Richard G. BUDYNAS.Konstruování strojních součástí. Brno: VUTIU, 2010, xxv, 1159 s. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0
2. APETAUR, Milan, Tomáš HRALA a Tomáš VYSLOUŽIL.Mechanika poddajných těles: pružnost a pevnost. 2., přeprac. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J.E.Purkyně v Ústí nad Labem, 2009, 249 s. Skripta. ISBN 978-80-7414-201-7
3. KOLÍBAL, Zdeněk.Technologičnost konstrukce a retrofitting výrobních strojů. V Brně: VUTIU, 2010, 335 s. ISBN 978-80-214-3765-4

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Filip Tomanec**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2019**

Ve Zlíně dne 1. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

---

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.



(2) *Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.*

(3) *Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.*

<sup>2)</sup> *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:*

(3) *Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).*

<sup>3)</sup> *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:*

(1) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.*

(2) *Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.*

(3) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

## **ABSTRAKT**

Abstrakt česky

Tato diplomová práce s názvem: „Konstrukce a výroba stanice pro testování externího fixátoru aplikovaného v lékařství“ se zabývá návrhem a následnou výrobou testovací stanice.

Teoretická část slouží k seznámení s externí fixací, konstrukčním řešením a testováním externích fixátorů.

Cílem praktické části je navrhnout a následně vyrobit testovací stanici pro externí fixátory, pomocí které lze snadno simulovat cyklické zatížení externího fixátoru.

Výsledkem práce byla konstrukce a výroba testovací stanice, jejíž funkčnost byla ověřena samotným testováním.

Klíčová slova: Ilizarův externí fixátor, jednoúčelový stroj, výroba jednoúčelového stroje, pneumatický obvod, dynamické zatížení, biomechanika.

## **ABSTRACT**

Abstrakt ve světovém jazyce

Presented master thesis with the title: "Design and production of a station for the testing of an external fixator applied in medicine." deals with the design and following manufacturing of testing unit.

The theoretical part describes external fixation from the biomechanical perspective, different types of mechanical design and external fixator testing processes.

The main goal of experimental part is a design and manufacturing of testing unit serving for the simulation of external fixator loading during the application.

The result of this work is a mechanical design and production of the testing unit that has been evaluated by the testing.

Keywords: Ilizarov external fixation, single-purpose machine, single-purpose machine production, pneumatic circuit, dynamic loading, biomechanics

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Filipovi Tomancovi, za odborné rady a profesionální přístup, který mi během zpracování diplomové práce věnoval. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za podporu. Poděkování patří také Ústavu výrobního inženýrství za poskytnutí financí pro realizaci diplomové práce a firmě SHK Kovovýroba s.r.o. za umožnění výroby.

Tato práce a projekt je realizován s finanční podporou interního grantu UTB ve Zlíně IGA/FT/2019/004 financovaného ze zdrojů specifického univerzitního výzkumu.

Prohlašuji, že odevzdaná diplomová práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Dále prohlašuji, že na své diplomové práci jsem pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval a zmínil na konci této práce.

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 EXTERNÍ FIXACE</b> .....	<b>12</b>
1.1 HISTORIE EXTERNÍ FIXACE .....	12
1.2 ZPŮSOBY EXTERNÍ FIXACE A KONSTRUKČNÍ PŘÍMĚNÍ .....	13
1.3 VYUŽITÍ A APLIKACE EXTERNÍHO FIXÁTORU .....	15
<b>2 ILIZARŮV EXTERNÍ FIXÁTOR</b> .....	<b>16</b>
2.1 KONSTRUKCE FIXÁTORU .....	17
2.1.1 Prstenec .....	18
2.1.2 Kirschnerovy dráty .....	19
2.1.3 Upínka pro Kirschnerův drát .....	21
2.1.4 Spojovací tyč + upevňovací matice .....	22
2.2 KLASIFIKACE VNĚJŠÍCH MODULŮ .....	22
<b>3 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ PRO FIXÁTORY</b> .....	<b>25</b>
3.1.1 Kovy a kovové slitiny .....	25
3.1.2 Kompozitní materiály .....	25
3.2 SROVNÁNÍ KOVOVÉHO A KOMPOZITNÍHO FIXÁTORU .....	26
<b>4 TESTOVÁNÍ FIXÁTORU</b> .....	<b>28</b>
4.1 PŮSOBÍCÍ SÍLY VE FIXÁTORU .....	29
4.2 PODÉLNÁ TUHOST .....	29
4.3 PŘÍČNÁ TUHOST V ROVINĚ SAGITÁLNÍ .....	30
4.4 PŘÍČNÁ TUHOST V ROVINĚ FRONTÁLNÍ .....	31
4.5 ROTAČNÍ TUHOST .....	31
<b>5 ZPŮBY TESTOVÁNÍ FIXÁTORŮ V PRAXI</b> .....	<b>33</b>
5.1 UNIVERZÁLNÍ ZKUŠEBNÍ STROJE .....	33
5.1.1 Testování K - drátu .....	33
5.1.2 Testování přímého a nepřímého zatížení externího fixátoru .....	34
5.1.3 Pevnostní analýza částí zevního fixátoru pro nohu .....	35
5.2 JEDNOÚČELOVÉ STROJE .....	36
5.2.1 Příslušenství k jednoúčelovým strojům .....	37
5.2.2 Pneumatické mechanismy .....	38
5.2.3 Výhody a nevýhody pneumatických mechanismů .....	38
5.2.4 Pneumatické prvky .....	39
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>40</b>
<b>6 TESTOVACÍ STANICE PRO EXTERNÍ FIXÁTOR</b> .....	<b>41</b>

6.1	NAVRŽENÍ TESTOVACÍ STANICE.....	42
6.2	KONSTRUKCE TESTOVACÍHO ZAŘÍZENÍ.....	42
6.3	VYRÁBĚNÉ DÍLY.....	43
6.3.1	Základová deska spodní.....	44
6.3.2	Základová deska horní.....	46
6.3.3	Stojiny.....	49
6.3.4	Základna spodní.....	50
6.3.5	Základna horní.....	52
6.3.6	Příruba.....	55
6.3.7	Držák mechanického ventilu horní.....	58
6.3.8	Držák mechanického ventilu spodní.....	60
6.3.9	Konzola mechanického ventilu.....	62
6.3.10	Spínač mechanického ventilu horní.....	64
6.3.11	Spínač mechanického ventilu dolní.....	66
6.4	NAKUPOVANÉ DÍLY.....	69
6.4.1	Pneumatický válec.....	69
6.4.2	Mechanický ventil 3/2.....	72
6.4.3	Vzduchem ovládaný ventil 5/2.....	74
6.4.4	Držák pro vzduchem ovládaný ventil 5/2.....	76
6.4.5	Ruční ventil 3/2.....	76
6.4.6	Regulátor/filtr tlaku.....	78
6.4.7	Upevňovací úhelník regulátoru.....	80
6.4.8	Tlumič hluku.....	80
6.4.9	Manometr.....	81
6.4.10	Škrticí ventil.....	82
6.4.11	Nástrčné spojky.....	82
6.4.12	Vzduchová hadice.....	83
6.4.13	Spojovací materiál.....	84
<b>7</b>	<b>PNEUMATICKÉ ZAPOJENÍ.....</b>	<b>85</b>
7.1	POPIS VSTUPŮ A VÝSTUPŮ NA VENTILECH.....	87
<b>8</b>	<b>TESTOVÁNÍ.....</b>	<b>88</b>
8.1	VSTUPNÍ HODNOTY K TESTOVÁNÍ FIXÁTORU.....	89
8.2	CYKLOVÁNÍ.....	89
8.3	UNIVERZÁLNÍ ZKUŠEBNÍ STROJ.....	90
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>94</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>95</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>98</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>100</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>104</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>105</b>

## ÚVOD

Externí fixace je významnou metodou při fixaci zlomenin nebo jiných vad kostí. Tento druh fixace narušuje lidskou tkáň. Používá se u vážnějších a problémovějších zranění. Metoda využívá vnější přístup drátů napříč kůží a kostmi k zamezení pohybu. Jelikož zdravotnictví se stále vyvíjí a zdokonaluje, tak na různé zdravotnické pomůcky je kladen větší nárok. To platí i u externích fixátorů. S přísunem nových konstrukčních řešení a materiálů je potřeba ale tyto pomůcky podrobně a důkladně testovat, aby následně mohly být aplikovány u pacientů. [2] [4]

Konkrétně externí fixátory mohou být testovány v mnoha směrech. Nejčastější doba používání fixátoru je zhruba 6 až 10 týdnů. S pomocí testovacích strojů lze zjistit během několika dnů, jak se fixátor bude chovat po používání zmíněných týdnů. Tato diplomová práce se zabývá právě tímto druhem testováním. Pomocí vyrobené testovací stanice lze snadno nasimulovat potřebnou délku chůze s externím fixátorem. Kombinací testování lze následně zjistit, zda u testovaného fixátoru nedošlo k nějakému poškození a tím pádem by byl nebezpečný pro pacienta. [2] [4]

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

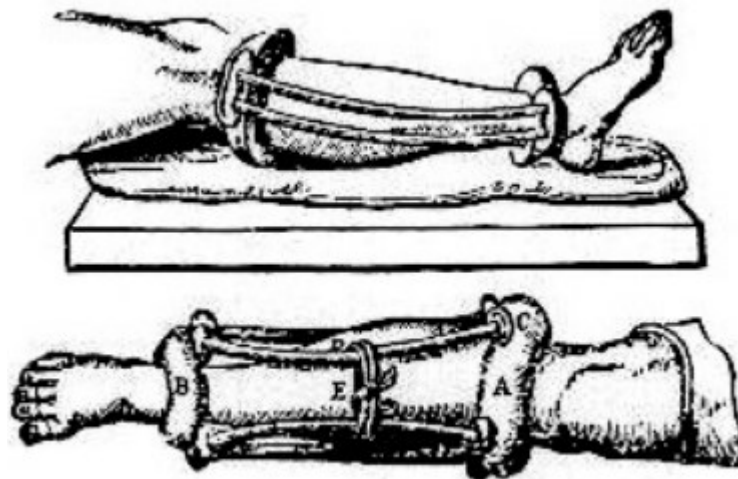


## 1 EXTERNÍ FIXACE

Externí fixace je chirurgická léčba, která se používá v traumatologii, ortopedii a chirurgii k léčbě zlomenin. Fixace je vhodná pro otevřené a nestabilní zlomeniny tam, kde je vyloučena možnost použití vnitřní fixace, prodloužení kostí nebo pro napravení jejich deformací. Pomocí externí neboli také zevní fixace se zlomenina zafixuje do určité polohy a díky tomu dojde k správnému srůstu kostí. Zevní fixace je navrtání a uchycení speciálních šroubů a drátů do nezraněné kosti skrz kůži. Šrouby mají ve svém vnějším konci závit, který se po napravení zlomeniny spojí pomocí externího fixátoru. Externí fixátor spojí šrouby mezi sebou prostřednictvím rámu a zafixuje je ve správné poloze. Mezi výhody zevní fixace patří jednoduchost stabilizovat tříštivé zlomeniny a umožňují také snadnou ošetrovatelskou péči u otevřených a infikovaných zlomenin. Nevýhodou ovšem je vyšší výskyt infekce v okolí šroubů. Umístění fixátorů v oblasti nad kůží také pacienta omezuje v běžném denním životě, ale i přes tyto negativa je tato metoda neodmyslitelnou součástí v chirurgii. [23]

### 1.1 Historie externí fixace

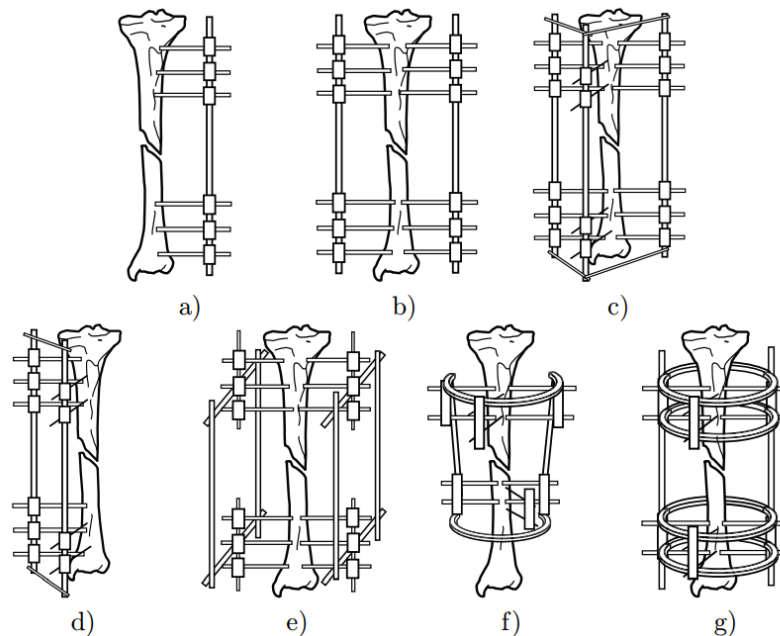
Historie fixace kostí a ošetřování zlomenin je stejně stará jako samotné zlomeniny. S jistotou můžeme tvrdit, že ani v dřívějších dobách neměli lidé nouzi o vážná poranění kostí. Tato zranění mohla být důsledkem bojů mezi kmeny nebo lovu zvířat potřebných k zisku potravy. Současně s vývojem mysli člověka se vyvíjel způsob ošetřování poranění. Nejstarší a nejprimitivnější způsob bylo použití kusů dřeva, jako náhrady dlahy. Pokrok nastal již ve starém Egyptě, kde se našly důkazy o použití pevného obvazu a sádry. V Řecku zhruba o tisíc let později nastal velký zlom v oblasti léčení zlomenin. Hippokrates, který je považován za „otce medicíny“ položil základy léčení zlomenin na mnoho staletí dopředu. Již v této době si tento řecký lékař dokázal poradit s vyrovnáváním odchylek a stabilizace kostí. Větší pokrokem byly nové možnosti v pozorování úlomků poraněných kostí. [9][23] Tyto pokroky završilo objevení rentgenového záření, které se připisuje německému fyzikovi Wilhelmu Condradu Röntgenovi. Za tento objev mu byla udělena vůbec první Nobelova cena za fyziku. [10] V období druhé světové války byla vyvinuta osteosyntéza pomocí šroubů a dlahy, což lze považovat jako princip současného fixátoru.



Obr. 1 Hippokratův externí fixátor [9]

## 1.2 Způsoby externí fixace a konstrukční provedení

Podle typu zlomeniny volíme typ a způsob použitého fixátoru. Z toho důvodu vzniklo mnoho variant, které řeší fixaci končetiny tak, aby byla co nešetnější a nejúčinnější pro pacienta. [1]



Obr. 2 Typy externích fixátorů: a) jednostranný se šrouby, b) dvoustranný s dráty, c) trojstranný s dráty, d) trojstranný se šrouby e) čtyřstranný f) půlkruhový, g) kruhový [1]

Na obrázku 2 jsou schematicky vyobrazeny jednotlivé způsoby externí fixace. Fixátory můžeme rozdělit podle stavby na jednostranné, dvoustranné, trojstranné, čtyřstranné a kruhové. Další možností, jak lze rozdělit fixátory, je podle způsobu spojení kosti s fixátorem.

Lze se tedy setkat s fixací pomocí šroubů, drátu popřípadě jejich kombinací. [6] [23]

Fixátory používající ke stabilizaci šrouby jsou většinou jednostranné nebo trojstranné. K fixaci se používají speciální šrouby (Schanzovy šrouby). Hlavní výhodou šroubů je menší poškození měkkotkáňového krytu a také jejich aplikace je rychlá. [6]



*Obr. 3 Schanzovy šrouby [1]*

Další třídu tvoří fixátory, které využívají ke stabilizaci kosti K-dráty nebo Kirschnerovy dráty. Do této skupiny patří fixátory dvojstranné, trojstranné, čtyřstranné a kruhové. Dráty prochází skrz kost a sval, což může být nevýhodou, protože je zde vyšší riziko výskytu infekce.

Naopak výhodou je zde průměr drátů. Díky menšímu průměru je zde menší zásah do svalové a kostní tkáně. Za největšího průkopníka těchto fixátorů je považován Rus Gavril A. Ilizarov.



*Obr. 4 Kirschnerovy dráty [1]*

Do třetí skupiny patří fixátory, které využívají šrouby i dráty ke stabilizaci. Tento typ fixátoru se nazývá kombinovaný (hybridní) a je vhodný pro všechny druhy zlomenin. [14]

### 1.3 Využití a aplikace externího fixátoru

Externí fixace může sloužit pro širokou škálu problémů. Nejčastější využití v lékařské praxi je:

- složité zlomeniny,
- zranění a rány, při kterých dochází k fragmentaci kostí,
- dislokace kosti,
- eliminace vrozených deformací,
- křivice,
- prodlužování kostí. [15]

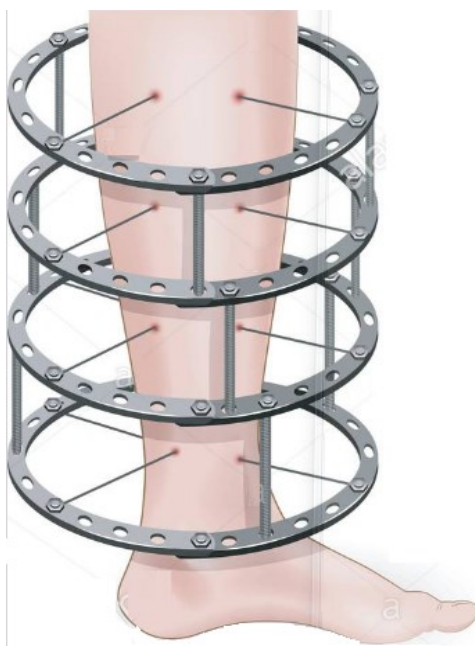


*Obr. 5 Využití externí fixace [1]*

## 2 ILIZARŮV EXTERNÍ FIXÁTOR

Ilizarův fixátor je pojmenovaný po svém vynálezci Gavrilu Abramoviči Ilizarovi. V roce 1950 objevil nový způsob pro léčbu zlomenin a jiných deformací kostí. Fixátor se skládal z kovových kroužků obepínajících končetinu. Na tyto kroužky byly upevněny kolíky vedoucí z kosti. Kroužky byly vzájemně propojeny pomocí závitových tyčí, které umožňovaly přesouvat pozici zlomeniny bez dalších operací a následně mohly být zafixovány až do úplného uzdravení. Nejčastější použití Ilizarového fixátoru je pro zlomeniny velkých kostí, jako je například holenní, vřetenní, stehenní atd., ale může být použit i například v oblasti chodidla nohy nebo pánve. [1]

Přístroj je založen na principu, který Ilizarov nazval “teorie napětí“. Metoda vychází ze základního biomechanického principu axiálního tlaku. Tento princip závisí na správném napětí drátu. Jedná se tedy o soubor drátů používaných pro fixaci zlomeniny. Předtím, než jsou připevněny, musí být předepruty na správnou hodnotu. [21] [25]



*Obr. 6 Ilizarův externí fixátor [25]*

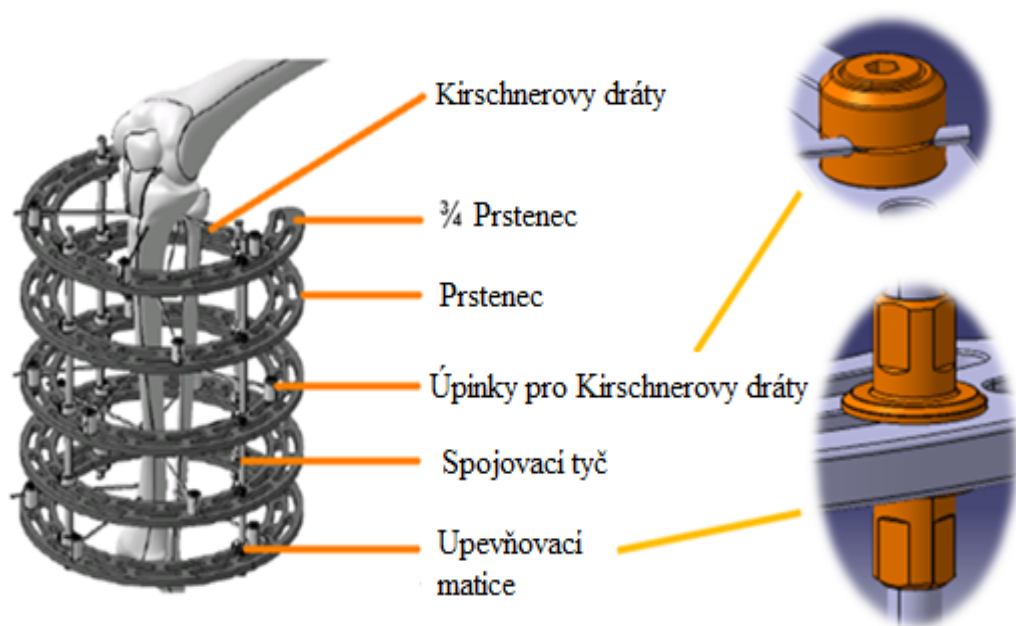
## 2.1 Konstrukce fixátoru

Tato kapitola se bude zabývat obecným popisem Ilizarova fixátoru, který byl navržen doktorandem na Ústavu výrobního inženýrství na univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně. Jsou zde rozebrány a popsány jednotlivé části fixátoru. Znalost konstrukce a jednotlivých částí fixátoru je důležitá pro správné navržení testovacích stanic, což je cíl této práce. I když fixátor jako takový je zdravotnické zařízení prioritně konstruováno pro pacienty, tak pravou cílovou skupinou, kterým jsou hlavně určeny, jsou lékaři. Právě lékaři, kteří díky fixátorům zajišťují pacientům plnohodnotný život, mají speciální požadavky na konstrukci. Co se týče pevnosti, tak nejdůležitější podmínkou je, aby fixátor bezpečně zvládl přenést veškerou sílu, která působí na poraněnou část. Nutností je, aby nepůsobily nežádoucí síly na jednotlivé fragmenty zlomené kosti, které by negativně ovlivnily uzdravování kosti. Dalším požadavkem je co největší možná rentgenová transparentnost fixátoru.

Proto je hlavní snahou používat největší množství nekovových materiálů jako jsou například polymerní a kompozitní materiály, které jsou pod rentgenovým zářením průsvitné. Z praktického hlediska je potřeba konstruovat fixátory tak, aby jejich montáž byla co nejjednodušší a nejrychlejší. Výhodou by také byla co nejmenší rozměrová náročnost a tím pádem větší flexibilita. [22] [23] [32] [33]



*Obr. 7 Rentgenový snímek končetiny s Ilizarovým fixátorem [11]*



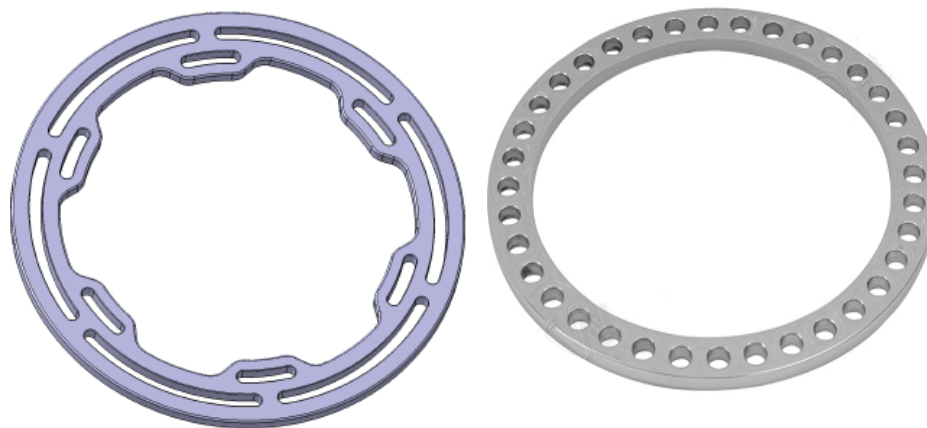
Obr. 8 Součásti tvořící fixátor [5]

### 2.1.1 Prstenec

Jedná se o hlavní část podpůrného systému, na který se přenáší zatížení. Podle typu výrobce jsou na prstence připevněny různé typy upínek, tyčí, drátů a držáků konstrukce fixátoru.

Prstence mohou být různého tvaru přes plný kruh, půlkruh až po nejrůznější oblouky. Otevřené prstence slouží pro větší komfort při chůzi a lepší přístup k oblasti zranění. Uzavřené prstence nedisponují těmito výhodami, ale zase poskytují mnohem větší stabilitu celé konstrukce, proto se většinou používají na fixátoru kombinace těchto variant. Nejčastějším materiálem pro výrobu je karbon, slitiny titanu a kobaltu a v neposlední řadě také korozivzdorné austenitické oceli. Vnitřní průměr prstenců je vyráběn v rozměrech od 80 mm až do 240 mm. Díky tomu může být fixátor použit pro široké spektrum pacientů od malých dětí až po dospělé. [15] Aby byla možnost testování fixátorů s různými druhy prstenců, musí tomu být i uzpůsobena následná konstrukce testovací stanice.





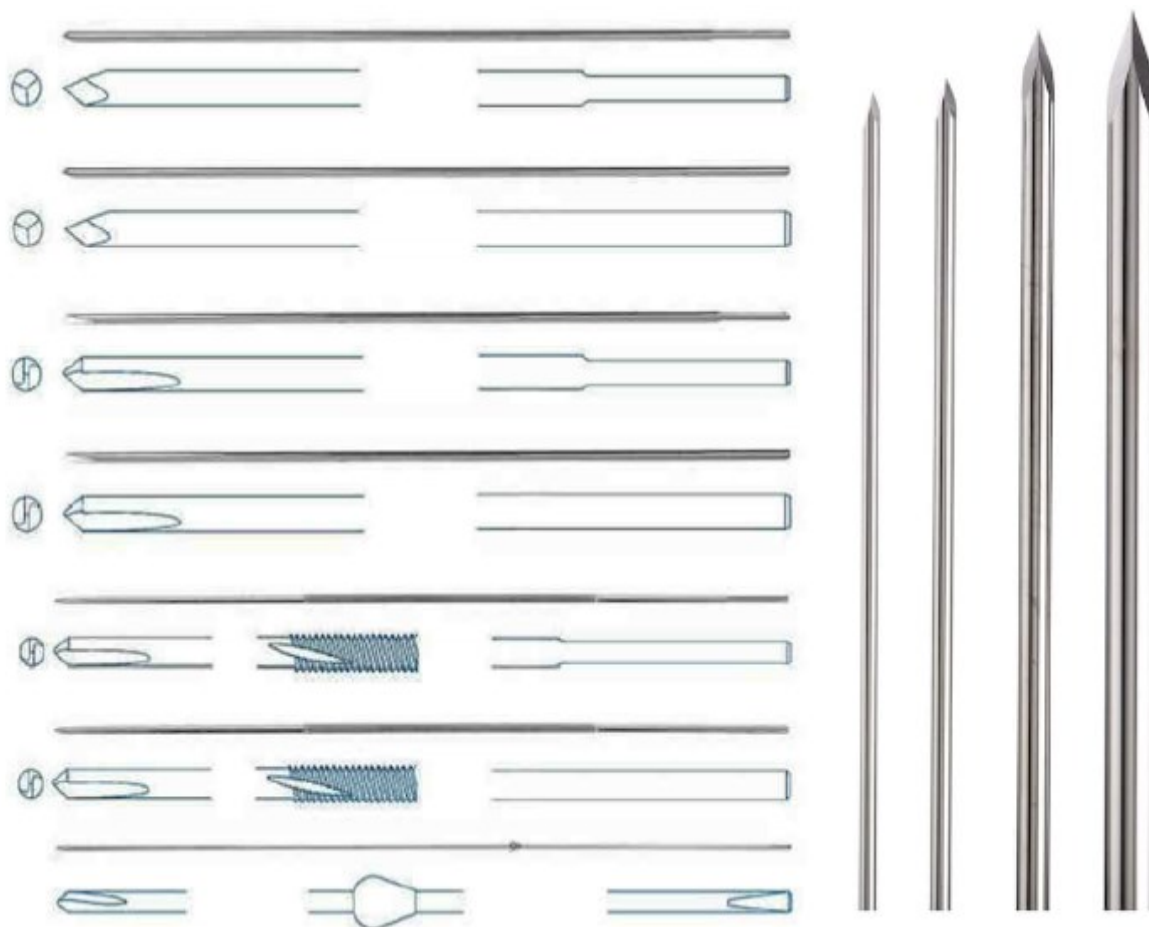
Obr. 9 Prstenec [5]

### 2.1.2 Kirschnerovy dráty

Kirschnerovy dráty neboli také K-dráty se používají ke stabilizaci a znehybnění kostních fragmentů a jako spojovací prvky k dosažení vnitřní fragmentů kosti. Velký důraz je zde kladen na druh použitého materiálu. V místě, kde drát vychází z kůže, dochází často k infekci, proto tyto dráty musí být vyráběny z materiálů, které jsou nezávadné pro lidské tělo. Vhodný materiál je chirurgická ocel. Používané průměry drátu jsou 1,8; 2,0 a 2,5 mm.

Kirschnerův drát může být v provedení jako drát, vedený přes celý průřez kosti nebo jako šroub. Dráty se vyrábějí válcovité bez závitů nebo se závitěm, který slouží k zabránění posuvu v axiálním směru v kostní tkáni. Opačný konec je válcovitý nebo s ploškou a slouží k upnutí na prstenec. Pro snadnější průchod drátu kostí má jeden konec tvar trojbokého jehlanu, který je plochý, popřípadě ve tvaru šroubovice. [16] [32] [33] Znalost Kirschnerových drátů je důležitá pro návržení testovací stanice z hlediska rozměrů stanice a dobrému přístupu pro zavedení těchto drátů.



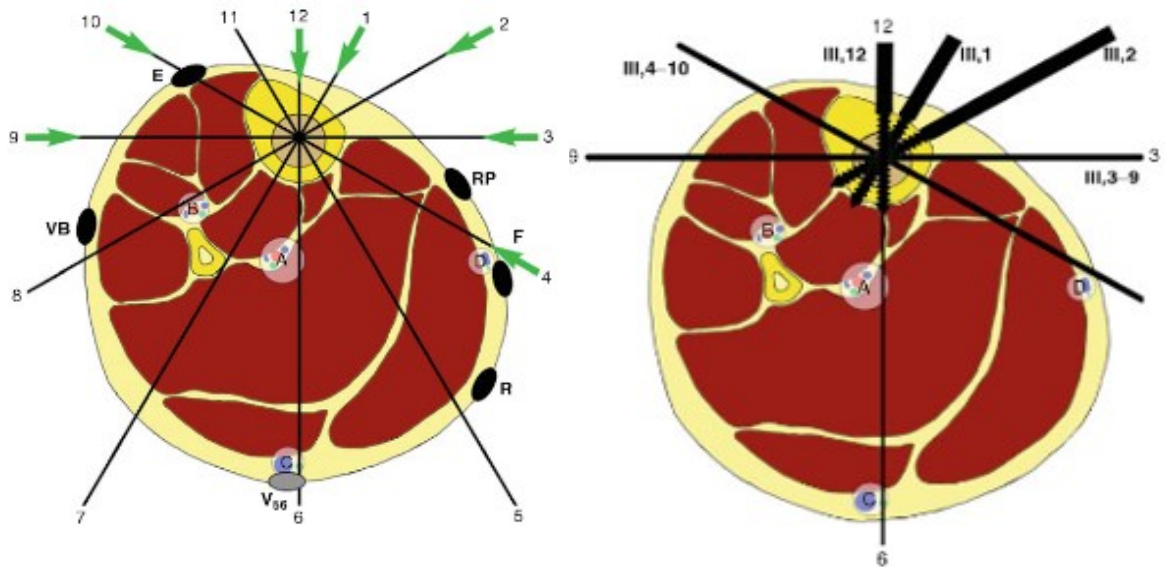


*Obr. 10 Druhy Kirschnerových drátů [16]*

Dalším provedením jsou dráty, které jsou opatřené přepážkou (olivkou). Jedná se o takzvané olivové dráty. Válcovité tělo je opatřeno výstupkem k zachycení drátu v kosti nebo v jiném implantátu. [16]



*Obr. 11 Kirschnerův drát s olivkou [16]*



Obr. 12 Umístění pro Kirschnerovy dráty v řezu končetiny [1]

### 2.1.3 Upínka pro Kirschnerův drát

Tyto upínky podpůrných elementů složí jak k uchycení drátu, tak k vlastnímu upnutí na prstenec. Tímto upnutím získáváme plnohodnotnou integrovanou biomechanickou konstrukci. Spolehlivost upnutí drátu, popřípadě na prstenec, závisí na síle a počtu použitých šroubů, které dokážou vyvinout pro udržení drátu a upínky na prstenci. Vzniklo mnoho variant pro uchycení drátu. Použitý materiál je nejčastěji nerezová ocel. [15] Při testování fixátorů by měla být stanice pro testování navržena tak, aby přístup k těmhle upínkám byl co nejpohodlnější.



Obr. 13 Druhy upínek pro Kirschnerovy dráty [15]

### 2.1.4 Spojovací tyč + upevňovací matice

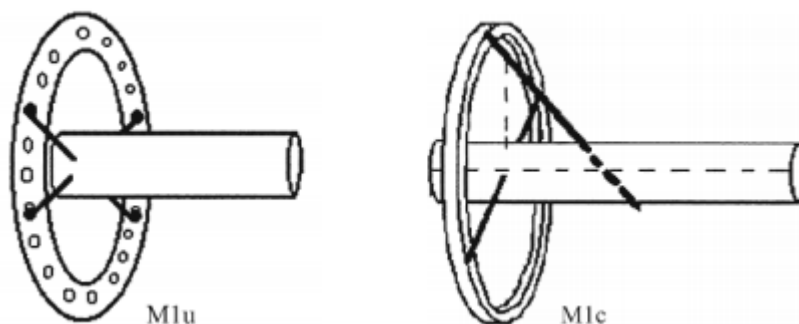
Spojení jednotlivých prstenců je tvořeno nejčastěji pomocí závitových tyčí, které jsou vyrobeny z nerezové oceli. Pomocí závitových tyčí je možnost variability vzdáleností mezi jednotlivými prstenci. Upnutí je realizováno pomocí matic nad a pod prstencem, díky čemuž dojde k zafixování v potřebné vzdálenosti. V případech, kdy se jedná o vážné zranění, jsou i zde nahrazeny nerezové tyče materiály, kterými pronikne rentgenové záření, což vede k usnadnění práce doktorům na operačním sále. [15] Stanice pro testování fixátorů musí disponovat prostorem pro spojovací tyče, které přesahují spodní a horní prstencem. Dále musí být dobrý přístup k maticím, které musí být přitaženy k prstencům.



*Obr. 14 Spojovací tyč [15]*

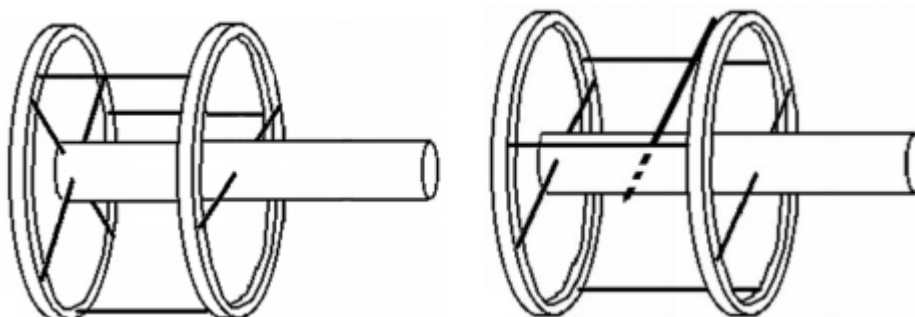
## 2.2 Klasifikace vnějších modulů

Termín modul se využívá při konstrukci Ilizarova kruhového aparátu. Znalost klasifikace vnějších modulů je důležitá při konstrukci testovacích stanic a následného zjišťování tuhosti fixátorů. Modul prvního řádu je jednotka tvořená jedním prstencem stejným typem fixačního elementu (Kirschnerovy dráty nebo šrouby), která se označuje M1u nebo kombinací elementů M1c. [1]



Obr. 15 Modul prvního řádu [1]

Modul řádu druhého vychází z modulu prvního řádu. Zásadně je tvořen dvěma prstenci, které jsou mezi sebou propojeny spojovací tyčí. I zde je způsob označení rozdělen stejně jako u modulu prvního řádu a to na modul tvořený stejnými prvky a na modul tvořený kombinací. [1]



Obr. 16 Modul druhého řádu [1]

V případě více kostních fragmentů se používá modul třetího řádu. Ten lze poskládat následujícími možnostmi:

- $M3 = M1 + M1$
- $M3 = M2 + M2$
- $M3 = M1(M2) + M2 (M1)$

Modul třetího řádu tedy vzniká kombinací výše zmíněných modulů. Dá se také rozdělit M3u při použití stejných prvků a M3c v případě kombinace.

Při zjišťování tuhosti rámu se řídíme standardizovaným přístupem klasifikace modulů. [1]

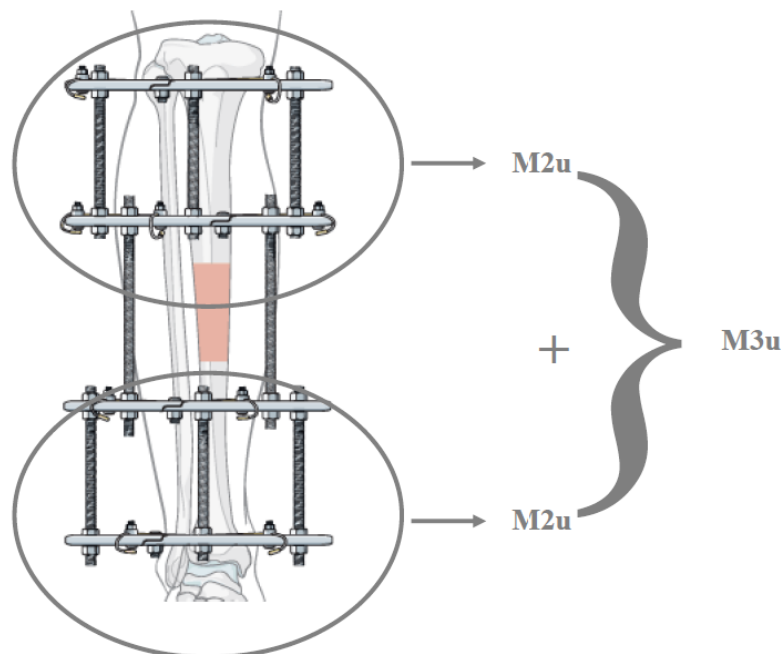
Celkový přehled všech modulů je vysvětlen v tabulce 1.

Tab. 1 Rozdělení a popis modulů [1]

Modul		Popis
<b>M1</b> Modul prvního řádu	M1u	Modul prvního řádu využívající stejný prvek
	M1c	Modul druhého řádu využívající kombinaci prvků
<b>M2</b> Modul druhého řádu	M2u	Modul druhého řádu využívající stejný prvek
	M2c	Modul třetího řádu využívající kombinaci prvků
<b>M3</b> Modul třetího řádu	M3u	Modul třetího řádu využívající stejný prvek
	M3c	Modul prvního řádu využívající kombinaci prvků

Při zjišťování tuhosti rámu se řídíme standardizovaným přístupem klasifikace modulů.

Nejčastěji používanou variantou je modul třetího řádu, který se aplikuje pro fixaci celé zlomené končetiny. [1]



Obr. 17 Modul třetího řádu [15]

### 3 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ PRO FIXÁTORY

Široce používanými materiály pro fixátory jsou kovy a kovové slitiny, zejména nerezové oceli, slitiny titanu a hliníku. V současné době jsou vyráběny především z kompozitních materiálů. S výjimkou šroubů a drátů nemusí být externí fixátor vyroben z biokompatibilního materiálu. Materiál by však neměl být toxický. [15] [23]

#### 3.1.1 Kovy a kovové slitiny

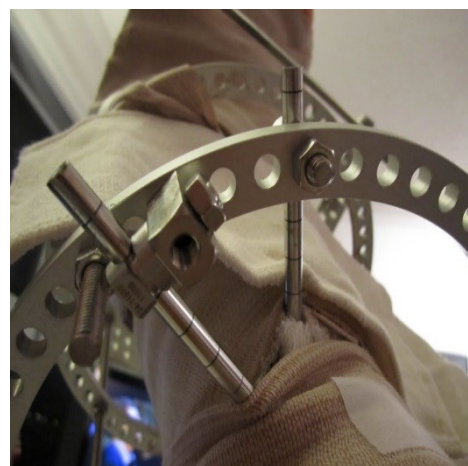
Externí fixátory vyráběné z kovu nebo kovových slitin měly po mnoha desetiletí své uplatnění. Poskytovaly dobrou tuhost, stabilitu a mnoho dalších vlastností k léčení vážných poranění. Nejčastějšími materiály byly nerezová ocel, slitiny titanu, hliníku, kobaltu. [15] [23]



a)



b)



c)

*Obr. 18 Kovové externí fixátory: a) nerezová ocel, [14] b) slitina titanu, [13] c) slitina hliníku [12]*

#### 3.1.2 Kompozitní materiály

Externí fixátor, jehož základní části jsou vyrobeny z kompozitního, byl navržen doktorandem z Ústavu výrobního inženýrství na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně. Jedná se o vláknový kompozit, který je vyztužen skleněnými vlákny. Matrice kompozitního materiálu zde je DT 806 od společnosti DELTATECH. Významnou vlastností vláknových kompozitů je jejich poměr vysoké tuhosti a pevnosti vzhledem k hmotnosti.



Mezi další výhody těchto materiálů patří možnost vyrobit materiál požadovaných mechanických vlastností v daných směrech. [5] [23]



Obr. 19 Kompozitní externí fixátor [5]

### 3.2 Srovnání kovového a kompozitního fixátoru

Jak již bylo zmíněno, základními požadavky pro konstrukci externího fixátoru jsou lehké konstrukce a kompaktní rozměry, prostupnost rentgenovým zářením, vysoká tuhost a pevnost a v neposlední době také životnost. Proto se postupně začínají fixátory tvořené kovovými částmi nahrazovat vhodnou alternativou. Správná náhrada je v podobě kompozitních materiálů, které disponují mnoha kladnými vlastnostmi. [5]

Mezi základní výhody kompozitních materiálů použitých pro externí fixátor jsou:

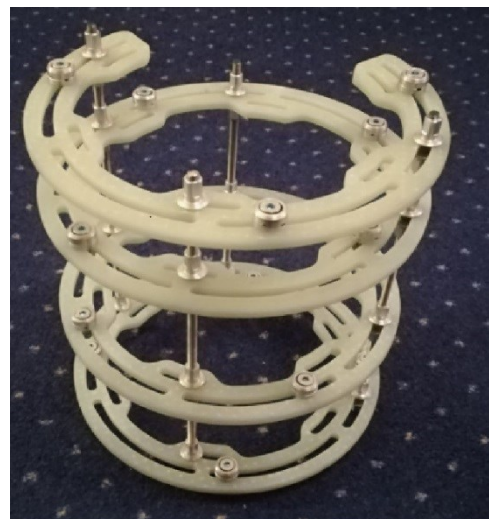
- Vysoká pevnost a tuhost
- Nízká hmotnost
- Propustnost rentgenového záření
- Odolnost vůči korozi
- Dobré vlastnosti při statickém i dynamickém zatěžování
- Dobré tlumící vlastnosti.

V následující tabulce 2 můžeme vidět srovnání stejné konstrukce fixátorů pouze vyrobených z odlišných materiálů. Hlavním rozdílem je hmotnost. Na první pohled je patrné, že fixátor vyrobený z kompozitního materiálu je více než dvojnásobně lehčí v porovnání s kovovým.

Dalším důležitým ukazatelem je počet použitých nekovových dílů, díky kterým má lékař lepší možnost sledování pod rentgenem. Dojde tak ke zkrácení operačního času. [5]

*Tab. 2 Srovnání kovového a kompozitního fixátoru [5]*

	Kovový fixátor	Kompozitní fixátor
<b>Průměr prstence [mm]</b>	200	200
<b>Tloušťka prstence [mm]</b>	8	6
<b>Počet kompozitních dílů</b>	0	9
<b>Celková hmotnost fixátoru [g]</b>	2300	850



*Obr. 20 Kovový a kompozitní externí fixátor [5]*

Zmíněný fixátor z kompozitního materiálu, jak již bylo zmíněno, byl navržen doktorandem z Ústavu výrobního inženýrství na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně. Cílem téhle práce je navržení testovací stanice pro tento fixátor, díky čemuž bude testováním zjištěna správnost návrhu a funkčnost testovací stanice, která následně bude moci být využita například i pro kovové fixátory.



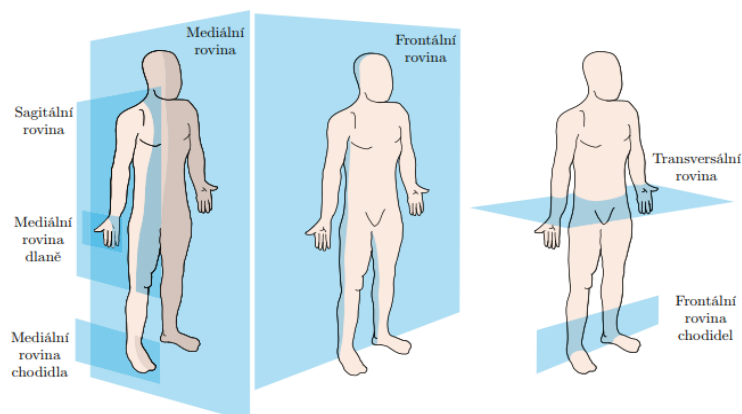
## 4 TESTOVÁNÍ FIXÁTORU

V odborné literatuře jsou popsána základní kritéria srovnávání Ilizarových fixátorů, respektive se jedná o porovnávání koeficientu tuhosti (K) rámců. Koeficient tuhosti je určen z poměru vnějších zatížení k lineárním a úhlovým posuvům. Tuhost je vlastně schopnost prvků odolat posunutí. Tuhosti fixace kosti jsou základními hodnotami charakteristické pro externí fixaci. K určení tuhosti modelů v 6 stupních volnosti je zapotřebí mnoho testovacích strojů, které si mnoho institutů nemůže dovolit. V důsledku toho existuje velké množství nestandardních zařízení. Situaci dále komplikuje skutečnost v experimentálních metodách, kdy se jedná o druh použitého materiálu pro simulaci kosti, způsob instalace, metody pro vyhodnocení zkoušky atd. Tento nedostatek zkoušení tuhosti fixátorů je překážka pro určení optimální konstrukce. V praxi nízká tuhost může zvyšovat riziko komplikací a negativně ovlivnit výsledek léčby. Také vyšší tuhost fragmentů kosti v tomto případě není prospěšná, protože může docházet ke zvýšenému chirurgickému traumatu a také k objemovému zvětšení konstrukce fixátoru. Schopnost replikovat experiment a ověřit výsledky výzkumu je zajištěno pomocí systému MUDEF (Method for the Unified Designation of External Fixation), kde se jedná o literaturu zabývající tímto výzkumem. [1] [32] [33]

Testuje se:

- Podélná tuhost
- Příčná tuhost v rovině frontální
- Příčná tuhost v rovině sagitální
- Rotační tuhost

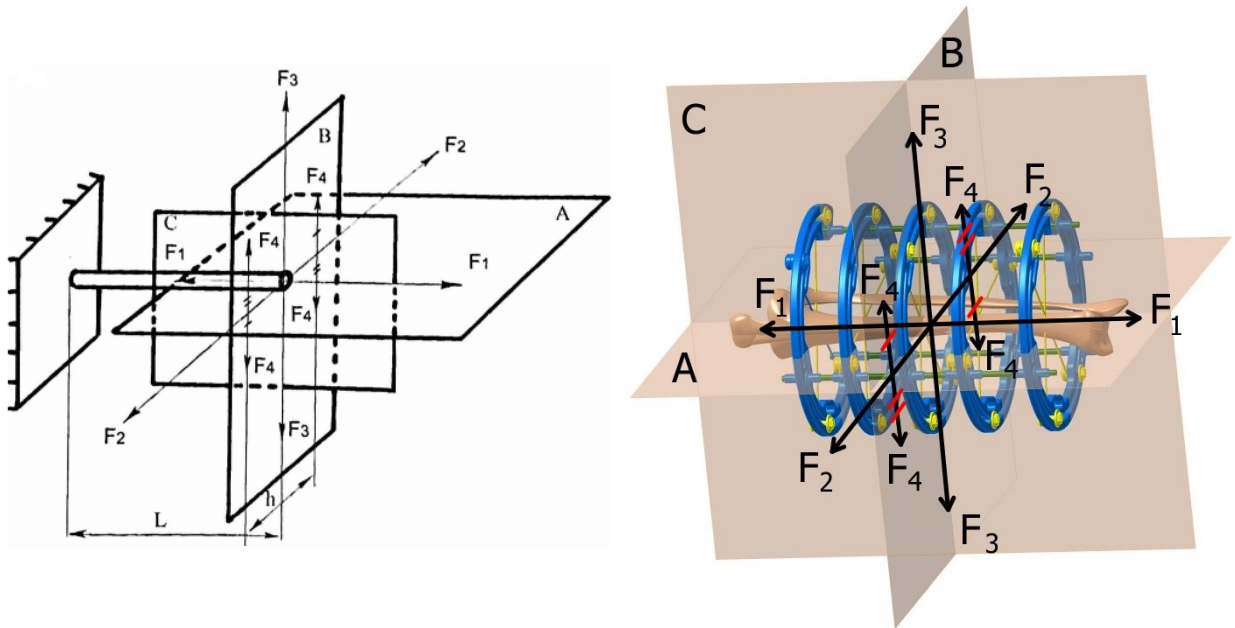
Pro orientaci na lidském těle se v medicíně používají označení směrů, rovin a jednotlivých částí lidského těla [1]



Obr. 21 Základní přehled rovin na lidském těle [1]

#### 4.1 Působící síly ve fixátoru

Ze způsobu použití vychází jednotlivé zatěžování fixátoru. Po fixaci zlomeniny pacient prvních pár týdnů pouze leží a fixátor je zatěžovaný pouze minimálně. Po určitém zahojení kosti je dovoleno pacientovi zatěžovat končetinu klasickou chůzí. Téměř veškeré zatížení, které působí na fixátor, je vyvíjené vlastní hmotností pacienta. Zatížení na fixátor může být demonstrováno stáním, chůzí, otáčením, popřípadě pádem. [1]



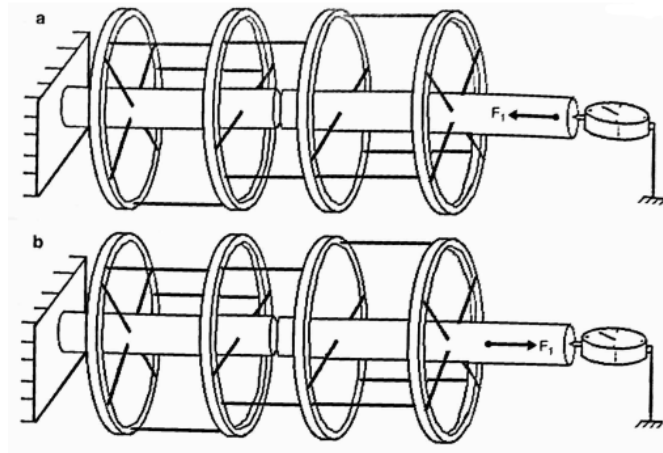
Obr. 22 Rozložení sil ve fixátoru [1]

Síly působící na fixátor vyvozené vnějším zatížením:

- Síla  $F_1$  je osová síla působící v podélném směru kosti.
- Síla  $F_2$  a  $F_3$  jsou příčné síly, které mohou být způsobeny nerovností povrchu, špatným našlápnutím, popřípadě zakopnutím.
- Síla  $F_4$  je rotační síla, které je způsobena otočením se na noze.

#### 4.2 Podélná tuhost

Vyšetřování podélné tuhosti se provádí jak v tahu, tak v tlaku. Přístroj pro snímání lineárního posunutí je připevněn na konec spodní části modelu kosti. Zatížení se aplikuje v postupných přírůstcích o velikosti 5N (5N-10N-20N atd.) Zaznamenávají se posuvy při každém zvětšení zatížení. Měření je ukončeno, jakmile posuv dosáhne hodnoty 1 mm. [1]



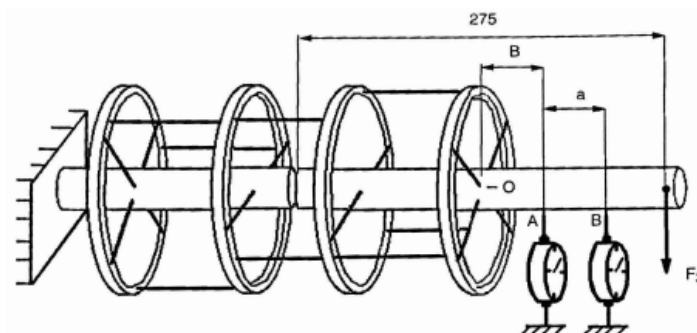
Obr. 23 Způsob testování podélné tuhosti [1]

**Podélná tuhost se vypočítá:**

$K_{\text{POD}} = F_1/U$  [N/mm], kde  $U$  je posunutí v osovém směru modelu kosti, rovnoběžné se silou  $F_1$ , které je zapříčiněno zatížením. [1]

### 4.3 Příčná tuhost v rovině sagitální

Vyšetřování tuhosti v sagitální rovině se provádí tak, že během ohybu modelové kosti se pomocí dvou přístrojů s lineárním snímacím pohybem zaznamenávají hodnoty. První snímač je umístěn ve vzdálenosti ( $B$ ) 40 mm od posledního prstence a druhý snímač je umístěn ( $a$ ) 40 mm od prvního snímače. Síla  $F_3$  je umístěna 275 mm od začátku modelové kosti. Celé měření probíhá, dokud nedojde k pootočení větší jak  $1^\circ$ . Po překročení této hodnoty je zkouška ukončena. [1]



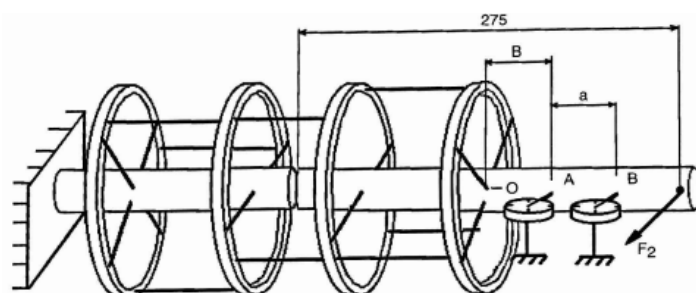
Obr. 24 Způsob testování příčné tuhosti v rovině sagitální [1]

**Příčná tuhost v rovině sagitální se vypočítá:**

$K_{\text{Příč}} = F_3 \cdot L / \varphi$  [Nmm/°], kde  $L$  je délka paže na které vytváří příčná síla krouticí moment a  $\varphi$  je úhel pootočení vlivem působení síly  $F_3$ . [1]

#### 4.4 Příčná tuhost v rovině frontální

Princip zkoušky je stejný jako při měření příčné tuhosti v rovině sagitální s tím rozdílem, že působící síla  $F_2$  působí v rovině frontální. [1]



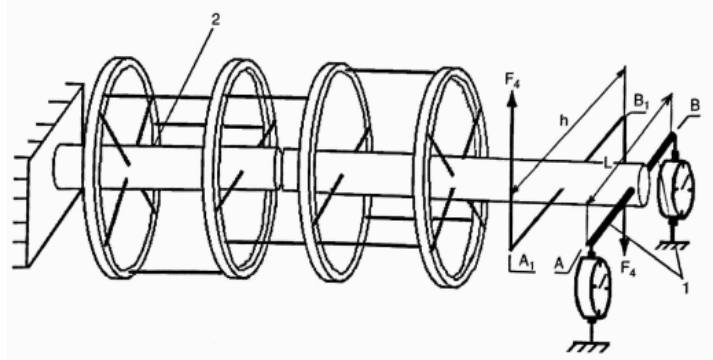
Obr. 25 Způsob testování příčné tuhosti v rovině frontální [1]

**Příčná tuhost v rovině frontální se vypočítá:**

$K_{\text{Příč}} = F_2 \cdot L / \varphi$  [Nmm/°], kde  $L$  je délka paže na které vytváří příčná síla krouticí moment a  $\varphi$  je úhel pootočení vlivem působení síly  $F_2$ . [1]

#### 4.5 Rotační tuhost

Zkoumání rotační tuhosti se provádí tak, že horní část modelové kosti je pevně upevněna. Na spodní části modelové kosti je připevněna ocelová tyč. Do bodu A a B, které jsou umístěny ve stejné vzdálenosti od modelové kosti, jsou připojeny dva snímací přístroje. Vzdálenost mezi těmito přístroji je ( $L$ ) 100 mm. Zatížení se aplikuje do bodů  $A_1$  a  $B_1$  na druhé kovové tyči, která je taktéž připevněna na model kosti. Síly jsou od sebe vzdáleny ( $h$ ) 200 mm. Síla se postupně zvyšuje po 2N (2N-4N-6N-8N atd.). Zaznamenávají se jednotlivé hodnoty při každé síle, dojde-li k pootočení větší než  $1^\circ$ , je zkouška ukončena. [1]



Obr. 26 Způsob testování rotační tuhosti [1]

**Rotační tuhost se vypočítá:**

$K_{ROT} = F_4 \cdot h / \varphi$  [Nmm/°], kde  $h$  je vzdálenost mezi dvojicí sil  $F_4$  a  $\varphi$  je úhel pootočení vlivem této síly. [1]

K porovnání fixátorů je nutné zavést standardní tuhosti, které jsou uvedené v tabulce 3.

Tab. 3 Standardní tuhosti fixátoru [1]

Modul	Podélná tuhost [N/mm]	Příčná tuhost [Nmm/°]		Rotační tuhost [Nmm/°]
		Frontální rovina	Sagitální rovina	
M3	53	6600	2030	2800

## 5 ZPŮBY TESTOVÁNÍ FIXÁTORŮ V PRAXI

Následující kapitola bude zaměřena na různé možnosti reálného testování externích fixátorů buďto pomocí univerzálních testovacích strojů, kdy se jedná především o trhací stroje nebo testování prostřednictvím jednoúčelových strojů. U externích fixátorů nemusí být testován pouze celkový aparát. Testování může být zaměřeno pouze na jednotlivé části (Kirschnerovy dráty, prstence, upínky). V kapitole bude ukázáno pár konkrétních testů týkající se externích fixátorů.

### 5.1 Univerzální zkušební stroje

Univerzální zkušební stroje slouží k posouzení mechanických vlastností různých materiálů v tahu, tlaku nebo ohybu. Mikroprocesorem řízená technika, ve spojení se snímači veličin, dosahuje maximální přenosnosti a při použití osobního počítače nabízí vynikající komfort ovládání zkušebního stroje, vyhodnocení dosažených výsledků měření a archivaci dat. [20]

Jak je patrné z kapitoly 4, fixátor může být testován na tah, tlak, ohyb, popřípadě může být vystaven únavové zkoušce.

#### 5.1.1 Testování K - drátu

V téhle podkapitole je popsána možnost testování Kirschnerových drátů za pomoci univerzálního testovacího stroje. Kdy T.G Chondros, D.D. Deligianni, K.F. Milidon, I.T. Chondrou a G.A. Margaron, přišli s novým způsobem upínky pro kvalitnější uchycení K-drátu. [4]



Obr. 27 Testování K-drátu na trhacím stroji [4]

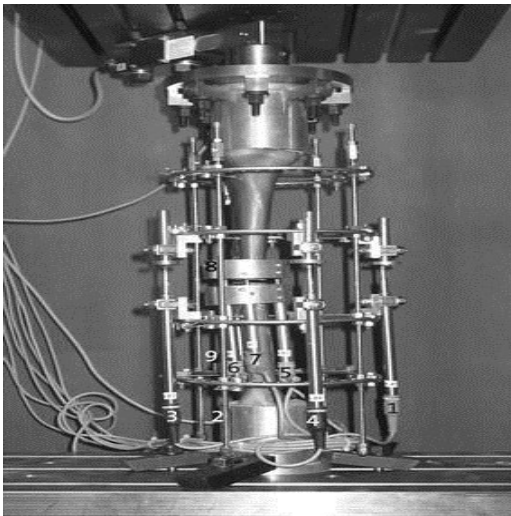


### 5.1.2 Testování přímého a nepřímého zatížení externího fixátoru

V této studii byl testován rozdíl mezi přímým a nepřímým zatížením. Tímto výzkumem se zabývali ve své práci Jan Gessmann, Hinnerk Baecker, Birger Jettkant, Gert Muhr, Dominik Seybold. [3]

#### *Přímé zatížení*

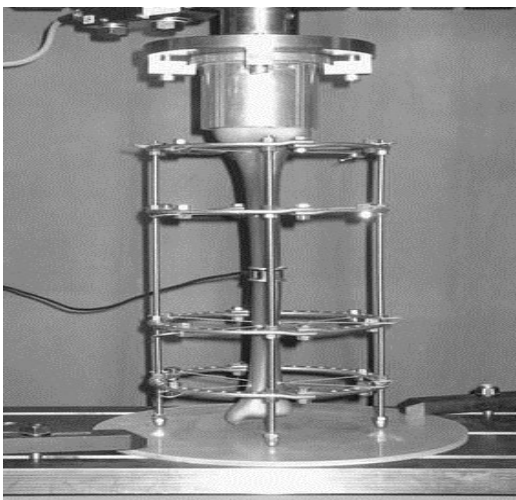
Pod spojením slov přímé zatížení si můžeme představit u fixátorů klasický způsob externí fixace, kdy člověk má přímý kontakt nohy se zemí. [3]



*Obr. 28 Testování a příklad přímého zatížení [3]*

#### *Nepřímé zatížení*

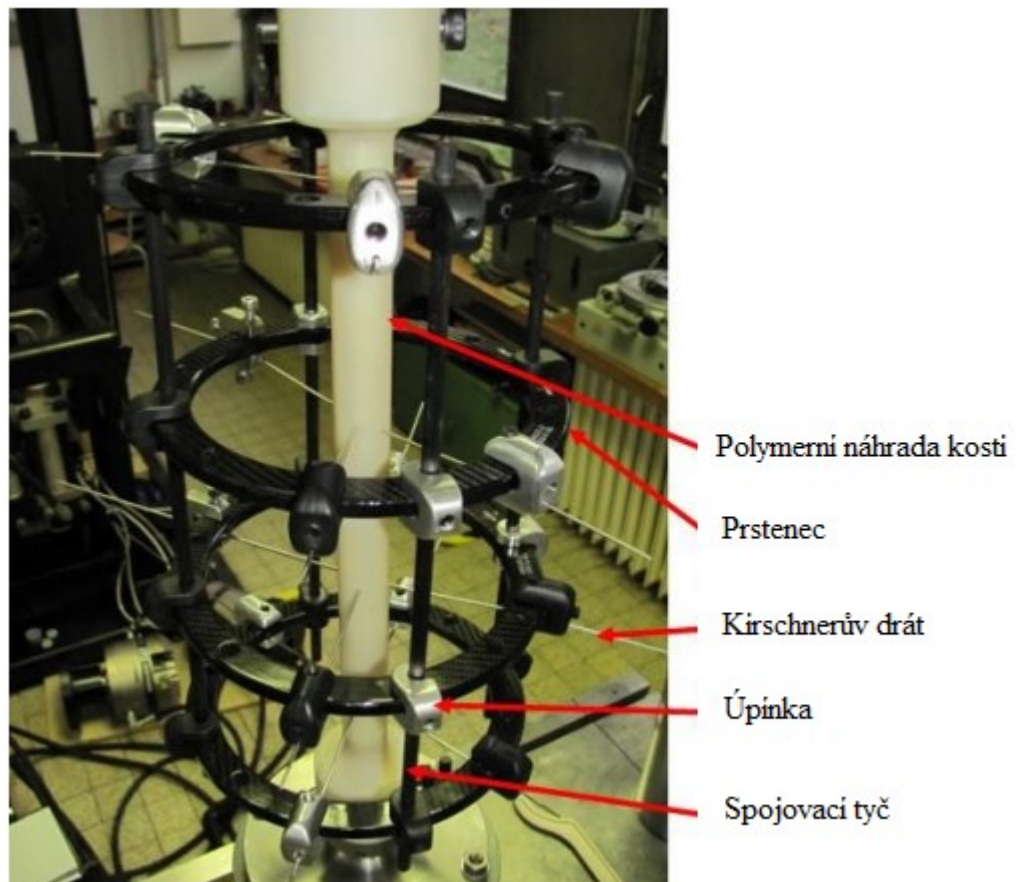
Nepřímé zatížení je demonstrováno chůzí bez přímého kontaktu nohy se zemí, kdy na spodní část fixátorů je připevněna základna, díky které je chodidlo při chůzi nad zemí. [3]



*Obr. 29 Testování a příklad nepřímého zatížení [3]*

### 5.1.3 Pevnostní analýza části zevního fixátoru pro nohu

Ve své diplomové práci se Bc. Vojtěch Bajtek zabýval pevnostní analýzou části zevního fixátoru sloužící pro spodní končetinu. Pevnostní a tuhostní výpočty byly zjišťovány pomocí metody konečných prvků. Tyto výpočty doprovázelo také experimentální měření. Metoda experimentálního řízení spočívala v aplikaci externího fixátoru na rozdělenou polymerní tyč, která demonstrovala lidskou kost. [24]



Obr. 30 Zkušební model externího fixátoru [24]

Mezi obě polymerní tyče byl vložen snímač, pomocí něho byla určena velikost síly, která fixátor dokáže přenést. Velikost změřené síly byla následně porovnána s velikostí síly vyvolanou zatěžovacím strojem. [24]





*Obr. 31 Umístění snímače síly [24]*

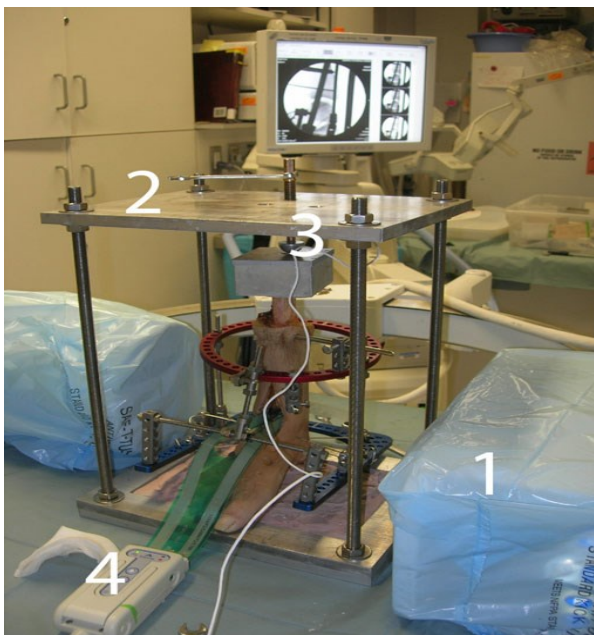
Experiment čítal celkově tři měření, kdy každé z nich bylo složeno z 10 000 cyklů. Frekvence zatěžování byla stanovena na 0,15 Hz. Z toho vyplývá, že doba jednoho cyklu odpovídá 6,7 sekundy. Výsledkem měření byla závislost posuvu na síle v čase. [24]

## **5.2 Jednoúčelové stroje**

Univerzální testovací stroje nejsou vždy k dispozici. Jednak díky vyšší pořizovacím nákladům, nebo například kvůli prostoru a vybavení, které potřebují. Vhodnou alternativou jsou proto jednoúčelové stroje. Tyto stroje jsou konstruovány pouze pro jednu určitou aplikaci.

V případě fixátorů to může být například pro únavové testování, ale také pro zatěžování tahem či tlakem.

Na obrázku níže můžeme vidět jednoúčelový stroj pro externí fixátor. Účelem této studie, kterou se zabývali Austin T. Fragomen, Thomas H. McCoy, Kathleen N. Meyers a Robert Rozbruch, bylo nalézt minimální distrakční mezeru potřebnou k zajištění, aby se povrchy tibiotalárních kloubů nedotýkali při plném zatížení pacienta. [2]



Obr. 32 Jednoúčelový stroj pro testování fixátoru [2]

### 5.2.1 Příslušenství k jednoúčelovým strojům

Každá firma preferuje určité společnosti, které jim dodávají nejrůznější součásti jako například pneumatické prvky, senzory nebo také stavebnicové prvky. [17]

Mezi dodavatele součástí pro jednoúčelové stroje jsou SMC, Festo, Alutec K&K, Hiwin, Sick a mnoho dalších.

#### ***SMC***

SMC Corporation je japonská nadnárodní korporace, která je na celosvětovém trhu s podílem 26 % největším dodavatelem pneumatických prvků pro průmyslovou automatizaci. [19]

#### ***Alutec K&K***

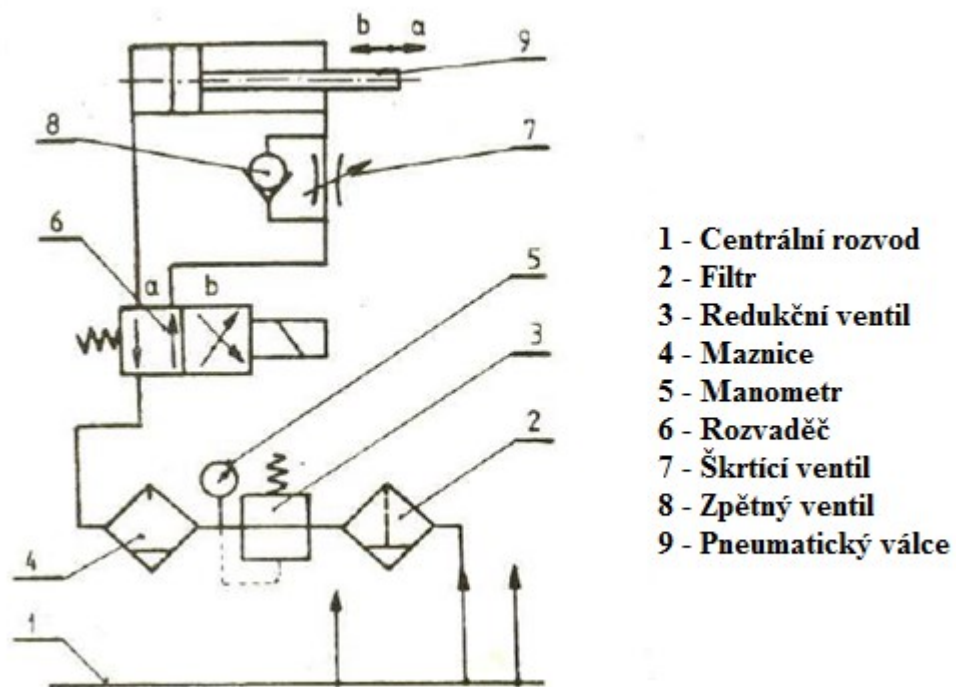
Český výrobce hliníkových konstrukčních systémů. Nabízí také široký sortiment ve formě dopravníků různých typů (válečkové, pásové...). Kruhové nebo obdélníkové hliníkové profily včetně příslušenství jako jsou madla, panty, fixační a spojovací prvky a jiné. [18]

### Požadavky na jednoúčelový stroj

V první řadě je při konstrukci nutné vyhovět požadavkům zákazníka. Stroj musí vydržet aktivní používání po určitou dobu a také by mělo být zaručeno poskytování náhradních dílů. [17]

#### 5.2.2 Pneumatické mechanismy

Pneumatický pohon je nejčastěji zásobován stlačeným vzduchem z centrálního zdroje, na který navazuje řada prvků sloužící pro úpravu vzduchu. Jedná se většinou o odlučovač vody s filtrem, redukční ventil, tlakoměr a maznice. Zbylé prvky tvoří (rozvaděč, škrťací ventil a zpětný ventil) a pneumatický motor. Hodnota pracovního tlaku se pohybuje nejčastěji do 1 MPa. [7]



Obr. 33 Schéma pneumatického zapojení [8]

#### 5.2.3 Výhody a nevýhody pneumatických mechanismů

##### Výhody:

- Dosažení rychlých přímočarých pohybů s velkými zdvihy
- Jednoduché konstrukční provedení

- Spolehlivost a nasazení i v náročných podmínkách (vlhkost, vysoké teploty, prostředí s nebezpečím výbuchu)
- Napojení na centrální zdroj energie bez potřeby zpětného vedení [7]

**Nevýhody:**

- Vysoká energetická náročnost s přípravou a rozvodem tlakové energie
- Při malých rychlostech nerovnoměrný pohyb
- Nízká tuhost
- Složité řízení rychlosti a polohy zastavení
- Malá účinnost
- Hluk [7]

**5.2.4 Pneumatické prvky**

K realizaci pneumatického mechanismu je zapotřebí optimálně a účelně sestavit řadu pneumatických prvků do méně či více složitých obvodů. Každý prvek má svou konkrétní funkci a vlastnost, které následně ovlivňují výsledné zapojení. [8]

Mezi nejznámější výrobce patří firmy (FESTO, SMC, Bosch, Norgren), které disponují velkým množstvím pneumatických prvků v nejrůznějších konstrukčních provedeních a velikostech.

Pneumatické prvky lze rozdělit do čtyř základních skupin:

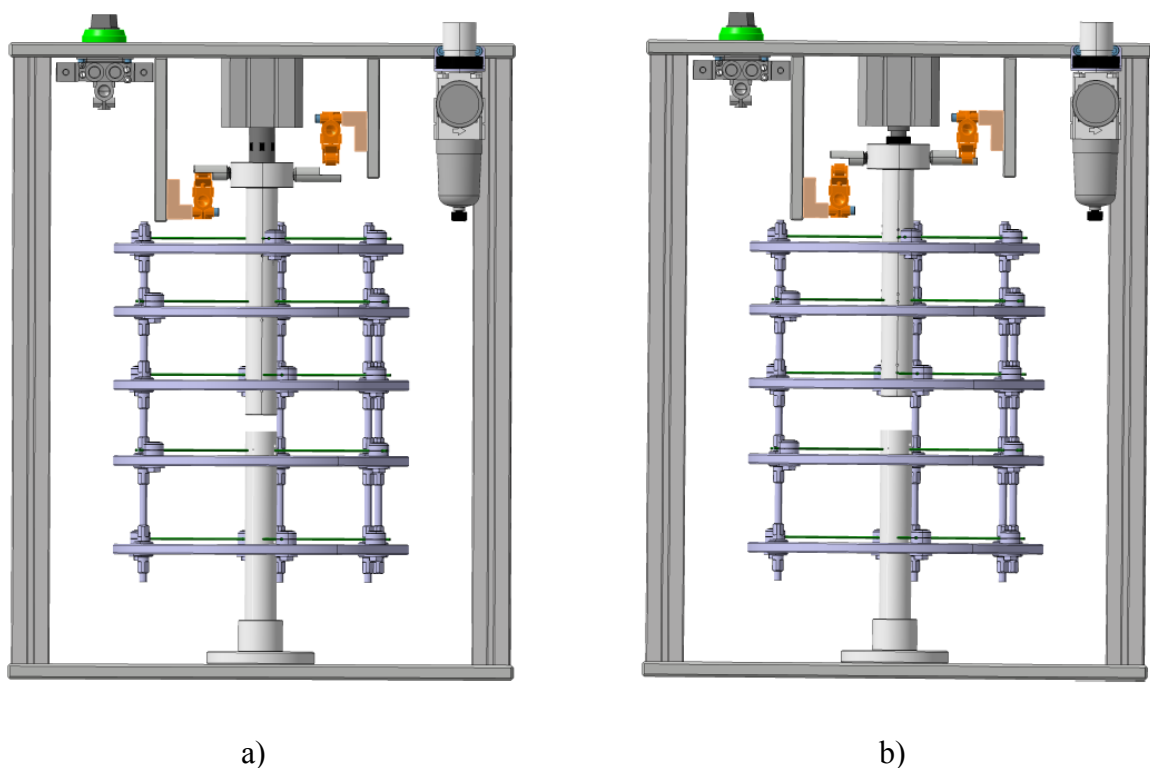
- Převodníky – určené k přeměně mechanické energie na energii tlakovou a kinetickou a naopak. Jedná o generátory, rotační a přímočaré motory.
- Řídící prvky – slouží k řízení směru a parametrů průtoku vzduchu. Zde patří jednosměrné ventily, škrťací ventily, rozvaděče a tlakové ventily popřípadě jejich kombinace.
- Pomocné prvky – obstarávají správnou funkci mechanismu. Do této skupiny prvků řadíme zásobníky, čističe, vedení.
- Speciální prvky – slouží k speciálním funkcím, jako je například snižování hlučnosti, odstraňování vlhkosti, přidávání oleje do stlačeného vzduchu. [8]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 TESTOVACÍ STANICE PRO EXTERNÍ FIXÁTOR

Testovací zařízení pro externí fixátory bylo navrženo jako jednoúčelový stroj. Pojem jednoúčelové stroje znamená, že stroj či zařízení je určené pouze pro jeden určitý typ práce. V této diplomové práci jde o opakované dynamické namáhání externího fixátoru, což by se také dalo nazvat jako únavové testování. Celé zařízení funguje pouze na pneumatické bázi. Po vložení a následném seskládání externího fixátoru může dojít ke spuštění testovacího zařízení. Při otočení hlavního vypínače do polohy „zapnuto“ dojde ke spuštění. Cyklování je provedeno přes pneumatický válec. Pomocí jednotlivých pneumatických prvků a správnému pneumatickému zapojení dochází k tomu, že válec se nepřetržitě vysouvá a zase vrací do doby, dokud nedojde k otočení vypínače do polohy „vypnuto“.

Cyklické namáhání simuluje chůzi pacienta, který má zavedený fixátor v oblasti holenní kosti. Během několika hodin můžeme pomocí testovací stanice nasimulovat chování fixátoru při nošení pacientem po dobu dne, týdne, měsíce apod. S kombinací následných zkoušek můžeme zjistit, jak se například mění tuhost fixátoru při určité době nošení.



*Obr. 34 Testovací stanice:*

*a) Pneumatický válec ve vysunuté poloze, b) Pneumatický válec v zasunuté poloze*

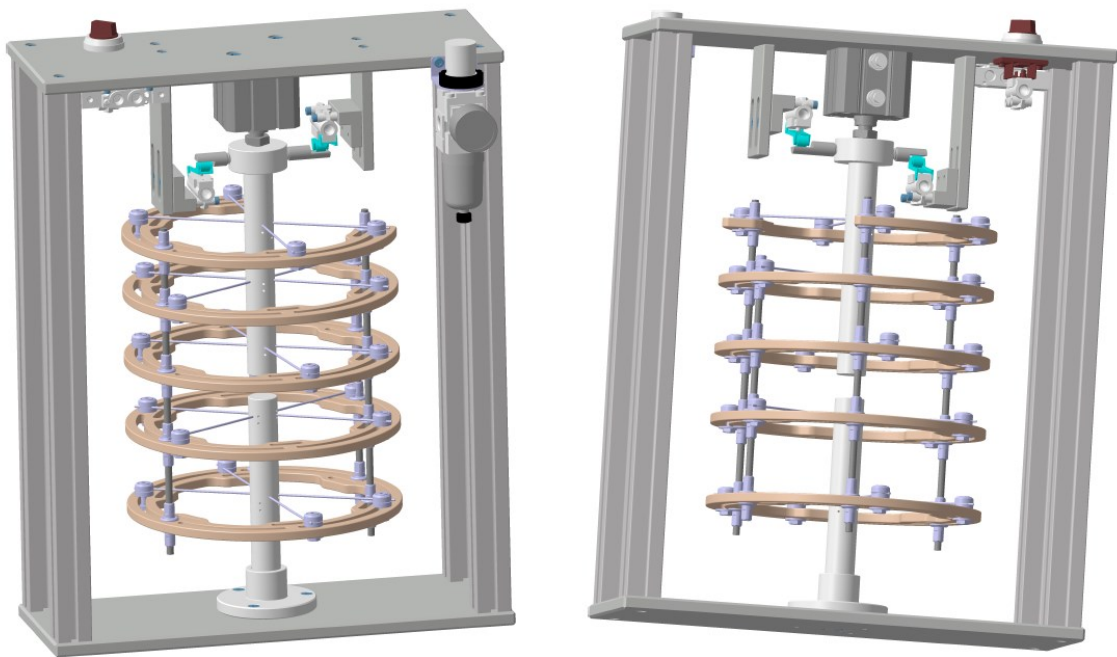
## 6.1 Navržení testovací stanice

Kompletní návrh 3D modelu byl vytvořen v programu CATIA V5 R19, modely pneumatických prvků byly staženy z internetového katalogu firmy SMC.

Testovací stanice pro externí fixátory byla navržena pomocí znalostí získaných z teoretické části. Snahou bylo, aby při vkládání fixátoru a následné montáži byl dobrý přístup ze všech stran, dostatek volného prostoru pro Kirschnerovy dráty, přístup pro utažení upínky pomocí potřebného nářadí. Dalším požadavkem je rozměrová minimalizace stroje pro celkové snížení prostorových i ekonomických nároků na jeho výrobu. Navržená testovací stanice může být použita pro testování fixátorů, vyrobených z různých materiálů, ať už se jedná například o kompozity či kovy.

## 6.2 Konstrukce testovacího zařízení

Celá konstrukce se celkově skládá z 15 vyráběných dílů a 16 nakupovaných a ze spojovacího materiálu. Hlavní rozměry testovacího přípravku jsou 504 x 400 x 150 mm. Téměř všechny vyráběné díly jsou zhotoveny ze slitiny hliníku. Jako náhrada kostí pro testování fixátoru jsou zvoleny díly vyrobené z Polyamidu 6. Součástí diplomové práce jsou také výrobní výkresy každé součásti včetně výkresu sestavy a kusovníku.



Obr. 35 3D model navržené testovací stanice

### 6.3 Vyráběné díly

V následující kapitole budou rozebrány jednotlivé vyráběné díly, které budou doplněny zjednodušeným technologickým postupem. Jedná se o výrobní postup, jenž nám určuje sled operací spojených s proměnou polotovaru na výrobek. [31]. Všechny tyto díly byly vyráběny ve firmě SHK Kovovýroba s.r.o. se sídlem v Uherském Brodě.

#### *Použité materiály*

##### *EN AW 2017*

Jedná o slitinu hliníku, která obsahuje vysoký podíl mědi. Tvoří krátké třísky, je tedy vhodná k obrábění. Má nízkou odolnost vůči korozi a kvůli vysokému obsahu mědi není vhodná ke svařování. Není příliš vhodná pro okrasné eloxování. Má vysokou pevnost v tahu cca 350 MPa. Tvrdost se pohybuje okolo 100 HBW. Hustota tohoto materiálu je 2,79 g/cm<sup>3</sup>. [26]

Dodavatelem toho materiálu byla firma Feropol s.r.o.

##### *EN AW-6060*

Jde rovněž o slitinu hliníku, mezi její hlavní výhody patří výborné tvářecí vlastnosti, svařitelnost a odolnost vůči korozi. Slitina je také vhodná k okrasnému eloxování. Ve vytvrzeném stavu má pevnost v tahu 215 MPa a tvrdost zhruba 75 HBW. Hustota uvedeného materiálu činí 2,7 g/cm<sup>3</sup>. Materiál byl použit na profily, které spojují horní a spodní část zkušebního přípravku. Profily byly obstarány firmou ALUTEK KK. [26]

##### *POLYAMID 6*

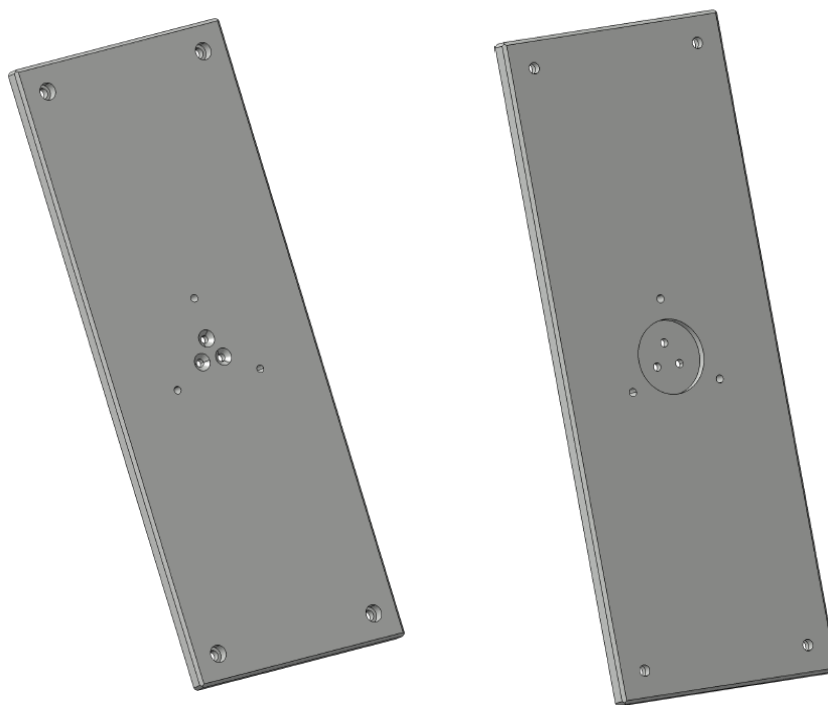
Polyamid 6 neboli PA 6 představuje optimální kombinaci mechanické pevnosti, tuhosti, odolnosti proti opotřebení a tlumící schopnostmi. Uvedené vlastnosti spojené s příznivými elektroizolačními vlastnostmi a dobrou odolností proti působení chemikálií řadí PA 6 do skupiny materiálů univerzálně použitelných v oblasti konstrukce. Polyamid je vhodný na díly, které jsou vystaveny dynamickému zatížení, což v případě testovací stanice na fixátory je vystaven. Materiál byl zakoupen od firmy VM Plast a jeho obchodní název je Sustamid. Hustota materiálu je 1,14 g/cm<sup>3</sup>. Mez pevnost v tahu činí 76 MPa. [27]



V příloze diplomové práce jsou materiálové listy použitých materiálů.

### 6.3.1 Základová deska spodní






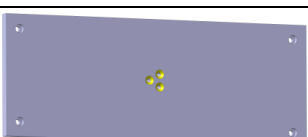
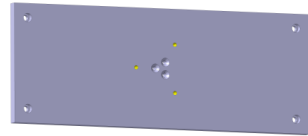
Základová deska spodní je vyrobena ze slitiny hliníku. Po obvodě je tvořena čtyřmi dírami s válcovým zahloubením pro šroub. Uprostřed desky je vyfrézovaný válcový otvor pro vložení součásti, která simuluje spodní část kosti. Uvnitř otvoru jsou ještě vyvrtány díry s kuželovým zahloubením pro spojení pomocí šroubů. Posledními prvky tvořící tento díl jsou tři závity nacházející se kolem středu desky.

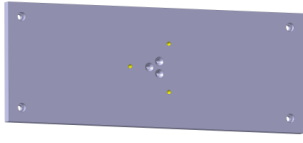
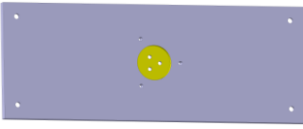


Obr. 36 Základová deska spodní

**Technologický postup:****Materiál:** EN AW 2017**Počet kusů:** 1**Polotovár:** Deska 1000 x 150 x 12 mm

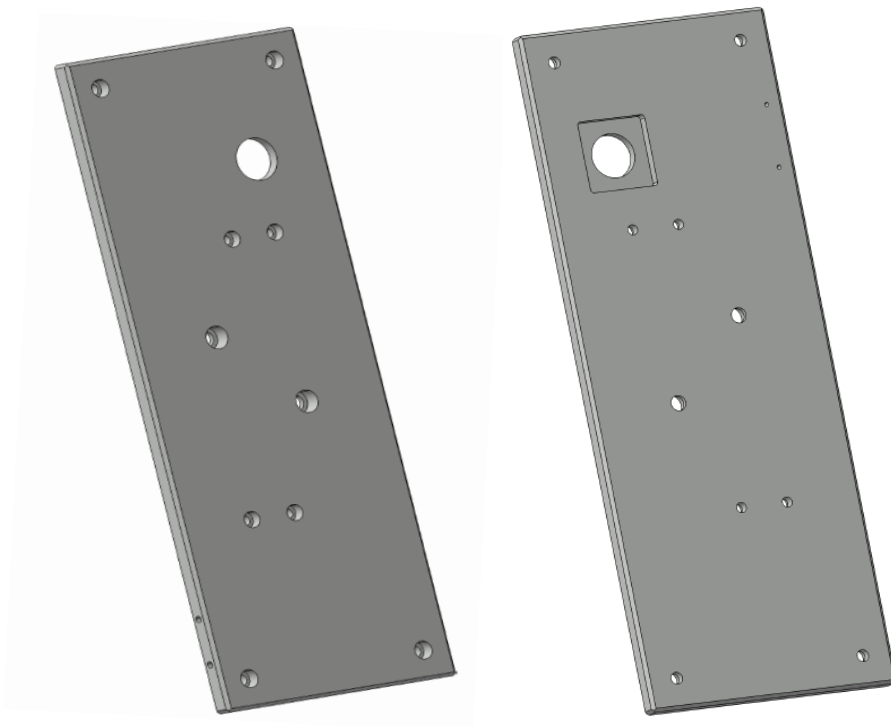
Tab. 4 Technologický postup základové desky spodní

Číslo operace	Popis	Stroj	Nástroj
1	 Řezání desky na délku 402 mm	Pásová pila Pilous ARG 230	Pilový pás
2	 Zarovnání na délku 400 mm	Konzolová frézka FGU 32	Stopková fréza Ø 25mm
3	 Vrtání 4x díra Ø 7 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Vrták Ø 7 mm
4	 Zahloubení válcové 4x Ø 11 mm hloubka 7 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Záhlubník válcový Ø 11 mm
5	 Vrtání 3x díra Ø5 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Vrták Ø 5 mm
6	 Zahloubení kuželové 3x hloubka 3 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Záhlubník kuželový
7	 Vrtání 3x díra Ø5 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Vrták Ø 5 mm

8		Řezání 3x závit M6	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Závitník M6
9		Zahloubení Ø45 mm hloubka 5 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Fréza Ø 45 mm

### 6.3.2 Základová deska horní

V horní základové desce jsou také po obvodu čtyři díry s válcovým zahloubením pro šroubové spojení se stojinami. Dále jsou dva otvory pro uchycení horního mechanického ventilu a dva pro upevnění dolního ventilu. Součástí desky je také vyfrézovaná kapsa pro zapuštění ručně ovládaného ventilu o velikosti 42 x 41 mm do hloubky 6 mm. Pro připevnění pneumatického válce byly v desce vytvořeny dvě díry se zapuštěním pro šrouby. V desce se dále nachází závit pro připevnění dalších pneumatických prvků.








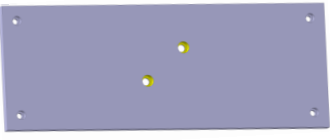

Obr. 37 Základová deska horní

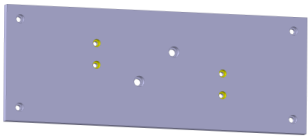
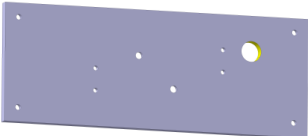
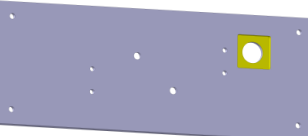

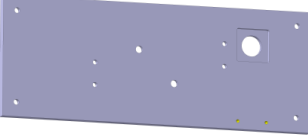
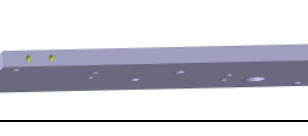

*Materiál: EN AW 2017*

**Počet kusů: 1**

**Polotovár: Deska 1000 x 150 x 12 mm**

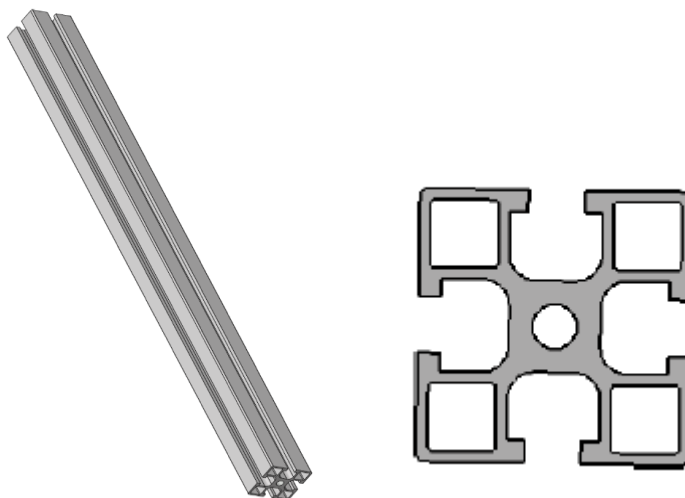
*Tab. 5 Technologický postup základové desky horní*

Číslo operace	Popis	Stroj	Nástroj	
1		Řezání desky na délku 402 mm	Pásová pila Pilous ARG 230	Pilový pás
2		Zarovnění na délku 400 mm	Konzolová frézka FGU 32	Stopková fréza Ø 25mm
3		Vrtání 4x díra Ø 7 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Vrták Ø 7 mm
4		Zahloubení válcové 4x Ø 11 mm hloubka 7 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Záhlubník válcový Ø 11 mm
5		Vrtání 2x díra Ø9 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Vrták Ø 9 mm
6		Zahloubení válcové 2x Ø14 mm hloubka 9 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Záhlubník válcový Ø 14 mm
7		Vrtání 4x díra Ø6 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Vrták Ø 6 mm

8		Zahloubení válcové 4x Ø10 mm hloubka 6 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Záhlubník válcový Ø 10 mm
9		Vrtání díra Ø26 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Vrták Ø 26 mm
10		Frézování kapsy	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Stopková fréza Ø25mm a Ø4 mm
11		Vrtání 2x díra Ø2,5 mm hloubka 10 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Vrták Ø 2,5 mm
12		Řezání 2x závit M3 hloubka 8 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Závitník M3
13		Vrtání 2x díra Ø4,2 mm hloubka 15 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Vrták Ø 4,2 mm
14		Řezání 2x závit M5 hloubka 12 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Závitník M5

### 6.3.3 Stojiny

Stojiny slouží pro spojení horní a dolní základové desky testovací stanice. Celkově jsou v přípravku po obvodu čtyři stojiny. Jedná se o profil ze slitiny hliníku dodávaný firmou Alutec K&K a.s. Profil má rozměry 30 x 30 mm a byl objednaný v délce 2000 mm a následně byl nařezán na požadované délky. Hmotnost jedné stojiny činí 0,4 kg. Do profilu byly z čela vyřezány závity pro spojení pomocí šroubů. [18]



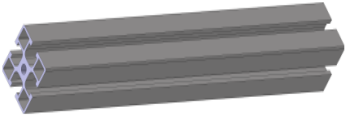

Obr. 38 Stojina vyrobená z hliníkového profilu

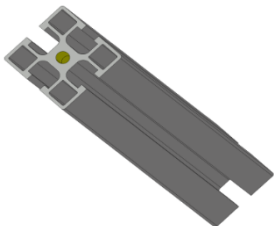
**Materiál:** EN AW 6060

**Počet kusů:** 4

**Polotovar:** 30 x 30 x 2000 mm

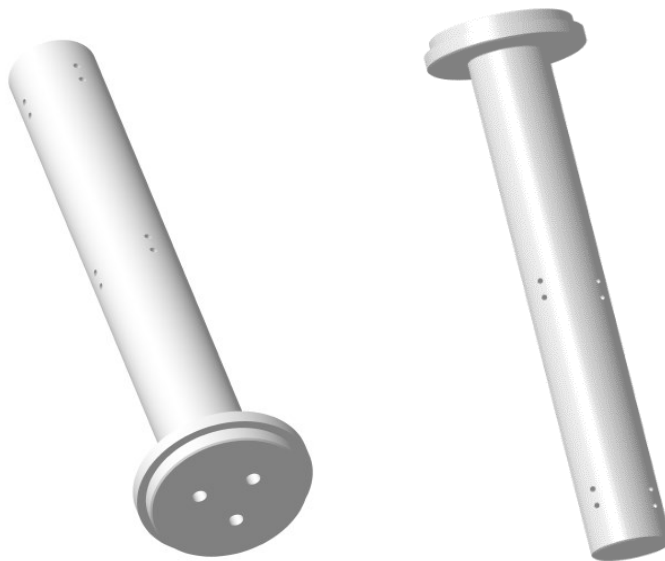
Tab. 6 Technologický postup stojiny

Číslo operace	Popis	Stroj	Nástroj
1	 Řezání na délku 482 mm	Pásová pila Pilous ARG 230	Pilový pás
2	 Zarovnání na délku 480 mm	Konzolová frézka FGU 32	Stopková fréza Ø25mm

3		Řezání zá- vitu M6	Aku vrtačka	Závitník M6
---	---	-----------------------	-------------	----------------

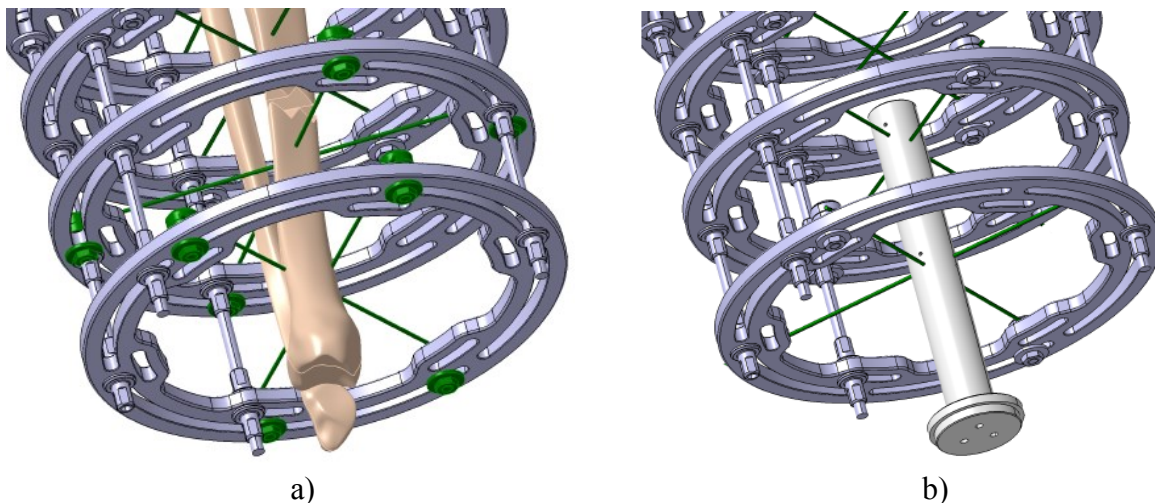
#### 6.3.4 Základna spodní

Spodní základna slouží jako pomyslná náhrada kosti během testování. Jedná se o kulatinu tvořenou třemi průměry ( $\text{Ø}50$ ,  $\text{Ø}45$ ,  $\text{Ø}25$  mm). Průměr 45 mm je vložen do základové desky spodní, kde je pro něj vytvořený otvor o stejném průměru. Větší průměr slouží jako osazení pro opření o základovou desku. Pomyslná spodní část kosti je připevněna pomocí tří šroubů do desky.



Obr. 39 Základna spodní

Na  $\varnothing 25$  mm jsou po délce vyvrtány čtyři díry o  $\varnothing 2$  mm a čtyři díry o stejném průměru, pouze pootočených o  $90^\circ$ . Zvoleno bylo 8 děr pro větší variabilitu při montování fixátoru do testovací stanice. Rozteč mezi dírami v jedné rovině a v rovině pootočené o  $90^\circ$  je 3 mm, aby se díry vzájemně neprotínaly. Tyto otvory slouží pro vložení Kirschnerových drátů.



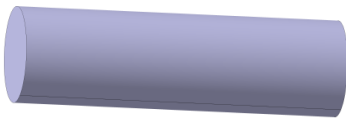
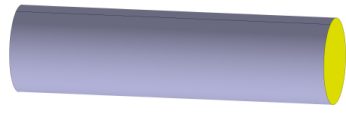

Obr. 40 Kirschnerovy dráty: a) v kosti, b) spodní základna (náhrada kosti)

**Materiál:** PA 6

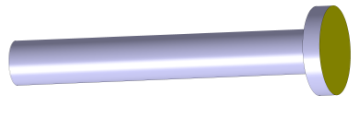
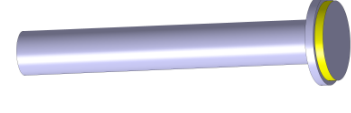
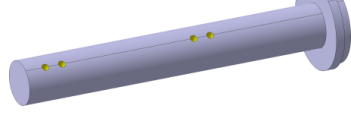
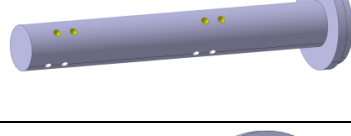
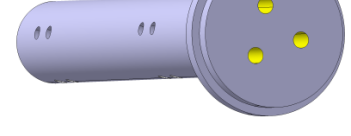
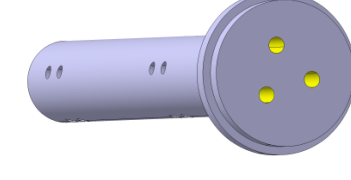
**Počet kusů:** 1

**Polotovar:**  $\varnothing 50 \times 500$  mm

Tab. 7 Technologický postup základny spodní

Číslo operace	Popis	Stroj	Nástroj
1	 Řezání na délku 192 mm	Pásová pila Pilous ARG 230	Pilový pás
2	 Zarovnání na délku 191 mm	Soustruh hrotový TOS SUI 40/1000	Soustružnický nůž stranový
3	 Soustružení na $\varnothing 25$ mm v délce 180 mm	Soustruh hrotový TOS SUI 40/1000	Soustružnický nůž stranový



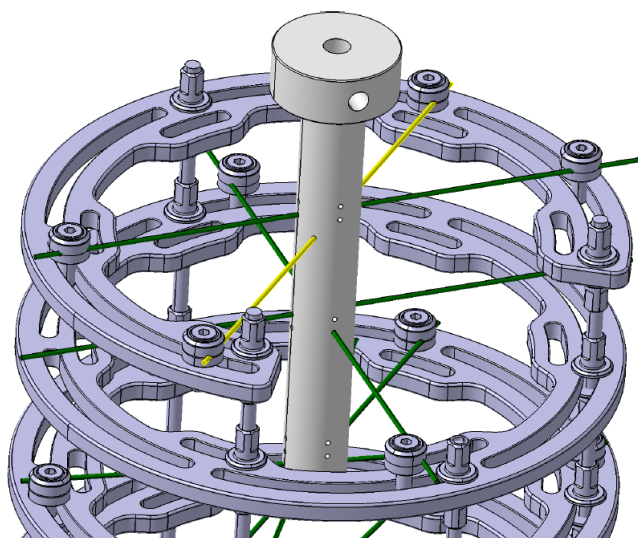
4		Zarovnání délku 190 mm	Soustruh hrotový TOS SUI 40/1000	Soustružnický nůž stranový
5		Soustružení na Ø 45 mm v délce 5 mm	Soustruh hrotový TOS SUI 40/1000	Soustružnický nůž stranový
6		Vrtání 4x díra Ø 2 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Vrták Ø 2 mm
7		Vrtání 4x díra Ø 2 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Vrták Ø 2 mm
8		Vrtání 3x díra Ø 4,2 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Vrták Ø 4,2 mm
9		Řezání závitu 3x M5	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Závitník M5

### 6.3.5 Základna horní

Základna horní je identický díl jako základna dolní s tím rozdílem, že po délce je vyvrtáno místo osmi děr dvanáct plus jedna, která je umístěna pod úhlem 45°. Jelikož fixátor na svém horním konci disponuje pouze ¾ prstencem pro pohodlné ohýbání nohy v okolí kolene, tak Kirschnerovy dráty nejsou vzájemně zkříženy o 90°, ale dráty vzájemně svírají jiný úhel. Horní základna dále disponuje na jenom konci závitem, který slouží pro spojení s pneumatickým válce a díky tomu dochází k opakované cyklickému pohybu, kdy píst válce neustále vyjíždí a vrací se. Dále jsou na Ø50 mm z dvou protilehlých stran vytvořeny závity pro spínací elementy, pomocí kterých dochází k ovládní mechanických ventilů.



Obr. 41 Základna horní

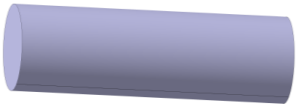
Obr. 42 Poloha Kirschnerových drátů v  $\frac{3}{4}$  prstenci

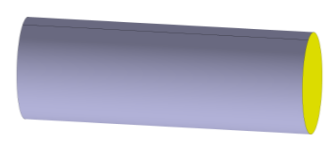
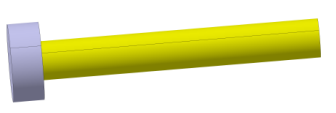
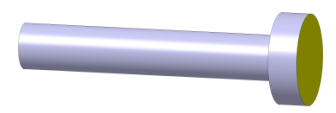
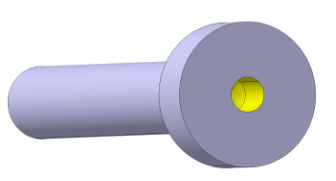
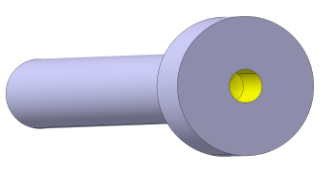
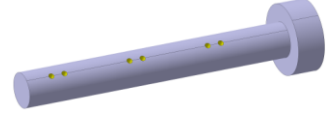
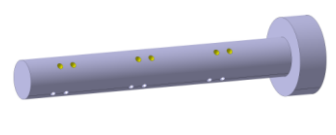
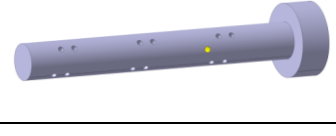
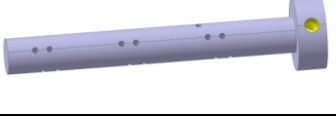
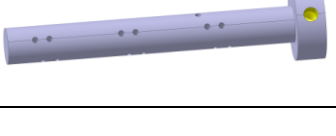

**Materiál:** PA 6

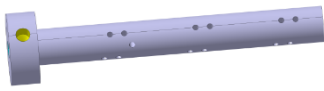
**Počet kusů:** 1

**Polotovar:** Ø50 x 500 mm

Tab. 8 Technologický postup základny horní

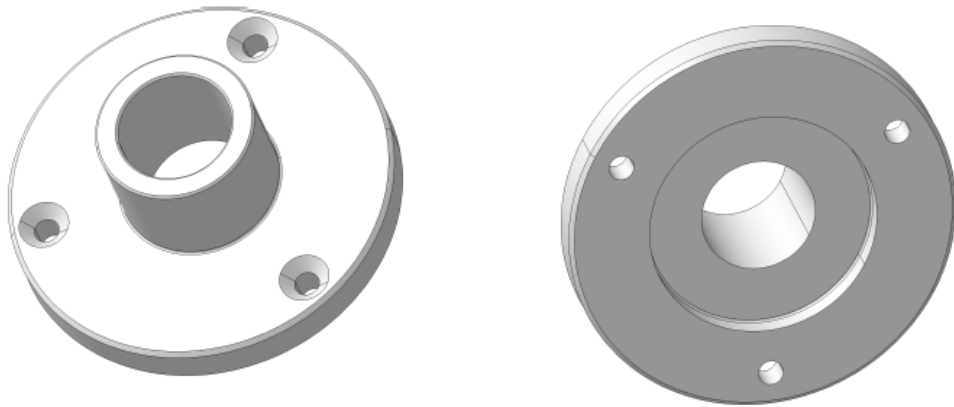
Číslo operace	Popis	Stroj	Nástroj
1	 Řezání na délku 202 mm	Pásová pila Pilous ARG 230	Pilový pás

2		Zarovnění na délku 201 mm	Soustruh hrotový TOS SUI 40/1000	Soustružnický nůž stranový
3		Soustružení na $\varnothing 25$ mm v délce 180 mm	Soustruh hrotový TOS SUI 40/1000	Soustružnický nůž stranový
4		Zarovnění na délku 200 mm	Soustruh hrotový TOS SUI 40/1000	Soustružnický nůž stranový
5		Vrtání díry $\varnothing 10,2$ mm do hloubky 18 mm	Soustruh hrotový TOS SUI 40/1000	Vrták $\varnothing 10,2$ mm
6		Řezání závitu M12x1,25 do hloubky 15 mm	Soustruh hrotový TOS SUI 40/1000	Závitník M12x1,25
7		Vrtání 6x díra $\varnothing 2$ mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Vrták $\varnothing 2$ mm
8		Vrtání 6x díra $\varnothing 2$ mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Vrták $\varnothing 2$ mm
9		Vrtání 1x díra $\varnothing 2$ mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Vrták $\varnothing 2$ mm
10		Vrtání díry $\varnothing 8,5$ mm do hloubky 14 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Vrták $\varnothing 8,5$ mm
11		Řezání závitu M10 do hloubky 11 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Závitník M10
12		Vrtání díry $\varnothing 8,5$ mm do hloubky 14 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Vrták $\varnothing 8,5$ mm

13		Řezání závitu M10 do hloubky 11 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Závitník M10
----	---	---	---------------------------------------	-----------------

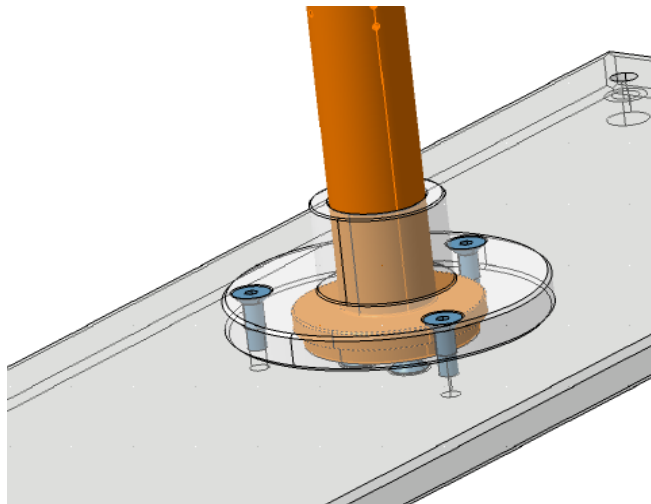
### 6.3.6 Příruba

Součást nezvaná příruba slouží k vyztužení konce spodní základny, která demonstruje kost. Při testování může dojít působením sil k lehkému vybočení spodní základny, což by způsobilo nesprávnost testování. Z toho důvodu byl konec spodní základny zesílen pomocí příruby, která je připevněna pomocí šroubů k základové desce.



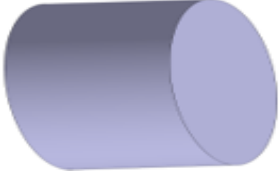
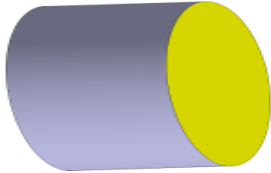
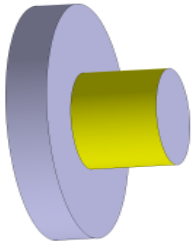
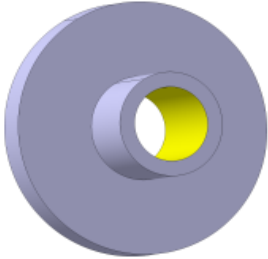
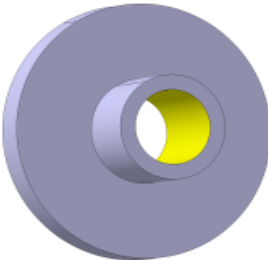
Obr. 43 Příruba

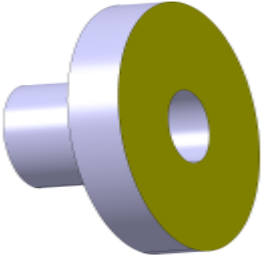
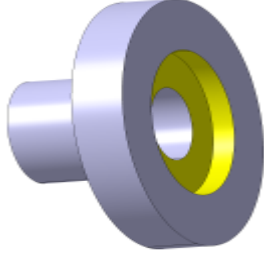
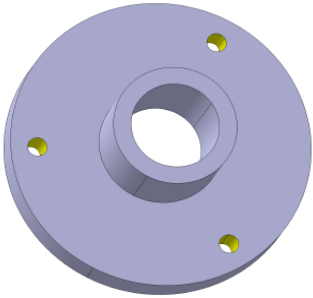
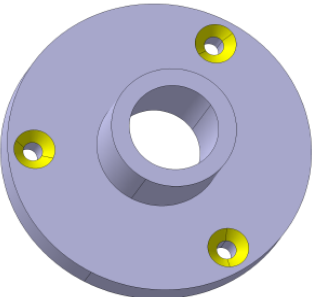
Příruba má osazení, čímž dotlačí spodní základnu k základové desce. Jelikož testovací stanice není určena pouze pro jeden konkrétní fixátor, je uložení mezi spodní základnou a přírubou navrženo s vůlí pro snadné sestavení a rozebrání celého aparátu.



Obr. 44 Příruba společně se spodní základnou připevněna k základové desce spodní

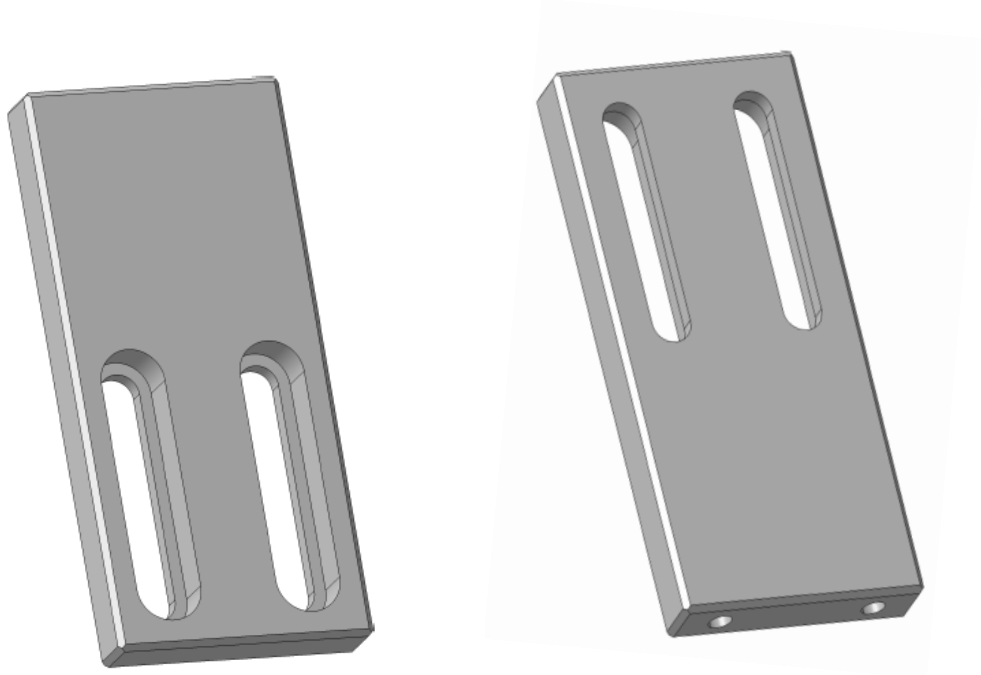
*Materiál: PA 6***Počet kusů: 1****Polotovár: Ø50 x 500 mm***Tab. 9 Technologický postup příruby*

Číslo operace	Popis	Stroj	Nástroj
1	 Řezání na délku 37 mm	Pásová pila Pilous ARG 230	Pilový pás
2	 Zarovnání na délku 36 mm	Soustruh hrotový TOS SUI 40/1000	Soustružnický nůž stranový
3	 Soustružení na Ø 35 mm v délce 25 mm	Soustruh hrotový TOS SUI 40/1000	Soustružnický nůž stranový
4	 Vrtání díry Ø24,5 mm	Soustruh hrotový TOS SUI 40/1000	Vrták Ø 24,5 mm
5	 Vystružení díry Ø 25	Soustruh hrotový TOS SUI 40/1000	Výstružník Ø25

6		Zarovnání na délku 35 mm	Soustruh hrotový TOS SUI 40/1000	Soustružnický nůž stranový
7		Soustružení otvoru na $\text{Ø } 50 \text{ mm}$ v délce 5 mm	Soustruh hrotový TOS SUI 40/1000	Soustružnický nůž vnitřní
8		Vrtání 3x díra $\text{Ø } 5,5 \text{ mm}$	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Vrták $\text{Ø } 5,5 \text{ mm}$
9		Zahloubení kuželové 3x hloubka 3 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Záhlubník kuželový

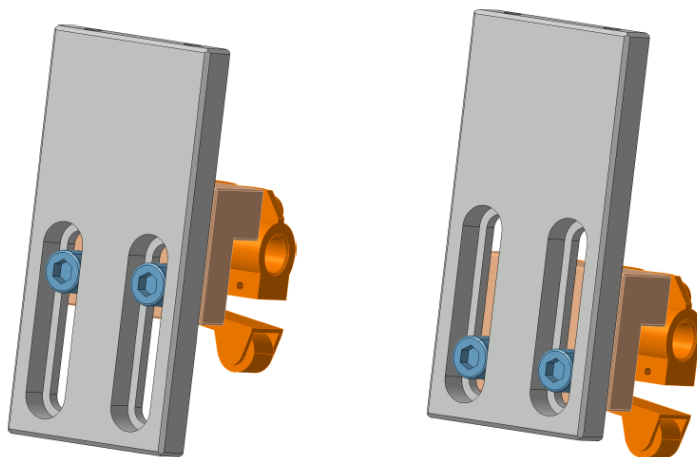
### 6.3.7 Držák mechanického ventilu horní

Jak již z názvu vyplívá, držák slouží k upevnění mechanického ventilu. Je vyroben ze slitiny hliníku a jeho hlavní rozměry jsou 95 x 44 x 10 mm. Z čela držáku jsou vytvořeny dvě díry se závitem M5 pro upevnění do základové desky.



*Obr. 45 Držák mechanického ventilu horní*

Na těle držáku jsou vyfrézovány dvě drážky pro zapuštění šroubu. Drážky jsou vyfrézovány v délce 35 mm, díky tomu může být mechanický ventil nastaven v potřebné výšce, aby došlo k správnému sepnutí.



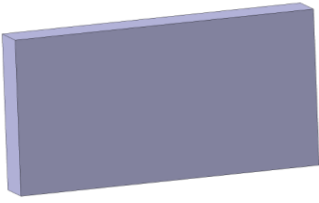
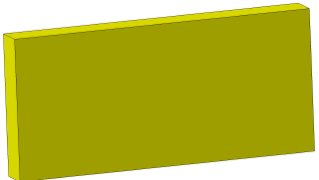
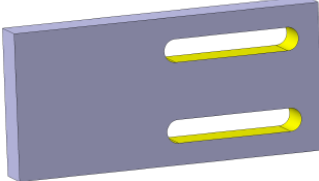
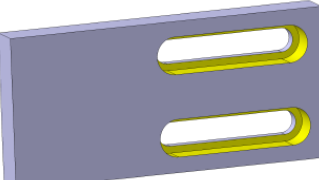
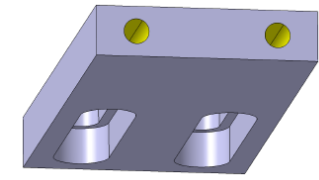
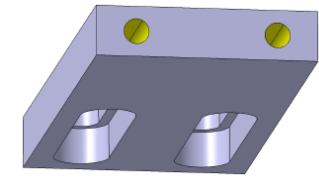
*Obr. 46 Možnost polohování mechanického ventilu pomocí drážek v horním držáku*

**Materiál:** EN AW 2017

**Počet kusů:** 1

**Polotovár:** 500 x 50 x 12 mm

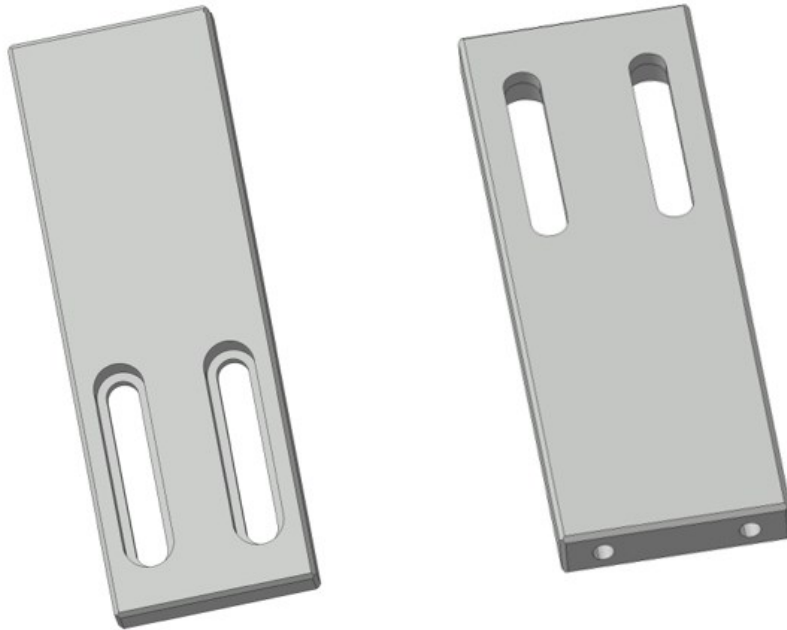
Tab. 10 Technologický postup horního držáku mechanického ventilu

Číslo operace	Popis	Stroj	Nástroj	
1		Řezání na 100x50x12 mm	Pásová pila Pilous ARG 230	Pilový pás
2		Frézování na rozměr 95x44x10 mm	Konzolová frézka FGU 32	Fréza Ø40 mm
3		Frézování drážky o šířce 7 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Drážkovací fréza Ø7 mm
4		Frézování drážky o šířce 11 mm do hloubky 7 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Drážkovací fréza Ø 11 mm
5		Vrtání díry Ø4,2 mm do hloubky 18 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Vrták Ø 4,2 mm
6		Řezání závitu M5 do hloubky 15 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Závitník M5



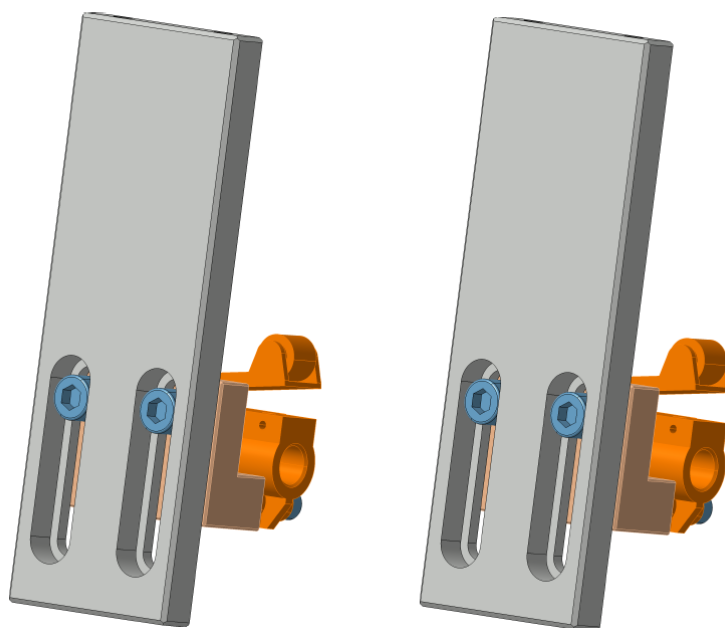
### 6.3.8 Držák mechanického ventilu spodní

Zde se jedná o součást, která má naprosto stejný úkol a stavbu jako držák horního ventilu. Drážky držáků jsou vyhotoveny pro šroub s válcovou hlavou M6.



*Obr. 47 Držák mechanický ventilu spodní*

Jelikož mechanický ventil je zde otočen o 180°, tak jedinou výjimku tady tvoří délka, která činí 130 mm.



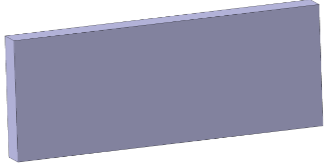
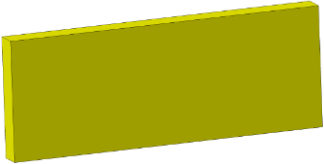
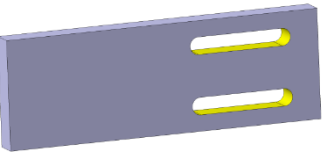
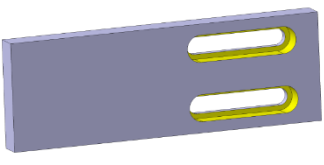
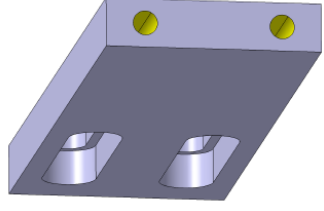
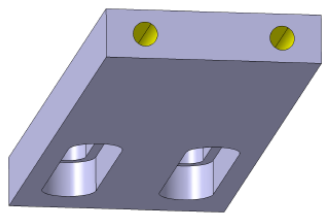
*Obr. 48 Možnost polohování mechanického ventilu pomocí drážek ve spodním držáku*

*Materiál: EN AW 2017*

**Počet kusů: 1**

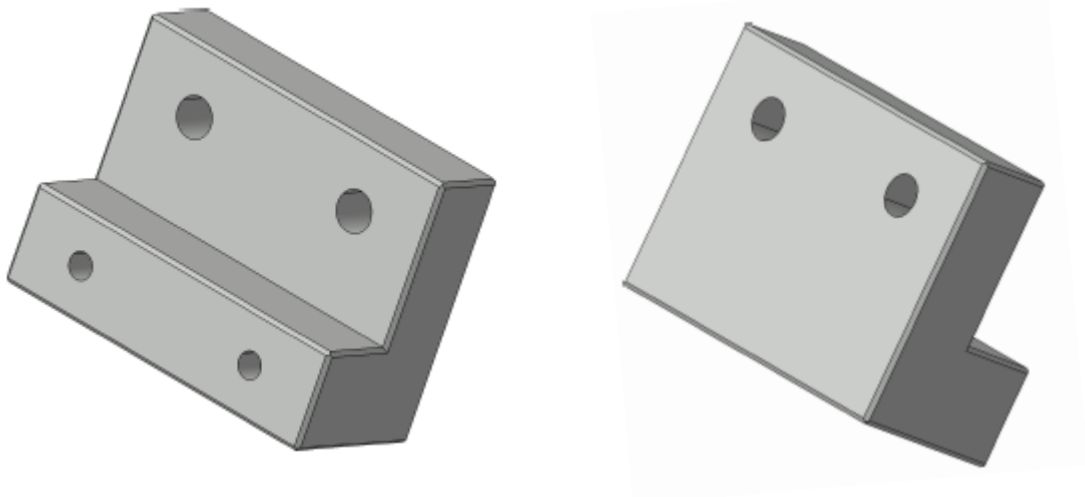
**Polotovár: 500 x 50 x 12 mm**

*Tab. 11 Technologický postup spodního držáku mechanického ventilu*

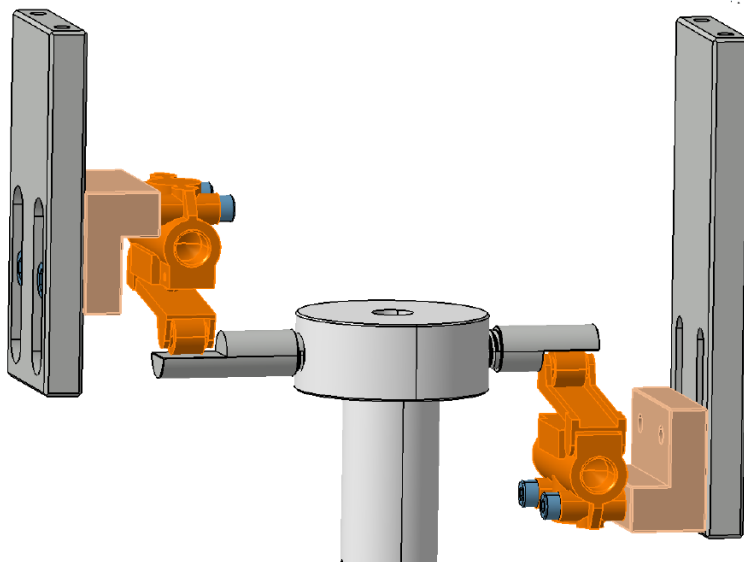
Číslo operace	Popis	Stroj	Nástroj
1	 Řezání na 135x50x12 mm	Pásová pila Pilous ARG 230	Pilový pás
2	 Frézování na rozměr 130x44x10 mm	Konzolová frézka FGU 32	Fréza Ø40 mm
3	 Frézování drážky o šířce 7 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Drážkovací fréza Ø7 mm
4	 Frézování drážky o šířce 11 mm do hloubky 7 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Drážkovací fréza Ø 11 mm
5	 Vrtání díry Ø4,2 mm do hloubky 18 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Vrták Ø 4,2 mm
6	 Řezání závitu M5 do hloubky 15 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Závitník M5

### 6.3.9 Konzola mechanického ventilu

Konzola je spojovací díl mezi držáky a samotnými mechanickými ventily. V celé sestavě je tento prvek zastoupen dvakrát. Je tvořen dvěma závity M6 pro spojení s držákem. Další dvě díry jsou se závity M4 a slouží k upevnění mechanického ventilu. Pro odlehčení byla odfrézována část materiálu.



*Obr. 49 Konzola mechanického ventilu*



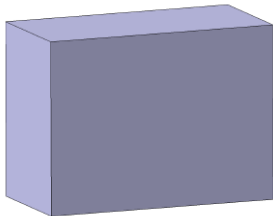
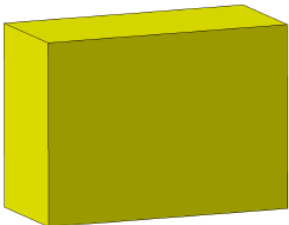
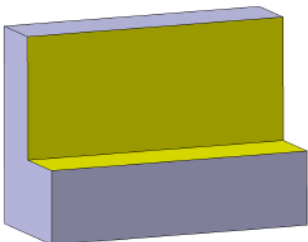
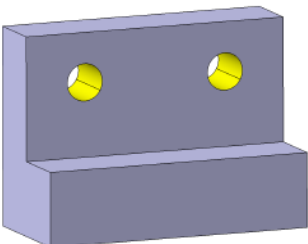
*Obr. 50 Konzola s upevněným mechanickým ventilem*

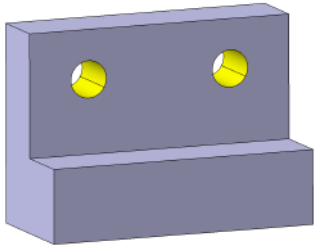
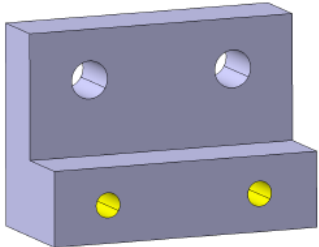
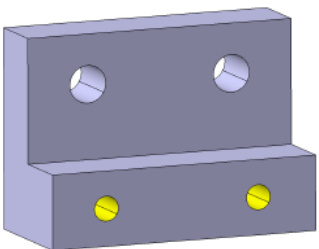
*Materiál: EN AW 2017*

**Počet kusů: 2**

**Polotovár: 120 x 40 x 25 mm**

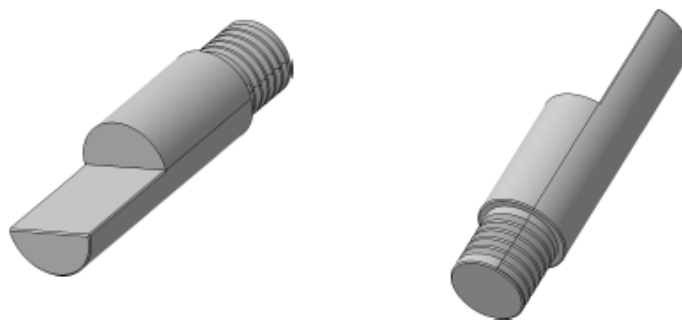
*Tab. 12 Technologický postup konzoly mechanického ventilu*

Číslo operace	Popis	Stroj	Nástroj
1	 Řezání na 50x37x25 mm	Pásová pila Pilous ARG 230	Pilový pás
2	 Frézování na rozměr 44x32x20 mm	Konzolová frézka FGU 32	Fréza Ø40 mm
3	 Frézování vybrání	Konzolová frézka FGU 32	Stopková fréza Ø15 mm
4	 Vrtání díry Ø 5 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Vrták Ø 5 mm

5		Řezání závitu M6	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Závitník M6
6		Vrtání díry Ø 3,3 mm do hloubky 16 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Vrták Ø 3,3 mm
7		Řezání závitu M4 do hloubky 14 mm	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Závitník M4

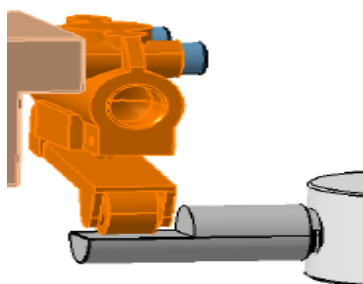
### 6.3.10 Spínač mechanického ventilu horní

Tento prvek má za úkol sepínání mechanického ventilu. Je přišroubován pomocí vnějšího závitu M10 do horní základny. Pro větší stykovou plochu s kladkou ventilu byla na tomto díle vyfrézována ploška.



Obr. 51 Spínač mechanického ventilu horní

Při zasouvání pneumatického válce dochází ke styku mezi spínačem a ventilem a následně dochází k sepnutí.



Obr. 52 Styk při sepíná mechanického ventilu horního

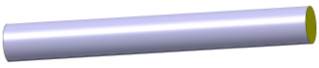

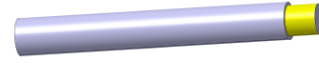
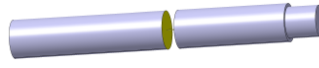
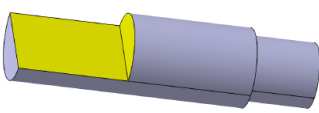
Polotovar Ø12x500

**Materiál:** EN AW 2017

**Počet kusů:** 1

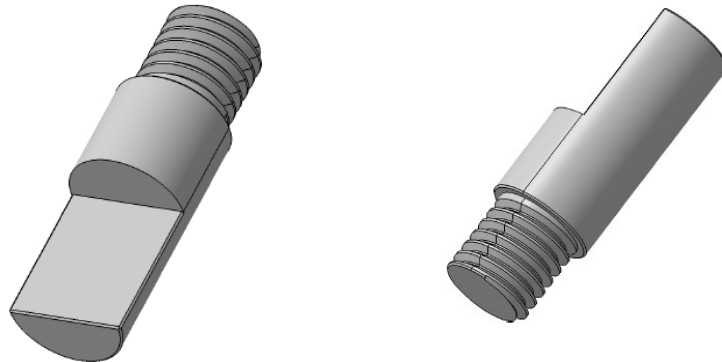
**Polotovar:** Ø12 x 500 mm

Tab. 13 Technologický postup horního spínače mechanického ventilu

Číslo operace	Popis	Stroj	Nástroj
1	 Zarovnání čela	Soustruh hrotový TOS SUI 40/1000	Soustružnický nůž stranový
2	 Soustružení na Ø 9,8 mm	Soustruh hrotový TOS SUI 40/1000	Soustružnický nůž stranový
3	 Řezání závitu M10 v délce 10 mm	Soustruh hrotový TOS SUI 40/1000	Závitové očko M10
4	 Upíchnutí v délce 46 mm	Soustruh hrotový TOS SUI 40/1000	Soustružnický nůž upichovací
5	 Frézování plošky	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Stopková fréza Ø8 mm

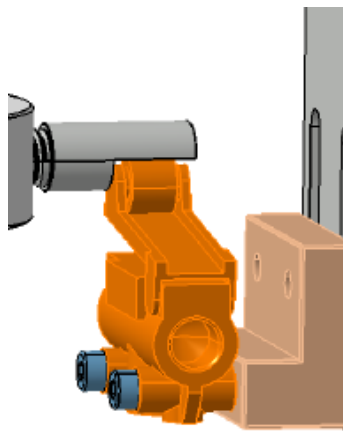
### 6.3.11 Spínač mechanického ventilu dolní

Spínací element dolní má tentýž úkol jako spínač horní. Jediný rozdíl mezi těmito kusy je v délce, kdy spínač dolního ventilu je o 10 mm kratší.



*Obr. 53 Spínač mechanického ventilu dolní*

Také zde dochází ke kontaktu s kladkou mechanického ventilu. K tomu styku dojde při vysunutí pneumatického válce.






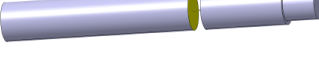
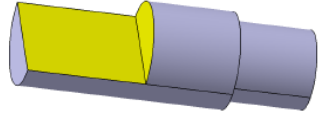
*Obr. 54 Styk při sepíná mechanického ventilu spodního*

**Materiál:** EN AW 2017

**Počet kusů:** 1

**Polotovar:** Ø12 x 500 mm

*Tab. 14 Technologický postup dolního spínače mechanického ventilu*

Číslo operace	Popis	Stroj	Nástroj
1	 Zarovnání čela	Soustruh hrotový TOS SUI 40/1000	Soustružnický nůž stranový
2	 Soustružení na Ø 9,8 mm	Soustruh hrotový TOS SUI 40/1000	Soustružnický nůž stranový
3	 Řezání závitu M10 v délce 10 mm	Soustruh hrotový TOS SUI 40/1000	Závitové očko M10
4	 Upíchnutí v délce 46 mm	Soustruh hrotový TOS SUI 40/1000	Soustružnický nůž upichovací
5	 Frézování plošky	Nástrojařská frézka TOS FNK 25A	Stopková fréza Ø8 mm



Na následujících obrázcích můžeme vidět vybrané fotky, které byly pořízeny během samotné výroby testovací stanice.



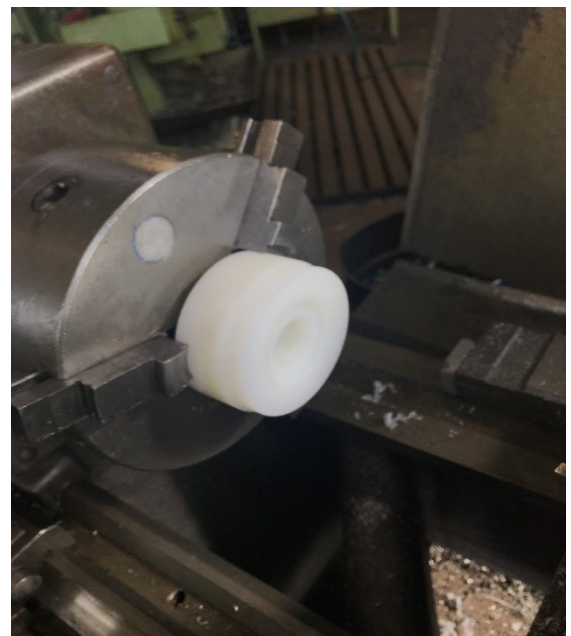
*Obr. 55 Řezání základových desek*



*Obr. 56 Řezání stojin*



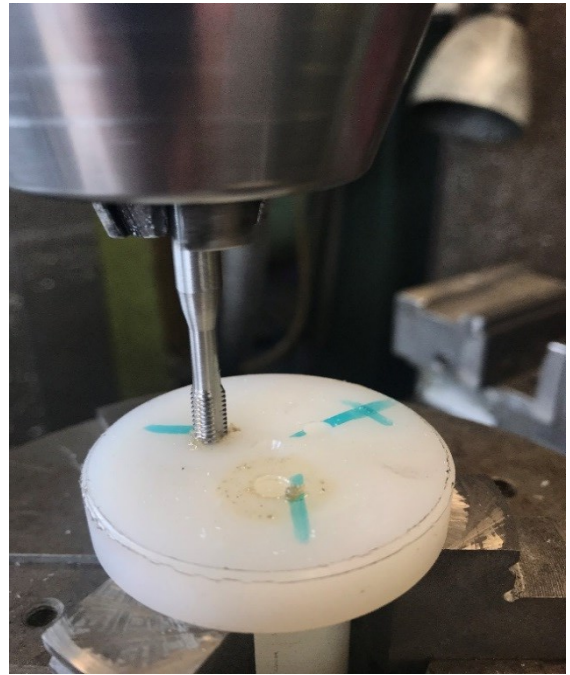
*Obr. 57 Soustružení spodní základny*



*Obr. 58 Soustružení příruby*



Obr. 59 Zarovnání stojin



Obr. 60 Řezání závitů spodní základny

## 6.4 Nakupované díly

V následující kapitole budou rozebrány jednotlivé nakupované komponenty. Jedná se o součástky potřebné k pneumatickému zapojení a spojovací materiál. Hlavním dodavatelem vzduchové techniky byla firma SMC.

### 6.4.1 Pneumatický válec

Pneumatický válec je mechanické zařízení, které využívá sílu stlačeného plynu k vytvoření síly ve vratném lineárním pohybu. Stejně jako například hydraulické válce se může píst pohybovat v požadovaném směru. Po stlačení vstupuje stlačený vzduch do válce na jednom konci pístu a dodává sílu na píst. V důsledku toho se píst přemístí.

Pro testovací stanici byl zvolen kompaktní válec od firmy SMC s označením CD55B50-10M. [19]

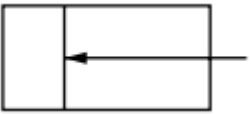



Obr. 61 Pneumatický válec [19]

Tento válec disponuje pístem o průměru 50 mm. Daný průměr byl zvolen tak, aby dokázal vyvinout dostatečnou sílu pro zatížení externího fixátoru. Ze znalostí testování fixátorů získaných v teoretické části bylo zjištěno, že fixátory se nemusí testovat na nějakou extrémní velikost stlačení. Proto byl zvolen zdvih válce 10 mm. Z tabulky 15 je patrné, že válec dokáže bez problému vyvinout sílu, kterou dokáže pacient působit na fixátor při užívání. Hmotnost pneumatického válce je 828 g. [19]

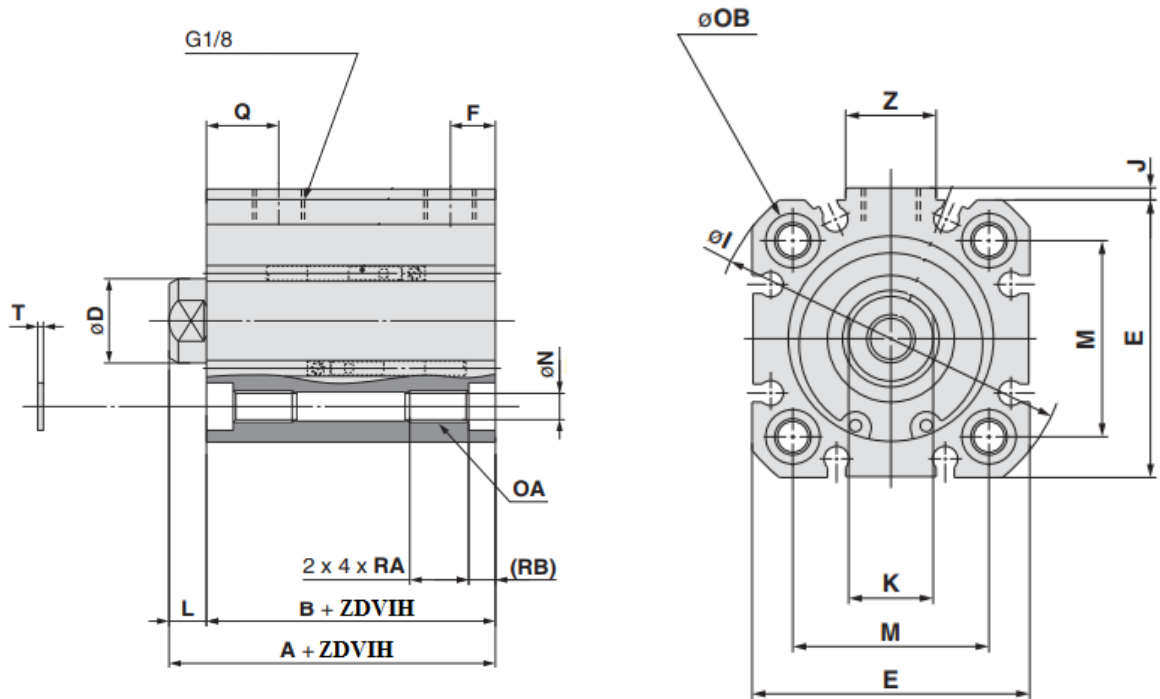
Tab. 15 Vytvořená síla válce při vysunutí a zasunutí [19]

Jednotky: [N]

Průměr válce [mm]	Pracovní pohyb válce		Pracovní tlak 0,5 [MPa]
50	ZÁSUN		825
	VÝSUN		982

Jedná se o dvojčinný pneumatický válec, což znamená, že vzduch je přiváděn z obou stran, takže oba pohyby, v před i zad, jsou realizovány pomocí stlačeného vzduchu. Je zde možnost nastavit rychlosti pohybu pístu v obou směrech. Jak je patrné z tabulky, tak dvojčinné válce při zasouvání vyvinou menší sílu než při vysouvání. Je to zapříčiněno, že účinná plocha pístu je menší o plochu danou průměrem pístnice. [19]

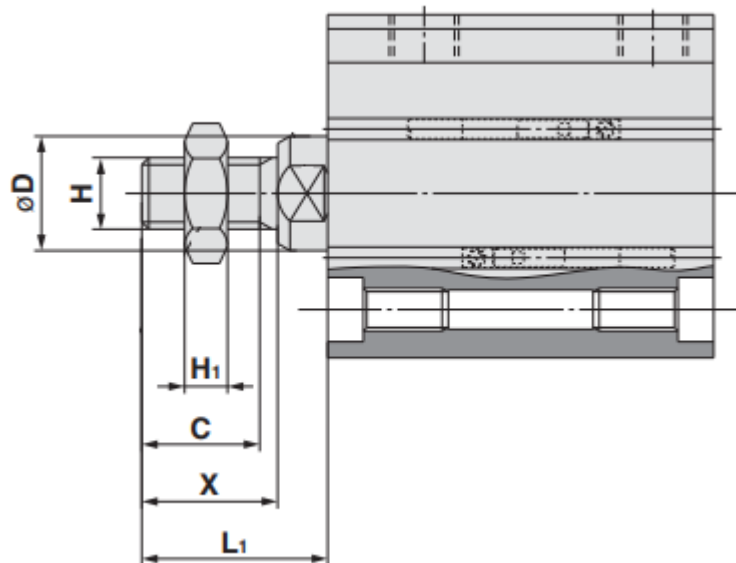
Rozměry válce:



Obr. 62 Základní rozměry válce [19]

Tab. 16 Základní rozměry pneumatického válce [mm][19] :

A	B	C	D	E	F	H	L	M	N	OA	OB	Q	RA	T	Z
53	45	16	20	64	10,5	M10x1,5	8	46,5	6,6	M8x1,25	10,5	13,5	15	1,6	17



Obr. 63 Rozměry konce pístu [19]



Tab. 17 Rozměry konce pístu pneumatického válce [mm] [19]:

C	D	H	H <sub>1</sub>	L <sub>1</sub>	X
19,5	20	M12x1,25	7	30	22

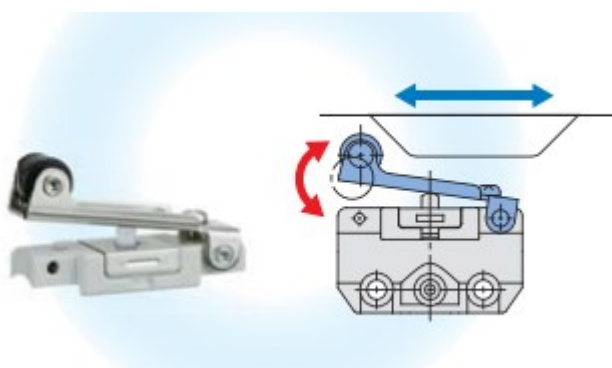
#### 6.4.2 Mechanický ventil 3/2

Mechanický ventil slouží k ovládnání pneumatického válce pomocí stlačeného vzduchu. Ventil je od firmy SMC a nese označení VM131-F01-01SA. Označení „3/2“ nám říká, že ventil je třístavový a má dvě polohy. Provozní tlak je maximálně 1MPa. Závit pro připojení je G 1/8 ". [19]



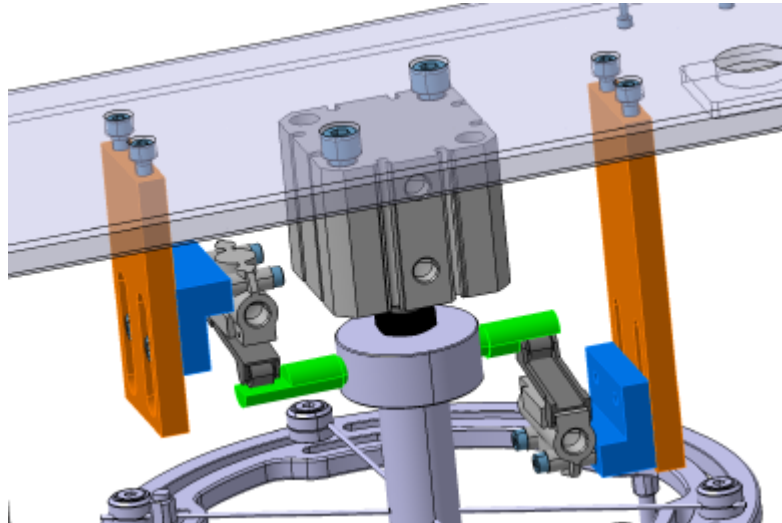
Obr. 64 Mechanický ventil 3/2 [19]

Jedná se o monostabilní ventil ovládaný jednostranně pneumatickým signálem s návratem do základní polohy. Ovládnání spočívá v přivedení pneumatického signálu a k přesunu ventilu do aktivní polohy. V této poloze se ale nachází pouze do doby, dokud je na ovládacím vstupu mechanický signál. Pokud nastane odpojení signálu, dojde pomocí vratné pružiny ve ventilu k návratu do základní polohy. [19] [29] [30]



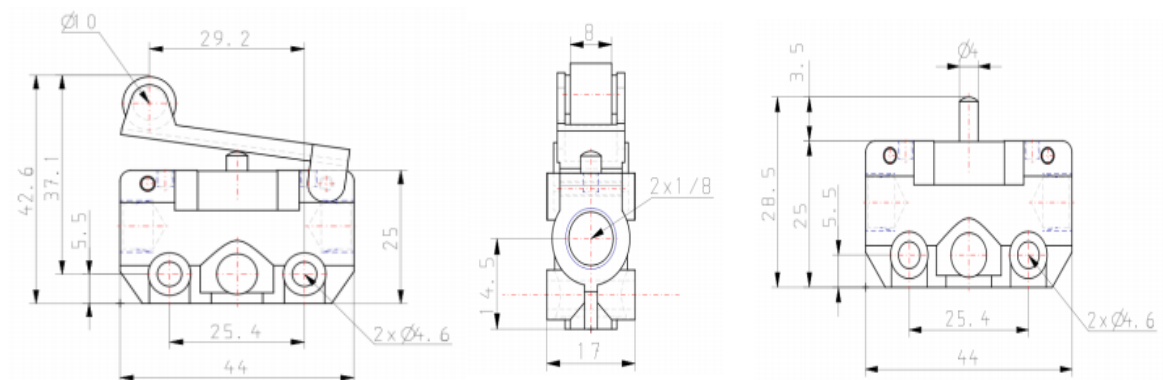
Obr. 65 Princip mechanického ventilu [19]

Mechanický ventil je v provedení páka s kladkou z tvrdé oceli. V testovacím přípravku dochází k vyvolání mechanického signálu pomocí pneumatického válce, který následně sepne přes součástky k němu připevněné svým vysunutím mechanický ventil.



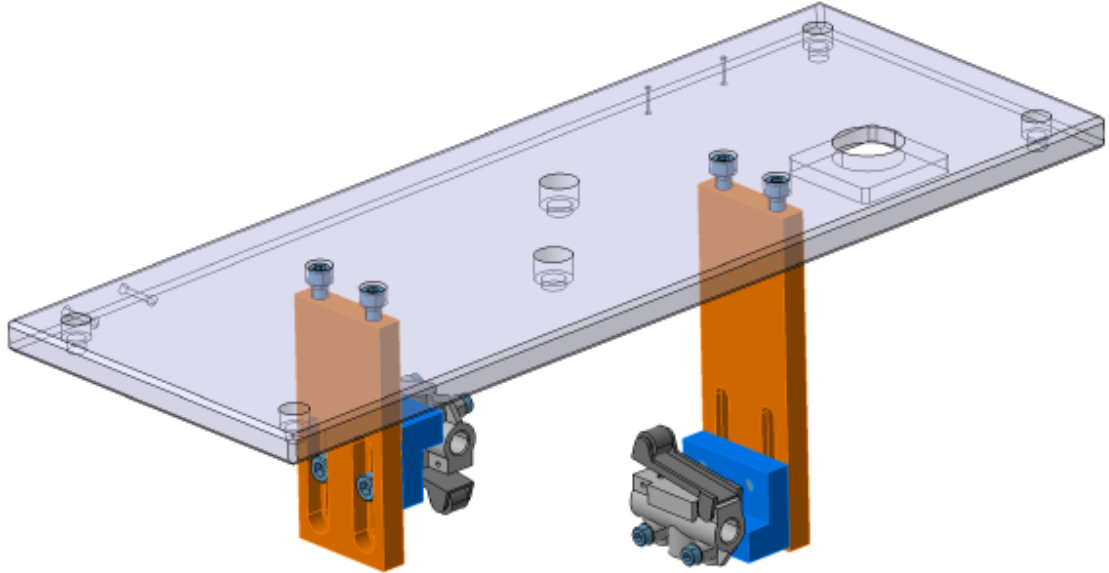
Obr. 66 Sepnutí mechanických ventilů pomocí pneumatického válce

Základní rozměry [mm]:



Obr. 67 Základní rozměry mechanického ventilu [19]

Mechanický ventil je přes konzoly připevněn pomocí šroubů k držáku a celá sestava je následně upevněna taktéž pomocí šroubů k horní základové desce.



*Obr. 68 Umístění mechanických ventilů v testovacím zařízení*

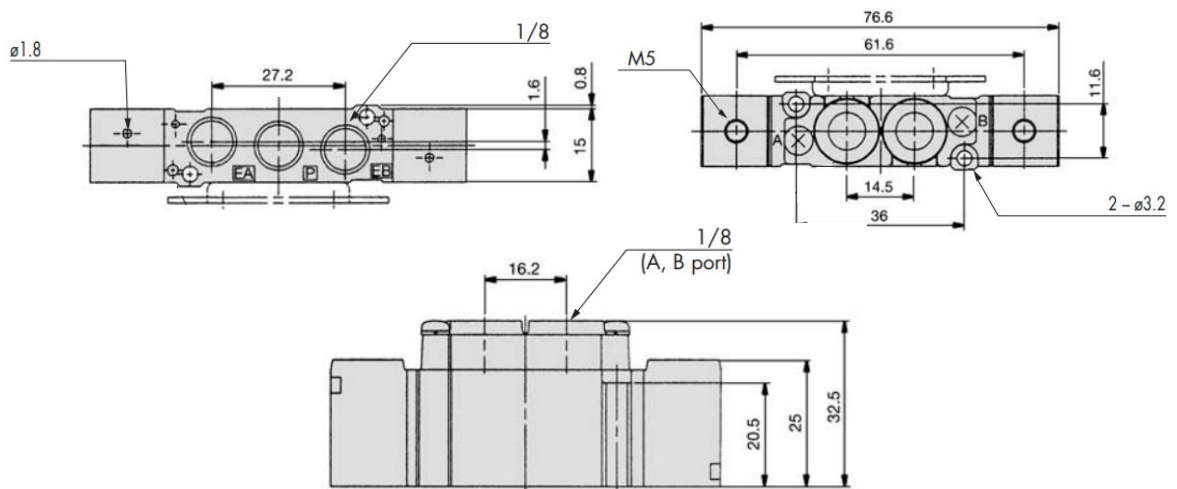
#### 6.4.3 Vzduchem ovládaný ventil 5/2

Vzduchem ovládaný ventil 5/2 má celkový počet vývodů 5 a 2 funkční polohy. Ventil je od firmy SMC a našli bychom ho pod označením SYA5220-01F. Pro správnou funkci musí být minimální provozní tlak 0,1 MPa a naopak maximální je 0,8 MPa. Velikost připojovacího závitu je G 1/8". [19] [29] [30]



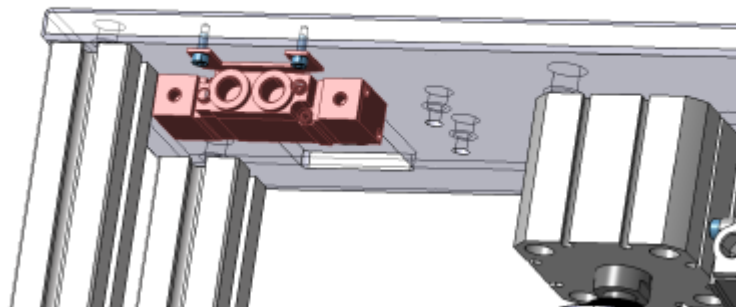
*Obr. 69 Vzduchem ovládaný ventil 5/2 [19]*

Základní rozměry [mm]:



Obr. 70 Základní rozměry vzduchem ovládaného ventilu [19]

Ventil je přes držák upevněn do horní základové desky testovacího přípravku. Pozice ventilu byla zvolena tak, aby následné propojení pomocí hadic bylo v blízkosti ostatních prvků, ale zároveň nedošlo narušení pracovního prostoru jiných součástí.

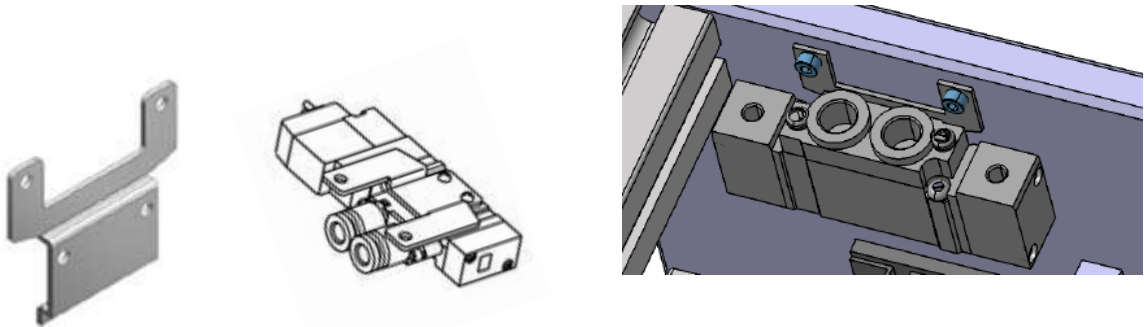


Obr. 71 Umístění vzduchem ovládaného ventilu v testovacím zařízení



#### 6.4.4 Držák pro vzduchem ovládaný ventil 5/2

Držák slouží pro uchycení ventilu v požadovaném místě. V testovacím přípravku je uchycen pomocí dvou šroubů M3 ke spodní straně horní základové desky. Je vyroben z ocele a jeho hmotnost činí 12 g. Držák dodává firma SMC a je pod označením SX5000-16-1A. [19] [30]



Obr. 72 Držák pro vzduchem ovládaný ventil [19]

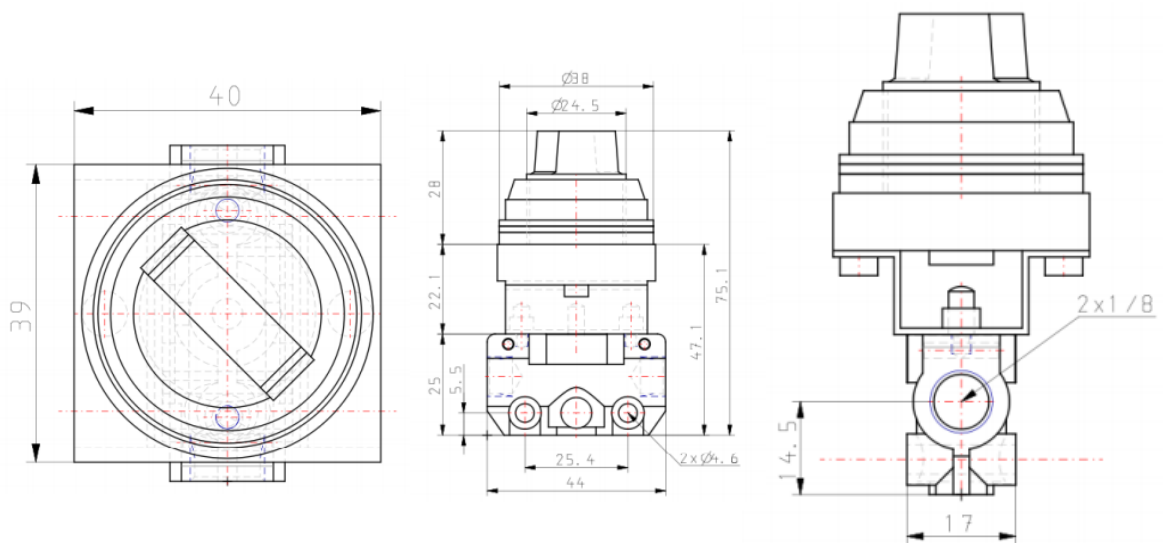
#### 6.4.5 Ruční ventil 3/2

Jedná se o ručně přepínaný ventil pomocí otočného tlačítka, který má dvě možné polohy (ZAPNUTO, VYPNUTU). Od firmy SMC jej najdeme pod označením VM130-F01-34BA. Maximální provozní tlak je 1 MPa. Označení 3/2 značí, že se jedná o třicestný ventil, který má dvě výchozí polohy. Připojení je umožněno pomocí závitů G 1/8 ". [19] [30]



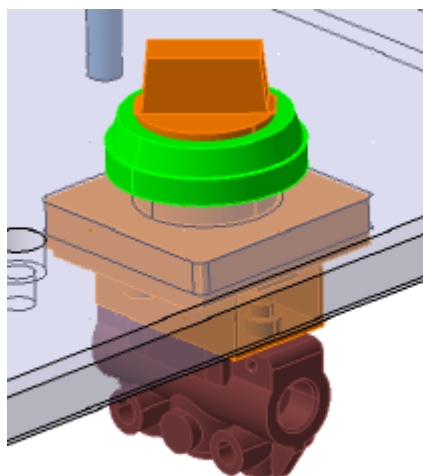
Obr. 73 Ruční ventil [19]

Základní rozměry [mm]:



Obr. 74 Základní rozměry ručního ventilu [19]

V testovacím přípravku je ventil zapařován do horní základové desky. Upevněn je pomocí plastového kroužku přes závit, který se nachází pod přepínacím tlačítkem.



Obr. 75 Umístění ručního ventilu v testovacím zařízení

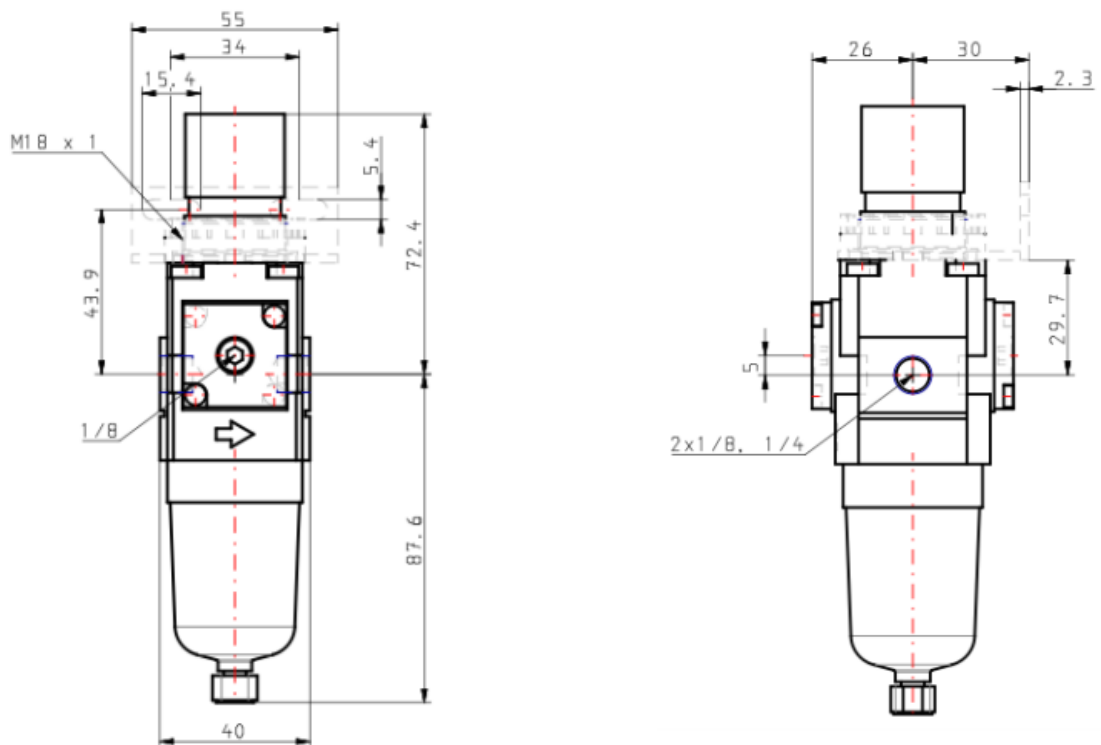
#### 6.4.6 Regulátor/filtr tlaku

Regulátor tlaku slouží pro snadnou regulaci vstupního tlaku na požadovanou hodnotu na výstupu. Byl zvolen regulátor od firmy SMC s označením AW20-F02H-B. Součástí regulátoru je také filtr, aby vzduch vstupující do testovacího zařízení byl čistý a nijak nenarušoval průběh testování. Velikost filtrace je 5 $\mu$ m. Závit pro propojení je G 1/4 ". Minimální hodnota nastavení je 0,05 MPa a maximální 0,85 MPa. [19]



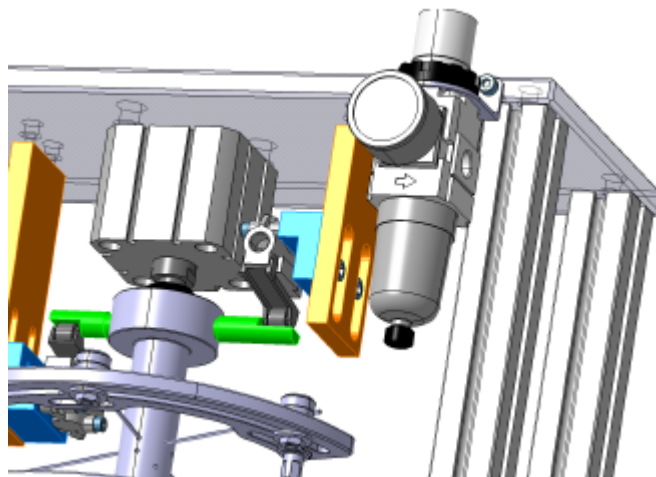
*Obr. 76 Regulátor/ filtr tlaku [19]*

Základní rozměry [mm]:



Obr. 77 Základní rozměry regulátoru/filtru tlaku [19]

Regulátor je upevněn přes upevňovací úhelník na přední stranu horní desky. Tato pozice umožňuje pohodlné a bezproblémové nastavení tlaku na požadovou hodnotu.



Obr. 78 Umístění regulátoru/filtru v testovacím zařízení

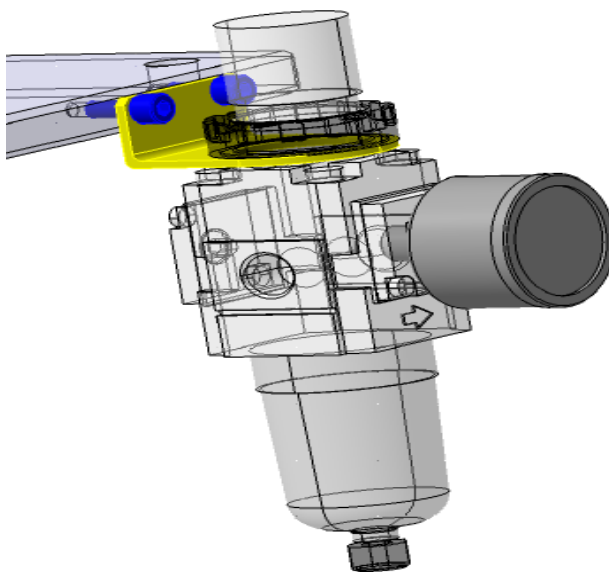
#### 6.4.7 Upevňovací úhelník regulátoru

Úhelník má označení AR23P-270AS od firmy SMC. Tělo je vyrobeno z ocele a jeho hlavní rozměry jsou 47 x 40 x 20 mm. [19]



*Obr. 79 Upevňovací úhelník regulátoru [19]*

Regulátor vzduchu je vložen do úhelníku a je přitažen maticí. Sestava se následně připevní do základové desky horní pomocí dvou šroubů M5.



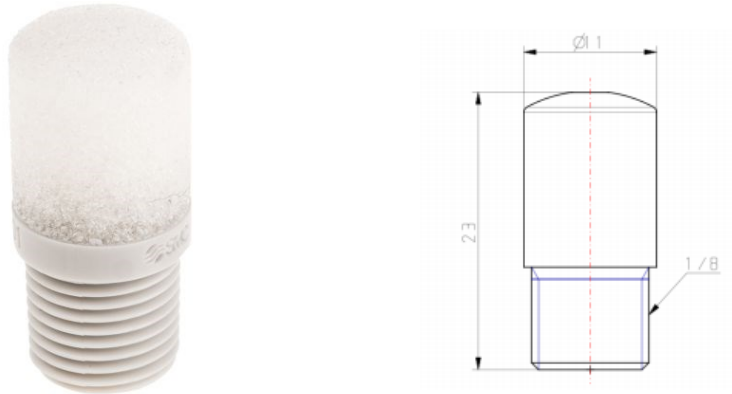
*Obr. 80 Upevnění držáku k základové desce horní*

#### 6.4.8 Tlumič hluku

Tato součást se používá na výstupech ventilů, odkud dochází k odfukování spotřebovaného vzduchu do prostoru. Vystupující vzduch je dost často odfukován velkou rychlostí a jeho náhlé uvolnění do prostoru způsobí expanzi, která je doprovázena vysokým zvukovým efektem. Z toho důvodu byly do testovacího přípravku přidány dva tlumiče hluku.

Tento výrobek byl zakoupen od firmy SMC s označením AN10-01. Tlumič je opatřen na konci závitem G 1/8 ". Je vyroben z pryskyřice a maximální vstupní tlak je povolen 1 MPa.

[19] [30]



Obr. 81 Tlumič hluku a jeho základní rozměry [mm] [19]

#### 6.4.9 Manometr

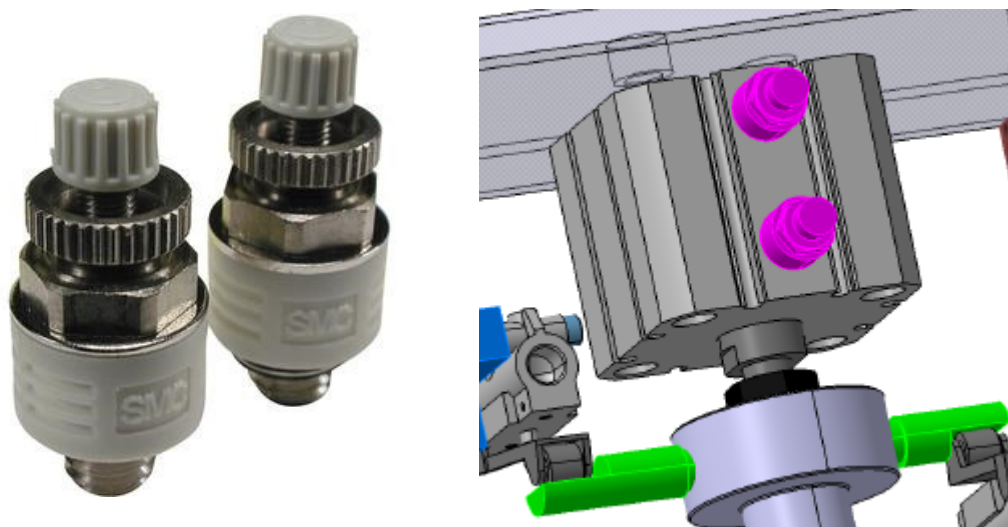
Manometr je mechanické měřidlo tlaku. Manometr byl vybrán od firmy SMC a nalezneme ho pod označením G36-10-01. Rozhas ukazatele je od 0 až 1 MPa. Přesnost měření je  $\pm 3\%$  z celkového rozsahu. [19]



Obr. 82 Manometr [19]

#### 6.4.10 Škrticí ventil

Pneumatické škrticí ventily jsou jednoduché regulátory průtoku bez tlakové kompenzace. Ventily byly dodány firmou SMC s označením ASN2 – 01. Disponují tlumičem hluku. Rychlost pneumatického válce je jednoduše řízena jehlovým škrticím ventilem. Pojišťovací matice zabraňuje náhodnému přenastavení. Ventily byly umístěny v testovacím zařízení do pneumatického válce, pomocí nichž může být nastavena požadovaná rychlost vysunutí a zasunutí válce a tím celý chod testovacího přípravku. [19]



Obr. 83 Škrticí ventily a jejich umístění v pneumatickém válci [19]

#### 6.4.11 Nástrčné spojky

Nástrčné spojky slouží pro rozvod tlakového vzduchu. V této práci jsou všechny spojky na jednom konci zakončené pro nastrčení plastové hadice o  $\varnothing$  6 mm. Na druhém konci jsou opatřeny podle potřeby velikostí závitů. Výjimku tvoří pouze T-spojka, která slouží k rozvodu vzduchu do více okruhů. T-spojka je opatřena všemi konci pro plastové hadice  $\varnothing$  6 mm. Všechny spojky byly zakoupeny od firmy SMC. V tabulce 18 jsou vypsány jednotlivé typy použitých spojek s daným označením. [19]

Tab. 18 Podrobný rozpis nástrčných spojek [19]

Název	Nástrčná spojka přímá	Nástrčná spojka úhlová	Nástrčná spojka úhlová	Nástrčná spojka přímá	Nástrčná T-spojka
Označení SMC	KQ2H06-02AS	KQ2L06-01AS	KQ2L06-M5A	KQ2S06-01AS	KQ2T06-00A
Obrázek					
Připojovací závit	G1/4	G1/8	M5	G1/8	-
Počet kusů v testovacím zařízení	2	2	2	7	2

#### 6.4.12 Vzduchová hadice

Slouží k rozvodu vzduchu do jednotlivých pneumatických prvků. V této práci jsem použil hadici od firmy SMC s označením TU0604BU-20. Tato hadice má vnitřní  $\varnothing$  4 mm a vnější  $\varnothing$  6 mm. Maximální provozní tlak je 0,8 MPa při 20°C. Byla zvolena hadice v modrém provedení.











Obr. 84 Vzduchová hadice [19]



### 6.4.13 Spojovací materiál

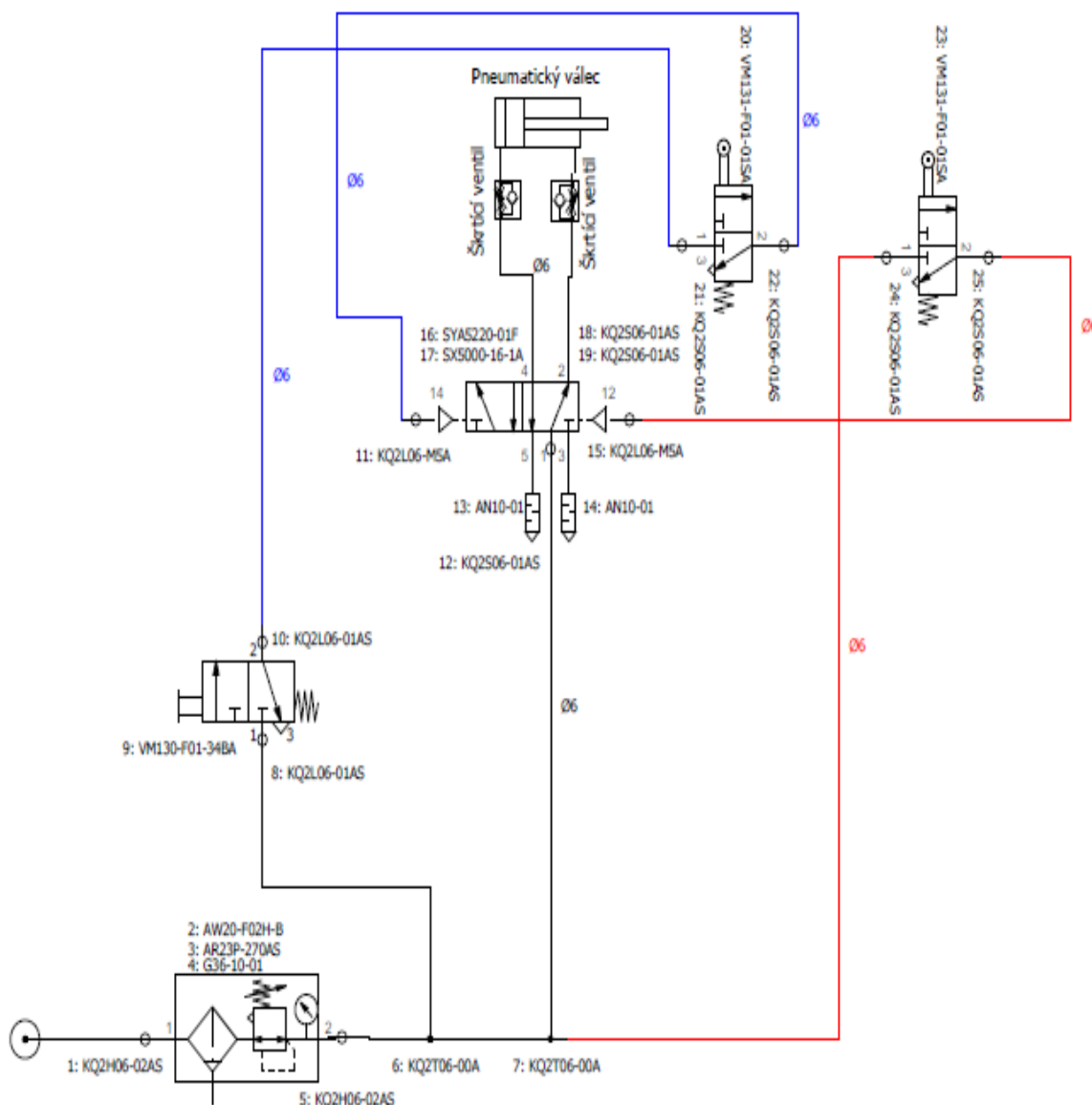
Všechny prvky, ať už nakupované nebo vyráběné, je potřeba připevnit. Všechna spojení jsou realizována pomocí šroubů. V následující tabulce 19 budou uvedeny jednotlivé druhy, velikosti a množství použitých šroubů, které jsou součástí testovací stanice pro externí fixátor.

*Tab. 19 Podrobný rozpis spojovacího materiálu*

Název	Norma	Rozměr	Obrázek	Počet kusů
Šroub s válcovou hlavou	DIN 912	M8x20		2
Šroub s válcovou hlavou	DIN 912	M6x20		8
Šroub s válcovou hlavou	DIN 912	M6x12		4
Šroub s válcovou hlavou	DIN 912	M5x22		4
Šroub s válcovou hlavou	DIN 912	M5x12		2
Šroub s válcovou hlavou	DIN 912	M4x30		4
Šroub s válcovou hlavou	DIN 912	M3x12		2
Šroub se zápusťnou hlavou	DIN 7991	M5x16		6

## 7 PNEUMATICKÉ ZAPOJENÍ

Zařízení využívá ke svému provozu pouze pneumatické prvky, které umožňují automatický chod pneumatického válce. Pro řízení válce je zde využitý vzduchem ovládaný 5/2 ventil (poz. 16), který je přestavován pomocí dvou 3/2 ventilů (poz. 20 a 23), které zde fungují jako koncové spínače a jsou namontovány v krajních polohách válce. Chod zařízení spouští pomocí 3/2 ručního ventilu (poz. 9), jenž je využit jako spínač. Rychlost pohybů válce nahoru a dolů regulujeme pomocí škrticích ventilů namontovaných na válci. Tlakový vzduch proudí přes filtr a regulátor tlaku s manometrem. (poz. 2 a 4), pomocí něho se nastaví požadovaná hodnota tlaku proudícího stlačeného vzduchu v oběhu. Zapojení pneumatického obvodu je navrženo tak, aby při vypnutí testovací stanice válec zůstal ve výchozí poloze, jak vyplývá ze schématu. Tlakový vzduch je přiveden k ovládacímu tlačítku (poz. 9), zároveň pak k hlavnímu ventilu (poz. 16) a ke koncovému spínači pro chod válce nahoru (poz. 23). Je-li zařízení ve výchozí poloze, tzn. válec zasunutý, dojde po zapnutí spínače (poz. 9) k proudění tlakového vzduchu přes koncový spínač (poz. 20), který je namontovaný v horní části válce na ovládací vstup hlavního ventilu, který se přestaví do pracovní polohy a umožní proudění tlakového vzduchu přes výstup „4“ do válce, který se tímto pohybuje směrem dolů. Při maximálním vysunutí válce najede na koncový spínač (poz. 23), který přestaví hlavní ventil do výchozí polohy, umožní tím proudění tlakového vzduchu na výstupu „2“ a tím se válec dostane zpět do výchozí polohy nahoru. Tento cyklus se opakuje po celou dobu, kdy je zapnutý spínač (poz. 9).



Obr. 85 Schéma pneumatického zapojení

Pneumatické zapojení bylo vytvořeno v programu PneuDraw, který poskytuje firma SMC. PneuDraw umožňuje rychle a snadno nakreslit pneumatická schémata. Pneumatické symboly jsou propojeny s aktuálním portfoliem prvků SMC. Prostřednictvím přípojných bodů, ve kterých jsou zakódovány parametry, se prověří kompatibilita vzájemně spojovaných prvků. [19]

## 7.1 Popis vstupů a výstupů na ventilech

*Hlavní ventil – 5/2 vzduchem ovládaný ventil (poz. 16)*

- 1 – vstup tlakového vzduchu
- 2 – výstup tlakového vzduchu pro pohyb válce nahoru
- 3 – odfuk tlakového vzduchu pro pohyb válce nahoru
- 4 – výstup tlakového vzduchu pro pohyb válce dolů
- 5 – odfuk tlakového vzduchu pro pohyb válce dolů
- 12 – vstup pro ovládání hlavního ventilu „válec nahoru“
- 14 – vstup pro ovládání hlavního ventilu „válec dolů“

*Spínač – 3/2 ruční ventil pro uvedení zařízení do chodu (poz. 9)*

- 1 – vstup tlakového vzduchu
- 2 – výstup tlakového vzduchu pro ovládání
- 3 – odfuk tlakového vzduchu při vypnutém spínači

*Koncový spínač – 3/2 mechanický ventil (poz. 20 a 23)*

- 1 – vstup tlakového vzduchu
- 2 – výstup tlakového vzduchu pro ovládání hlavního ventilu
- 3 – odfuk tlakového vzduchu pro ovládání hlavního ventilu [19]

## 8 TESTOVÁNÍ

Testování fixátoru probíhalo na dvou strojích. Jako první byl kompozitní externí fixátor vložen do navržené testovací stanice, kde se podrobil cyklickému namáhání ve zvoleném časovém intervalu. Následně byl fixátor vyjmut a vložen do zkušebního stroje ZWICK 1456, který se nachází v laboratoři fakulty technologické ve Zlíně, kde se fixátor podrobil tlakovou zkouškou. Zkušební stroj je určen pro statické zkoušky v tahu/tlaku, smyku, ohybu a pro dynamické zkoušky probíhající při nízkých cyklech. Při testování na zkušebním stroji ZWICK 1456, byly vyrobeny totožné díly, které nahrazují kost s tím rozdílem, že namísto PA 6 byl použit materiál EN AW 2017. Vyrobeny byly také speciální díly, rovněž ze stejné slitiny hliníku, pomocí kterých byl fixátor upevněn ve zkušebním stroji.

Experimentální testování probíhalo v rámci výzkumu na Ústavu výrobního inženýrství ve Zlíně. [5]

Na začátku se fixátor vložil a správně upevnil do navrženého testovacího zařízení. Jako první byl fixátor vystaven tlakové zkoušce, následovala cyklické testování, tlaková zkouška, opět cyklické zatížení a na závěr byl fixátor znovu zatížen tlakově.



Obr. 86 Univerzální testovací stroj ZWICK 1456

Cyklický zkouška simulovala chůzi pacienta s fixátorem během léčby.



*Obr. 87 Testovací zařízení pro cyklování*

## 8.1 Vstupní hodnoty k testování fixátoru

Vstupní hodnoty byly zvoleny dle výzkumu na Ústavu výrobního inženýrství ve Zlíně, který se zabýval návrhem externího fixátoru.

### **Vstupní hodnoty:**

Zvolená frekvence pro cyklické zkoušky byla volena dle výzkumu. Z kterého vychází, kolik kroků člověk průměrně nachodí za den s fixátorem a po jakou dobu fixátor používá.

## 8.2 Cyklování

Externí fixátor byl vložen do testovací stanice, po následném připojení tlakového vzduchu byl na regulátor tlaku nastaven vstupní tlak 0,5 MPa. Frekvence 1 cyklu zatížení se nastavila pomocí škrticích ventilů na pneumatickém válci na hodnotu 3 Hz. Počet vykonaných cyklů byl převeden na časový interval uvedený v týdnech, při nošení fixátoru. Testování bylo odvozeno dle normy CSN EN 62366-1 (364861). Fixátor byl vystaven celkově dvěma cyklickým zatížením, která jsou shrnuta v tabulce 20.

Tab. 20 Shrnutí cyklického testování

	Frekvence [Hz]	Počet vykonaných cyklů [-]	Simulovaná doba nošení fixátoru
1. cyklické testování	3	28 000	4 týdny
2. cyklické testování		35 000	5 týdnů



Obr. 88 Cyklické zatěžování externího fixátoru

### 8.3 Univerzální zkušební stroj

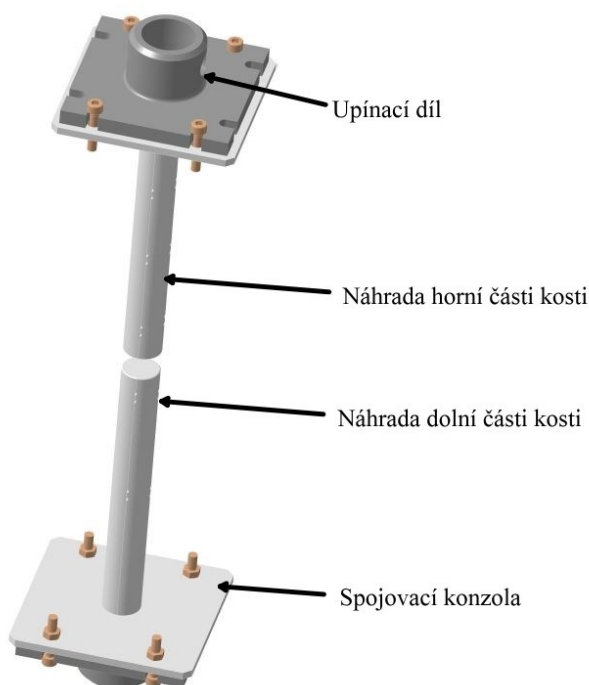
Aby se stanice po cyklickém testování nemusela rozebrat a potřebné díly použít na druhém stroji, tak byly vyrobeny pro snadnější a rychlejší výměnu mezi testovacími stroji obdobné díly simulující horní a spodní část kosti. Dále byla vyrobena součást, přes kterou byl celý aparát upevněn do univerzálního testovacího stroje.

Na stroji ZWICK 1456 byla při tlakovém zatížení nastavena rychlost 0,5 mm/min a testování bylo ukončeno při dosažení deformace o velikosti 15 mm.

Tab. 21 Základní parametry zkušebního stroje ZWICK 1456 [28]

<b>Výška</b>	2 012 mm
<b>Šířka</b>	630 mm
<b>Hmotnost</b>	150 kg
<b>Pracovní výška</b>	1 160 mm
<b>Pracovní šířka</b>	4220 mm
<b>Snímač síly</b>	2,5 kN a 20 kN
<b>Maximální zkušební rychlost</b>	750 mm/min

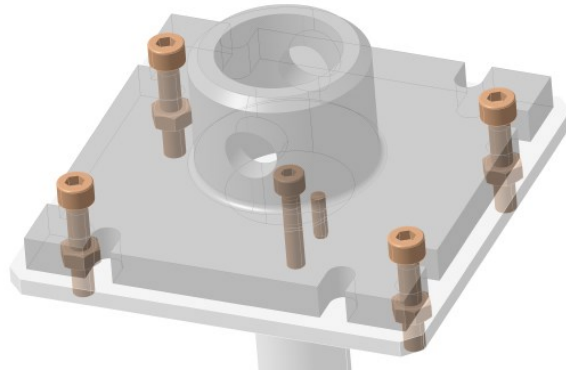
Jak již bylo zmíněno, tak pro tlakové testování musely být vyrobeny součásti, pomocí kterých byla testovací sestava upevněna ve stroji ZWICK 1456. Celá sestava se tedy skládala z dvou upínacích dílů, které jsou součástí univerzálního testovacího stroje. Dvou spojovacích konzol, přes které je spojen testovací aparát k upínacím dílům a tedy ke stroji. A v poslední řadě dvou dílů, které simulují části kosti.



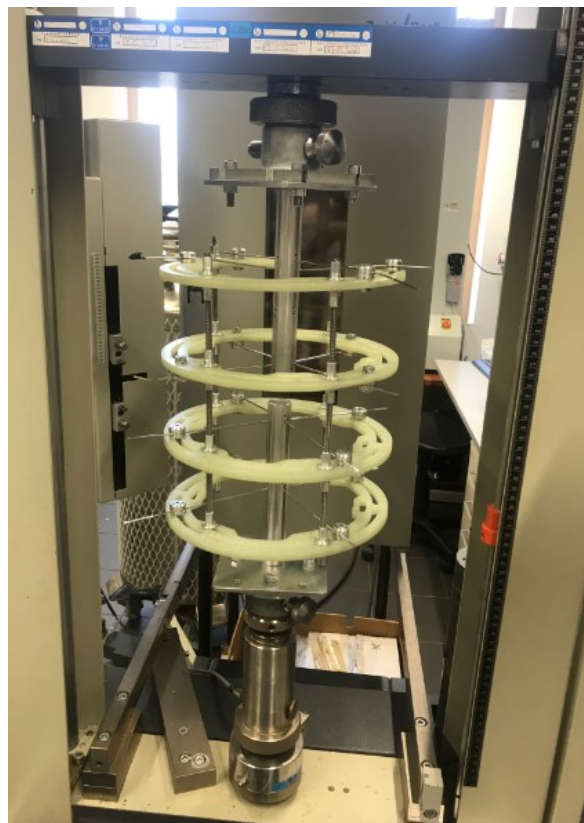
Obr. 89 Sestava pro testování na stroji ZWICK 1456



Spojení mezi upínacím dílem a konzolí bylo provedeno pomocí šroubů a matic. Konzole s dílem, sloužící jako náhrada kosti, spolu drží díky šroubu. Aby při testování nedošlo k pootočení, byl vložen kolík, který zafixuje polohu dílu.

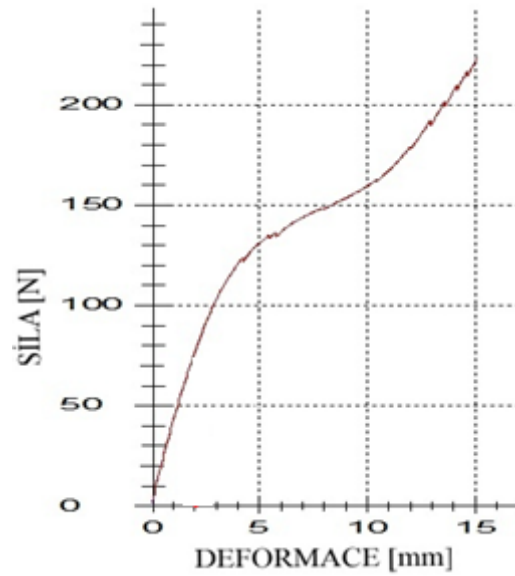


*Obr. 90 Spojení upínacího dílu s konzolí a základovou tyčí*



*Obr. 91 Tlakové zatěžování externího fixátoru na testovacím stroji*

Na následujícím grafu můžeme vidět pro názornost závislost síly na poměrné deformaci při testování externího fixátoru na testovacím stroji.



*Obr. 92 Graf znázorňující závislost působící síly na poměrné deformaci při testování externího fixátoru*

Samotné zpracování výsledků při testování externího fixátoru nebylo součástí této diplomové práce.

## ZÁVĚR

Podle požadavků zmíněných v oficiálním zadání se odvíjela celá diplomová práce. Cílem bylo navrhnout a vyrobit testovací stanici pro externí fixátory aplikované v lékařství. Návrh byl vytvořen v programu CATIA V5 R19 a výroba testovací stanice byla provedena ve firmě SHK Kovovýroba s.r.o.

První část diplomové práce je spojena s všeobecnými a teoretickými poznatky zabývající se samotnou externí fixací, konstrukcí externích fixátorů a jejich samotné testování.

Druhá část této práce se zabývá konkrétním návrhem a výrobou testovací stanice pro cyklické namáhání. Testovací stanice slouží pro simulaci chůze pacienta s fixátorem. Celý testovací aparát se skládá celkově z 15 vyrobených dílů, jehož součástí je zjednodušený technologický postup a 16 nakupovaných dílů, které byly zakoupeny od firmy SMC a pomocí objednávacích kódů je lze snadno dohledat. Zařízení využívá ke svému chodu pouze pneumatické prvky, pomocí nichž umožňují automatický provoz při testování. Správnost návrhu byla podložena samotným testováním, kdy po následných cyklických zkouškách nebyla potřeba na fixátor vyvinout stejně velkou zatěžující sílu jako při předchozím tlakovém zatížení při stejné hodnotě deformace. Součástí práce je 3D model, výrobní výkresy, materiálové listy a manuály pneumatických prvků.

Doplňující část byla tvořena reálným testováním externího fixátoru, jehož prstence byly vyrobeny z kompozitního materiálu. Testování probíhalo na již zmíněném vyrobeném testovacím zařízení a na univerzální testovacím stroji ZWICK 1456, kde byl fixátor vystaven tlakovému zatížení. Kombinací těchto měření může být zjištěno, jestli fixátor po určité době nošení stále vyhovuje a jeho funkčnost není nebezpečná pro pacienta. Testování probíhalo v laboratoři fakulty technologické ve Zlíně.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] SOLOMIN, Leonid N. *The basic principles of external skeletal fixation using Ilizarov device*. Milan: Springer, 2008. ISBN 978-88-470-0512-9.
- [2] FRAGOMEN, Austin T., et al. *Minimum distraction gap: how much ankle joint space is enough in ankle distraction arthroplasty?*. HSS Journal®, 2014,10.1: 6-12.
- [3] GESSMANN, Jan, et al. *Direct and indirect loading of the Ilizarov external fixator: the effect on the interfragmentary movements and compressive loads. Strategies in Trauma and Limb Reconstruction*, 2011, 6.1: 27-31.
- [4] CHONDROS, T. G., et al. *Wire tensioning with integrated load-cell in the Ilizarov orthopedic external fixation system. Mechanism and Machine Theory*, 2014, 79: 109-123.
- [5] TOMANEC, Filip; RUSNÁKOVÁ, Soňa; ŽALUDEK, Milan. *Optimization of the material of external fixator with FEM simulation. In: Materials Science Forum. Trans Tech Publications*, 2018. p. 275-281.
- [6] RICHTER, M., DROSTE, P., GOESLING, T., ZECH, S. and KRETTEK, C., 2006. *Polyaxially-locked plate screws increase stability of fracture fixation in an experimental model of calcaneal fracture. Journal of Bone & Joint Surgery, British Volume*. 30 August 2006. Vol. 88–B, no. 9, p. 1257.
- [7] MAŇAS, Miroslav. *Základy robotiky. 1. vyd.* Brno: VUT Brno, 1991. 99 s. ISBN 80-214-0279-2
- [8] KRŽÍŽ, R., VÁVRA, P. *Strojírenská příručka : 4. svazek*. Praha : SCIENTIA, spol. s r.o., 1994. 254 s. ISBN 80-85827-58-1
- [9] BISACCIA, Michele, et al. *The History Of External Fixation, A Revolution Idea For The Treatment Of Limb's Traumatized And Deformities: From Hippocrates To Today*. vol, 3: 1-9.
- [10] PRÁŠILOVÁ, E. *Význam zobrazovacích metod při tvorbě výpočtového modelu v biomechanice*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012.
- [11] VON KEUDELL, Arvind; COLLINS, Michael; JUPITER, Jesse B. *Principles of Fracture Fixation: Plates/Screws and Intramedullary Nails*. In: *Case Competencies in Orthopaedic Surgery*. Elsevier, 2017. p. 223-238.

- [12] *Snowboarder vs. Tree: More External Fixator Photos. Snowboarder vs. Tree* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://snowboardervstree.blogspot.com/2010/08/more-external-fixator-photos.html>
- [13] *Titanium External Fixator Germany Fixator for sale – Orthopaedic external fixator manufacturer from china(97620846)*. Orthopaedic external fixator for sale - ibes11 [online]. Copyright ©2009 [cit. 02.04.2019]. Dostupné z: <http://ibes11.sell.everychina.com/p-97620846-titanium-external-fixator-germany-fixator.html>
- [14] *Surgery Ilizarov Technique. Air Freshener* [online]. Dostupné z: <https://airfreshener.club/quotes/surgery-ilizarov-technique.html>
- [15] ROZUM, Karel. *Zevní fixátory pro léčbu otevřených nestabilních zlomenin*. Ostrava, 2008. 43 s. Habilitační a inaugurační spisy, sv. 44. VŠB-TU OSTRAVA. ISBN 978-80-248-1670-8
- [16] *Kirschnerovy dráty a K-dráty*. MEDIN, a.s. [online]. Copyright © MEDIN, a.s. 2019, [cit. 02.04.2019]. Dostupné z: <https://www.medin.cz/kirschnerovy-draty-a-k-draty>
- [17] *Ústav konstruování - úvod* [online]. Copyright © [cit. 02.04.2019]. Dostupné z: [http://www.ustavkonstruovani.cz/FileDownload/get-File/1257/Hajda\\_Jan\\_170596.pdf/](http://www.ustavkonstruovani.cz/FileDownload/get-File/1257/Hajda_Jan_170596.pdf/)
- [18] *ALUTEC KK | Hliníkový konstrukční systém & dopravníky*. ALUTEC KK | Hliníkový konstrukční systém & dopravníky [online]. Copyright © 2018 ALUTEC KK s.r.o. [cit. 02.04.2019]. Dostupné z: <https://www.aluteckk.cz/>
- [19] *SMC CORPORATION Industry Pneumatic Manufacture Actuator Control Energy saving Top maker New*. SMC株式会社 [online]. Copyright © SMC Corporation. All Rights Reserved. [cit. 03.04.2019]. Dostupné z: <https://www.smcworld.com/en-jp/>
- [20] *Zkušební stroje, tvrdoměry, zkušební lisy - Tempos. Zkušební stroje, tvrdoměry, zkušební lisy - Tempos* [online]. Copyright © 2019 TEMPOS spol. s r.o. [cit. 03.04.2019]. Dostupné z: <http://www.tempos.cz/>
- [21] FLEMING, B., et al. *A biomechanical analysis of the Ilizarov external fixator. Clinical Orthopaedics and Related Research®*, 1989, 241: 95-105.

- [22] FRAGOMEN, Austin T.; ROZBRUCH, S. Robert. *The mechanics of external fixation*. HSS Journal, 2007, 3.1: 13-29.
- [23] JOŘENEK, Jaroslav. *Biomechanika-externí fixátor pro pelvis a acetabulum*. 2012.
- [24] BAJTEK, Vojtěch. *Biomechanika–Pevnostní analýza částí zevního fixátoru pro nohu*. 2014.
- [25] *Ilizarov apparatus* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Ilizarov\\_apparatus](https://en.wikipedia.org/wiki/Ilizarov_apparatus)
- [26] *Řešení z hliníku: Kterou slitinu hliníku si vybrat?* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.alumeco.cz/technick%C3%A9-informace/%C3%BA-daje-o-hlin%C3%ADku/pou%C5%BEit%C3%AD-slitiny>
- [27] *Polyamid PA6 – Ertalon, Tecamid, Sustamid - VM Plast s.r.o.. Úvod - VM Plast s.r.o.* [online]. Copyright © 2019 [cit. 26.04.2019]. Dostupné z: <https://www.vmplast.cz/sortiment/polyamid/ertalon/>
- [28] *ZwickRoell Materials Testing Systems* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.zwickroell.com/en>
- [29] *Kompresory a příslušenství pro stlačený vzduch: Přehled funkcí ventilu pro automatizační techniku* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.kompresory-vzduchotechnika.cz/n/ventily-prehled-sortimentu-jejich-funkce>
- [30] *Ventily. Střední odborné učiliště elektrotechnické* [online]. Plzeň - Škola doporučená zaměstnavateli [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: [https://www.souepl.cz/wp-content/ucitele/moc/ventily/ventily\\_1.htm](https://www.souepl.cz/wp-content/ucitele/moc/ventily/ventily_1.htm)
- [31] ŠRAJER, Vladimír. *Uspořádání výrobního systému s ohledem na konstrukčně-technologické řešení produktu*. 2014.
- [32] PODOLSKY, Anatol; CHAO, E. Y. *Mechanical performance of Ilizarov circular external fixators in comparison with other external fixators. Clinical orthopaedics and related research*, 1993, 293: 61-70.
- [33] STERNICK, Marcelo Back, et al. *Relationship between rigidity of external fixator and number of pins: computer analysis using finite elements. Revista Brasileira de Ortopedia (English Edition)*, 2012, 47.5: 646-650.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

mm	Milimetr
m	Metr
g	Gram
kg	Kilogram
%	Procento
°C	Stupeň celsia
PA	Polyamid
2D	Dvojměrný
3D	Trojměrný
MPa	Megapascal
cm <sup>3</sup>	Kubický centimetr
K	Tuhost
Hz	Hertz
N	Newton
N/mm	Newton na milimetr
s	Sekunda
MUDEF	Method for the Unified Designation of External Fixation
min	Minuta
poz	Pozice
Ø	Průměr
“	Palec
kN	Kilo newton
°	Stupeň
F <sub>1</sub>	Síla v podélném směru

---

$F_2$	Síla v příčném směru v rovině sagitální
$F_3$	Síla v příčném směru v rovině frontální
$F_4$	Rotační síla
$h$	Vzdálenost mezi silami
$U$	Posunutí
$L$	Vzdálenost
$\varphi$	Úhel pootočení
HBW	Tvrдость dle Brinella
Nmm/°	Newton milimetr na stupeň
mm/min	Milimetr za minutu



## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Hippokratův externí fixátor [9]</i> .....	13
<i>Obr. 2 Typy externích fixátorů: a) jednostranný se šrouby, b) dvoustranný s dráty, c) trojstranný s dráty, d) trojstranný se šrouby e) čtyřstranný f) půlkruhový, g) kruhový [1]</i> .....	13
<i>Obr. 3 Schanzovy šrouby [1]</i> .....	14
<i>Obr. 4 Kirschnerovy dráty [1]</i> .....	14
<i>Obr. 5 Využití externí fixace [1]</i> .....	15
<i>Obr. 6 Ilizarův externí fixátor [25]</i> .....	16
<i>Obr. 7 Rentgenový snímek končetiny s Ilizarovým fixátorem [11]</i> .....	17
<i>Obr. 8 Součásti tvořící fixátor [5]</i> .....	18
<i>Obr. 9 Prstenec [5]</i> .....	19
<i>Obr. 10 Druhy Kirschnerových drátů [16]</i> .....	20
<i>Obr. 11 Kirschnerův drát s olivkou [16]</i> .....	20
<i>Obr. 12 Umístění pro Kirschnerovy dráty v řezu končetiny [1]</i> .....	21
<i>Obr. 13 Druhy upínek pro Kirschnerovy dráty [15]</i> .....	21
<i>Obr. 14 Spojovací tyč [15]</i> .....	22
<i>Obr. 15 Modul prvního řádu [1]</i> .....	23
<i>Obr. 16 Modul druhého řádu [1]</i> .....	23
<i>Obr. 17 Modul třetího řádu [15]</i> .....	24
<i>Obr. 18 Kovové externí fixátory: a) nerezová ocel, [14] b) slitina titanu, [13] c) slitina hliníku [12]</i> .....	25
<i>Obr. 19 Kompozitní externí fixátor [5]</i> .....	26
<i>Obr. 20 Kovový a kompozitní externí fixátor [5]</i> .....	27
<i>Obr. 21 Základní přehled rovin na lidském těle [1]</i> .....	28
<i>Obr. 22 Rozložení sil ve fixátoru [1]</i> .....	29
<i>Obr. 23 Způsob testování podélné tuhosti [1]</i> .....	30
<i>Obr. 24 Způsob testování příčné tuhosti v rovině sagitální [1]</i> .....	30
<i>Obr. 25 Způsob testování příčné tuhosti v rovině frontální [1]</i> .....	31
<i>Obr. 26 Způsob testování rotační tuhosti [1]</i> .....	32
<i>Obr. 27 Testování K-drátu na trhačím stroji [4]</i> .....	33
<i>Obr. 28 Testování a příklad přímého zatížení [3]</i> .....	34
<i>Obr. 29 Testování a příklad nepřímého zatížení [3]</i> .....	34

<i>Obr. 30 Zkušební model externího fixátoru [24]</i> .....	35
<i>Obr. 31 Umístění snímače síly [24]</i> .....	36
<i>Obr. 32 Jednouúčelový stroj pro testování fixátoru [2]</i> .....	37
<i>Obr. 33 Schéma pneumatického zapojení [8]</i> .....	38
<i>Obr. 34 Testovací stanice:</i> .....	41
<i>Obr. 35 3D model navržené testovací stanice</i> .....	42
<i>Obr. 36 Základová deska spodní</i> .....	44
<i>Obr. 37 Základová deska horní</i> .....	46
<i>Obr. 38 Stojina vyrobená z hliníkového profilu</i> .....	49
<i>Obr. 39 Základna spodní</i> .....	50
<i>Obr. 40 Kirschnerovy dráty: a) v kosti, b) spodní základna (náhrada kosti)</i> .....	51
<i>Obr. 41 Základna horní</i> .....	53
<i>Obr. 42 Poloha Kirschnerových drátů v <math>\frac{3}{4}</math> prstenci</i> .....	53
<i>Obr. 43 Příruba</i> .....	55
<i>Obr. 44 Příruba společně se spodní základnou připevněna k základové desce spodní</i> .....	55
<i>Obr. 45 Držák mechanického ventilu horní</i> .....	58
<i>Obr. 46 Možnost polohování mechanického ventilu pomocí drážek v horním držáku</i> .....	58
<i>Obr. 47 Držák mechanický ventilu spodní</i> .....	60
<i>Obr. 48 Možnost polohování mechanického ventilu pomocí drážek ve spodním držáku .....</i>	60
<i>Obr. 49 Konzola mechanického ventilu</i> .....	62
<i>Obr. 50 Konzola s upevněným mechanickým ventilem</i> .....	62
<i>Obr. 51 Spínač mechanického ventilu horní</i> .....	64
<i>Obr. 52 Styk při sepínání mechanického ventilu horního</i> .....	65
<i>Obr. 53 Spínač mechanického ventilu dolní</i> .....	66
<i>Obr. 54 Styk při sepínání mechanického ventilu spodního</i> .....	66
<i>Obr. 55 Řezání základových desek</i> .....	67
<i>Obr. 56 Řezání stojin</i> .....	68
<i>Obr. 57 Soustružení spodní základny</i> .....	67
<i>Obr. 58 Soustružení příruby</i> .....	68
<i>Obr. 59 Zarovnání stojin</i> .....	68

<i>Obr. 60 Řezání závitů spodní základny</i> .....	69
<i>Obr. 61 Pneumatický válec [19]</i> .....	70
<i>Obr. 62 Základní rozměry válce [19]</i> .....	71
<i>Obr. 63 Rozměry konce pístu [19]</i> .....	71
<i>Obr. 64 Mechanický ventil 3/2 [19]</i> .....	72
<i>Obr. 65 Princip mechanického ventilu [19]</i> .....	72
<i>Obr. 66 Sepnutí mechanických ventilů pomocí pneumatického válce</i> .....	73
<i>Obr. 67 Základní rozměry mechanického ventilu [19]</i> .....	73
<i>Obr. 68 Umístění mechanických ventilů v testovacím zařízení</i> .....	74
<i>Obr. 69 Vzduchem ovládaný ventil 5/2 [19]</i> .....	74
<i>Obr. 70 Základní rozměry vzduchem ovládaného ventilu [19]</i> .....	75
<i>Obr. 71 Umístění vzduchem ovládaného ventilu v testovacím zařízení</i> .....	75
<i>Obr. 72 Držák pro vzduchem ovládaný ventil [19]</i> .....	76
<i>Obr. 73 Ruční ventil [19]</i> .....	76
<i>Obr. 74 Základní rozměry ručního ventilu [19]</i> .....	77
<i>Obr. 75 Umístění ručního ventilu v testovacím zařízení</i> .....	77
<i>Obr. 76 Regulátor/ filtr tlaku [19]</i> .....	78
<i>Obr. 77 Základní rozměry regulátoru/filtru tlaku [19]</i> .....	79
<i>Obr. 78 Umístění regulátoru/filtru v testovacím zařízení</i> .....	79
<i>Obr. 79 Upevňovací úhelník regulátoru [19]</i> .....	80
<i>Obr. 80 Upevnění držáku k základové desce horní</i> .....	80
<i>Obr. 81 Tlumič hluku a jeho základní rozměry [mm] [19]</i> .....	81
<i>Obr. 82 Manometr [19]</i> .....	81
<i>Obr. 83 Škrťací ventily a jejich umístění v pneumatickém válci [19]</i> .....	82
<i>Obr. 84 Vzduchová hadice [19]</i> .....	83
<i>Obr. 85 Schéma pneumatického zapojení</i> .....	86
<i>Obr. 86 Univerzální testovací stroj ZWICK 1456</i> .....	88
<i>Obr. 87 Testovací zařízení pro cyklování</i> .....	89
<i>Obr. 88 Cyklické zatěžování externího fixátoru</i> .....	90
<i>Obr. 89 Sestava pro testování na stroji ZWICK 1456</i> .....	91
<i>Obr. 90 Spojení upínacího dílu s konzolí a základovou tyčí</i> .....	92
<i>Obr. 91 Tlakové zatěžování externího fixátoru na testovacím stroji</i> .....	92

---

*Obr. 92 Graf znázorňující závislost působící síly na poměrné deformaci při testování  
externího fixátoru .....93*

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Rozdělení a popis modulů [1]</i> .....	24
<i>Tab. 2 Srovnání kovového a kompozitního fixátoru [5]</i> .....	27
<i>Tab. 3 Standartní tuhosti fixátoru [1]</i> .....	32
<i>Tab. 4 Technologický postup základové desky spodní</i> .....	45
<i>Tab. 5 Technologický postup základové desky horní</i> .....	47
<i>Tab. 6 Technologický postup stojiny</i> .....	49
<i>Tab. 7 Technologický postup základny spodní</i> .....	51
<i>Tab. 8 Technologický postup základny horní</i> .....	53
<i>Tab. 9 Technologický postup příruby</i> .....	56
<i>Tab. 10 Technologický postup horního držáku mechanického ventilu</i> .....	59
<i>Tab. 11 Technologický postup spodního držáku mechanického ventilu</i> .....	61
<i>Tab. 12 Technologický postup konzoly mechanického ventilu</i> .....	63
<i>Tab. 13 Technologický postup horního spínače mechanického ventilu</i> .....	65
<i>Tab. 14 Technologický postup dolního spínače mechanického ventilu</i> .....	67
<i>Tab. 15 Vytvořená síla válce při vysunutí a zasunutí [19] Jednotky: [N]</i> .....	70
<i>Tab. 16 Základní rozměry pneumatického válce [mm][19] :</i> .....	71
<i>Tab. 17 Rozměry konce pístu pneumatického válce [mm] [19]:</i> .....	72
<i>Tab. 18 Podrobný rozpis nástrčných spojek [19]</i> .....	83
<i>Tab. 19 Podrobný rozpis spojovacího materiálu</i> .....	84
<i>Tab. 20 Shrnutí cyklického testování</i> .....	90
<i>Tab. 21 Základní parametry zkušebního stroje ZWICK 1456 [28]</i> .....	91

**SEZNAM PŘÍLOH**

- P I CD-ROM, který obsahuje:
- textový soubor s diplomovou prací
  - 3D model testovací stanice
  - 2D výkresovou dokumentaci
  - Rozpis nakupovaných dílů
  - Rozpis vyráběných dílů
- P II 2D výkresová dokumentace
- P III Materiálový list EN AW 2017
- P IV Materiálový list Sustamid
- P V Materiálový list EN AW 6060
- P VI Technické údaje pneumatického válce CD55B50-10M
- P VII Technické údaje mechanického ventilu 3/2 VM131-F01-01SA
- P VIII Technické údaje vzduchem ovládaného ventilu 5/2 SYA5220-01F
- P IX Technické údaje ručního ventilu 3/2 VM130-F01-34BA
- P X Technické údaje regulátoru/filtru tlaku AW20-F02H-B
- P XI Technické údaje tlumiče hluku AN10-01
- P XII Technické údaje manometru G36-10-01
- P XIII Technické údaje škrťacího ventilu ASN2-01
- P XIV Technické údaje nástrčných spojek KQ2H06-02AS, KQL06-01AS, KQ2L06-M5A, KQ2S06-01AS, KQ2T06-00A
- P XV Technické údaje vzduchové hadice TU0604BU-20

# PŘÍLOHA P III: MATERIÁLOVÝ LIST EN AW 2017



Walzplatten  
EN AW 2017

TECHNICKÉ HODNOTY

## Znaky slitiny

Slitina	EN AW 2017 [AlCu4MgSi]
Typ slitiny	vytvrditelná
Stav materiálu	T451
Povrch	walzblank, kartáčovaný

## Fyzikální vlastnosti

Objemová hmotnost	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,80
Modul pružnosti	[GPa]	~ 70
Elektrická vodivost	[m / Ω · mm <sup>2</sup> ]	23-28
Koeficient tepelné roztažnosti	[K <sup>-1</sup> · 10 <sup>-6</sup> ]	23,6
Tepelná vodivost	[W/m · K]	130 - 170
Specifická tepelná kapacita	[J/kg · K]	875

## Mechanické vlastnosti

		typické hodnoty
Mez kluzu R <sub>p0,2</sub>	[MPa]	245
Pevnost v tahu R <sub>m</sub>	[MPa]	385
Tažnost A <sub>50</sub>	[%]	12
Tvrdość HBW	[2,5/62,5]	105

## Technologické vlastnosti <sup>1)</sup>

Tvarová stálost/Vnitřní pnutí	4-5	Tvářitelnost	6
Obrobitelnost	1	Eloxování <sup>2)</sup> (technické/dekorativní/tvrde-)	2/6/2
Vhodnost k erozivnímu obrábění	1	Leštitelnost	1
Svařitelnost (plyn/WIG/MIG/Odporové/EB)	6/6/6/1/1	Vhodnost k leptání struktur	1-2
Odolnost proti korozi (mořská voda / povětrí / SpRK)	5/4/5	Kontakt s potravinami (podle DIN EN 602)	nein
Použití při vysokých teplotách (max. °C při dlouhodobém/krátkodobém zatížení)	140/180		

## Tolerance

Při tloušťce	Rovinnost	Tloušťka	Délka & Šířka
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]

## Dodávané formáty

Formáty 1520 x 3020 mm bei Dicken von 5 -100 mm

<sup>1)</sup> relativní hodnoty hliníkových materiálů od 1 (velmi dobrý) do 6 (nevhodný)  
<sup>2)</sup> Výlučně technická anodizace. Neposkytujeme žádnou záruku na barevný vzhled/řešení.

# PŘÍLOHA P IV: MATERIÁLOVÝ PA6 – SUSTAMID

## Technical Data Sheet



### SUSTAMID® 6 FR

#### Product characteristics

- Free of halogen and phosphorus
- Flame retardant and self-extinguishing
- High hardness and rigidity

#### Product applications

- Rail vehicle construction
- Aviation industry
- Ship building

	Test method	Unit	Guideline Value
<b>General properties</b>			
Density	DIN EN ISO 1183-1	g / cm <sup>3</sup>	1,17
Water absorption	DIN EN ISO 62	%	3,0
Flammability (Thickness 3 mm / 6 mm)	UL 94		V0 / V0
<b>Mechanical properties</b>			
Yield stress	DIN EN ISO 527	MPa	82
Elongation at break	DIN EN ISO 527	%	3
Tensile modulus of elasticity	DIN EN ISO 527	MPa	3800
Shore hardness	DIN EN ISO 868	scale D	83
<b>Thermal properties</b>			
Melting temperature	ISO 11357-3	°C	222
Thermal capacity	DIN 52612	kJ / (kg * K)	1,70
Coefficient of linear thermal expansion	DIN 53752	10 <sup>-6</sup> / K	90
Service temperature, long term	Average	°C	-20 ... 85
Service temperature, short term (max.)	Average	°C	160
Heat deflection temperature	DIN EN ISO 75, Verf. A, HDT	°C	65
<b>Electrical properties</b>			
Volume resistivity	DIN EN 62631-3-1	Ω * cm	10 <sup>13</sup>
Surface resistivity	DIN EN 62631-3-2	Ω	10 <sup>16</sup>

The following applies to Polyamides: Under the influence of moisture absorption, the mechanical properties change. The material becomes tougher and more resistant to impact, the modulus of elasticity declines. Depending on the environmental atmosphere, the temperature and the period of moisture absorption, only the surface layer is affected by alterations of property to a certain depth. On thick-walled parts, the center area remains unaffected. The short-term maximum application temperature only applies to very low mechanical stress for a few hours. The long-term maximum application temperature is based on the thermal ageing of plastics by oxidation, resulting in a decrease of the mechanical properties. This applies to an exposure to temperatures for at least 5.000 hours causing a 50% loss of the tensile strength from the original value (measured at room temperature). This value says nothing about the mechanical strength of the material at high application temperatures. In case of thick-walled parts, only the surface layer is affected by oxidation from high temperatures. With the addition of antioxidants, a better protection of the surface layer is achieved. In any case, the center area of the material remains unaffected. The minimum application temperature is basically influenced by possible stress factors like impact and/or shock under application. The values stated refer to an minimum degree of impact stress. The data stated above are average values ascertained by statistical tests on a regular basis. They are in accordance with DIN EN 15860. They serve as information about our products and are presented as a guide to choose from our range of materials. This, however, does not include an assurance of specific properties or the suitability for particular application purposes that are legally binding. Since the properties also depend on the dimension of the semi-finished products and the degree of crystallization (e.g. nucleating by pigments), the actual values of the properties of a particular product may differ from the indicated values.



# PŘÍLOHA P V: MATERIÁLOVÝ LIST EN AW 6060

GEHÄUSE  
SYSTEME

## Data Sheet Aluminium AlMgSi 0,5

Alloy for extrusions profiles:

Designation according to EN 573:

EN AW-AlMgSi or EN AW-6060 T66

Designation according to ISO:

Al-MgSi (6060)

Properties	Unit	Value
------------	------	-------

### GENERAL

Density	g/cm <sup>3</sup>	2.70
Resistance normal atmosphere		very good
Resistance industrial and marine atmosphere		good

### CHEMICAL COMPOSITION of mass proportions in %

Silicium	(Si)	0,3 - 0,6
Iron	(Fe)	0,1 - 0,3
Copper	(Cu)	0,1
Manganese	(Mn)	0,1
Magnesium	(Mg)	0,35 - 0,6
Chromium	(Cr)	0,05
Zinc	(Zn)	0,15
Titanium+Zirconium	(Ti+Zr)	0,1
Further additions		0,05 - 0,15
Aluminium	(Al)	rest

### MECHANICAL

Modulus of elasticity	N/mm <sup>2</sup>	70.000
Tensile strength	N/mm <sup>2</sup>	195 - 215
0.2% Breaking elongation	MPa	>150
Brinell hardness	HB	60 - 70

### THERMAL

Thermal conductivity	W/mK	210
Longitudinal elongation coefficient	10 <sup>-6</sup> •1/K	23.5

### ELECTRICAL

Electrical conductivity	m/Ω•mm <sup>2</sup>	>30
-------------------------	---------------------	-----

01.07.2014

Disclaimer: The figures in this datasheet are guide values. The values are effected by processing conditions, modifications, additives and environmental conditions and they do not release you from the obligation to check the validity and to undertake tests on your own. This information is based on our present knowledge and experience. The material data is not to be construed as guaranteeing specific properties and the data can not be used to deduce the suitability for a particular application.

# PŘÍLOHA P VI: PNEUMATICKÝ VÁLEC CD55B50-10M

## ISO Standards [ISO/21287] Compact Cylinder **Series C55**



### ⚠ Caution

Be sure to read before handling.

- ① Refer to back cover for Safety Instructions and "Handling Precautions for SMC Product" (M-E03-3) for Actuators and Auto Switches Precautions.
- ② This product should not be used as a stopper.
- ③ Use the PF thread fittings for this cylinder.

### Theoretical Output



Unit: N

Bore size (mm)	Operating direction	Operating pressure (MPa)		
		0.3	0.5	0.7
20	IN	71	118	165
	OUT	94	157	220
25	IN	113	189	264
	OUT	147	245	344
32	IN	181	302	422
	OUT	241	402	563
40	IN	317	528	739
	OUT	377	628	880
50	IN	495	825	1150
	OUT	589	982	1370
63	IN	841	1400	1960
	OUT	935	1560	2180
80	IN	1360	2270	3180
	OUT	1510	2520	3520
100	IN	2150	3580	5010
	OUT	2360	3930	5500

### Mounting Bracket Part No.

Bore size (mm)	Foot	Flange	Single clevis
20	C55-L020	C55-F020	C55-C020
25	C55-L025	C55-F025	C55-C025
32	C55-L032	C55-F032	C55-C032
40	C55-L040	C55-F040	C55-C040
50	C55-L050	C55-F050	C55-C050
63	C55-L063	C55-F063	C55-C063
80	C55-L080	C55-F080	C55-C080
100	C55-L100	C55-F100	C55-C100

- Order two foot brackets per cylinder.
- Parts belonging to each bracket are as follows.  
Foot, Flange, Single clevis/Body mounting bolt

### Specifications

Type	Pneumatic (Non-lube)	
Action	Double acting, Single rod	
Fluid	Air	
Proof pressure	1.5 MPa	
Maximum operating pressure	1.0 MPa	
Minimum operating pressure	0.05 MPa (ø20 to ø63), 0.03 MPa (ø80, ø100)	
Ambient and fluid temperature	Without auto switch: -10 to 70°C (No freezing) With auto switch: -10 to 60°C (No freezing)	
Cushion	Rubber bumper on both end	
Stroke length tolerance <sup>Note)</sup>	+1.0 0 mm	
Mounting	Through-hole/Both ends tapped common	
Piston speed	ø20 to ø63	50 to 500 mm/s
	ø80, ø100	50 to 300 mm/s

Note) Stroke length tolerance dose not include the amount of bumper change.

### Standard Stroke

Bore size (mm)	Standard stroke (mm)
20 to 63	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 80, 100, 125, 150
80, 100	10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 80, 100, 125

### Manufacture of Intermediate Stroke

Description	Dealing with the stroke by the 1 mm interval by using an exclusive body with the specified stroke
Part no.	Refer to "How to Order" for the standard model no. (page at left)
Stroke range	6 to 149
Example	Part no.: C55B32-47
	Makes 47 stroke tube

### Weight

#### Without Auto Switch

Unit: g

Bore size (mm)	Cylinder stroke (mm)														
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	80	100	125	150
20	111	124	137	150	163	176	189	202	215	228	254	306	357	422	487
25	152	168	183	199	214	230	246	261	277	292	323	386	448	526	603
32	250	273	295	317	339	362	384	406	428	451	495	584	673	785	896
40	315	339	364	388	412	436	461	485	509	533	582	679	776	897	1018
50	497	534	570	607	644	681	718	755	791	828	902	1049	1197	1381	1565
63	677	717	757	797	837	877	917	957	997	1037	1117	1277	1437	1638	1838
80	—	1164	1223	1281	1339	1398	1456	1514	1573	1631	1748	1981	2214	2506	—
100	—	2213	2295	2377	2459	2541	2623	2705	2787	2870	3034	3362	3690	4101	—

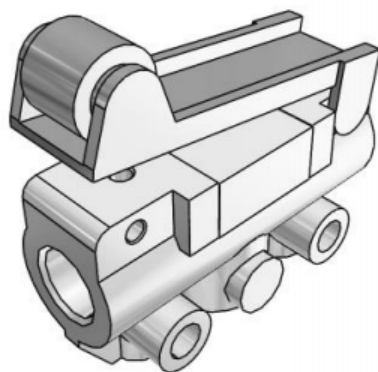
#### With Auto Switch (Built-in magnet)

Unit: g

Bore size (mm)	Cylinder stroke (mm)														
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	80	100	125	150
20	113	126	139	152	165	178	191	204	216	229	255	307	359	424	489
25	154	170	185	201	217	232	248	263	279	294	325	388	450	528	606
32	254	277	299	321	343	366	388	410	432	455	499	588	677	788	900
40	319	344	368	392	416	441	465	489	513	537	586	683	780	901	1022
50	502	539	575	612	649	686	723	760	796	833	907	1054	1202	1386	1570
63	685	725	765	805	845	885	925	965	1005	1045	1125	1285	1445	1645	1845
80	—	1188	1246	1305	1363	1421	1480	1538	1596	1654	1771	2004	2238	2529	—
100	—	2248	2330	2412	2494	2577	2659	2741	2823	2905	3069	3397	3726	4136	—

Add each weight of auto switches and mounting brackets when mounting an auto switches.  
Refer to pages 16 to 21 for auto switch weight.

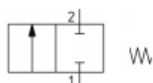
# PŘÍLOHA P VII: MECHANICKÝ VENTIL 3/2 VM131-F01-01SA



## VM100, řada 100, Mechanický / ručně ovládaný 2/2 a 3/2 ventil VM131-F01-01SA

### Technické údaje

Nová kompaktní sada mechanických ventilů VM100/200 s možností volby různých ovládacích a rovněž volby připojení ze spodu nebo ze strany.



Technické údaje - VM131-F01-01SA

### Standardní specifikace

počet připojení	3/2
připojení	připojení ze strany - krátké
provedení	zboku
připojovací závit	G 1/8 (palce), pouze připojení ze strany
ovládání	kladka
provedení	páka s kladkou z tvrdé oceli
signalizace	bez
úhelník	bez
Pressure medium	Air/Inert gas
Maximum temperature of pressure medium	60 °C, 60 °C
Minimum temperature of pressure medium	-5 °C (No freezing), -5 °C (No freezing)
Maximal operating pressure	1.0 Mpa
Minimum operating pressure	-100 kPa
Maximum ambient temperature	60 °C, 60 °C
Minimum ambient temperature	-5 °C (No freezing), -5 °C (No freezing)
Conform to the European RoHS Directive	V souladu
Pneumatic input connection	G 1/8
Pneumatic exhaust connection	G 1/8
Function in normal position	Exhausted
Type of piloting	Prímo
Valve return	Mechanicky - pružinou
Flow rate	144 NI/min
b Value	0.2
c Value	0.6
Usable tubing material	PU
Subfamily	2/3 Port Mechanical Valve
Actuation type	Mechanically
Hmotnost	0.076 kg

# PŘÍLOHA P VII: VZDUCHEM OVLÁDANÝ VENTIL 5/2 SYA5220-01F

## Series SY3000/5000/7000/9000 Body Ported Single Unit



Refer to [www.smcworld.com](http://www.smcworld.com) for details of products compatible with overseas standards.

### How to Order

**SY 5 1 20 5 L 01 -Q**

**Series**

3	SY3000
5	SY5000
7	SY7000
9	SY9000

**Type of actuation**

1	2 position single (A)(B) (EA)(P)(EB)
2	2 position double (A)(B) (EA)(P)(EB)
3	3 position closed center (A)(B) (EA)(P)(EB)
4	3 position exhaust center (A)(B) (EA)(P)(EB)
5	3 position pressure center (A)(B) (EA)(P)(EB)

**Coil specifications**

-	Standard
T	With power saving circuit (24, 12 VDC only)

\* Power saving circuit is not available in the case of D, DO or W□ type.

**For DC**

5	24 VDC
6	12 VDC
V	6 VDC
S	5 VDC
R	3 VDC

**Rated voltage**

**For AC (50/60Hz)**

1	100 VAC
2	200 VAC
3	110 VAC [115 VAC]
4	220 VAC [230 VAC]

\* DC specifications of type D and DO is only available with 12 and 24 VDC.  
\* AC specification is only available with D, DO type.

**• A, B port size Thread piping**

Symbol	Port size	Applicable series
M5	M5	SY3000
01	1/8	SY5000
02	1/4	SY7000
02	1/4	SY9000
03	3/8	

**One-touch fitting (Metric size)**

Symbol	Port size	Applicable series
C4	One-touch fitting for ø4	SY3000
C6	One-touch fitting for ø6	
C4	One-touch fitting for ø4	SY5000
C6	One-touch fitting for ø6	
C8	One-touch fitting for ø8	SY7000
C8	One-touch fitting for ø8	
C10	One-touch fitting for ø10	SY9000
C10	One-touch fitting for ø10	
C12	One-touch fitting for ø12	

**One-touch fitting (Inch size)**

Symbol	Port size	Applicable series
N3	One-touch fitting for ø 5/16"	SY3000
N7	One-touch fitting for ø 1/4"	
N3	One-touch fitting for ø 5/16"	SY5000
N7	One-touch fitting for ø 1/4"	
N9	One-touch fitting for ø 3/8"	SY7000
N9	One-touch fitting for ø 3/8"	
N11	One-touch fitting for ø 3/8"	SY9000
N9	One-touch fitting for ø 3/8"	
N11	One-touch fitting for ø 3/8"	

**• Thread type**

-	Rc
F	G
N	NPT
T	NPTF

\* Except for M5

**• Bracket**

-: Without bracket  
F1: With foot bracket (2 position, single only)  
F2: With side bracket  
\* SY9000 has no bracket.

**• Manual override**

-: Non-locking push type  
D: Push-turn locking slotted type  
E: Push-turn locking lever type

**• Light/surge voltage suppressor**

**Electrical entry for G, H, L, M, W**

-	Without light/surge voltage suppressor
S	With surge voltage suppressor
Z	With light/surge voltage suppressor
R	With surge voltage suppressor (Non-polar type)
U	With light/surge voltage suppressor (Non-polar type)

\* Power saving circuit is only available in the 'T' type.

**Electrical entry for D (except SY3000)**

-	Without light/surge voltage suppressor
S	With surge voltage suppressor
Z	With light/surge voltage suppressor

\* DOZ is not available.  
\* For AC voltage valves there is no "S" option. It is already built-in to the rectifier circuit.

**Electrical entry**

24, 12, 6, 5, 3 VDC				24, 12 VDC / 100, 110, 200, 220 VAC
<b>Grommet</b>	<b>L plug connector</b>	<b>M plug connector</b>	<b>DIN terminal</b>	
G: Lead wire length 300 mm	L: With lead wire (Length 300 mm)	M: With lead wire (Length 300 mm) MN: Without lead wire	D: With connector	
H: Lead wire length 600 mm	LN: Without lead wire	LO: Without connector	MO: Without connector	DO: Without connector

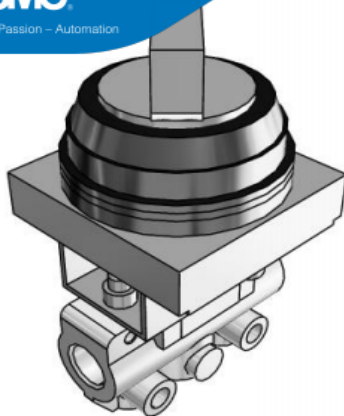
**24, 12, 6, 5, 3 VDC M8 connector**

WO: Without connector cable  
WC: With connector cable (Note 1)

\* LN, MN type: with 2 sockets.  
\* For DIN terminal of SY3000 series, refer to back page 10.  
\* DIN terminal type "Y" which conforms to EN-175301-803C (former DIN43650C) is also available. For details, refer to page 210.  
\* For connector cable of M8 connector, refer to back page 12.  
\* Connector M8 type "WA" conforming to IEC 60947-5-2 standard, is also available. For details, see page 211.  
Note 1) Enter the cable length symbols in □. Please be sure to fill in the blank referring to back page 13.  
Note 2) Except SY3000.

Note) When placing an order for body ported solenoid valve as a single unit, mounting bolt for manifold and gasket are not attached. Order them separately, if necessary. (For details, refer to page 56.)

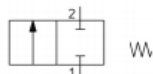
# PŘÍLOHA P IX: RUČNÍ VENTIL 3/2 VM130-F01-34BA



## VM100, řada 100, Mechanicky / ručně ovládaný 2/2 a 3/2 ventil VM130-F01-34BA

### Technické údaje

Nová kompaktní sada mechanických ventilů VM100/200 s možností volby různých ovládacích a rovněž volby připojení ze spodu nebo ze strany.



Technické údaje - VM130-F01-34BA

### Standardní specifikace

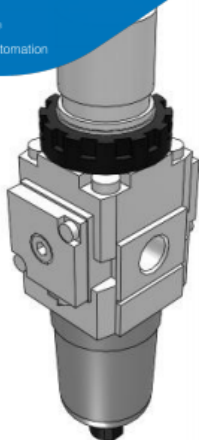
počet připojení	3/2
připojení	připojení ze strany dlouhé
provedení	zboku
připojovací závit	G1/8 (palce), pouze připojení ze strany
ovládání	přepínač (2 pozice)
provedení	černá
signalizace	bez
úhelník	bez
Pressure medium	Air/Inert gas
Maximum temperature of pressure medium	60 °C, 60 °C
Minimum temperature of pressure medium	-5 °C (No freezing), -5 °C (No freezing)
Maximal operating pressure	1.0 Mpa
Minimum operating pressure	-100 kPa
Maximum ambient temperature	60 °C, 60 °C
Minimum ambient temperature	-5 °C (No freezing), -5 °C (No freezing)
Conform to the European RoHS Directive	V souladu
Pneumatic input connection	G 1/8
Pneumatic exhaust connection	G 1/8
Function in normal position	Exhausted
Type of piloting	Prímo
Valve return	Mechanicky - pružinou
Flow rate	144 NI/min
b Value	0.2
c Value	0.6
Usable tubing material	PU
Subfamily	2/3 Port Mechanical Valve
Actuation type	ručně
Hmotnost	0.116 kg



## PŘÍLOHA P X: REGULÁTOR/FILTR TLAKU AW20-F02H-B



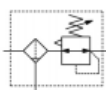
Expertise – Passion – Automation



### AW20(\*)-B to AW60(\*)-B, Filter Regulator & Filter Regulator w/Backflow Function AW20-F02H-B

#### Technické údaje

ada AW-B je kombinací filtr / regulátoru tlaku, minimalizující prostor a integrující dva prvky do jedné jednotky. ada AW-B má max. provozní tlak 0.85 MPa a nabízí provedení s vestavným tvercovým manometrem a volitelně i sníma tlaku a rovněž je zamnitelná s pedchází adou AW v případě montáže do panelu. Nádoba odlučovací má od velikosti 30 prhledný kryt jímkou a umožňuje viditelnost ze všech směrů a chrání jímkou od okolního prostředí. Tato ada je součástí ady modulárních jednotek úpravy vzduchu a může být složena s dalšími prvky stejné velikosti. Nová ada AW-B je dostupná ve 4 velikostech tělesa s pipojovacími závity od 1/8" do 1" a v typech závitů Rc, NPT a G.



Technické údaje - AW20-F02H-B

#### Standardní specifikace

zvláštní prostředí	bez
velikost tělesa	20
funkce zpětného průtoku	bez
závit	G
připojení	1/4 (palce)
provedení	s nastavovací maticí pro montáž do panelu
volitelná provedení 1	standardní
volitelná provedení 2	standardní
speciální provedení 2	bez
Pressure medium	Air
Maximum temperature of pressure medium	60 °C
Minimum temperature of pressure medium	-5 °C [bez kondenzace]
Maximal operating pressure	1.0 MPa
Proof pressure	1.5 MPa
Maximum ambient temperature	60 °C
Minimum ambient temperature	-5 °C [without condensation]
Conform to the European RoHS Directive	V souladu
Approvals	No need
Bowl Material	polykarbonát
Bowl Guard	Semi-standard (Steel)
Drain Capacity	8 cm <sup>3</sup>
Element nominal filtration rating	5 µm
Hmotnost	0.213 kg

## PŘÍLOHA P XI: TLUMIČ HLUKU AN10-01



**AN05 až 40, Tlumič hluku se  
závitem, plastový, kompaktní  
provedení  
AN10-01**

Technické údaje

Tlumie hluku ady AN nabízejí rzné provedení s nízkým odporem pi odvodušnní a jednoduchou montáž. Umí snížit hluk pi odvodušnní až o 35dB(A) a jsou z těžkozápahného materiálu vyhovujícimu UL94-V0. ada AN je dostupná s R nebo NPT závitů.

Technické údaje - AN10-01

### Standardní specifikace

velikost tělesa	10
typ závitů	nebo metrický
velikost připojovacího závitů	1/8 (palce)
Pressure medium	Compressed Air
Maximum ambient temperature	60 °C
Maximum ambient temperature with magnet	5 °C
Noise reduction	30 dB
Effective Area	10 mm <sup>2</sup>
Hmotnost	0.001 kg

# PŘÍLOHA P XII: MANOMETR G36-10-01

## Pressure Gauge Guide

General Purpose Gauge/With Limit Indicator

**G36 (DT type)/GA36 (AT type)**

O.D.:  $\varnothing 37$



G36-10-01

### Standard Specifications

Model	G36		GA36	
Type	DT type (Back side thread)		AT type (Vertical side thread)	
Indication precision	±3% F.S. (Full span)			
Material	Case	Aluminum Die-cast	Rolled steel (Black painted)	
	Clear cover	Poly-carbonate Part no. G36-00-00-3		
	Stud	Aluminum Die-cast	Brass	
Applicable model	R(PT) $1/8$	AC2000/2500/3000 AR2000/2500/3000 AW2000/3000		

### Model (Standard)

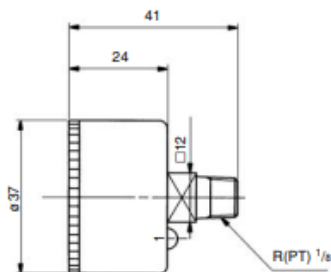
Model	Gauge range		Indication units	Connecting thread	Note
	MPa				
G36-2-01	0 to 0.2		MPa	R(PT) $1/8$	—
G36-4-01	0 to 0.4				
G36-7-01	0 to 0.7				
G36-10-01	0 to 1.0				
GA36-10-01	0 to 1.0		MPa		AT type

### Model (Made to order)

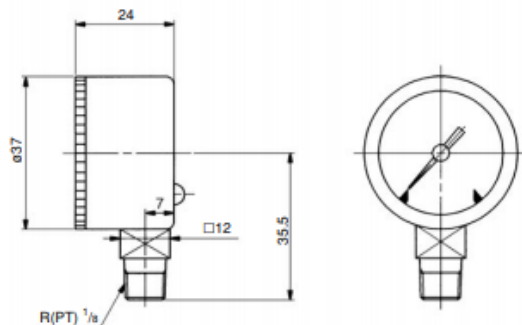
Model	Gauge range			Indication unit	Connecting thread	Note
	MPa	kgf/cm <sup>2</sup>	psi			
G36-2-01-X7	—	0 to 2	0 to 30	kgf/cm <sup>2</sup> psi Dual indication	R(PT) $1/8$	—
G36-4-01-X7	—	0 to 4	0 to 60			
G36-7-01-X7	—	0 to 7	0 to 100			
G36-10-01-X7	—	0 to 10	0 to 150			
GA36-10-01-X7	—	0 to 10	0 to 150			
G36-10-01-X2	0 to 1.0	—	—	MPa		(Ni) plated stem
G36-15-01	0 to 1.5	—	—	MPa		—

### Dimensions

#### G36(DT type)



#### GA36(AT type)





# PŘÍLOHA P XIII: ŠKRTÍCÍ VENTIL ASN2-01

## Metering Valve with Silencer Series ASN2

**Superior sound reducing performance**  
Over 20dB at Max. flow rate

**Cylinder speed easily set**  
Shape of needle as the same as that of speed controller

**Retainer prevents accidental loss of needle**



### Model

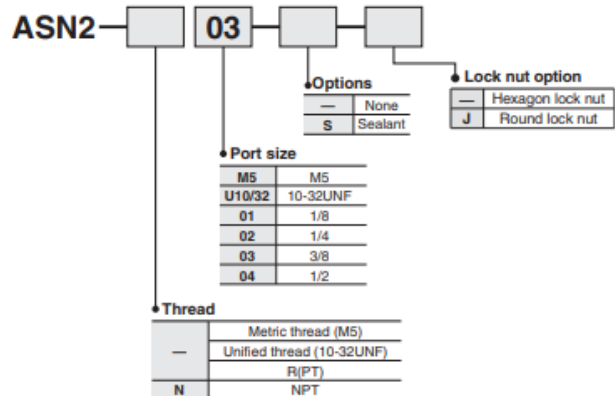
Model	Port size	Effective area (mm <sup>2</sup> )	Weight (g)
ASN2-M5	M5	1.8	5
ASN2-U10/32	10-32UNF	1.8	5
ASN2-01	1/8	3.6	17
ASN2-02	1/4	6.5	34
ASN2-03	3/8	16.6	55
ASN2-04	1/2	24.5	107

### Specifications

Proof pressure	1.5MPa
Operating pressure range	0 to 1MPa
Ambient and fluid temperature	- 5 to 60°C (No freezing)
Number of needle rotation	10 turns (8 turns <sup>(1)</sup> )

Note 1) ( ) : ASN2-M5, ASN2-U10/32

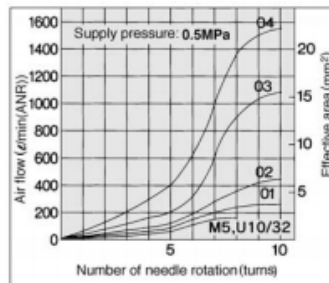
### How to Order



Symbol



### Needle Valve/Flow Characteristics

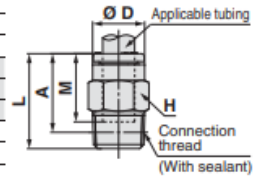


# PŘÍLOHA P XIV: NÁSTRČNÉ SPOJKY KQ2H06-02AS, KQL06-01AS, KQ2L06-M5A, KQ2S06-01AS, KQ2T06-00A

## Male Connector: KQ2H (Sealant)



Applicable tubing O.D. [mm]	Connection thread R	Model	H (Width across flats)	Ø D	L	A*1	M	Effective area [mm²]		Min. port size	Weight [g]
								Nylon	Urethane		
Ø 3.2	1/8	KQ2H23-01□S	10	6.7	14	10.9	13.3	3.4	2.9	2.5	6
	1/4	KQ2H23-02□S	14	6.7	16.7	12	13.3	3.4	2.9	2.5	15.3
Ø 4	1/8	KQ2H04-01□S	10	7.7	14.3	11.2	13.3	4.8	3.4	3	5.6
	1/4	KQ2H04-02□S	14	7.7	16.7	12	13.3	4.8	3.4	3	14.6
Ø 6	1/8	KQ2H06-01□S	10	9.7	18.4	15.3	13.3	13.1	10.4	4.5	5.8
	1/4	KQ2H06-02□S	14	9.7	16.7	12	13.3	13.1	10.4	4.5	12.5
Ø 8	3/8	KQ2H06-03□S	17	9.7	18.1	13	13.3	13.1	10.4	4.5	24.5
	1/8	KQ2H08-01MS	14	13	22.5	19.4	14.2	26.1	18	6	11.9
Ø 10	1/4	KQ2H08-02MS	14	13	22	17.3	14.2	26.1	18	6	13.9
	3/8	KQ2H08-03MS	17	13	18.1	13	14.2	26.1	18	6	21
Ø 12	1/8	KQ2H10-01MS	17	15.6	23.8	20.7	15.6	26.1	26.1	6	16.9
	3/8	KQ2H10-03MS	17	15.6	23.5	18.4	15.6	41.5	29.5	7.5	22.5
Ø 16	1/2	KQ2H10-04MS	22	15.6	22.3	15.9	15.6	41.5	29.5	7.5	44.7
	1/4	KQ2H12-02MS	19	18.2	28.7	24	17	58.3	46.1	9	24.3
Ø 12	3/8	KQ2H12-03MS	19	18.2	25.9	20.8	17	58.3	46.1	9	25.2
	1/2	KQ2H12-04MS	22	18.2	22.3	15.9	17	58.3	46.1	9	37.7
Ø 16	1/4	KQ2H16-02□S	24	23.6	32.5	27.8	20.6	58.3	58.3	9	37.4
	3/8	KQ2H16-03MS	24	23.6	33.1	28	20.6	81	67	11	42.4
Ø 16	1/2	KQ2H16-04MS	24	23.6	32.1	25.7	20.6	113	67	13	44.6

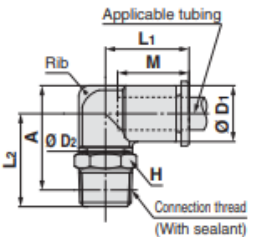


□: A (Brass), N (Brass + Electroless nickel plating) \*1 Reference dimensions after installation of R thread  
 ■: A (Brass), N (Brass + Electroless nickel plating), G (stainless steel)

## Male Elbow: KQ2L (Sealant)

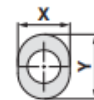


Applicable tubing O.D. [mm]	Connection thread R	Model	H (Width across flats)	Ø D1	Release button dimensions		Ø D2	L1	L2	A*1	M	Effective area [mm²]		Min. port size	Weight [g]	With a rib
					X	Y						Nylon	Urethane			
Ø 3.2	1/8	KQ2L23-01□S1	10	7.1	6.7	9.5	10	14.5	16.7	17.2	13.3	3	2.5	2.5	4.6	—
	1/4	KQ2L23-02□S1	14	7.1	6.7	9.5	10	14.5	21.2	20.1	13.3	3	2.5	2.5	14.1	—
Ø 4	1/8	KQ2L04-01MS1	10	8.2	7.7	10	10	14.8	16.2	17.2	13.3	4.6	3.3	3	4.8	●
	1/4	KQ2L04-02MS1	14	8.2	7.7	10	10	14.8	21.7	21.1	13.3	4.6	3.3	3	14.3	●
Ø 6	1/8	KQ2L06-01MS1	10	10.4	9.7	12	10	15.5	17.3	19.4	13.3	11.4	9	4.5	5.2	—
	1/4	KQ2L06-02MS1	14	10.4	9.7	12	10	15.5	22.8	23.3	13.3	11.4	9	4.5	14.7	—
Ø 6	3/8	KQ2L06-03MS1	17	10.4	9.7	12	10	15.5	24.1	24.2	13.3	11.4	9	4.5	26.5	—



□: A (Brass), N (Brass + Electroless nickel plating) \*1 Reference dimensions after installation of R thread  
 ■: A (Brass), N (Brass + Electroless nickel plating), G (stainless steel)

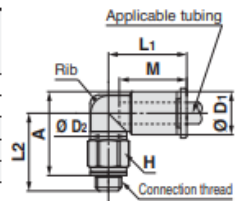
Release button dimensions



## Male Elbow: KQ2L (Gasket seal)

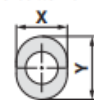


Applicable tubing O.D. [mm]	Connection thread M	Model	H (Width across flats)	Ø D1	Release button dimensions		Ø D2	L1	L2	A	M	Effective area [mm²]		Min. port size	Weight [g]	With a rib
					X	Y						Nylon	Urethane			
Ø 3.2	M3 x 0.5	KQ2L23-M3G1	7	7.1	6.7	9.5	7	15.3	13.8	14.8	13.3	0.8	0.8	1.2	2.7	●
	M5 x 0.8	KQ2L23-M5□1	7	7.1	6.7	9.5	7	15.3	14.3	14.9	13.3	2.6	2.2	2.5	3.1	●
Ø 4	M3 x 0.5	KQ2L04-M3G1	7	8.2	7.7	10	7	15.4	14.3	15.8	13.3	0.8	0.8	1.2	2.7	●
	M5 x 0.8	KQ2L04-M5□1	7	8.2	7.7	10	7	15.4	14.8	15.9	13.3	3.5	3.5	2.5	3.1	●
Ø 6	M6 x 1.0	KQ2L04-M6□1	8	8.2	7.7	10	7	15.4	15.8	15.9	13.3	3.5	3.5	2.5	4.2	●
	M5 x 0.8	KQ2L06-M5□1	7	10.4	9.7	12	7	14.5	16.5	18.7	13.3	3.5	3.5	2.5	3.2	●
Ø 6	M6 x 1.0	KQ2L06-M6□1	8	10.4	9.7	12	7	14.5	17.5	18.7	13.3	3.5	3.5	2.5	4.3	●



□: A (Brass), N (Brass + Electroless nickel plating)  
 ■: A (Brass), N (Brass + Electroless nickel plating), G (stainless steel)

Release button dimensions



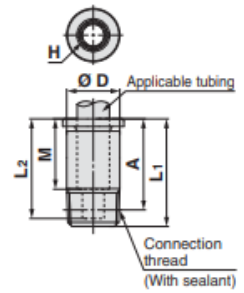
## Hexagon Socket Head Male Connector: KQ2S (Sealant)



Applicable tubing O.D. (mm)	Connection thread R	Model	H (Width across flats)	Ø D	Release button dimensions			L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	A <sup>*1</sup>	M	Effective area (mm <sup>2</sup> )		Min. port size	Weight [g]
					X	Y						Nylon	Urethane		
Ø 4	1/8	KQ2S04-01■S1	3	9.8	7.7	10	19.7	18.8	16.6	13.3	4.1	3.6	3.1	8.1	
Ø 6	1/8	KQ2S06-01■S1	4	10	9.7	12	20	18.8	16.9	13.3	10	9.9	4.1	6.5	
	1/4	KQ2S06-02■S1	4	13.8	9.7	12	19.8	18.8	15.1	13.3	10.7	10	4.1	13.4	

■ A (Brass), N (Brass + Electroless nickel plating), G (stainless steel)

\*1 Reference dimensions after installation of R thread



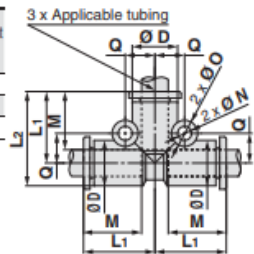
Release button dimensions



## Union Tee: KQ2T



Applicable tubing O.D. (mm)	Model	Ø D	Release button dimensions			L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	M	Q	Ø O	N	Effective area (mm <sup>2</sup> )		Min. port size	Weight [g]
			X	Y								Nylon	Urethane		
Ø 3.2	KQ2T23-00A1	7.1	6.7	9.5	14.9	18.5	13.3	5.4	6	3.2	3.4	2.9	2.5	2.3	
Ø 4	KQ2T04-00A1	8.2	7.7	10	15.3	19.4	13.3	5.7	6	3.2	6.4	4.4	3	2.8	
Ø 6	KQ2T06-00A1	10.4	9.7	12	16.3	21.5	13.3	6.8	6	3.2	13.4	10.6	4.5	3.8	



Release button dimensions



# PŘÍLOHA P XV: VZDUCHOVÁ HADICE TU0604BU-20



## TU, Polyuretanová hadice (metrická) TU0604BU-20

### Technické údaje

Hadice TU představuje nový standard vysoce kvalitních hadic. Tvrdá polyuretanová hadice TUH má velký pomrný prez, extra mkká polyuretanová hadice TUS je vysoce ohebná.

Technické údaje - TU0604BU-20

### Standardní specifikace

velikost	vnější pr.6/vnitřní pr.4
barva	modrá
délka	20 m
Pressure medium	Air, Water
Maximum temperature of pressure medium	20 °C
Maximal operating pressure	0.8 MPa
Maximum ambient temperature	60 °C / 40 °C for Water
Minimum ambient temperature	-20 °C (with no freezing) / 0 °C for Water
Usable tubing material	Polyuretan
Hmotnost	0.386 kg