

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh držáku ultrazvukové sondy pro robotický manipulátor

Autor: **Bc. Jan Švec**
Vedoucí práce: **Ing. Roman Čermák, Ph.D.**

Akademický rok 2018/2019

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan ŠVEC**
Osobní číslo: **S16N0019P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Návrh držáku ultrazvukové sondy pro robotický manipulátor**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Navrhněte držák pro ultrazvukové sondy s předsádkami pro použití na robotické modulární platformě. Držák by měl umožňovat nesení sondy pro NDT inspekce v prostředí energetických bloků. Požadována je nastavitelnost pro šířky předsádek od 10mm do 50mm. Držák by měl být schopen spouštění sondy na měřený povrch. Přítlak sondy by mělo zajistit odpružení držáku. Podmínkou je snadná montáž a dekontaminace. Proveďte potřebné výpočty a výkresovou dokumentaci.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Rešerše, specifikace požadavků
2. Konstrukční návrh
3. Výpočty, výkresová dokumentace
4. Hodnocení práce, závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **50-70 stran A4**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojního inženýra 1.. Brno: Computer Press, 1999

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojního inženýra 2.. Brno: Computer Press, 1999

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Roman Čermák, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant diplomové práce: **Bc. Vlastimil Habrcetl**
Centrum výzkumu Řež s.r.o., Plzeň

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2018**
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2019**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Václava Losová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 16. října 2018

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Švec	Jméno Jan	
STUDIJNÍ OBOR	„Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Čermák, Ph.D.	Jméno Roman	
PRACOVÍŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh držáku ultrazvukové sondy pro robotický manipulátor		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2019
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	81	TEXTOVÁ ČÁST	57	GRAFICKÁ ČÁST	24
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Diplomová práce se zabývá návrhem držáku ultrazvukových sond pro robotický manipulátor. Držák umožňuje nesení sondy pro NDT inspekce v prostředí energetických bloků. V první části práce je vytvořen přehled používaných metod nedestruktivního testování a jejich princip. Dále jsou shrnuty automatizační trendy v tomto oboru. V praktické části byly vytvořeny návrhy požadovaného držáku a zdvihacího zařízení. Z těchto návrhů byla vytvořena výkresová dokumentace.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>NDT inspekce, držák ultrazvukové sondy, robotická modulární platforma</p>

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Bc. Švec	Name Jan	
FIELD OF STUDY	“Transport and handling machinery“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Čermák, Ph.D.	Name Roman	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design of the ultrasonic probe holder for robotic manipulator		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2019
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	81	TEXT PART	57	GRAPHICAL PART	24
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis deals with the design of ultrasonic probe holder for robotic manipulator. The holder allows the probe to be supported for NDT inspection in an energy block environment. In the first part of the thesis is an overview of the most used non-destructive testing methods and their principle. Furthermore, automation trends in this field are summarized. In the practical part were created proposals of required holder and lifting device. From these designs there was drawing documentation.
KEY WORDS	NDT inspection, ultrasonic probe holder, robotic modular platform

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Romanu Čermákovi, Ph.D. za cenné rady, odborné připomínky, metodické vedení práce a vstřícnost při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat konzultantovi Vlastimilu Habrcetlovi a zaměstnancům Výzkumného ústavu Řež s.r.o. Plzeň, za poskytnutí podkladů k vytvoření práce, odborných konzultací, rad a za jejich trpělivost a vstřícnost.

Obsah

1	Úvod.....	2
2	Příloha zadání.....	3
3	Přehled použitých zkratk a symbolů	4
4	Nedestruktivní zkoušení.....	5
4.1	Detekce povrchových vad	5
4.2	Detekce vnitřních vad	8
4.3	Kontrola systémů za chodu.....	14
5	Automatická a robotická zařízení pro NDT	19
5.1	Robot centra výzkumu Řež s.r.o., Plzeň (Ilja).....	21
	Návrh držáku ultrazvukových sond.....	22
5.2	Požadavky na zařízení	22
5.3	Držák sondy	23
5.4	Zdvihací mechanismus	30
5.5	Shrnutí konstrukce	40
6	Závěr	42
7	Seznam použité literatury a informačních zdrojů	43
8	Přílohy.....	46

1 Úvod

Trendy v konstruování jsou dnes hlavně nejvyšší cena, nízká hmotnost, vysoká efektivita zařízení a 100% spolehlivost. Tyto požadavky nemají vliv pouze na konstruování, nýbrž i na samotnou výrobu a v neposlední řadě i na kontrolu kvality, defektoskopii a diagnostiku stavu zařízení. Zvyšujícími nároky na kvalitu a bezpečnost se zvyšují také nároky na defektoskopická zařízení. V dnešní době se již nekontrolují díly pouze po výrobě, ale monitoruje se stav celého zařízení během jeho celého životního cyklu, nebo se dělají opakované hloubkové servisní kontroly, které odhalí vadná místa, opotřebené díly a jejich včasnou výměnou či opravou se předejde destrukci a následným škodám. Toto se využívá hlavně v oblastech s požadavkem na velkou bezpečnost a spolehlivost. Nejvýznamnějším příkladem je oblast jaderné energetiky, kde sebemenší vada, může vést ke katastrofálním následkům. Tím se zvyšují také nároky na defektoskopické a diagnostické systémy.

Při kontrole stavu zařízení se často můžeme setkat s problémem špatného přístupu ke kontrolovaným částem. Dalším problémem může být pracovní prostředí stroje, které by bylo pro kontrolora nebezpečné, jako chlad, horko, radiace, výbušné prostředí. V těchto situacích se dnes s výhodou používají robotické nosiče měřicí techniky, které jsou danému prostředí přizpůsobeny. Tyto stroje mohou být na dálku řízeny obsluhou, nebo autonomní, ty se ale hodí jako jednocelové stroje dělající stejnou operaci. Výhodou těchto „nosičů sond“ je jejich modulárnost a stavební koncepce. Díky ní se nechají snadno přestavět na požadované prostředí (kola, pásy, magnetická kola), tak i jejich senzorová výbava může být měnitelná podle typu měření. Tyto stroje často bývají vybaveny také kamerou pro snadnou orientaci ve zkoumaném prostoru a sledováním polohy pro určení místa případné vady.

Cílem práce je navrhnout držák pro ultrazvukové sondy pro NDT inspekci, za pomoci právě robotického vozítka. Držák sond je přídavné zařízení k pojezdové platformě vyrobené firmou Centrum výzkumu Řež s.r.o. v Plzni, která je zároveň zadavatelem diplomové práce. Konstrukce zařízení musí umožňovat rychlou a snadnou výměnu sond. Primárně je držák určen k uchycení ultrazvukových sond v předsádkách různých velikostí, proto musí být stavitelný. Držák musí zajistit kopírování zkoumaného povrchu, tudíž musí být umožněna rotace kolem dvou os v určitém rozsahu. Dále je nutno vytvořit přítlak na sondu, aby byl zajištěn stálý kontakt sondy a zkoumaného povrchu, jelikož jakékoliv odchýlení sondy od povrchu vytváří nepřesnost měření. Jedním z požadavků je také návrh mechanismu pro zvedání a spouštění celého držáku se sondou ze/na zkoumaný povrch, kvůli přejezdům nezkoumaných míst. Práce by měla být zakončena vytvořením výrobní dokumentace zařízení. Konstrukce je sice určena pro ultrazvukové sondy, ale není vyloučené budoucí použití jiných sond, proto by konstrukce měla být částečně modulární, aby na ni bylo možné navazovat další prvky.

2 Příloha zadání

Technické požadavky na zařízení:

- Jednoduchá montáž a demontáž zařízení na manipulátor
- Možnost zvedat a spouštět sondu z a na měřený povrch
- Připravenost zařízení k použití i s jinými držáky
- Koncový držák musí zajistit kopírování zkoumaného povrchu sondou
- Držák musí vyvodit přítlak na sondu o velikosti 25 N
- Koncový držák musí být přizpůsobený pro upínání sond od šířky 10 do 50 mm
- Upínání sond pomocí rotační vazby na dvě hřídele v opozici
- Celé zařízení musí umožnit jednoduchou dekontaminaci

3 Přehled použitých zkratk a symbolů

Značka	Název	Jednotka
Mk	Moment pro zvednutí ramena	Nmm
F	Síla na konci ramena	N
l	Délka ramena	mm
α	Úhel mezi ramenem a šroubem	°
F ₁	Síla na konci ramena	N
F ₂	Síla vyvozená pohybovým šroubem	N

4 Nedestruktivní zkoušení

NDT je zkratka pro nedestruktivní testování. Zahrnuje širokou skupinu analytických technik používaných ve vědeckém a výrobním průmyslu k vyhodnocení vlastností materiálu, součásti nebo celého systému bez jeho poškození. Výrobek není při defektoskopické kontrole nijak znehodnocen, a pokud splňuje požadavky na jakost, je možné jej ihned použít. NDT se používá v řadě odvětví, které pokrývají širokou škálu průmyslové činnosti, přičemž nové metody a aplikace se neustále rozvíjejí. Metody nedestruktivních zkoušek se běžně používají v průmyslových odvětvích, kde selhání součásti by způsobilo značné nebezpečí, nebo ekonomické ztráty, například v jaderném strojírenství, výrobě tlakových nádob a potrubí, zdvihací zařízení, atd. Hlavní výhodou nedestruktivního testování je možnost zkoušet každý vyrobený díl, ne jako u destruktivních zkoušek, kde jsme odkázáni na testování vzorků.

Nedestruktivní defektoskopie se dělí do dvou hlavních částí, a to zjišťování vad na povrchu materiálu a na detekci skrytých vnitřních vad.

4.1 Detekce povrchových vad

Povrchová vada se nachází buď přímo na povrchu materiálu, nebo jsou k povrchu otevřeny. Tyto vady jsou poměrně snadno detekovatelné. Jedná se hlavně o trhliny, které vznikají nejčastěji při nestejném chladnutí materiálu například při svařování nebo u složitých odlitků. Další možností vytvoření povrchové vady je při obrábění polotovaru, kdy se na povrch dostane vnitřní vada materiálu. Za povrchovou vadu považujeme i tzv. bodovou korozi, která vytváří na povrchu malé důlky jdoucí dovnitř materiálu, ale okolní povrch je nedotčený. Povrchové vady jsou zvláště nebezpečné u součástí namáhaných střídavým zatížením, jelikož jsou zárodky pro šíření únavových trhlin. Velká povrchová vada může citelně snížit životnost součásti.

Kontrola vizuální

Základním typem kontroly je prostý pohled. Jedná se o nejjednodušší, jednu z nejstarších, a přesto velmi užitečných metod. Prostým pohledem na díl lze rychle určit například: zásadní odchylky od požadovaného tvaru, kvalitu povrchu a rychle vytřídit „hrubé zmetky“. Zkušený kontrolor je schopen posoudit například kvalitu svaru už podle jeho tvaru, kresby a spojení s původním materiálem.

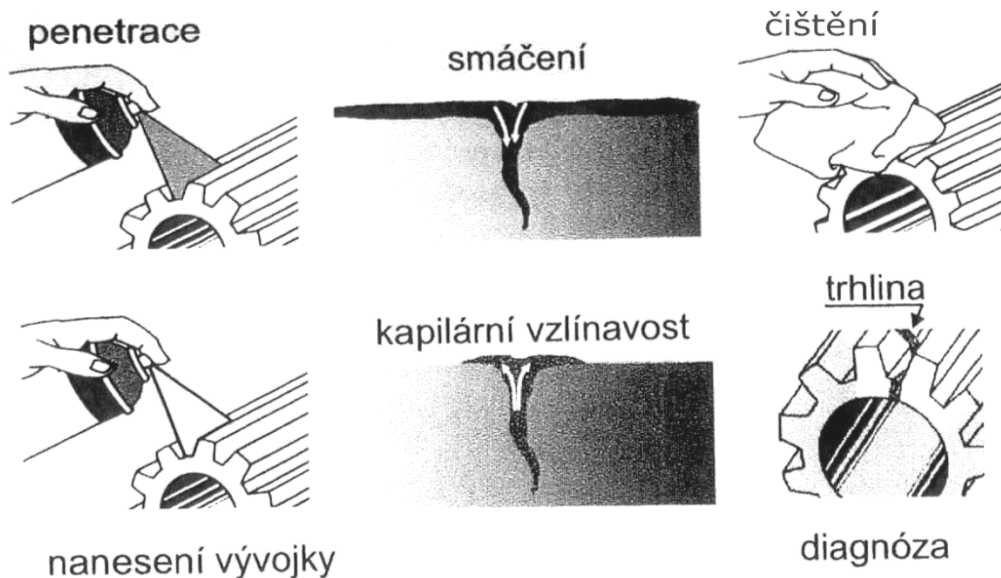
Vizuální kontrola se dělí na přímou a nepřímou. Přímá metoda se provádí pouhým okem, případně za použití jednoduchých optických pomůcek. Limit této metody je velikost vady, která musí být velká tak, aby ji rozpoznalo lidské oko. Při vizuální kontrole nepřímé se využívá pokročilých optických přístrojů, fotoaparátů, kamer a endoskopů (ukázka na obr. 1), které jsou schopny se dostat například do různých dutin, případně vnitřních prostorů dílů, také se využívá optické zvětšení zkoumaného povrchu, které pomůže odhalit i menší vady.



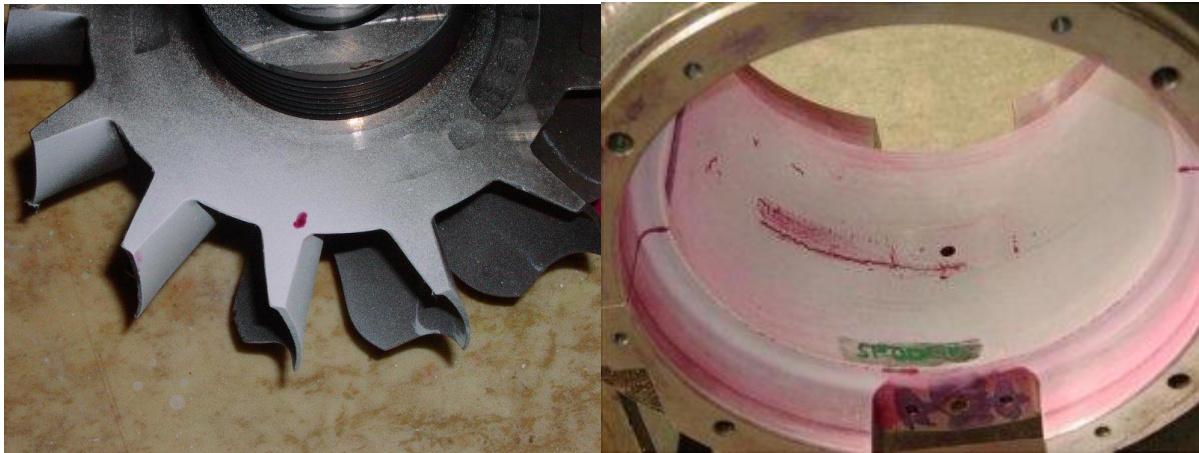
Obrázek 1 Endoskop - kamera do dutin [4.1.1]

Kapilární zkoušky

Kapilární zkoušky (schéma na obr. 2) se využívají ke zjištění povrchových vad součástí a svarů. Využívá se kapilárně aktivní detekční tekutina. Ta po nanesení na zkoušený povrch pronikne do vad a po odstranění jejich přebytku vzlínají vlivem působení kapilárních sil z nečelistvostí k povrchu. K indikaci vady se použije kontrastní látka. Zkoumaný povrch se zasype práškem nebo natře kontrastní tekutinou. V místě vady se kontrastní látka obarví (viz obr. 3). Detekční tekutina bývá nejčastěji červená a kontrastní bílá. Detekční kapalina může být fluorescenční a místo nanesení kontrastní látky se povrch osvítil ultrafialovým zářením, čímž dojde ke zviditelnění vad. Citlivost metody závisí na použitých detekčních tekutinách, teplotě zkoušeného povrchu, penetrační době a době vyvíjení. Výrazný vliv na zkoušku má příprava zkušební povrchu. Ten musí být čistý, suchý a odmaštěný. Zkušební kapaliny jsou často ve formě sprejů. [1] [2]



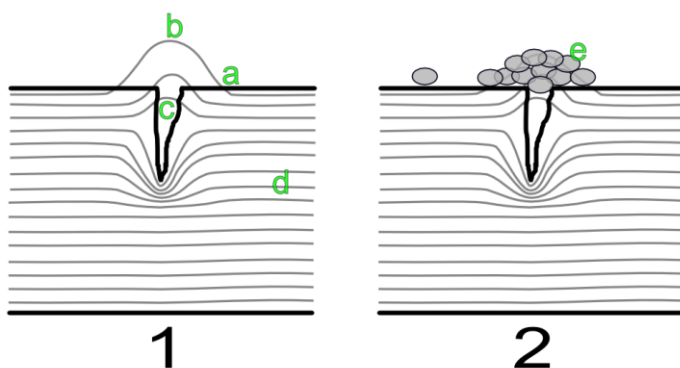
Obrázek 2 postup kapilární zkoušky [4.1.2]



Obrázek 3 Výsledky kapilární zkoušky - červená barva znázorňuje vadu [4.1.3]

Práškové magnetické zkoušky

Touto metodou se dají odhalovat povrchové a těsně podpovrchové trhliny nebo vměstky. Schéma metody je uvedeno na obr. 4. Zkouška je založena na zmagnetování kontrolované součásti, proto se dá aplikovat pouze na feromagnetické materiály. Magnetismus je vyvolán procházejícím proudem součástí, nebo vložením dílu do vnějšího magnetického pole. V místě vady se vytváří rozptylové magnetické pole. Ke zviditelnění tohoto pole se používá kontrastní tekutina, často se jedná o směs oleje a železného prášku. Železný prášek je přitahován rozptylovým magnetickým polem a usadí se na povrchu součásti ve tvaru vady. Pro zviditelnění vady je třeba zkoušený předmět zmagnetovat tak, aby směr magnetického pole byl orientován kolmo na předpokládanou nečelivost. Pokud je směr vady rovnoběžný s magnetickým polem nezvýrazní se. Detekční prášky jsou z feromagnetického materiálu, oxidy železa nebo čisté železo. Prášek může být přírodně šedý, obarvený nebo fluorescenční (světluje v ultrafialovém záření; ukázka znázorněné vady na obr. 5). Po magnetické zkoušce zůstává v dílu zbytkový magnetismus. Pokud to má vliv na funkčnost součásti, musí se provést odmagnetování. [1] [2]



Obrázek 4 Schéma magnetické zkoušky [4.1.4]

1. Rozložení siločar intenzity magnetického pole ve feromagnetickém materiálu v okolí vady.

2. Indikace tvořená zrnky detekčního prostředku.

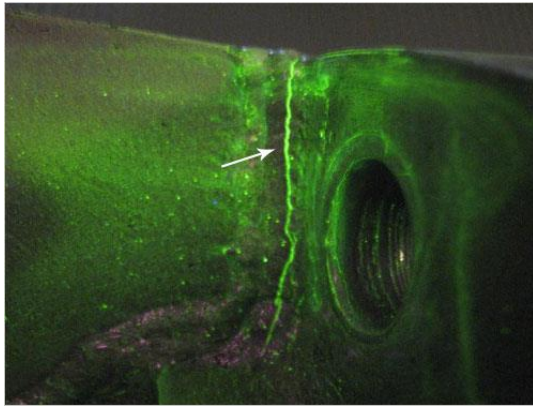
a. Magnetický pól - místo kde siločáry vystupují z materiálu.

b. Rozptylový magnetický tok - siločáry, které unikají ze základního materiálu.

c. Vada.

d. Siločáry magnetického pole.

e. Indikace tvořená detekčním prostředkem.



Obrázek 5 Zobrazená vada [4.1.5]



Obrázek 6 ruční elektromagnet [4.1.6]

Metoda vířivých proudů

Metoda vířivých proudů zjišťuje změny fyzikálních vlastností materiálů pomocí střídavého magnetického pole. Když prochází tělesem střídavý magnetický tok, indukuje se v něm elektromagnetická síla a generují se vířivé proudy. Sledováním těchto vířivých proudů a jejich změn, lze detekovat vady materiálu, ale i změny ve vnitřní struktuře po tepelném zpracování, jelikož generace vířivých proudů závisí právě na celistvosti materiálu a jeho vnitřní struktuře. Pro úspěšné použití této metody je nutné provést předcházející výzkum pro stanovení výchozích parametrů charakterizujících daný materiál. Metodu lze použít i na neferomagnetické materiály. Základní provedení stroje se skládá ze sestavy cívek a to budících, pro generování střídavého magnetického pole, a snímacích pro měření velikosti napětí generovaného vířivými proudy. Podle uspořádání cívek můžeme metodu rozdělit do dvou principů, a to na metodu s přiloženou cívkou a metodu s průchozí cívkou. Tato revize se často používá jako vstupní a výstupní kontrola při výrobě hutních polotovárů, například trubek, tyčí, atd.

4.2 Detekce vnitřních vad

Za vnitřní vadu materiálu můžeme považovat jakoukoliv odchylku od požadované vnitřní struktury materiálu. Tyto vady se nejčastěji vyskytují u dílů vyrobených tvářením nebo odléváním. Vznikají při tuhnutí materiálu a výrazně zhoršují mechanické vlastnosti dílu. Na rozdíl od povrchových vad je jejich detekce složitější, jelikož jsou uvnitř materiálu a nejsou vizuálně detekovatelné. Vnitřní vady způsobují zmenšení únosnosti průřezu a jsou zárodkem pro šíření trhlin v materiálu. Další nevýhoda může nastat při následném obrábění, kdy se vnitřní vada polotovaru dostane na povrch a vytvoří povrchovou vadu. Vnitřní vady se dělí na dutiny, vměstky a vady způsobené segregací. Dutiny vznikají nejčastěji při odlévání díky rozdílnému měrnému objemu tuhé a kapalné fáze slitiny. Pokud se uzavře část taveniny mezi již pevnými krystaly, po ztuhnutí zbytku taveniny se vytvoří dutina takzvaná bublina. Vměstky jsou většinou nekovového původu a dostávají se do materiálu při jeho zpracování, například tavení, odlévání. Mohou vznikat chemickými postupy při chladnutí materiálu nebo se do něj dostat z okolního prostředí (vyzdívky pecí, formy, atd.).

Kontrola poslechem

Jakožto u metody vizuální se jedná o jednoduchou a starou metodu kontroly jakosti dílů. Stejně tak se jedná o velmi hrubou kontrolu, která je schopná odhalit pouze velké vady. Při zkouškách poslechem se sleduje tón součásti při rozkmitání poklepem. Tímto se dají zjistit povrchové, ale i vnitřní praskliny a dutiny součásti. Pokud je díl bez vady vydává čistý, jasný tón. Pokud je v něm ale vada, šíření zvuku se o ni zdeformuje, tón není čistý a je zkreslený. Tímto způsobem lze ale odhalit pouze velké vady, například dlouhé praskliny přes většinu průřezu, které mohou vzniknout při nevhodném postupu tepelného zpracování. Také se porovnává zvuk dvou stejných součástí, které by měly při stejně silném poklepu vydávat stejný zvuk. Vhodné pro tuto zkoušku jsou odlitky, výkovky a keramické díly a obecně křehké materiály, které podporují šíření zvuku. Například se takto dají rychle zkontrolovat brusné kotouče. V praxi je tato metoda velmi náročná na kvalifikaci kontrolora. Ten musí být vybaven velmi dobrým sluchem, což znamená mít vrozené předlohy pro tuto práci. Zkouška poslechem je v podstatě předchůdce zkoušení dílů ultrazvukem, které bude popsáno dále.

Zkoušky pronikavým zářením

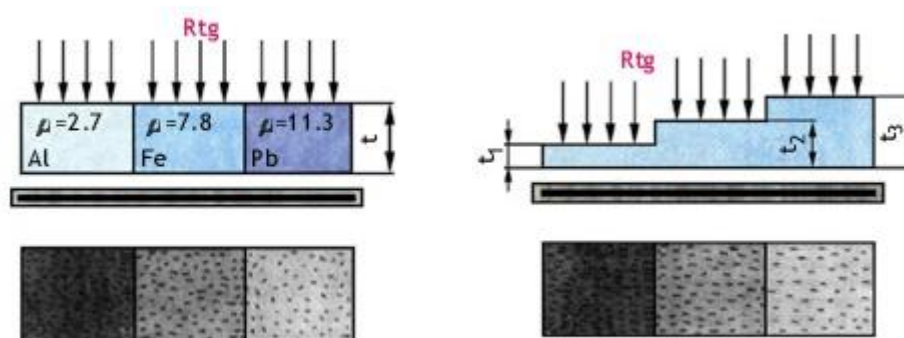
Jedná se o významnou metodu nedestruktivního zkoušení pro odhalování vnitřních vad materiálu. Využívá se krátkovlnného záření, které proniká materiálem a sleduje se jeho změna po průchodu. Používá se záření rentgenové, gama záření a neutronové záření. Jako zdroje se používají rentgeny, betatrony a radioizotopy. Rentgenové záření je záření o vlnových délkách od 10 nanometrů až po 1 pikometr, což je $1 \cdot 10^{-9}$ mm.

Podle použitého zdroje záření a metody registrace obrazu zkoušeného dílu dělíme tyto metody do několika skupin.

- Metody radiografické – registrují procházející záření součást, jako obraz vyvolaný na fotografický film. Do této kategorie spadá rentgenografie, betatronografie a gamagrafie.
- Metody radioskopické – obraz součásti je zobrazen na fluorescenčním stínítku – rentgenoskopie.
- Metody ionizační – jako výsledek se sleduje intenzita prošlého záření zaznamenaná indikátorem na principu ionizace.

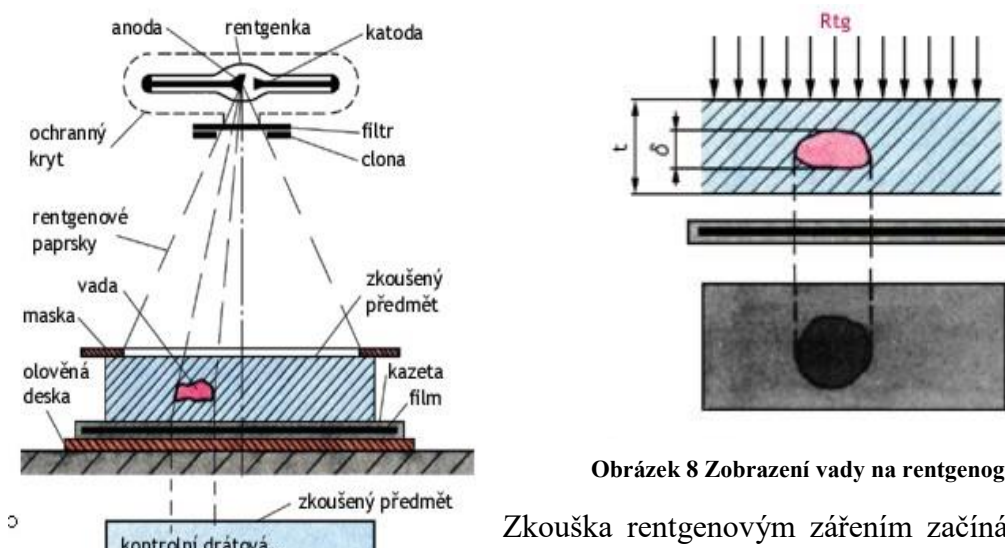
Zkouška prozařováním rentgenovým zářením a gama zářením

Tyto zkoušky jsou založeny na schopnosti krátkovlnného záření pronikat materiálem, na zeslabení intenzity záření jeho absorpcí v materiálu a na jeho působení na citlivou vrstvu fotografického filmu. Zeslabení intenzity záření se odvíjí od hustoty materiálu a tloušťce zkoušeného předmětu (obr. 7).



Obrázek 7 Rentgenové záření - závislost prozáření na hustotě a tloušťce materiálu [4.2.1]

Nachází-li se ve zkoumaném předmětu vnitřní vada (póry, dutiny, staženiny a znečištění ve svarech, odlitcích a výkovicích), je v tomto místě menší tloušťka kovu o velikosti dané vady. Hustota materiálu je v místě vady také menší než okolního materiálu. To má za důsledek menší zeslabení procházejícího záření. Na druhé straně součásti se nachází zachytávací zařízení (film, fluorescenční stínítko, atd.), na které dopadne v místě vady záření o větší intenzitě. Vada se projeví na vyvolaném snímku (rentgenogram (ukázka na obr. 8), gamagram) jako tmavý obrazec na světlejším pozadí, v případě fluorescenčního stínítka jako jasnější obrazec.



Obrázek 8 Zobrazení vady na rentgenogramu [4.2.2]

Zkouška rentgenovým zářením začíná v rentgenovém přístroji (rentgenka). Vyzářený svazek paprsků je usměrněn přes clony a filtry na zkoušený předmět. Části, které nemají být testovány, se zakryjí olověnou deskou tzv. maskou. Těsně pod zkoumaným předmětem se nachází kazeta s filmem (Obr. 9). Ten po vyvolání ukáže výsledek zkoušky. Aby bylo možné nalézt zjištěnou vadu na skutečném dílu, používají se olověné značky, nebo písmena. Jejich umístění je trvale označeno jak na testovaném dílu, tak na vyvolaném rentgenogramu, kde jsou snadno rozeznatelné, protože jsou vůči okolnímu obrazu velmi světlé. Na stranu bližší ke zdroji záření se ještě pokládají měrky, drátky s různě odstupňovanými průměry. Tato měrka slouží k určení dosažené rozeznatelnosti vad. Dosaženou rozeznatelnost udáváme v procentech tloušťky zkoumaného materiálu a pohybuje

Obrázek 9 Princip zkoušky rentgenovým zářením [4.2.3]

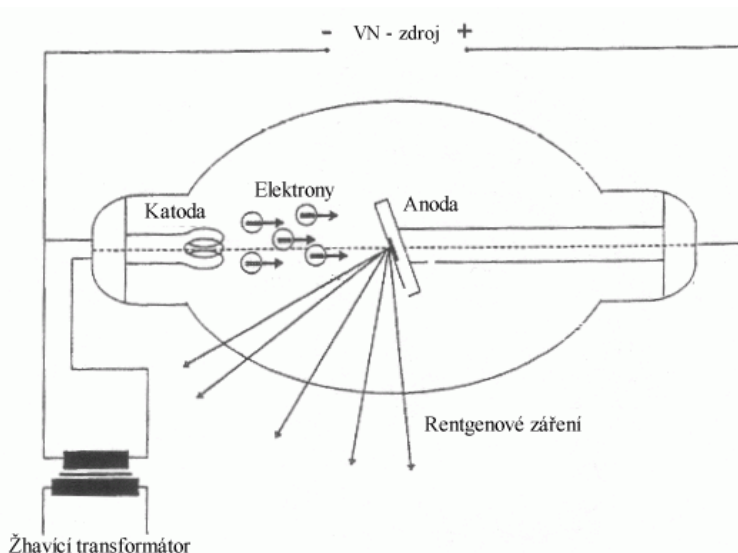
se od 1 do 2 %. Pro získání výsledků zkoušky se musí ozářený film vyvolat. To probíhá v tzv. temné komoře, aby nedošlo k osvětlení filmu a tím k jeho znehodnocení. Film se musí máčet v roztocích – vývojce, ustalovači a vypírací lázni, tím dojde ke zviditelnění světlých a tmavých míst a ke stabilizaci obrazu, aby se neznehodnotil na světle. Dále probíhá digitalizace snímku pro jeho archivaci. V dnešní době se s rozvojem polovodičové elektroniky začínají používat speciální čipy, které jsou schopny převádět RTG záření přímo na elektrický signál.

Následnou úpravou dat je možno vytvořit digitální obraz. Kvalita získaného obrazu se odvíjí od velikosti čipu a jeho rozlišení podobně jako u digitálního fotoaparátu.

Zdroje záření:

Základním zdrojem rentgenového záření je rentgenka (schéma na obr. 10). V základním provedení se jedná o katodu a anodu. Obě elektrody jsou zatavené ve skleněné baňce, která je vakuovaná. Katoda emituje elektrony, jež jsou urychlovány vysokým napětím od 25kV až po 600kV. Urychlené elektrony dopadají na anodu, pronikají jejím materiálem a tím jsou zpomalovány. Při tom se vytvářejí různé typy záření tzv. charakteristické rentgenové záření, brzdné záření a Lillienfeldovo záření. V průmyslu se používá převážně brzdné záření, jeho vlnová délka závisí na velikosti urychlovacího napětí, tedy čím vyšší napětí, tím menší vlnová délka – tvrdší záření. Pro bezpečný provoz rentgenky je nutný kryt s dostatečným stíněním. Ten zajišťuje:

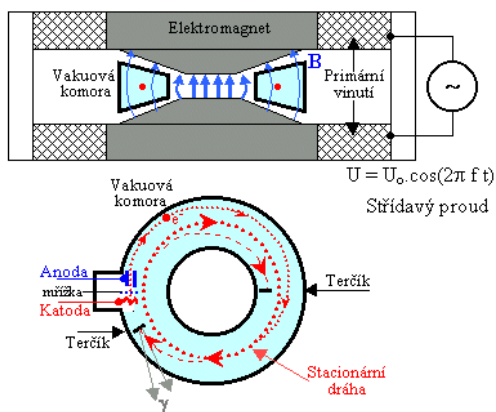
- Ochranu rentgenky před vnějšími vlivy.
- Elektrickou izolaci vysokého napětí.
- Odstínění rentgenového záření v nežádoucích směrech, k čemuž se používá olovo. Do požadovaného směru vyzařování se umísťuje výstupní okénko (obvykle ze skla nebo z beryliové folie).
- Často je rentgenka chlazena olejovým chlazením, které také slouží jako další izolace.



Obrázek 10 Schéma rentgenky [4.2.4]

Dalším zdrojem rentgenového záření jsou betatrony (schéma na obr. 11, ukázka zařízení na obr. 12). Jedná se o cyklický urychlovač částic, kde se elektrony urychlují elektrickým polem po kruhové dráze. Při nasměrování toku urychlených elektronů na zábrzdnu desku dojde

k jejich zpomalení a uvolnění rentgenového záření. Tento princip se využívá pro vytvoření tvrdého záření a o krátké vlnové délce. Přístroj má velkou spotřebu energie a stejně jako rentgenka musí být stíněný. Kvůli náročnému provozu zařízení se místo něho často používá gama záření, které má podobnou vlnovou délku a je snazší na vytvoření.



Obrázek 12 Schéma betatronu [4.2.5]



Obrázek 11 Betatron[4.2.6]

Pro vytvoření gama záření se používají radioaktivní zdroje ať už přírodní, nebo uměle vytvořené. Gama záření vzniká radioaktivním rozpadem jader některých prvků. Přírodní radioaktivní zdroj je například radium nebo radon, uměle vytvořené jsou například radioaktivní kobalt Co 60 nebo cesium Cs 137. Při rozpadu například kobaltu Co 60 vzniká nikl Ni 60. Aby se nový prvek ustálil, musí se zbavit přebytečné energie. Ta se uvolní v podobě gama záření o vlnové délce kolem 1 pikometru. Jako u předchozích zdrojů i gamazářiče musejí být důkladně stíněny například olověnými pouzdry.

Zkouška gama zářením se provádí téměř stejným postupem jako rentgenovým zářením. Hlavní rozdíl je v použitelnosti na různé materiály a prozařované tloušťky. Pokud se porovná rozeznatelnost vad při použití obou metod, lepší výsledky dává u oceli do tloušťky stěny 55 mm rentgenové záření. Od této hranice je rozeznatelnost téměř stejná pro obě varianty. Jelikož je prozařování velkých tlouštěk rentgenovým zářením energeticky náročné, používají se převážně gamazářiče.

Hlavní výhodou této metody je možnost sledovat vnitřní stav silných stěn odlitků, výkovek. Velkou nevýhodou je práce v rizikovém prostředí. Celé pracoviště musí být stíněno proti úniku záření pomocí betonu a olověných izolací. Personál musí být důkladně proškolen a zacvičen, aby nedošlo k ozáření, jelikož se při těchto zkouškách používá podstatně tvrdší záření než ve zdravotnictví, a může způsobit vážné zdravotní potíže. Tato metoda je také finančně náročná ať už na pořízení, tak na provoz. [3] [2] [4]

Zkouška ultrazvukem

Ultrazvukové zkoušky jsou jednou z nejrozšířenějších metod nedestruktivního testování. Používají se pro zkoušení železných i neželezných kovů. Jsou vhodné pro testování materiálů velkých tloušťek (až několik metrů), kde jiné metody kontroly nedosahují potřebných výsledků. Další výhodou je snadná manipulace, malé měřicí přístroje a s tím spojená snadná použitelnost i mimo zkušebny a laboratoře. Velkou předností je zdravotní nezávadnost, na rozdíl od rentgenových zkoušek. Jedná se o progresivní metodu, která je snadno automatizovatelná.

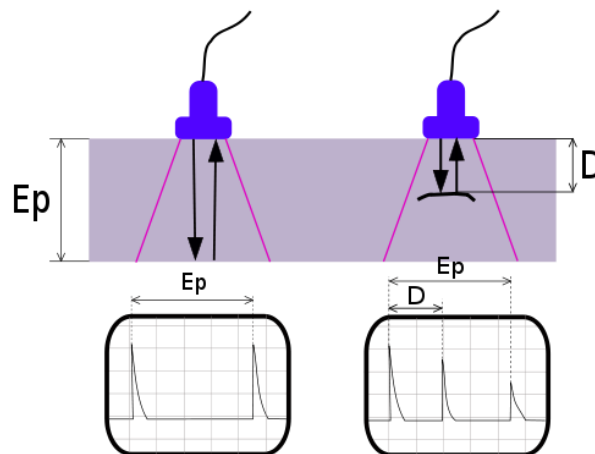
Ultrazvukem nazýváme mechanické kmity částic prostředí, které mají frekvenci kmitání vyšší než 20 kHz. Jedná se o zvuky pro člověka mimo slyšitelné rozpětí, které je od 16 do 20 kHz. Pro nedestruktivní testování v průmyslu se využívají frekvence od 1 do 15 MHz, v laboratorních podmínkách až do 30 MHz. Zdroje ultrazvuku jsou mechanické nebo elektromechanické. Mechanické jsou různé píšťaly nebo sirény. Tyto zařízení nedosahují tak vysokých frekvencí, ale používají se například jako plašiče, nehodí se pro průmyslové použití. V odborné praxi se častěji setkáváme s elektromechanickými zdroji vlnění. Do této kategorie spadá zařízení založené na piezoelektrickém jevu. Pokud je na krystal s piezoelektrickými vlastnostmi přivedeno elektrické napětí, tak se krystal deformuje. Tomuto efektu se říká nepřímý piezoelektrický jev. Tento princip funguje i opačně, pokud se krystal zdeformuje, generuje elektrické napětí a tento jev se označuje jako přímý piezoelektrický jev. S ultrazvukem souvisí oba jevy, když na krystal přivedeme vysokofrekvenční napětí, krystal se rozkmitá. Ve spojení s membránou může generovat ultrazvukové vlnění. Naopak pokud je krystal ultrazvukem rozkmitán, generuje napětí, čehož se využívá u přijímačů.

Princip metody je založen a odrazivosti a lámání se ultrazvukových vln na rozhraní dvou prostředí, například vzduch-ocel. V homogenním materiálu se vlny šíří přímočaře a danou rychlostí. Při naražení vln na vadu se vyslaný paprsek odráží a deformuje, tyto deformace jsme schopni zachytit pomocí přijímače a vadu detekovat. Pokud známe rychlost šíření ultrazvuku daným prostředím, jsme schopni určit, jak hluboko v materiálu se vada nachází. Ultrazvuk se nevyužívá jen k hledání vad v materiálu. S jeho pomocí se dají měřit tloušťky stěn, určovat elastické vlastnosti, případně i vnitřní pnutí v materiálu. Hlavním parametrem při použití ultrazvuku je jeho kmitočet. Jeho volba závisí na vnitřní struktuře materiálu a na tom, jaká nejmenší vada má být detekována. Čím jemnější struktura materiálu, tím vyšší kmitočet je vhodné použít. Velikosti detekované vady závisí na délce vlny kmitání. Vada musí být velká jako polovina délky vlny. Podle geometrického tvaru zkoumaného předmětu a podmínek zkoušky se používají ultrazvukové vlny podélné, příčné, povrchové a deskové.

Metody ultrazvukové defektoskopie

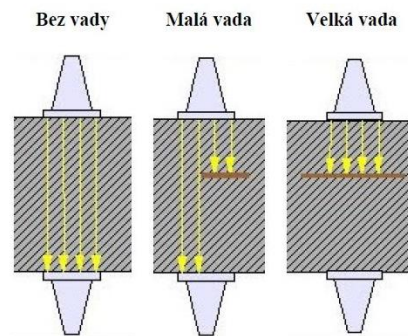
Nejrozšířenější metodou je zkouška odrazová (princip na obr. 13). Krátkodobý ultrazvukový impuls je vyslán do zkoušeného materiálu. V něm se odráží od stěn materiálu a případných vad uvnitř. Tyto odražené signály se přijímají a zobrazují na oscilografu. Na něm budou vždy vidět minimálně dva kmity, tzv. základní a koncové echo. Jedná se o odražené vlnění při vstupu do materiálu -(počáteční echo) a jeho výstupu (koncové echo). Z časové prodlevy mezi těmito echy lze určit sílu zkoumaného materiálu a to jako polovinu dráhy vypočtené z času a rychlosti šíření ultrazvuku zkoumaným prostředím. Polovina se uvažuje, jelikož signál dojde na konec materiálu, tam se odráží a putuje zpátky na povrch, kde je i přijímač. Pokud se během průchodu materiálem narazí na vadu (trhlina, dutina, atd.), část ultrazvukových vln se odráží zpět k povrchu. Na přijímač dorazí dříve než koncové echo a na oscilografu se vytvoří poruchové echo mezi počátečním a koncovým. Z prodlevy mezi echy je opět možno určit hloubku v jaké se vada nachází. Hlavní výhodou této metody je potřeba

přístupu pouze k jednomu povrchu stěny. Nevýhodou je možnost splnutí počátečního echa s poruchovým, pokud je vada na povrchu nebo těsně pod ním.



Obrázek 13 Princip odrazové metody. E_p - síla materiálu, D - vzdálenost vady od povrchu [4.2.7]

Další možností je metoda průchodová (schéma na obr. 14). Základem této metody je měření hodnoty ultrazvukové energie, která projde zkoušeným předmětem. Použití této metody vyžaduje přístup k oběma stranám zkoumaného povrchu, jelikož se používá dvojice sond umístěných souose proti sobě, z nichž jedna je vysílací a druhá přijímací. Pokud se v materiálu nachází vada, na jejím povrchu se odrážejí šířící se vlny ultrazvuku a za vadou vzniká tzv. ultrazvukový stín. Do přijímací sondy dorazí menší hodnota energie. Vyhodnocení zkoušky závisí na porovnání přijatých hodnot energie skrz neporušený a vadný materiál. [3] [5] [6] [2]



Obrázek 14 Princip průchodové metody [4.2.8]

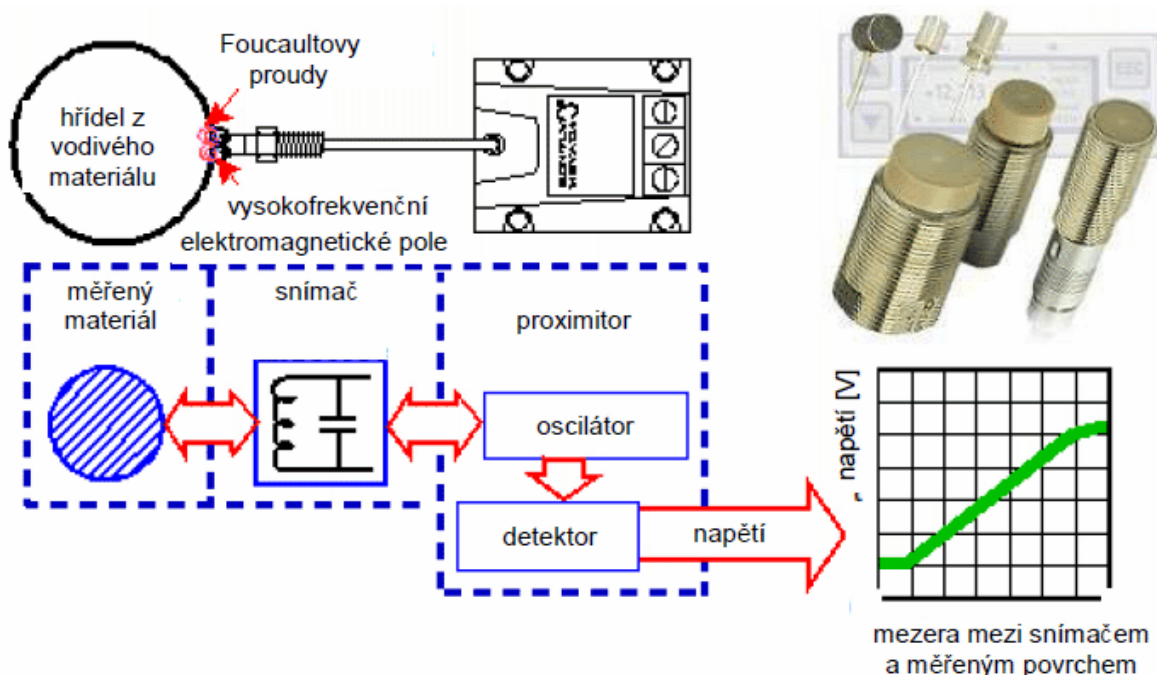
4.3 Kontrola systémů za chodu

Při údržbových odstávkách velkých a drahých strojů se dnes často provádí i hloubková kontrola pro odhalení skrytých závad a stanovení velikosti opotřebení. K tomu se nejčastěji používají právě výše zmíněné nedestruktivní metody testování a někdy i ve spojení s robotickými nosiči měřících zařízení pro usnadnění přístupu do míst, kam se člověk nedostane. Tyto již zmíněné metody zkoumají pouze stav jednotlivých dílů. Další metody stanovují stav celého systému za jeho chodu. Stroj se může nacházet ve stavu, kdy jednotlivé díly z hlediska opotřebení ještě vyhovují, ale v součtu zvětšení vůlí může vést k rozkmitávání stroje nebo zvyšování teploty v některých uzlech.

Vibrodiagnostika

Sledováním vibrací systému můžeme včasné detekovat například opotřebení ložisek, vznik nevývahy na rotačních tělesech, nebo zda se samotná konstrukce stroje nepřibližuje k rezonanční frekvenci. Pro účely měření vibrací stroje na něm musejí být vytyčena místa pro umístění akcelerometrů, často právě ložiskové domky. Akcelerometry jsou buď umístěny na stroji trvale a provádí se neustálé sledování, nebo se vždy umístí pouze při naplánované kontrole. Vibrace se dají měřit třemi způsoby. Můžeme měřit přímo velikost amplitudy kmitu. Ta se udává obvykle v mikrometrech [μm]. Dále lze měřit rychlost vychýlení. Rychlost je první derivací výchylky podle času (rychlost změny výchylky) a udává se obvykle v [mm/s]. Poslední a dnes převažující možností je měření zrychlení vychýlení. Jedná se o druhou derivaci výchylky podle času (velikost změny rychlosti) a udává se obvykle v [m/s^2] nebo v [g]. Díky matematickým vazbám mezi jednotlivými metodami je možné z jedné dopočítat zbylé dva údaje.

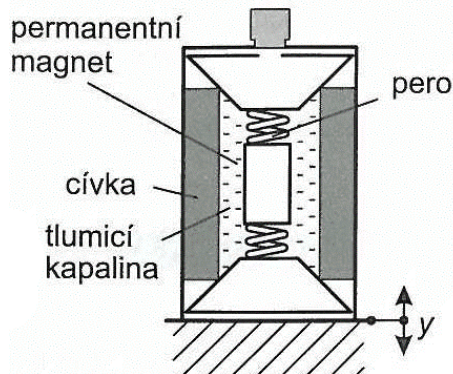
Snímače výchylky kmitajícího tělesa (schéma na obr. 15) jsou obecně založeny na indukčním, kapacitním, magnetickém nebo optickém principu. Nejčastěji se používají snímače indukční, které využívají závislost indukčnosti cívky na proudové hustotě vířivých proudů, ta se mění přiblížením nebo oddálením vodivého materiálu od sondy. Nevýhodou indukčních snímačů je citlivost na okolní vlivy jako vnější magnetické pole. Proto se vyrábějí jako integrované stíněné jednotky obsahující i část elektroniky, která převádí naměřené hodnoty do méně citlivých dat.



Obrázek 15 Blokové schéma snímače pro měření výchylky vibrací [4.3.1]

Snímače rychlosti (schéma na obr. 16) jsou principiálně obvykle založeny na měření kmitavých pohybů měřicí cívky, která se pohybuje v magnetickém poli permanentního magnetu tvořícího seismickou hmotu snímače. V cínce se při kmitavém pohybu ze sledovaného objektu indukuje elektromotorická síla úměrná rychlosti vibrací. V současné době jsou tyto senzory překonány jednoduššími, spolehlivějšími a odolnějšími integrovanými senzory zrychlení

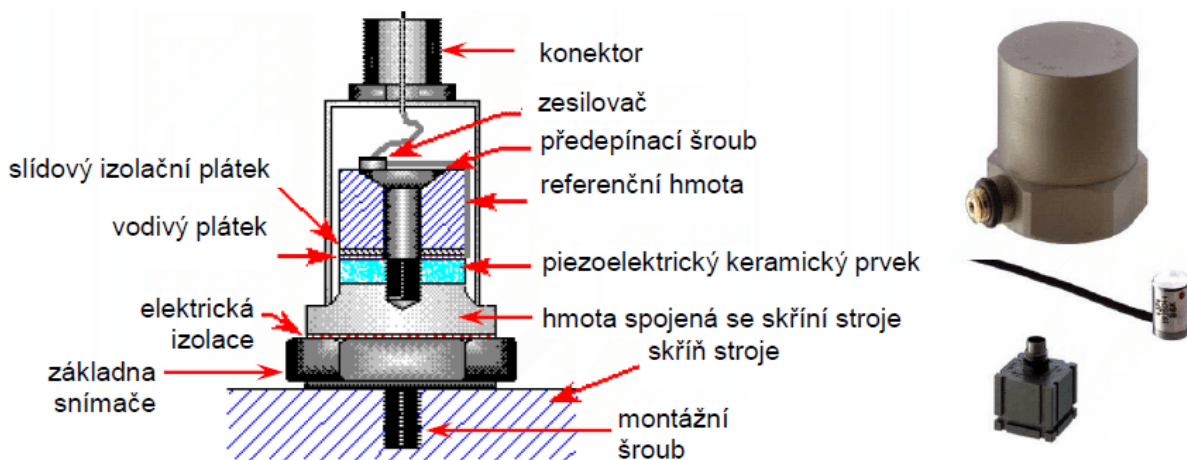
(akcelerometry). S elektrodynamickým principem se lze setkat již jen zřídka a rychlost kmitavého pohybu se určuje integrací signálu zrychlení z akcelerometrů.



Obrázek 16 Schéma senzoru pro měření rychlosti kmitání [4.3.2]

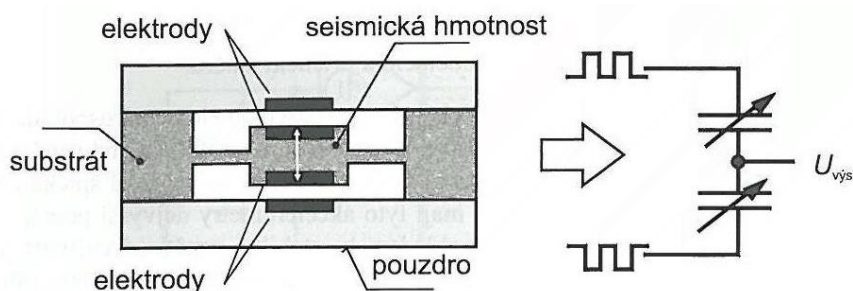
Snímače zrychlení jsou dnes ve vibrodiagnostice jedny z nejpoužívanějších. Jedná se o zařízení fungující na principu vyhodnocení setrvačných účinků působících na malou seismickou hmotu uvnitř senzoru. Pokud známe hmotnost seismické hmoty a setrvačnou sílu, která na ni působí, jsme schopni dopočítat podle Newtonova zákona zrychlení vibrací. Akcelerometry měří absolutní kmitání, jelikož referencí je nehybná setrvačná hmoty, na rozdíl od předešlých dvou metod, kdy je referencí například rám stroje, který může být ovlivněn vlastním kmitáním. U elektronických akcelerometrů se nejčastěji využívají dva principy: piezoelektrický akcelerometr a kapacitní MEMS akcelerometr. Při dnešních výrobních technologiích se akcelerometry vyrábějí velikosti součástek tištěných spojů.

Piezoelektrický akcelerometr (schéma na obr. 17) je založen na piezokrystalu, který při zatížení silou produkuje síle úměrné elektrické napětí. Sílu vyvozuje seismická hmoty, která je připevněna na krystal a působí na ní setrvačné síly. Snímače s tímto uspořádáním se vyznačují dobrou citlivostí, malou hmotností a vysokou vlastní frekvencí. Piezoelektrické akcelerometry v základním provedení jsou obvykle použitelné v pásmu od několika málo Hz až do cca 40 kHz.



Obrázek 17 Schéma piezoelektrického akcelerometru [4.3.3]

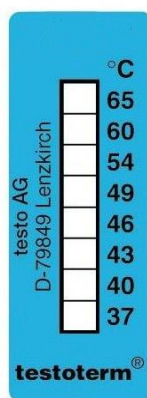
Kapacitní elektromechanické MEMS akcelerometry (schéma na obr. 18) jsou založeny na měření mechanické soustavy pomocí změny kapacity pohyblivých elektrod vůči pevným elektrodám (tj. změny kapacity desek kondenzátoru). Protože při pohybu seismické hmoty se jedna kapacita zvětšuje a druhá zmenšuje, vyhodnocuje se rovnou rozdíl hodnot kapacit. Miniaturní struktura je zabudovaná společně s analogovými a digitálními obvody vyhodnocení uvnitř integrovaného obvodu, což dohromady vytváří velmi odolný a zároveň velmi spolehlivý senzor. Tyto snímače jsou obvykle přesné a velmi citlivé, ale vhodné i pro nízké dynamické rozsahy zrychlení. Frekvenční rozsah bývá od 0 Hz až do cca 6 kHz, dynamický rozsah do cca 250 g. Také se vyznačují malými rozměry, ale jsou obvykle dražší a méně odolné na vysoké teploty než piezoelektrické akcelerometry.



Obrázek 18 Schéma kapacitního akcelerometru [4.3.4]

Kontrola teploty systému

Kontrolou teploty zařízení za jeho provozu můžeme nalézt místa, na kterých dochází k přehřívání součástí. To může poukazovat na vadu v mazacím systému, zadírající se ložisko nebo v případě kontroly elektronických součástí na vadné součástky, které se zvýšeným odporem zahřívají, případně špatné spojení vodičů. Měření teploty se provádí kontaktními měřidly nebo bezkontaktními. Ke kontaktnímu měření se používají různé teploměry od jednorázových nalepovacích pásek (obr. 19), které mění svou barvu podle teploty, přes teploměry využívající tepelnou roztažnost materiálů (bimetal, rtuť, líh), až po dnes asi nejpoužívanější termistory. Termistor (obr. 20) je součástka, která se změnou teploty mění svůj elektrický odpor. Tyto teploměry jsou umístěny na místech, kde může dojít ke zvýšení teploty kvůli závadě, například ložiskové domky, nebo teplota oběhových kapalin. Tyto zařízení opět mohou být na stroji umístěny trvale pro nepřetržité sledování.



Obrázek 19 Nalepovací jednorázový teploměr [4.3.5]



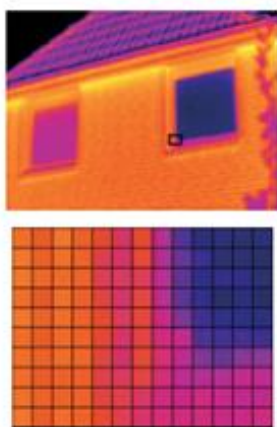
Obrázek 20 Termistorové čidlo pro měření [4.3.6]

Další možností je bezdotykové měření. Tyto přístroje využívají k měření teploty vyzářené infračervená (tepelné) záření. Základním měřidlem je pyrometr (příklad na obr. 21). Tento přístroj snímá přes optiku vyzářené infračervené záření z malé části povrchu (bodu) měřeného dílu, které dopadá na čidlo. Vnitřní elektronika vyhodnotí výsledek a zobrazí ho na displeji. Hlavní předností je rychlost, jednoduchost měření a nízká pořizovací cena přístroje. Nevýhodou je závislost přesnosti měření na vzdálenosti měřidla od měřeného povrchu.



Obrázek 20 Infračervený teploměr Voltcraft [4.3.7]

Poměrně novým bezkontaktním měřidlem teploty je termokamera (příklad na obr. 23). Ta je schopna měřit teploty v celém svém zorném poli. Infračervené záření je přes optiku přivedeno na sensorickou matici, například o rozlišení 320x240 bodů, V každém bodě je uložen údaj o teplotě a vytvoří se termogram. Termogram je v podstatě pixelový obraz (ukázka na obr. 22), který po vyhodnocení a korekci dat, znázorňuje barvou určitou teplotu podle stupnice. Hlavním parametrem termokamery je citlivost senzorů a její rozlišení, tedy velikost sensorové matice. Výhodou termokamer je velikost měřitelné oblasti, rychlost a jednoduchost měření. Nevýhodou je tzv. emisivita, schopnost povrchu vyzařovat infračervené záření. To záleží především na materiálu a jeho povrchové úpravě. Další nevýhoda je vysoká cena u přesnějších měřidel, která se pohybuje v desítkách až stovkách tisíc. Pomocí těchto zařízení, ale můžeme jednoduše a rychle zjistit teplotu na povrchu zkoumaných dílů. Tím můžeme snadno odhalit zadírající se ložisko, v případě elektroinstalace vadné součástky nebo špatné spoje vodičů mající vysoký odpor, dále pak únik horkého média z potrubí či kontrolu tepelné izolace. Na obr. 24 a 25 jsou příklady součástek, jejichž poškození je detekováno termokamerou. [7] [8] [9]



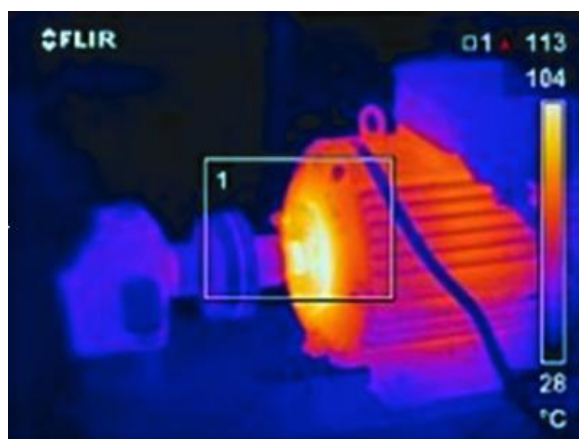
Obrázek 21 Termogram [4.3.8]



Obrázek 22 Základní termokamera Flir [4.3.9]



Obrázek 23 Poškozené elektrosoučástky detekované pomocí termokamery [4.3.10]



Obrázek 24 Poškozené ložisko zkoumané termokamerou [4.3.11]

5 Automatická a robotická zařízení pro NDT

Automatická a robotická zařízení můžeme rozdělit do dvou hlavních kategorií. První jsou jednoúčelové zařízení. Jsou to stroje zkonstruované ke kontrole jednoho druhu výrobku, aby se jeho testování zjednodušilo a urychlilo. Druhou kategorií jsou univerzální testovací stroje, různé dálkově řízené nosiče sond modulární konstrukce.

Do první kategorie patří hlavně jednoúčelové stroje sestavené na míru pro daný kontrolovaný výrobek. Vyrábějí se pro velkoobjemovou výrobu, kde je nutná kontrola každého kusu. Pro účely automatizace se používají zkoušky, které se dají provádět bez obsluhy a lze je rychle vyhodnotit. Pro tyto účely se nehodí například kapilární metody nebo prozařování rentgenovým zářením. Naopak se často využívá kontrola ultrazvukem nebo magnetické metody. U těchto metod lze vadu vyhodnotit programově a vadný díl rovnou vyloučit pro další přezkoumání. Tyto zařízení mohou být přímo zakomponovány do výrobních linek. Názorným příkladem je linka pro výrobu bezešvých nebo svařovaných trubek. Pokud se jedná o trubky pro použití v tlakových obvodech je vhodné je kontrolovat kontinuálně. K tomu slouží například magnetická zkouška vířivými proudy. Sledováním těchto proudů lze určit vady ve stěně trubky. Ukázky těchto zařízení jsou na obr. 26 a 27.



Obrázek 26 Detekce vady v trubce pomocí vířivých proudů [5.0.1]

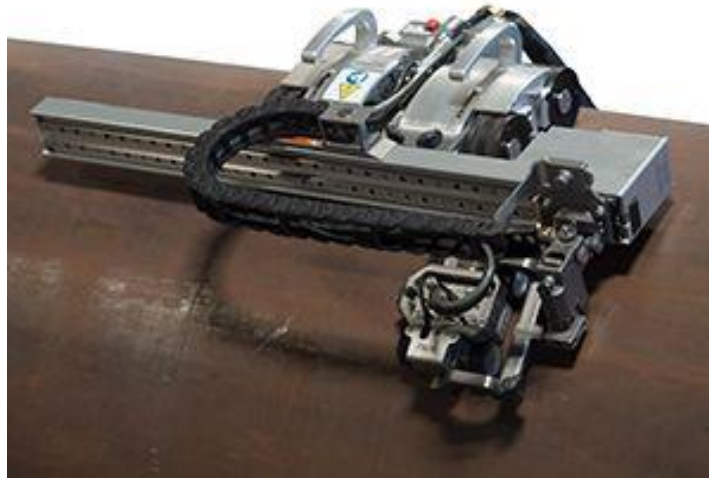


Obrázek 25 Kontrolní stolice pro průběžnou kontrolu svaru trubky [5.0.2]

Do druhé kategorie spadají naopak univerzální zařízení přizpůsobitelné různým aplikacím. Jedná se hlavně o mobilní zařízení s modulární konstrukcí pro připojení různého příslušenství. Často jsou to malé motorizované manipulátory například s magnetickými koly pro stabilní pohyb po kovových dílech i na svislých stěnách. Tyto stroje mohou být plně automatické, ale obvyklejší je varianta drátového řízení. Stroj je řízen operátorem a signály jsou přenášeny po kabelu, kterým je stroj napájen, a zároveň jsou zpět posílána data k vyhodnocení. Tento kabel sice omezuje pohyb stroje, ať už délkou nebo možností zachycení kabelu po trase jízdy. Naproti tomu manipulátor nemusí být vybaven bateriemi, uložištěm naměřených dat a řadou senzorů pro jeho samotnou navigaci. To značně zmenšuje velikost stroje, jeho hmotnost a v neposlední řadě i cenu. Tyto stroje jsou vybaveny držáky pro připojení různých sond podle potřeby. Tyto držáky jsou stavebnicové konstrukce a dají se různě kombinovat. Držáky mohou nést jednu nebo několik sond. Musí umožňovat kopírování zkoumaného povrchu, případně vyvozovat přítlak na sondu pokud to metoda testování vyžaduje. Nejpoužívanější metodou zjišťování vad u těchto zařízení je ultrazvuková defektoskopie. Ukázky těchto zařízení na obr. 28 a 29.



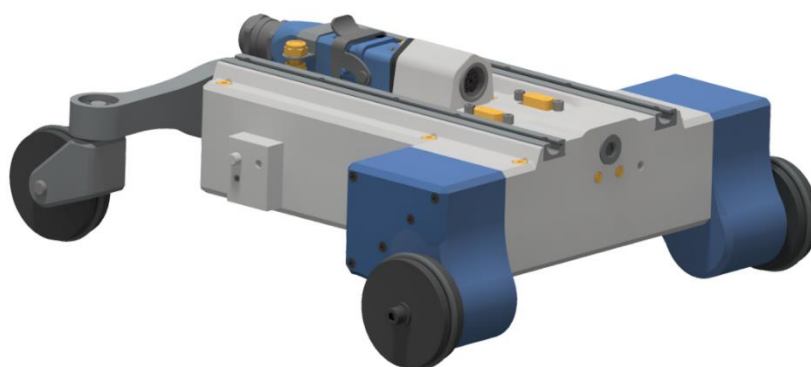
Obrázek 27 Robot SteerROVER firmy Olympus s nástabou pro kontrolu trubek[5.0.3]



Obrázek 28 Robot SteerROVER firmy Olympus s nástavbou pro plošné zkoumání poškození koroze [5.0.4]

5.1 Robot centra výzkumu Řež s.r.o., Plzeň (Ilja)

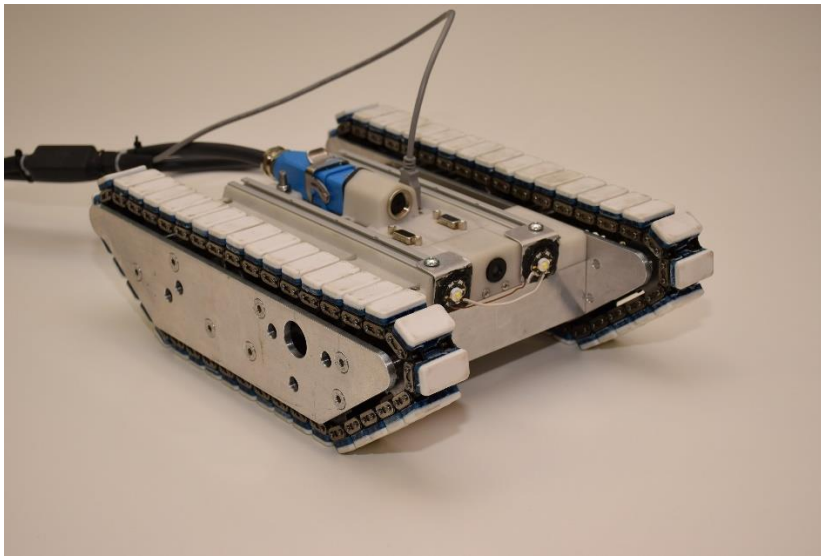
Následující části práce se zabírají návrhem držáku ultrazvukových sond právě pro robotický nosič sond. Jedná se o zařízení vyvíjené společností Výzkumný ústav Řež s.r.o. v Plzni, ta je zároveň zadavatelem práce. Jedná se o modulární platformu přizpůsobitelnou do různých prostředí a pro různé druhy testování. Základ stroje tvoří hliníkové tělo. Uvnitř je ukryta hlavní elektronika stroje a převodové motory pro pohon stroje. Výchozí podvozek je tvořen čtyřmi magnetickými koly, dvě hnané a dvě vlečné. Hnaná kola jsou pevně spojena s tělem přes převodovou skříň. Každé kolo má svůj motor, to umožňuje otáčení stroje. Vlečená kola jsou ložena otočně na výkyvné nápravě, aby bylo zajištěno kopírování povrchu. Tento magnetický podvozek může být nahrazen podvozkem pásovým, kdy po odejmutí hnacích kol a výkyvné zadní nápravy, se z boku dají přidělat nástavby s pásy. Robot s magnetickým podvozkem je ukázán na obr. 30, s pásovým podvozkem pak na obr. 31.



Obrázek 29 Robotický nosič sond s magnetickým podvozkem

V horní části těla stroje se nachází dvojice prizmatických ližin sloužících pro připojení příslušenství. Dále jsou zde vývody pro napájení a přenos dat z měřících sond případně dalších zařízení. Na vrchu v zadní části zařízení je umístěn konektor pro připojení hlavního vodiče, přes který je stroj napájen, řízen operátorem a jsou odesílána naměřená data. V přední části

stroje je vytyčeno místo pro kameru. Obraz z kamery je posílán operátorovi, který podle něho řídí vlastní pohyb stroje.



Obrázek 30 Robotický nosič sond s pásovým podvozkem

Návrh držáku ultrazvukových sond

Cílem praktické části je vytvořit konstrukci držáku ultrazvukových sond na robotický manipulátor pro účely NDT inspekce na těžko přístupných místech. Držák je příslušenství pro výše popsany robotický manipulátor. Výstupem bude model držáku a výkresová dokumentace.

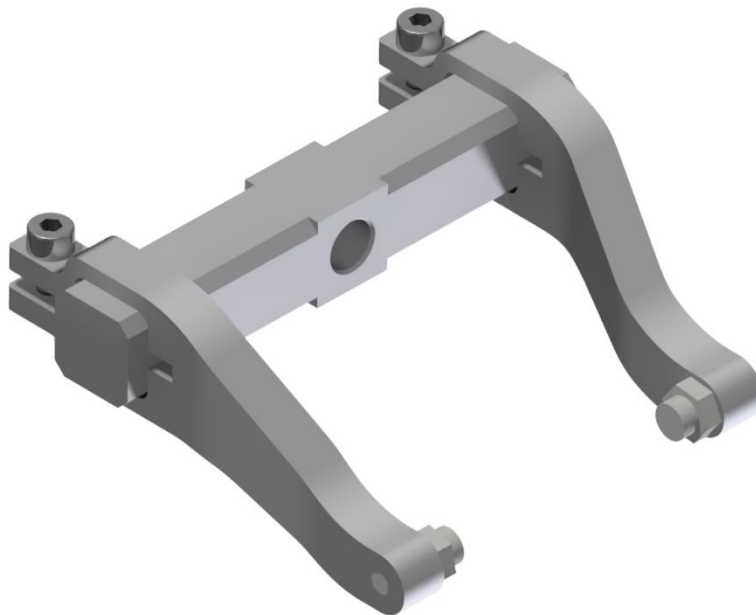
5.2 Požadavky na zařízení

Zařízení je určeno pro nošení ultrazvukových sond umístěných v předsádkách. Požadavkem zadavatele je uchycení předsádky se sondou pomocí rotační vazby, která dovoluje vykývnutí sondy, a to pomocí dvojice čepů umístěných proti sobě. Toto upnutí vychází z konstrukce předsádek. Držák musí umožnit snadnou a rychlou výměnu sondy. Upínané sondy jsou široké od 10 mm do 50 mm a šířka musí jít měnit plynule. Dále musí upínač zajistit kopírování zkoumaného povrchu. Sonda musí mít umožněn kývavý pohyb ve dvou osách, vodorovných se zkoumaným povrchem, a posuvný pohyb podél osy kolmé na zkoumaný povrch. Dalším požadavkem je vyvození přítláčné síly, která udržuje v kontaktu sondu a zkoumaný povrch. Velikost přítláčné síly se pohybuje okolo cca 25 N. Dalším požadavkem je umístění sondy co nejbližší k tělu manipulátoru pro snazší detekci polohy vady. Jedním z hlavních požadavků je navrhnutí mechanismu, který bude umožňovat zvednutí a spuštění sondy na zkoumaný povrch. Celé zařízení musí být připojitelné k manipulátoru přes dvojici prizmatických ližin v horní části stroje a nesmí kolidovat s dalšími částmi stroje. Držák by měl být co nejjednodušší, nízké hmotnosti a snadno na/de-montovatelný. Zařízení je primárně určeno pro použití s ultrazvukovými sondami, ale není vyloučena možnost budoucího použití pro jiné aplikace. Proto by měla být konstrukce alespoň částečně modulární.

5.3 Držák sondy

První částí návrhu je vytvoření upínací části pro ultrazvukové sondy. Jedná se o koncovou část držáku (obr. 32 a 33, náčrtek na obr. 34), která musí zajistit kopírování zkoumaného povrchu a vyvozovat přítlak sondy k povrchu. Upínací systém sond je daný zadavatelem. Jedná se o dvojici čepů z boku zasunutých do předsádky se sondou. Jelikož má být koncový držák plynule stavitelný pro šířky sond od 10 mm do 50 mm, jeho návrh byl omezen na jednoduchý nosník nesoucí dvojici ramínek opatřenými závity pro čepy držící sondy a svěrným spojem k upevnění na nosník. Přenos sil zajišťuje čtvercový profil nosníku. Svěrný spoj zajišťuje jeho polohu. Svěrná síla je vyvozena šroubem M4 s vnitřním šestihranným vybráním. Obě ramínka jsou vyhnutá směrem dovnitř z důvodu upnutí sondy o šířce 10 mm, jelikož sonda je užší, než potřebný prostor pro rotační uložení nosníku. Tedy je nelze k sobě po nosníku přisunout dostatečně blízko. Ramínka jsou také vyhnuta směrem dolů pro vytvoření prostoru při pohybu sondy, aby nedošlo k dotyku nosného ramínka se zkoumaným povrchem.

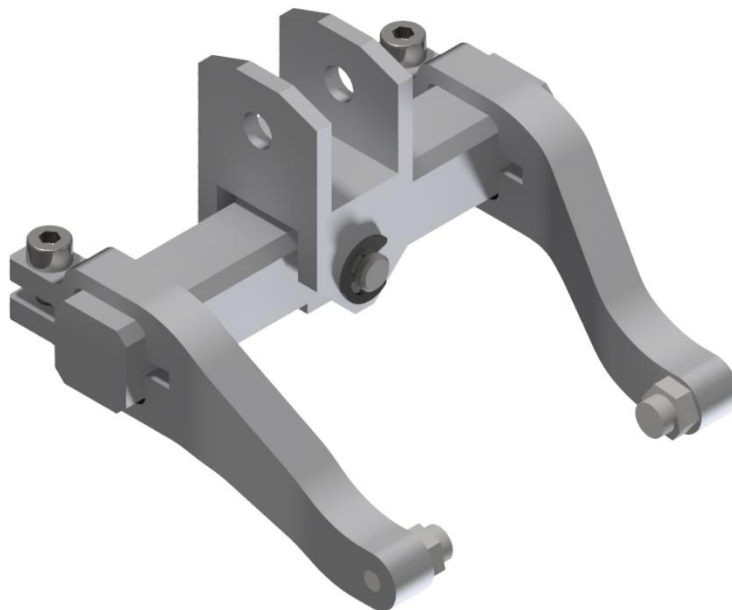
Tento systém umožňuje snadnou výměnu sond. V případě potřeby je možné vyměnit snadno celý nosník za delší, nebo jinak upravený držák. Podmínkou je zachování připojovacích rozměrů. To samé platí o ramínkách držících samotnou předsádku sondy. V případě zachování rozměrů svěrného spoje je možné ramínka vyměnit za jiná. Otvor ve středu nosníku je připraven pro rotační uložení celého nosníku. Rotační vazba v čepch sondy a na ní kolmá rotační vazba celého nosníku umožňuje kopírování zkoumaného povrchu. Pro správné kopírování musí být ještě umožněn pohyb ve směru kolmém na zkoumaný povrch. To zajistí odpružení držáku, které vytváří požadovanou přítlačnou sílu a je řešeno v další části práce. Materiál pro konstrukci byla zvolena hliníková slitina EN AW 6060 –AlMgSi0,5. Jedná se o slitinu s dobrou korozní odolností, je vhodná pro obrábění. Mez kluzu $R_{p0,2}$ se pohybuje kolem 160 MPa. Jedná se o slitinu dostupnou v řadě polotovarů tyčí, trubek, plechů a dalších.



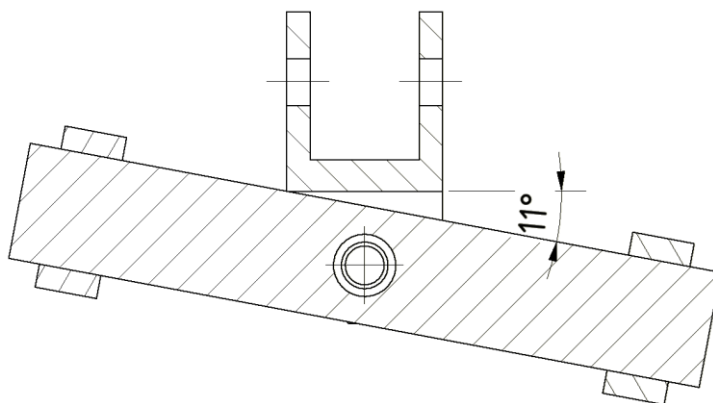
Obrázek 31 Nastavitelný koncový držák sondy

Konstrukce držáku je doplněna o kříž umožňující kývavý pohyb celého nosníku, jako omezení kývavého pohybu slouží vlastní kříž, kde se opře čtyřhranný nosník o část spodní vidlice kříže. Výkyv je omezen na 11° na obou stranách. Tato varianta byla zvolena kvůli úspoře místa vedle

držáku, jeho výškou nejsme nijak omezeni. Výhodou této konstrukce je absence dalších částí pro zamezení protáčení na čepu, které by bylo nežádoucí při zvednutí sondy. Horní část křížové části je připravena pro mechanismus vyvozující přítlak na sondy.

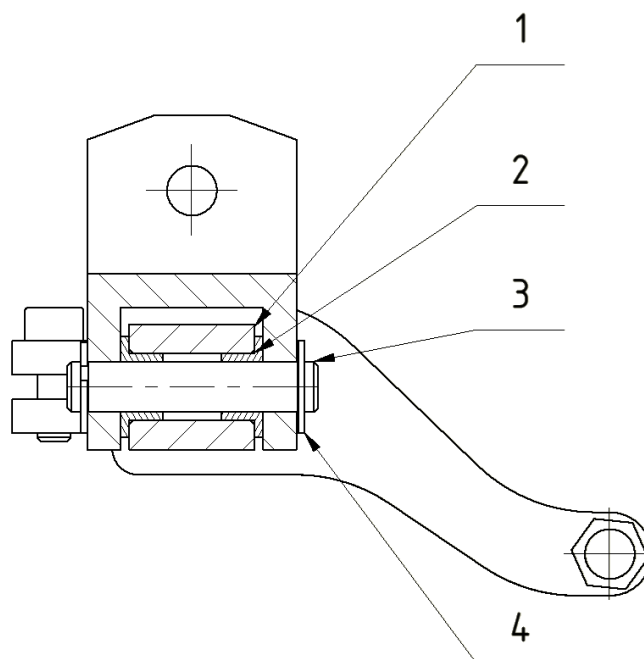


Obrázek 32 Pohled na celkovou sestavu koncového držáku



Obrázek 33 Řez držákem sondy zobrazující koncovou polohu výkyvu

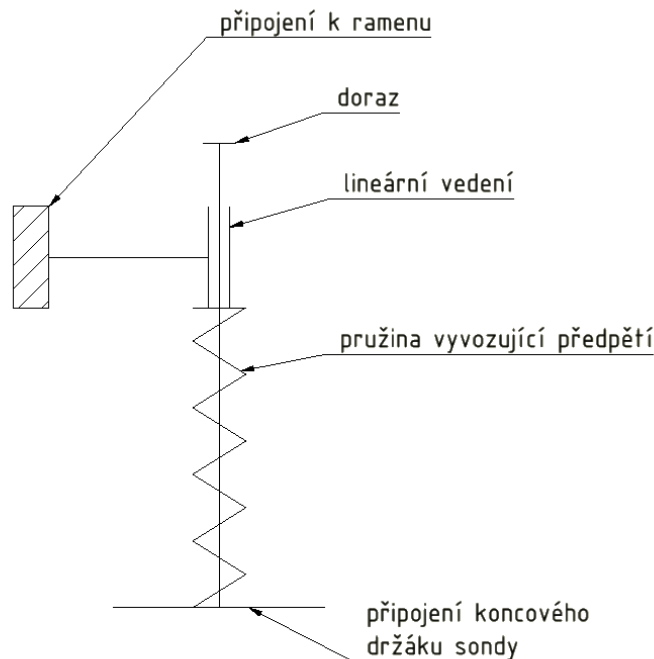
Rotační uložení je provedeno pomocí kluzných pouzder. Byla zvolena plastová samomazná přírubová pouzdra GFM-0608-05 od firmy Henlich z materiálu iglidur G. Jedná se o univerzální materiál pro střední zatížení. Vyznačuje se vysokou otěruvzdorností, odolností vůči prachu a nečistotám, použitelný v teplotách od -40 do $+130$ °C. Přírubová pouzdra vytvoří třecí plochy i mezi čelními plochami součástí a vymezí je vůči sobě, to sebou nese nevýhodu nutného obrábění čelních ploch. Jako další možnost by se nabízelo použití kuličkových nebo jehličkových ložisek. Ty ale mají vůči kluzným pouzdrům větší zástavbové prostory a složitější zajištění polohy. Další nevýhodou může být domazávání ložisek s valivými elementy. Jako čep je použita kruhová ocel KR 6 v toleranci h6. Jedná se o broušené vodící tyče. Zajištění je pomocí dvou pojistných kroužků. [10]



Obrázek 34 Řez rotačním uložením nosníku. Poz. 1 - nosník ramínek, Poz. 2 - kluzné pouzdro, Poz. 3 - Čep, Poz. 4- Pojistný kroužek

Další částí návrhu je mechanismus k vytvoření přítlačné síly na sondu. Tato síla zajistí kontakt sondy se zkoumaným povrchem a umožňuje kompenzaci výškových nerovností. Přítlačná síla se má pohybovat okolo 25 N. K vyvození předpětí na sondu je nutné využití pružného elementu. Těch se nabízí široká škála od klasických vinutých pružin přes pryžové silentbloky až po různé plynové vzpěry. Vzhledem k malé potřebné síle a minimálnímu zástavbovému prostoru zůstávají ve výběru vinuté pružiny a silentbloky. Plynové vzpěry jsou pro tuto aplikaci příliš velké a těžko zakomponovatelné.

Jako hlavní dvě varianty návrhu byly použity tlačná šroubová pružina ve spojení s lineárním vedením a zkrutná pružina ve spojení s rotační vazbou. Obě varianty jsou schopny vyvodit požadovaný přítlak na sondu a umožnit pohyb ve směru kolmém ke zkoumanému povrchu. Obě varianty potřebují prostor nad držákem sond a ne vedle něho, což je žádoucí kvůli malému zástavbovému prostoru okolo držáku, naproti tomu výškou nijak limitováni nejsme.



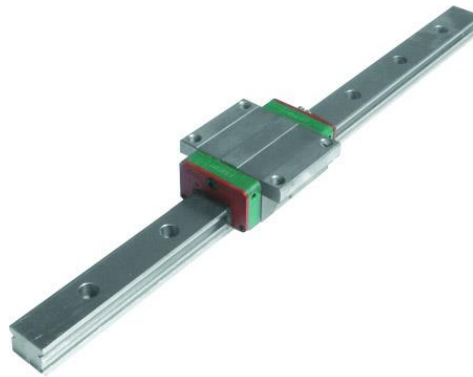
Obrázek 35 Schéma přítlačného mechanismu s tlačnou šroubovou pružinou

Na schématu výše (obr. 36) je vidět princip mechanismu s tlačnou šroubovou pružinou. Do koncového držáku sondy jsou ukotveny vodící tyče, které jsou na hoře propojeny dorazem. Rameno, které drží celé zařízení, je zobrazeno jako pevná vazba. Na tomto rameni jsou ukotveny vodící pouzdra, mohou být použita samomazná kluzná nebo kuličková (obr. 37).



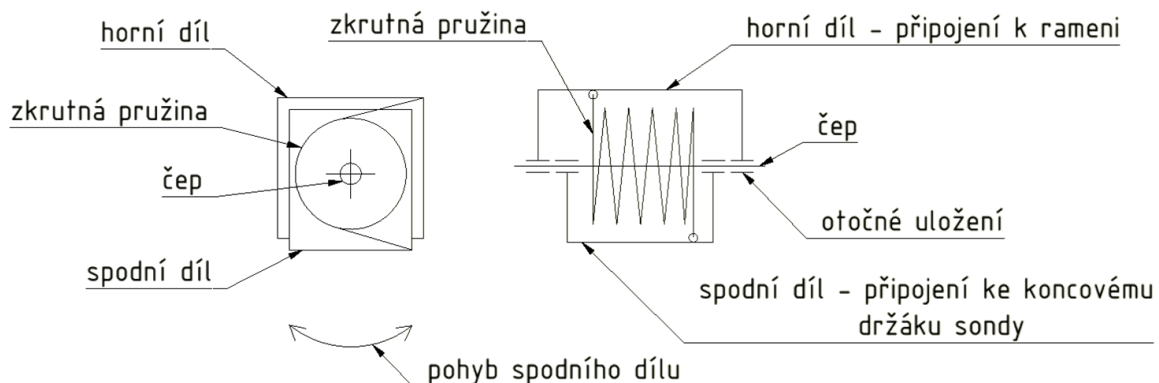
Obrázek 36 Lineární kuličkové ložisko [5.3.1]

Skrz tato pouzdra prochází vodící tyče. Na vodících tyčích jsou nasunuty pružiny, které svým stlačením vyvodí předepínací sílu. Na horní části tyče je nutné umístit doraz, aby nedošlo k vyjetí držáku z vedení při jeho zvednutí. Při použití kruhových vodících tyčí a pouzder je nutné použít alespoň dvě, aby se zamezilo točení držáku kolem osy vodící tyče. To lze vyřešit například použitím kolejnicového vedení (obr. 38). To používá tvarovou lištu a vozík buď s kluzným, nebo kuličkovým ložem. Vozík by byl připevněn k hlavnímu rameni a vodící kolejnice na koncovém držáku. Tyto vozíky jsou ale poměrně velké a nákladné. Výhodou této varianty je přímý pohyb sondy nahoru a dolů a stálá velikost přítlačné síly při změně koncové části držáku. Nevýhodou je velikost zařízení a při maximálním vysunutí zvětšující se páka na vodící pouzdra.



Obrázek 37 Kolejnicové vedení s kuličkovým vozíkem [5.3.2]

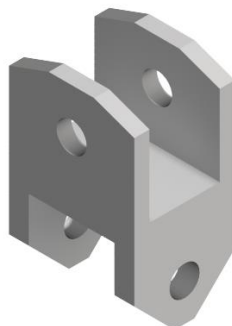
Druhá varianta využívá zkrutné pružiny a kroutícím momentem vyvozuje přítláčnou sílu na sondu přes páku o délce ramínek držáku. Celý spodní držák je otočně uložen. Na schématu níže (obr. 39) je vidět návrh provedení této varianty.



Obrázek 38 Schéma přítláčného mechanismu se zkrutnou pružinou

Celý mechanismus je založen na dvou součástech propojených rotační vazbou. Na čep vytvářející rotační vazbu je nasunuta zkrutná pružina. Ta je svými rameny opřena do těchto dvou dílů a vyvozuje na ně sílu, která otáčí součástmi vůči sobě. Výkyv obou dílů je omezen tvarem jednoho z hlavních dílů, jenž má zkosenou vrchní část a v krajních polohách se opře o druhou součást. Omezení výkyvu je důležité při zvedání a spouštění sondy na měřený povrch. Pokud by nebyl výkyv omezen, při zvednutí se může držák přetočit do pozice, kdy by nebylo možné opětovné spuštění sondy. Tato varianta obsahuje méně pohyblivých částí než varianta s tlačnou pružinou. Tato varianta nevyžaduje lineární posuvné vedení, se kterým mohou být časem problémy (opotřebení, koroze, mazání). Dále zabírá podstatně méně místa než první varianta. Nevýhodou je proměnná přítláčná síla, neboť se zmenšuje se zvětšující se délkou ramínek držících vlastní sondu. Druhou nevýhodou je pohyb po kružnici, kdy dojde při vykývnutí držáku k posunu sondy do strany. Výhodou této varianty je malý zástavbový prostor a při vhodném návrhu rotačního uložení je i bezúdržbová.

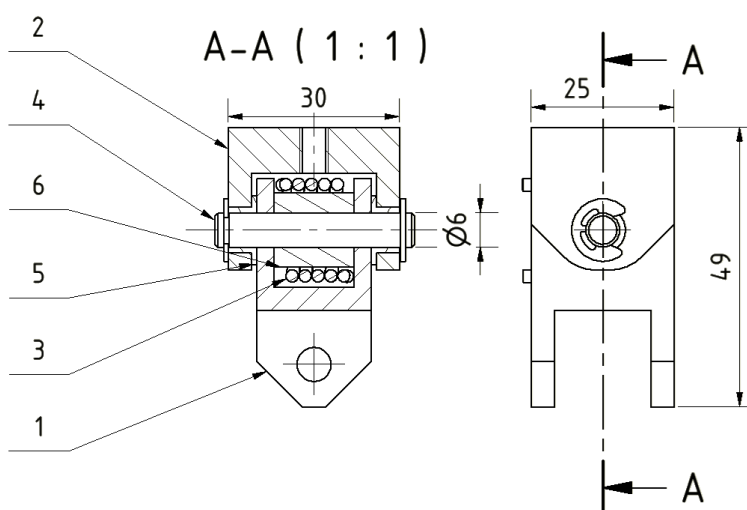
Vzhledem k malé velikosti a jednoduchosti byla použita druhá varianta. Konstrukce přítlaku byla propojena s koncovým držákem sondy pomocí křížové vidlice. Ta umožňuje spodní části kývavý pohyb nosníku se sondou a v horní části vytváří spodní část přítlačného mechanismu. Tento křížový díl je vidět na obrázku 40.



Obrázek 39 Křížová vidlice

Potřebná síla vyvozená zkrutnou pružinou se odvíjí od požadované přítlačné síly a délky ramínek držící sondu. Přítlačná síla je požadována okolo 25 N a délka ramínek od středu čepu sondy na střed otáčení držáku je 50 mm. Z toho vychází potřebný krouticí moment zkrutné pružiny a to 1250 Nmm. Z tohoto údaje lze pomocí výpočtu přesně navrhnout pružinu. Pružiny se běžně vyrábějí na zakázku podle vytvořené dokumentace. V tomto případě, kde není přítlačná síla vyžadována v přesném rozsahu, lze využít sériově vyráběné pružiny. Ty jsou vyráběny v řadách, různých průměrů pružiny, síly drátu, vyvozované síly a stlačení. Pro tento případ hledáme kompaktní zkrutnou pružinu vyvozující krouticí moment minimálně 1250 Nmm. Její ramena jsou při pracovním zatížení ve vodorovné poloze a pracovní úhel je 90°. Pružina vyhovující těmto parametrům byla nalezena v sortimentu firmy Essentra components. Jedná se o pružinu z nerezového drátu o průměru 2,16 mm, vnější průměr pružiny je 18,16 mm, délka je 12,42 mm a krouticí moment je 1356 Nmm. Pružina bude muset být pro použití upravena. Je nutné zkrátit její ramena, která jsou z výroby ponechána dlouhá 63mm.

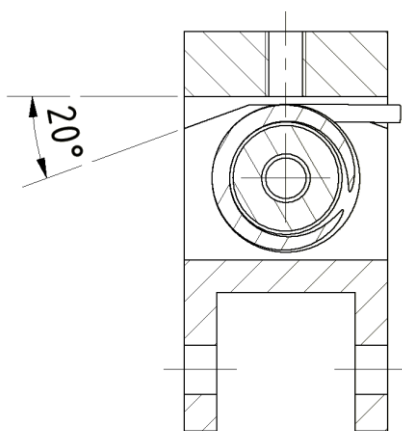
Od velikosti pružiny se odvíjí i velikost ostatních komponent jelikož pružina je umístěna na čepu mezi nimi.



Obrázek 40 Řez mechanismem vytvářejícím přítlačnou sílu

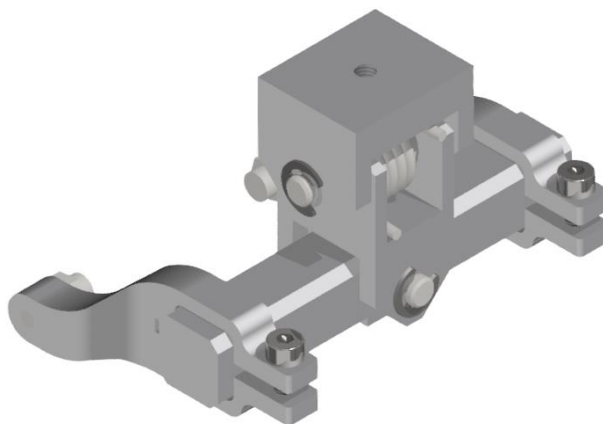
Na předchozím obrázku 41 je řez návrhem dílu. Pozice 1 je křížová vidlice spojující koncový držák s mechanismem vytvářejícím předpětí. Pozice 2 je horní vidlice, která slouží jako pevná část. Pomocí závitu M5 a tvarového styku je připevněna k dalšímu rameni. Pozice 3 je výše popsaná zkrutná pružina. Její ramena jsou opřena o pozice 1 a 2 a přenášejí na ně sílu. Pozice 4 označuje čep, opět z broušené ocelové kruhové tyče KR 6 h6, zajištěný dvojicí pojistných kroužků. Lepší kluzné vlastnosti v rotační vazbě dílů zajišťuje dvojice kluzných samomazných ložisek GFM-0608-05, jež jsou označeny pozicí 5. Jedná se o stejná pouzdra, která byla popsána již dříve u koncového držáku sondy. Pod pozicí 6 se nachází polyamidové pouzdro pro vymezení vůle mezi pružinou a čepem.

U tohoto prvku je opět nutné omezení úhlu natočení. Úhel je omezen na 20° na obě strany zkosením horní části křížové vidlice, ta se při maximálním vykývnutí opře o horní pevnou část, viz obrázek 42 níže.

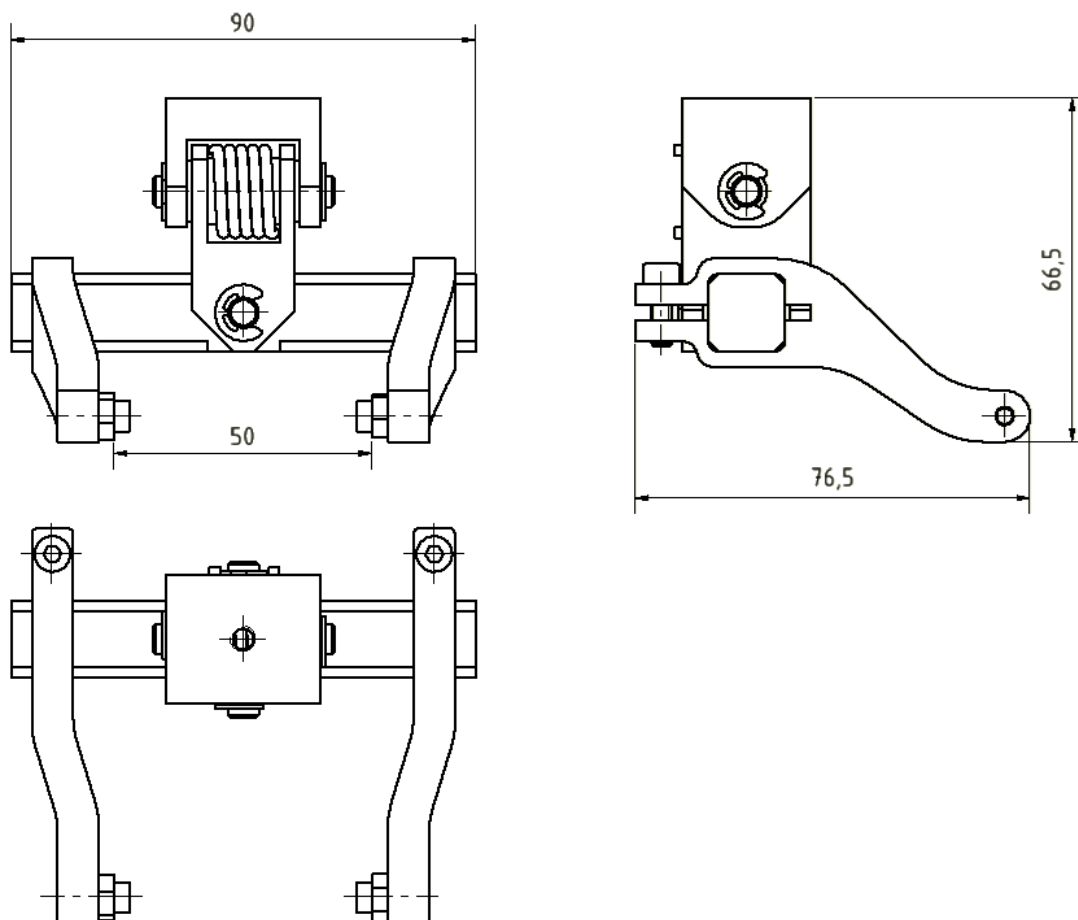


Obrázek 41 Řez přítlačným mechanismem

Na dalších obrázcích (43, 44) je vidět celková sestava koncového držáku. Jedná se o velmi kompaktní variantu. Použitím hliníkové slitiny se váhy dostala na 0,16 kg. V případě použití oceli by se váha dostávala k 0,5 kg. V horní části je vidět otvor se závitem M5. Ten slouží pro připojení celého koncového držáku k zdvihacímu rameni, které je řešeno v dalších částech práce. Samotný držák bude připojen pomocí tvarového styku, šroub slouží pro zajištění.



Obrázek 42 Izometrický pohled na celkovou sestavu koncového držáku



Obrázek 43 Základní rozměry koncového držáku

5.4 Zdvihací mechanismus

Druhou hlavní částí je zdvihací mechanismus sondy. Toto zařízení musí být schopné zvedání a spouštění sondy na měřený povrch a vyvodit předepínací sílu na sondu. Pro uvedení do pohybu lze použít různé mechanismy - ozubené převody, páky, hydraulické či pneumatické válce. Vzhledem k použití na robotické platformě, která nedisponuje zdrojem tlakové kapaliny ani vzduchu, zůstává použití elektrické energie k vytvoření hybné síly pomocí elektromotorů. Zařízení disponuje stabilizovaným napětím 3,3 a 5 V pro pohon motorů kol se využívá napětí 12 V. Pro vyvození dostatečné síly bude použito napětí 12 V. Při tomto napětí je k dispozici řada použitelných motorů, například klasické stejnosměrné motory v kombinaci s převodovkou, různé servomotory a krokové motory. Před vybráním pohonu je nutné navrhnout samotný mechanismus zdvihání.

Základem zařízení je platforma připojitelná k vrchu manipulátoru přes dvojici prizmatických lišt, ve kterých jsou vsunuty speciální matice, a zařízení je pomocí šroubů přitaženo k vrchu ližin. Tato platforma musí umožňovat přístup ke konektorům umístěným na vrchu těla manipulátoru a přístupu k hlavnímu konektoru, který je umístěn ve středu v zadní části a slouží pro připojení svazku vodičů pro ovládání a napájení. Napájecí kabel v kombinaci s výkyvnou nápravou vytváří hlavní překážku pro umístění koncového držáku sondy, navrženého výše, za samotný stroj. Kabel je těžko ohebný a je nutný jeho volný pohyb za strojem. Jelikož v kombinaci s magnetickým podvozkem může stroj jezdit i na kolmých

stěnách, hlavní vodič se vyhne směrem k zemi. Proto je nutné se zdvihacím mechanismem buď kabelu vyhnout, nebo vytvořit dostatečně tuhou konstrukci, které tento kontakt nebude vadit. Další variantou je umístit koncový držák před vozítko. Zde ale koliduje s kamerou, podle které je stroj navigován. V tomto případě by zvedací mechanismus s koncovým držákem sondy nesměl zasahovat do jejího zorného pole, ať ve zdvižené nebo spuštěné poloze. V ideálním případě je řešení pro montáž v obou polohách podle potřeby aplikace. Na základní platformě bude upevněn samotný zdvihací mechanismus. Jak je napsáno výše, musí se vyhnout některým kritickým částem manipulátoru. Mechanismus musí zajistit zvedání a spuštění sondy, být dostatečně tuhý a držet sondu ve stejné poloze. Jelikož pohon mechanismu bude elektrický, měl by držet svou polohu i po ztrátě napětí. Z toho vyplývá použití aretačních pojistek nebo použití samosvorného pohonného prvku. Na konci zdvihacího mechanismu musí být vytvořeno připojení pro koncový držák sondy, případně mezikus mezi tyto dva prvky.

Návrh zdvihacího mechanismu

Pro konstrukci zdvihacího zařízení se nabízí mnoho variant. Jistou podobnost s řešeným problémem můžeme nalézt například u různých vysokozdvizných vozíků, manipulátorů a nakladačů (obr. 45-47).



Obrázek 45 Manipulátor [5.4.1]



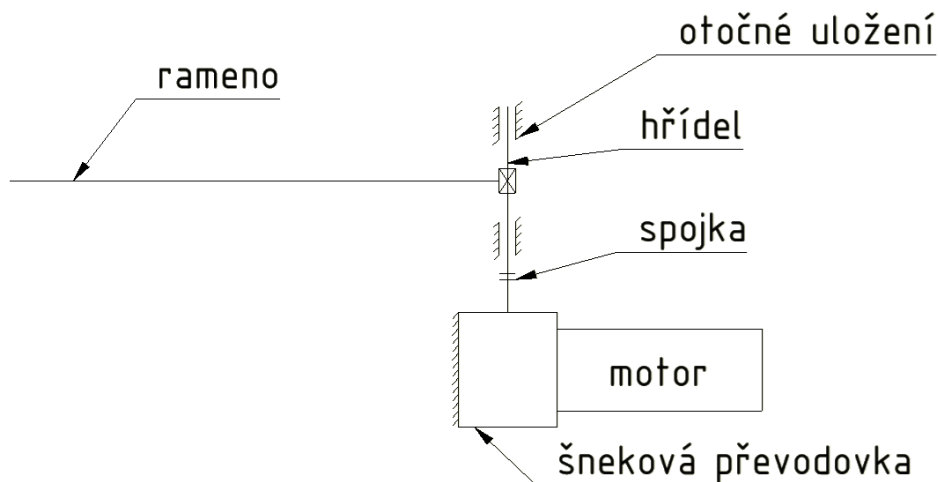
Obrázek 446 Vysokozdvizný vozík [5.4.2]



Obrázek 467 Čelní nakladač [5.4.3]

Tyto principy lze s úpravami aplikovat i pro řešení zadaného problému. Výše zobrazené stroje využívají jako zdroj síly hydraulické válce, které poskytují velkou sílu. To je pro účel zdvihání sondy nepotřebné, jelikož největší síla je pro vyvození předpětí na sondu, a to 25 N a dále je nutné zahrnout sílu potřebnou pro pohyb mechanismu. Další překážkou je nevýhodnost aplikace zdroje tlakové kapaliny na malou robotickou platformu. Vhodný pohon je elektrický motor na 12 V. Při návrhu je žádoucí použití samosvorného pohonu, jelikož udržuje polohu i při ztrátě přívodní energie a nepotřebuje další zařízení, které by tuto funkci zastávalo při použití pohonu nesamosvorném. Z toho vychází jako vhodné použít pohybový šroub nebo šnekovou převodovku.

První varianta návrhu je použití jednoduchého otočně uloženého ramena na základní platformě v kombinaci se šnekovou převodovkou. Vývodová hřídel převodovky je umístěna v ose hřídele ramena a je spojena spojku, viz následující schéma na obr. 48.

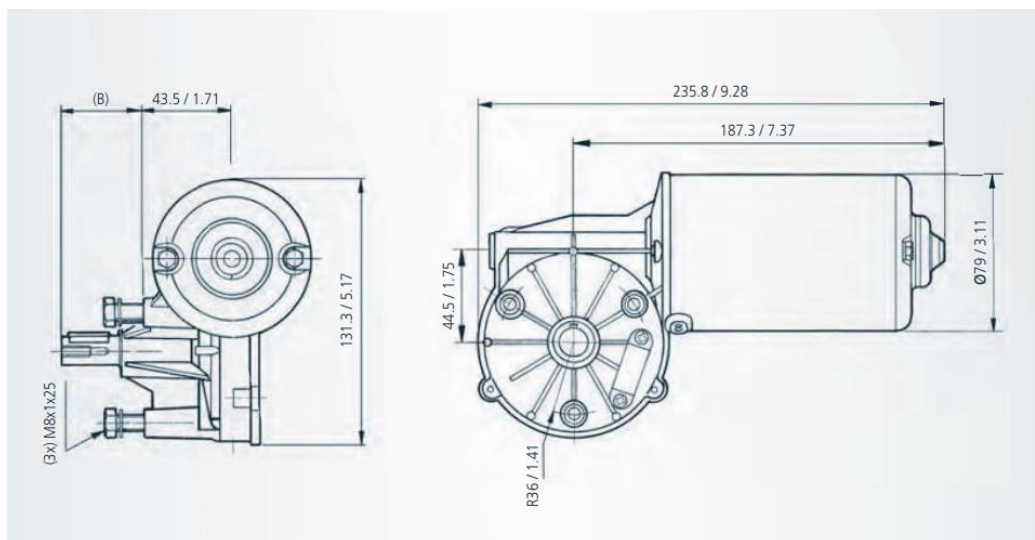


Obrázek 47 Základní schéma první varianty - pohled shora

Pokud bude platforma umístěna na zadní části stroje, aby nezakrývala konektory, a držák na sondu před vozidlo, kde nebude překážet přívodnímu kabelu, je nutné umístit rameno dlouhé alespoň 200 mm po straně stroje. Přítlačná síla je požadována okolo 25 N. Pro hrubý návrh je uvažována potřebná síla 80 N, jelikož může být v budoucnu použita jiná sonda, která bude požadovat vyšší přítlak, případně může být použit jiný koncový držák s vyšší hmotností. V tomto případě se moment, který musí šneková převodovka vytvořit, rovná:

$$M_k = F \cdot l = 80 \cdot 0,2 = 16 \text{ Nm}$$

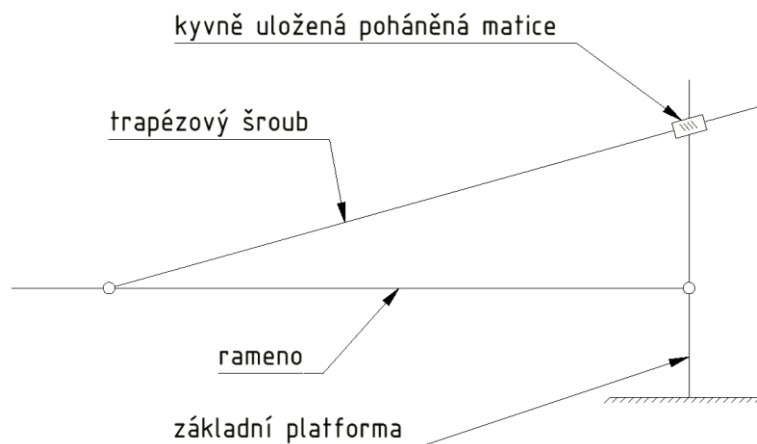
Pro takovýto krouticí moment se obtížně nachází sériově vyráběná elektropřevodovka na 12 V. Jednou z možností je elektropřevodovka od firmy Doga DO 258.3710.20.00, která generuje krouticí moment 15 Nm při 25 ot/min. Jelikož ale pohyb ramene je potřeba v rozsahu maximálně třiceti stupňů, tato dráha by byla dosažena během několika desetin vteřiny. Tato rychlost je příliš velká. Další nevýhodou je velikost tohoto převodového motoru vůči podvozku a váží 3 kg. Navíc jeho cena se šplhá k 9000 Kč. [11]



Obrázek 48 Elektropřevodovka Doga DO 258.3710.20.00 [5.4.4]

Vhodnější variantou je použití vícestupňového převodu. Například použití motoru s planetovou převodovkou a následnou šnekovou převodovkou. Motorů s integrovanou planetovou převodovkou se na trhu objevuje široký sortiment, ale šnekovou převodovku je nutné zkonstruovat na míru, aby bylo dosaženo vhodné síly a rychlosti při použitelném odběru elektrické energie. I tak by se jednalo o poměrně velké a těžké zařízení.

Druhou variantou je obdoba první. Rameno je opět otočně ukotveno v základní platformě a je vedeno bokem, dopředu před stroj. K pohonu je ale využito elektromotorek s převodem na pohybový šroub. Pohybový šroub je uložen nad ramenem a vytváří s ním trojúhelník. Princip je znázorněn na schématu níže (obr. 50).



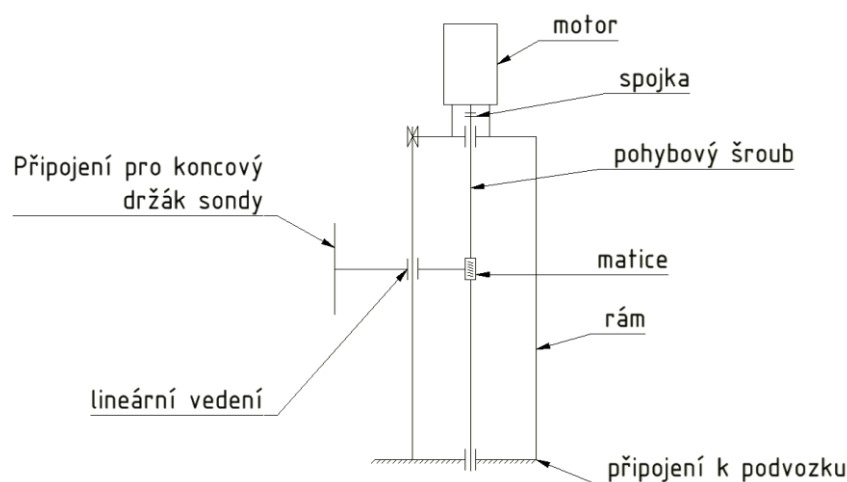
Obrázek 49 Základní kinematické schéma varianty 2 - pohled z boku

Pohybový šroub je schopen vyvodit poměrně velké síly při malém vstupním výkonu. Potřebná síla ve šroubu vytvoření síly $F_1=80$ N na konci ramene, pokud bude rameno dlouhé 200 mm a úhel mezi ramenem a šroubem $\alpha=15^\circ$ je větší než $F_2=309$ N.

$$\sin \alpha = \frac{F_1}{F_2} \Rightarrow F_2 = \frac{F_1}{\sin \alpha} = \frac{80}{\sin 15} = 309 \text{ N}$$

Rychlost pohybu lze upravit výběrem stoupání šroubu a otáček na vstupu. Lze ho zkombinovat s krokovým motorem nebo klasickým stejnosměrným motorem s převodovkou. Při použití krokového motoru je výhoda nepotřeby koncových dorazů, jelikož se nechá potřebná dráha šroubu přepočítat na kroky motoru, které se nechají řídit. Pro tento typ pohonu by lze s výhodou použít například zdvižná miniprevodovka. Jedná se o malý komplet stejnosměrného motorku, převodovky a trapézové matice. V tomto případě musí šroubový mechanismus vyvodit poměrně velkou sílu, jelikož ramena mechanismu spolu svírají ostrý úhel. Rozkladem sil na konci ramena je pouze malá část síly využita ke zdvihání ramena.

Třetí varianta je obdobou svislého suportu obráběcího stroje. Základní platforma je tentokrát umístěna v přední části podvozku. V ní jsou ukotveny vodící sloupky. Po těchto sloupkách pojíždí pomocí vodících pouzder (kluzných nebo kuličkových) vozík, který má na sobě připraveny upínací prostředky pro koncový držák sondy. Pohyb vozíku je opět zajištěn pohybovým šroubem, který zajistí samosvornost. V horní části základní platformy zařízení je ukotvena druhá strana vodících sloupků a je zde uložen motor pro pohon šroubu. Zde je možné opět s výhodou použít krokový motor. Jelikož u této varianty není potřeba velké síly, lze krokový motor pomocí spojky připojit rovnou na šroub. V případě klasického stejnosměrného motoru je nutné jeho otáčky zredukovat převodovkou, například planetovou. Matice pohybového šroubu je pevně uložena v pohyblivém vozíku. Otáčením šroubu dochází k pohybu vozíku nahoru a dolů. Výhodou této varianty je potřeba malé pohonné síly, která je téměř rovná síle vyžadované na konci ramena zvýšené o ztráty ve vedení a dalších dílech. Základní schéma je zobrazeno na obrázku 51.



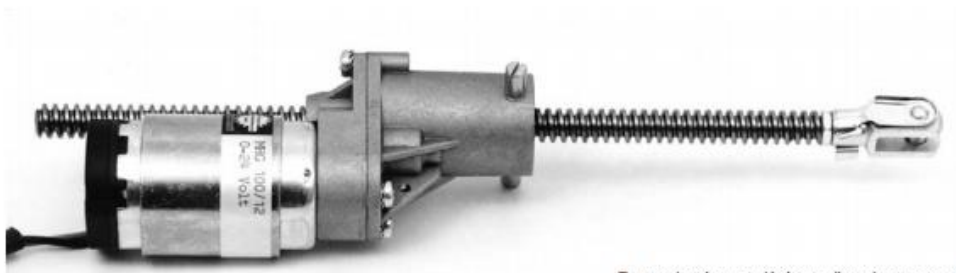
Obrázek 50 Základní schéma třetí varianty - pohled z boku

Hlavní výhodou první varianty je její jednoduchost a malý počet dílů. Nevýhodami jsou velikost pohonu, případná výroba vlastní převodovky. Druhá varianta je také jednoduchá, ale vyžaduje silný pohon a zařízení podstatně zvyšuje výšku celého stroje. Třetí varianta vyžaduje pouze slabý pohon, konstrukce obsahuje více pohyblivých částí než předchozí varianty, ale je dostatečně jednoduchá. Nevýhodou je výška zařízení, která se úměrně zvyšuje s potřebnou zdvihací výškou.

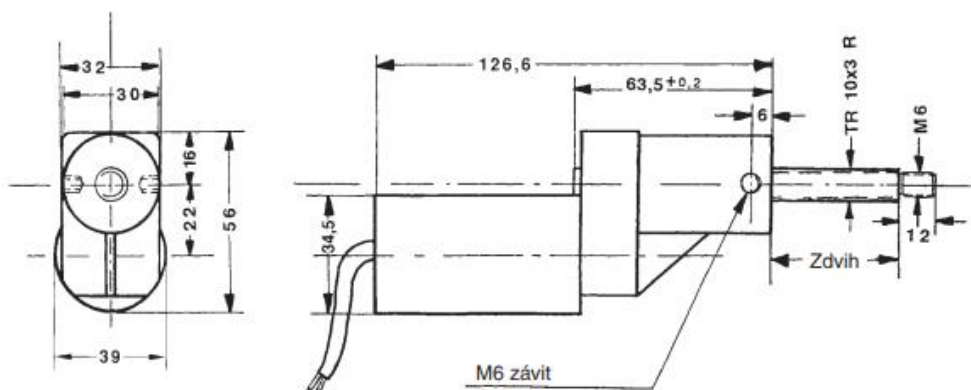
Původně byla vybrána pro zpracování třetí varianta, ale při podrobnějším návrhu se ukázal nedostatek místa v přední části podvozku. Základní platforma by zasahovala do konektorů umístěných na vrchu manipulátoru. Řešením by bylo přesunout základní díl do zadní části stroje a k přední části stroje vést rameno, na kterém by byl upnut koncový držák sondy. To ale vyvoluje na vedení velký klopný moment, který by muselo zachytávat. Kvůli tomu bylo od této varianty upuštěno a byla zpracována druhá varianta, která byla navržena v zadní části podvozku.

Vlastní návrh zařízení

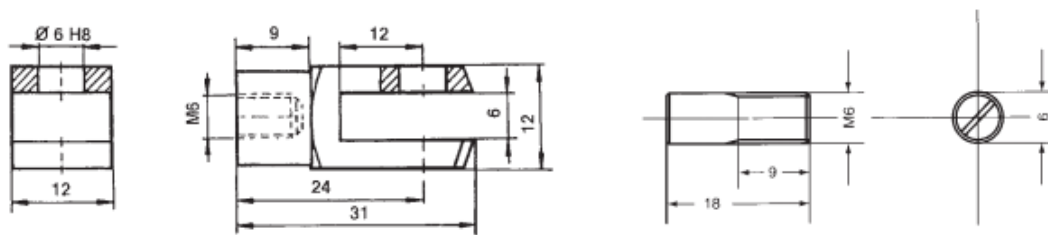
Základním prvkem je pohybový trapézový šroub. Z výpočtu uvedeného výše víme, že je potřeba vyvodit sílu 310 N. Jelikož šroub tvoří jedno rameno, je vhodné, aby se neotáčel, protože jeho uložení by komplikovalo konstrukci. Proto je šroub zamýšlen jako pevný a otáčet se bude matice a šroub bude vykonávat přímý pohyb. To splňuje zdvižná minipřevodovka od firmy TEA a to MHG100. Jedná se o kompaktní pohon skládající se ze stejnosměrného motoru na 12 V, integrované čelní převodovky s převodem 1:12 a matice se závitem TR 10x3. Převodovka je schopna vyvodit sílu na šroubu až 500 N při rychlosti posuvu až 10 mm/s. Rychlost posuvu klesá s rostoucím zatížením, minimální rychlost posuvu při vyvození maximální síly je 5 mm/s. Tato převodovka je otočně uložena pomocí dvojice čepů průměru 6 mm, které jsou z boků zašroubovány do těla převodovky na závit M6. Tyto čepy jsou umístěny v ose matice, aby nedocházelo k vyvolání přidavného ohybového momentu. Trapézová matice je vyrobena z plastu POM - polyoxymetylén, který má dostatečnou pevnost a vhodné kluzné vlastnosti pro toto použití. Tělo převodovky je vyrobeno ze slitiny zinku. Hmotnost zařízení je 475 gramů. Převodovka může být dodána jako komplet i s trapézovým šroubem, čepy pro uložení a vidlicí na konec trapézového šroubu, viz obrázek 52 níže. Vidlice je na šroub našroubována přes závit M6 a je připravena pro čep průměru 6 mm. Vidlice je vhodná na konci šroubu pojistit, jelikož na šroub se přenáší část kroticího momentu z matice a mohlo by dojít k jeho povolání. Zajištění může být provedeno pomocí lepidla do závitů nebo kontramaticí. [12]



Provedení s rotujícím tr. šroubem na poptávku.

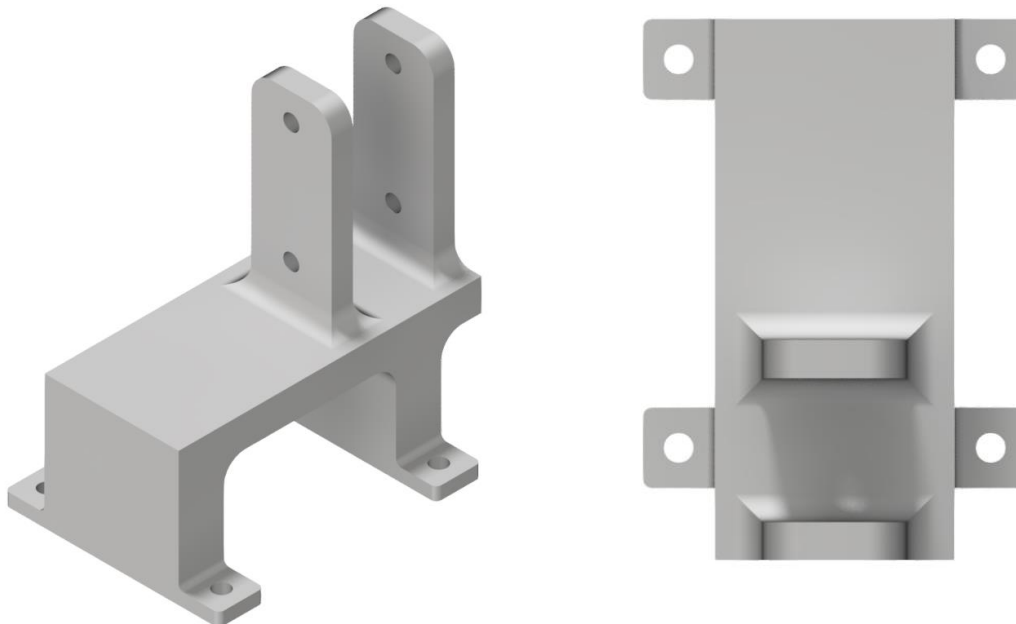


Obrázek 51 Zdvižná minipřevodovka MHG100 [5.4.5]



Obrázek 52 Příslušenství pro převodovku MHG100 - vidlice pro šroub a čepy pro uložení převodovky [5.4.6]

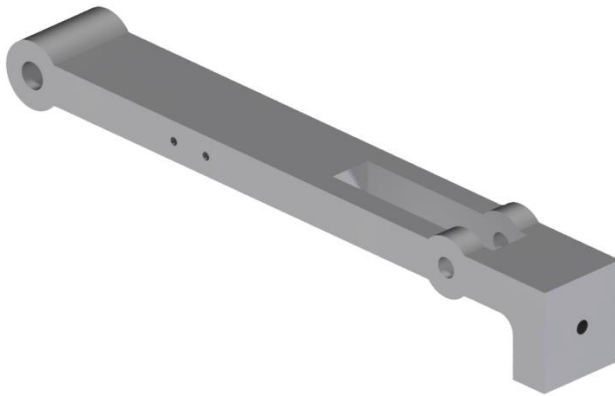
Dalším hlavním dílem zařízení je platforma pro upevnění celého mechanismu na prizmatické lišty. To je provedeno pomocí čtyř šroubů a speciálních matic, které se vloží do lišt. Tento základní díl je zvýšený, aby obcházel hlavní konektor. Dále se skládá ze dvou sloupů obdélníkového průřezu, které tvoří místo pro uložení ramena a převodovky pomocí čepů průměru 6 mm. Tyto sloupce jsou umístěny u strany stroje, aby rameno míjelo konektory umístěné uprostřed vrchní části podvozku. Tento díl je obrobený z jednoho kusu hliníkové slitiny EN AW 6060.



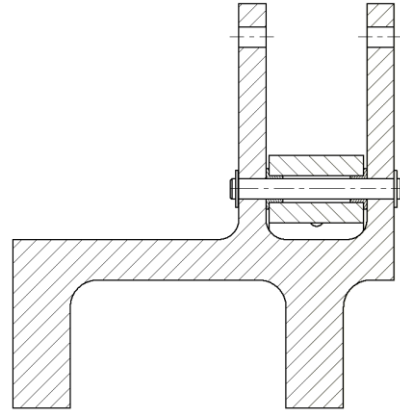
Obrázek 53 Základní díl zdvižného zařízení, pro upevnění k podvozku

Posledním hlavním dílem mechanismu je samotné rameno. Jedná se o jednoduchý nosník obdélníkového průřezu a zesíleného v místech uložení. Rameno je jedné straně otočně uloženo v kluzných pouzdrech a na druhé straně je vytvořeno spojení pro umístění koncového držáku sondy. Na této straně je také vytvořeno připojení vidlice pohybového šroubu pomocí čepu o průměru 6 mm. Rotační uložení s pouzdry slouží pro připojení ramena k základně. Pouzdra jsou opět použita samomazná přírubová od firmy Henlich a to GFM-0608-05 a jsou zalisovány do ramene. Pro připojení vidlice pohybového šroubu slouží vnitřní vybrání v ramenu obdélníkového průřezu. Do tohoto výřezu je vsazena vidlice šroubu a zajištěna pomocí čepu o průměru 6 mm zajištěného dvojicí pojistných kroužků. Toto spojení je navrženo bez pouzder, jelikož vykonává jen minimální pohyb. Čepy jsou opět z broušené kruhové tyče KR6 h6. Na konci ramena je vytvořena plocha pro připojení koncového zařízení nebo mezikusu pro propojení s jiným držákem. Připojení je realizováno drážkou, která je vytvořena

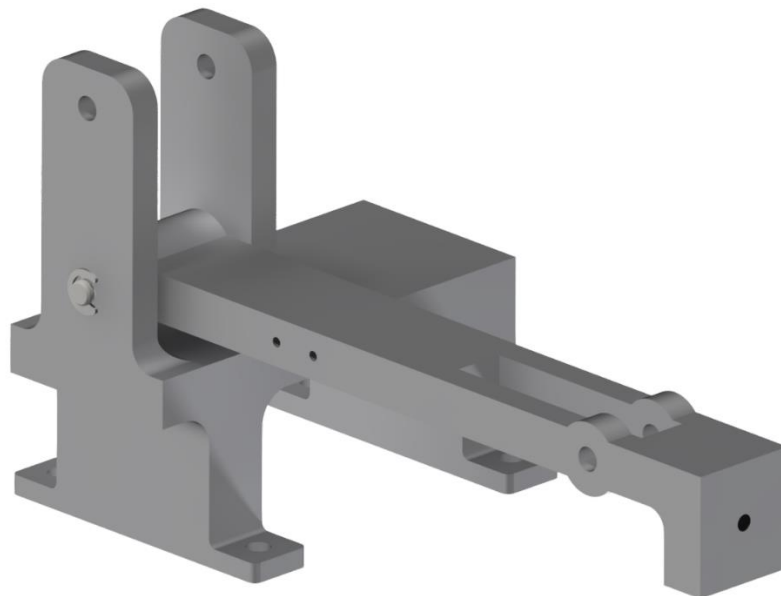
v připojovaném díle. Do drážky zapadne konec ramene. Spojení je zajištěno pomocí šroubu M5, pro který je připraven otvor se závitem na konci ramena. Na bokách ramena jsou po obou stranách vyvrtány dvojice závitů M3, jež slouží pro přimontování koncových mikropsínačů pro ovládání zdvihu.



Obrázek 54 Rameno zdviže



Obrázek 55 Řez otočným uložením ramene

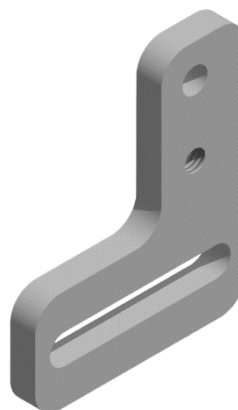


Obrázek 56 Uložení ramene do základny

Při použití stejnosměrného motoru je nutné zařízení doplnit koncovými spínači pro krajní polohy ramene. Tyto spínače vypnou pohon, když se dostane do požadované polohy. Tento rozsah lze nastavit přemístěním koncového mikropsínače. K tomu slouží malé držáky s drážkou, přišroubované z boku k ramenu, na nichž je upevněn mikropsínač. Mikropsínače byly zvoleny od firmy Panasonic typ ASMQ11628-A (obr. 58). Jedná se o kompaktní zařízení, které při stlačení spíná obvod. Ovládání mikropsínače je pomocí pružného ramínka, které tlačí na pístek. Připojení je provedeno přes čep, který je součástí těla spínače, a jedním šroubem M3. Výhodou těchto spínačů je jejich malá velikost a izolace třídy IP67, což je prachotěsnost a odolnost krátkodobému ponoření. [13]



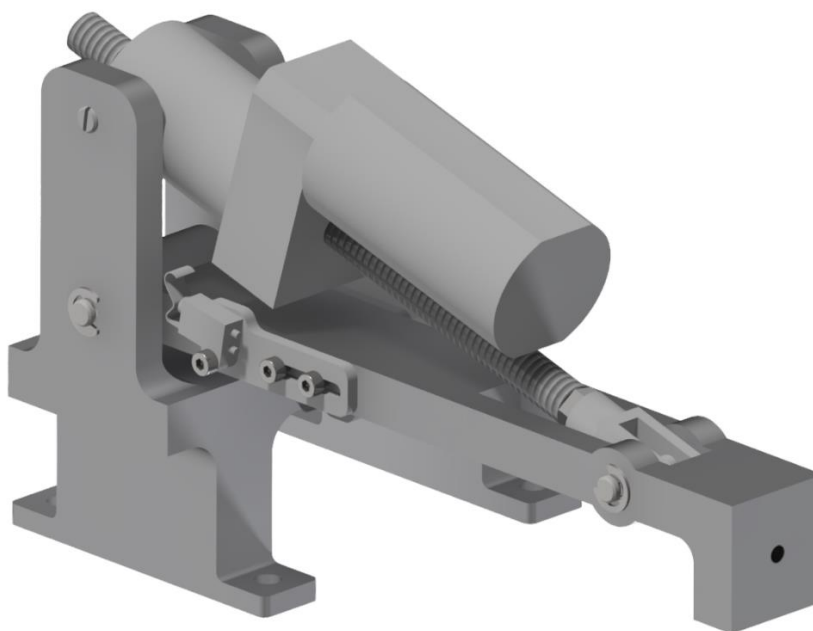
Obrázek 57 Mikrospínač ASMQ11628-A [5.4.7]



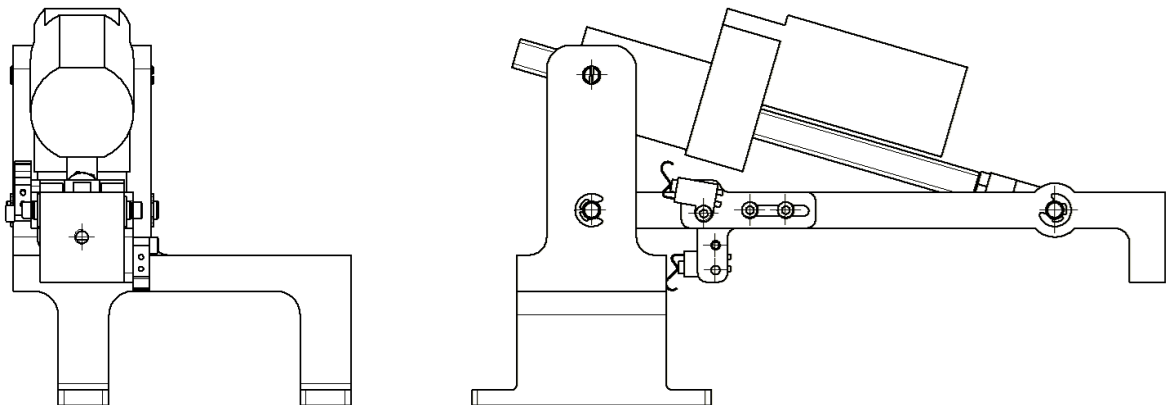
Obrázek 58 Jeden z držáku koncového spínače

Dále je nutné do řídicí elektroniky stroje zakomponovat obvod pro snímání mikrospínačů a spínač pro motor zdviže například spínací relé, které je schopné pomocí malého napětí a proudu na ovládacím obvodu spínat hlavní obvod pro pohon motoru. Také by bylo vhodné vytvořit sdružený konektor pro napájení pohonu i koncové spínače.

Na následujícím obrázku 60 je vidět kompletní sestava zdvihacího zařízení. Jedná se o robustní konstrukci o hmotnosti 1,2 kg. Malé hmotnosti bylo dosaženo použitím hliníkové slitiny. Při konstrukci byl kladen důraz na jednoduchost a minimum pohyblivých dílů. Vysunutím pohyblivého ramene ke kraji podvozku byl vytvořen prostor pro pohodlné připojení konektorů v horní části zařízení. Ve spodní části jsou vidět otvory sloužící pro připojení k podvozku pomocí čtyř šroubů M5. V přední části je vidět otvor se závitem sloužící pro připojení příslušenství. Použitá převodovka vyvozuje dostatek zdvihné síly i pro případné použití větších a těžších držáků nebo sond.

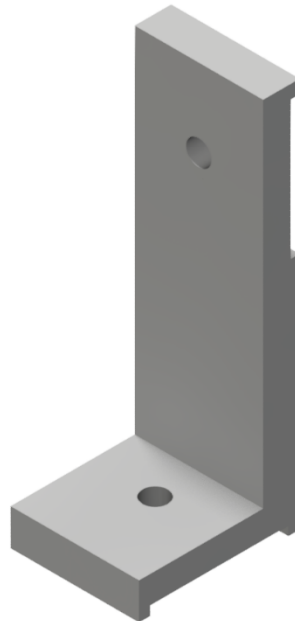


Obrázek 59 Izometrický pohled na celkovou sestavu zdvihacího zařízení



Obrázek 60 Pohledy na celkovou sestavu zdvihacího zařízení - nárys, bokorys

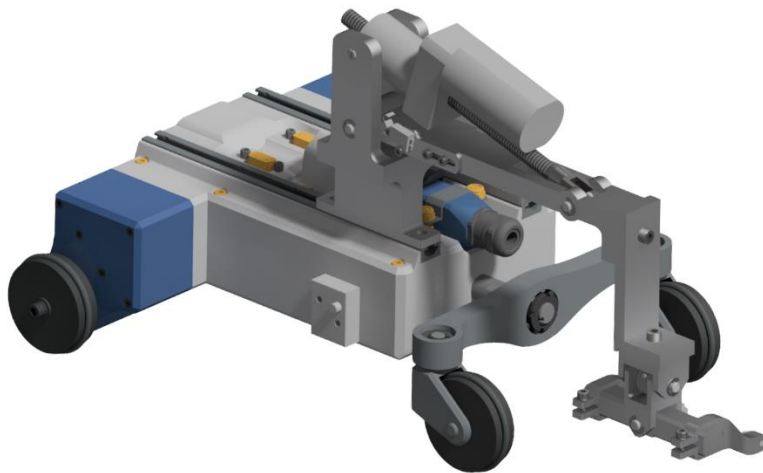
Pro připojení výše navrženého koncového držáku sondy s přítlakem je navržen mezikus ve tvaru L, který umožní připojení ke zdvihacímu ramenu. Jedná se o jednoduchou součást, která má na koncích vyfrézované drážky, do kterých zapadnou propojované díly. Spojení je zajištěno použitím šroubu M5. Vyrobením vhodného mezikusu lze k rameni připojit jakékoliv jiné zařízení, které nepřekročí limity zdvihacího mechanismu a to maximální zatížení 80 N na konci ramena a nebude bránit výhledu kamery v předu vozidla.



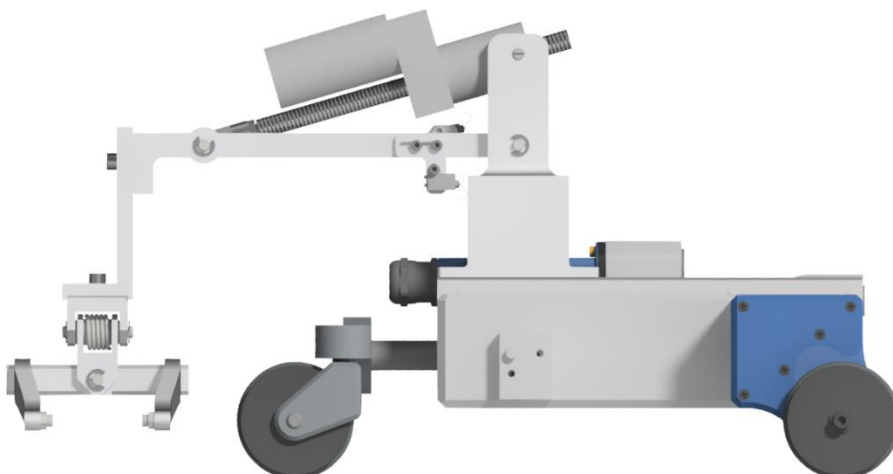
Obrázek 61 Mezikus pro připojení příslušenství

5.5 Shrnutí konstrukce

Celková sestava je navržena pro jednoduchou montáž a snadnou výměnu příslušenství. Zvýšením základní platformy bylo dosaženo dostatečného prostoru pro pohodlné připojování hlavního konektoru a vedením ramene bokem byl umožněn přístup ke konektorům v horní části stroje. Rameno bylo situováno před robotický manipulátor, kde je více místa pro další příslušenství. Pokud by byla sonda umístěna za stroj, může se dostat do kolize s přívodním svazkem vodičů, který je tažen za vozidlem. Také zde překáží zadní kyvná náprava s dvojicí otočných kol. I přes to je možné, pokud to bude situace vyžadovat, zařízení na podvozku upnout obráceně. Rameno by směřovalo za stroj, tím se sonda dostane daleko od podvozku. To je nevhodné pro určení polohy vady a také to ztěžuje ovládání podvozku, jelikož kamera směřuje pouze dopředu.



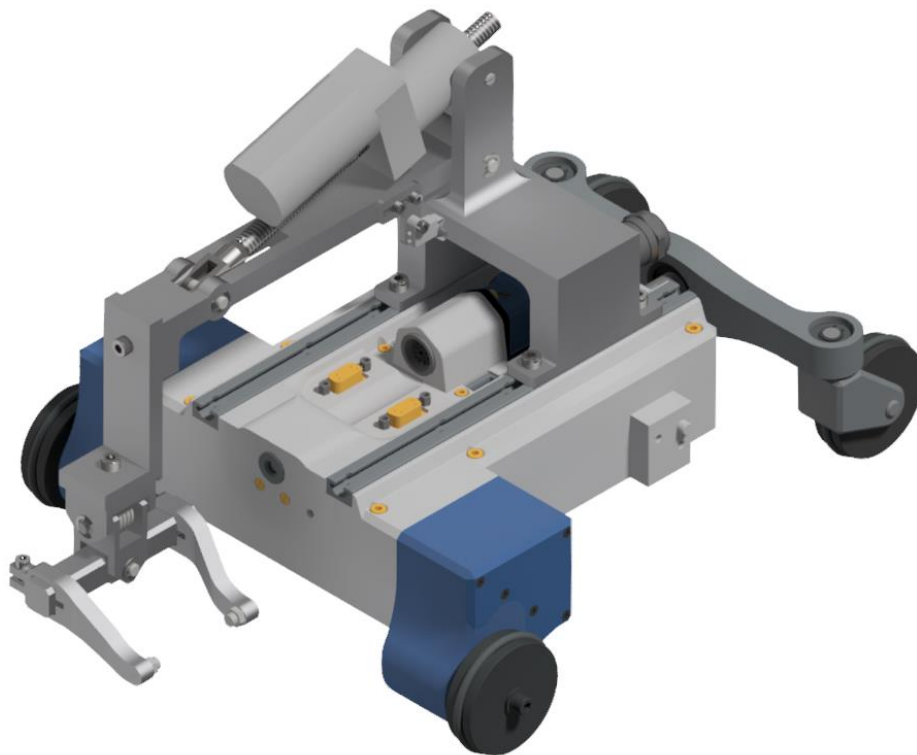
Obrázek 62 Izometrický pohled na robotický podvozek se zdvihacím zařízením umístěným dozadu



Obrázek 63 Boční pohled na robotický podvozek se zdvihacím zařízením umístěným dozadu

Zařízení vyvozuje dostatečnou zdvižnou sílu i pro případné použití větších a těžších držáků sond, případně vyvodit větší přítlačnou sílu na sondu. Výška zdvihu se nechá regulovat pomocí

posuvných koncových dorazů umístěných na rameni. Pro připojení příslušenství je nutné použít mezikus propojující zdvižné rameno a koncový držák sondy. Vhodnou konstrukcí mezikusu lze připojit i jiné držáky nebo sondy. Pro použití ultrazvukové sondy byl navržen držák, jenž umožňuje upnutí sond v šířce od 10 do 50 mm. Kopírování povrchu sondou je zajištěno pomocí dvou rotačních vazeb, které umožní naklápění sondy ve dvou směrech. Dále je umožněn pohyb sondy ve směru kolmém ke zkoumanému povrchu pomocí odpružení. Tento pružný prvek také vyvozuje na sondu předepínací sílu 25 N, aby byl zlepšen kontakt mezi sondou a zkoumaným povrchem. Kvůli elektrickému připojení bude nutné doplnit vnitřní elektroniku o spínání pohonu zdviže a koncových spínačů. Zařízení se může pohybovat v prostředí, kdy bude nutné zařízení po činnosti dekontaminovat. To se provádí oplachem vodou. Po této operaci je vhodné zařízení dobře osušit a zakonzervovat pomocí vhodného přípravku, například použitím olejového spreje na trapézový šroub. Hliníkové díly nepotřebují zvláštní pozornost, jelikož zvolená slitina dobře odolává korozi. Koncové spínače jsou vůči vodě utěsněny. Pohon by měl odolávat stříkající vodě, ale je vhodné ho po dekontaminaci nechat vyschnout. Po vyrobení a odzkoušení je nutné vyvázat kabely, aby se nedostaly na místa, kde se mohou poškodit - do šroubu, pod rameno, atd.



Obrázek 64 Pohled na celkovou sestavu s robotickým podvozkem

6 Závěr

V úvodní části diplomové práce jsou shrnuty základní metody a principy nedestruktivního testování dílů a některé metody nepřetržitého kontrolování systémů. Následně je popsáno použití robotických a automatických platforem v nedestruktivním testování. V další části byla popsána robotická platforma Výzkumného centra ŘEŽ Plzeň, který sloužil jako výchozí prvek při návrhu požadovaného zařízení. V praktické části práce byla vytvořena konstrukce stavitelného držáku pro ultrazvukové sondy šířek 10 až 50 mm. Součástí držáku je mechanismus vytvářející přítlak na sondu 25 N. Dále byla vytvořena konstrukce zařízení pro spouštění a zvedání sond na/ze zkoumaného povrchu. Z těchto konstrukcí byla vytvořena výrobní výkresová dokumentace.

7 Seznam použité literatury a informačních zdrojů

- [1] „www.techportal.cz,“ [Online]. Available: https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrOHEn2FFltCydG8J6OXWM4_z_st-3-A4fw.
- [2] I. S. Černoch, Strojně technická příručka, Praha: Nakladatelství technické literatury, 1968.
- [3] J. K. M. Hluchý, Strojírenská technologie 1, Praha: Scientia, 2007.
- [4] „<https://cs.wikipedia.org/wiki/Rentgenka>,“ [Online]. Available: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Rentgenka>.
- [5] M. R. R. Regazzo, Ultrazvuk - základy ultrazvukové defektoskopie, Praha: BEN - technická literatura, 2013.
- [6] „<http://www.med.muni.cz/biofyz/zobrazovacimetody/files/Ultrazvuk.pdf>,“ [Online]. Available: <http://www.med.muni.cz/biofyz/zobrazovacimetody/files/Ultrazvuk.pdf>.
- [7] Š. Svoboda, „<http://www.odbornecasopisy.cz>,“ TMV SS spol. s r. o., [Online]. Available: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/mereni-teploty-bezkontaktni-teplomery-a-termovizni-kamery--13376>.
- [8] FLIR, „www.blue-panther.cz,“ [Online]. Available: <https://www.blue-panther.cz/data/files/vyuziti-termovize-v-prumyslu-899.pdf>.
- [9] „www.termokamera.cz,“ [Online]. Available: <http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/konstrukce-termokamery/>.
- [10] „https://www.hennlich.cz/uploads/iglidur_G.pdf,“ [Online]. Available: https://www.hennlich.cz/uploads/iglidur_G.pdf.
- [11] „<https://www.conrad.cz/prevodovy-motor-dc-doga-do25837103b00-3028-24-v-5-a.k198176>,“ [Online]. Available: <https://www.conrad.cz/prevodovy-motor-dc-doga-do25837103b00-3028-24-v-5-a.k198176>.
- [12] „<https://www.teatechnik.cz/typ-mhg/>,“ [Online]. Available: <https://www.teatechnik.cz/typ-mhg/>.
- [13] „http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/1400000-1499999/001493541-da-01-en-U_MINIATUR_SCHALTER_STOESSEL_IP67_NASE_R.pdf,“ [Online]. Available: http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/1400000-1499999/001493541-da-01-en-U_MINIATUR_SCHALTER_STOESSEL_IP67_NASE_R.pdf.
- [14] P. V. J. Leinveber, Strojnické tabulky, Úvaly: Albra- pedagogické nakladatelství, 2006.
- [15] „<http://www.technotest.cz>,“ TECHNTEST s.r.o., [Online]. Available: http://www.technotest.cz/kapilarni_zkouska. [Přístup získán 2 04 2019].
- [16] „web2.mendelu.cz,“ [Online]. Available: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=6385&typ=html.

Obrázky:

- [4.1.1] https://www.revizeshop.cz/fotky29448/fotos/_vyr_1934123325_BB_00_FB-EPS_1000.jpg
cit. 25.2.2019
- [4.1.2] http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/files/233/22658.jpg
cit. 25.2.2019
- [4.1.3] <http://www.technotest.cz/images/2013/kapilarni1.jpg>
cit. 25.2.2019
- [4.1.4] https://cs.wikipedia.org/wiki/Magnetick%C3%A1_pr%C3%A1%C5%A1kov%C3%A1_metoda#/media/File:Defect_in_Magnetic_particle_inspection.png
cit. 25.2.2019
- [4.1.6] https://cs.wikipedia.org/wiki/Magnetick%C3%A1_pr%C3%A1%C5%A1kov%C3%A1_metoda#/media/File:RUM_230.JPG
cit. 25.2.2019
- [4.1.5] <https://jfmullen.com/wp-content/uploads/2017/12/FPI-Crack.jpg>
cit. 25.2.2019
- [4.2.1] http://1pajda1.borec.cz/Priklad/obr_2.jpg
cit. 30.3.2019
- [4.2.2] http://1pajda1.borec.cz/Priklad/obr_2.jpg
cit. 30.3.2019
- [4.2.3] http://1pajda1.borec.cz/Priklad/obr_3.jpg
cit. 28.4.2019
- [4.2.4] <http://cz7asm.wz.cz/fyz/obrazky/pv/schema.gif>
cit. 28.4.2019
- [4.2.5] <https://docplayer.cz/docs-images/57/40054935/images/36-0.png>
cit. 28.4.2019
- [4.2.6] <https://www.qsa-global.com/wp-content/uploads/2014/08/Product-Betatron-9.jpg>
cit. 28.4.2019
- [4.2.7] <https://www.alumeco.cz/media/1102/ultralyd.png?width=2000&height=2000&mode=max&upscale=false>
cit. 28.4.2019
- [4.2.8] <https://slideplayer.cz/slide/3085335/11/images/13/Zkou%C5%A1ka+ultrazvukem+Pr%C5%AFchodov%C3%A1+metoda.jpg>
cit. 28.4.2019
- [4.3.1] http://automatizace.hw.cz/files/styles/full/public/story_automat/10877/vibrace_mereni_vychylka.gif
cit. 3.5.2019
- [4.3.2] https://automatizace.hw.cz/files/styles/clanek-600/public/story_automat/10877/vibrace_mereni_vychylka2.gif
cit. 3.5.2019
- [4.3.3] https://automatizace.hw.cz/files/styles/full/public/story_automat/10877/vibrace_piezoel_ektricky.gif
cit. 3.5.2019
- [4.3.4] https://automatizace.hw.cz/files/styles/full/public/story_automat/10877/vibrace_kapacitni.gif
cit. 3.5.2019
- [4.3.5] <http://www.e-pristroje.cz/pictures/teplomery/t251-01.jpg>
cit. 5.5.2019

- [4.3.6] https://www.gme.cz/data/product/1024_1024/pctdetail.115-086.1.jpg
cit. 5.5.2019
- [4.3.7] <https://www.meteostanice.cz/media/images/125571657.jpg>
cit. 5.5.2019
- [4.3.8] <https://www.termokamery-flir.cz/wp-content/gallery/ex-stavebnictvi/e4.jpg>
cit. 6.5.2019
- [4.3.9] <http://www.termokamera.cz/wp-content/uploads/2013/05/termogram.png>
cit. 6.5.2019
- [4.3.10] http://udrzbapodniku.cz/fileadmin/grafika/Barca_Karchova/casopis_cerven_2018/spe1.png
cit. 6.5.2019
- [4.3.11] <https://www.mmspektrum.com/multimedia/image/66/6629.jpg>
cit. 6.5.2019
- [5.0.1] <https://e-konstrukter.cz/files/gallery/pruftechnik-4.jpg>
cit. 10.5.2019
- [5.0.2] <https://e-konstrukter.cz/files/gallery/pruftechnik-1.jpg>
cit. 10.5.2019
- [5.0.3] https://static3.olympus-ims.com/data/Image/scanners/SteerROVER_page_img2.jpg?rev=DE8A
cit. 10.5.2019
- [5.0.4] <https://static1.olympus-ims.com/modules/imageresizer/622/d8a/939dc6f5e9/300x214p150x107.jpg>
cit. 10.5.2019
- [5.3.1] https://media.rs-online.com/t_large/F0409472-01.jpg
cit. 15.5.2019
- [5.3.2] https://www.teatechnik.cz/img/produkty/linearni_vedeni/s_obehovymi_kulickami/hg.jpg
cit. 12.5.2019
- [5.4.1] http://www.agrocar.cz/storage/photo/large/fxscopic_10.jpg
cit. 12.5.2019
- [5.4.2] https://www.zeman-servis.cz/fotky2305/fotos/_vyrn_1391.jpg
cit. 12.5.2019
- [5.4.3] https://bagry.cz/var/ezwebin_site/storage/images/bazar/nabidky/kolovy_nakladac/celni_nakladac_gehl_al340/5330495-1-cze-CZ/celni_nakladac_gehl_al340.jpg
cit. 12.5.2019
- [5.4.4] http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/175000-199999/198176-da-01-ml-DC_GETRIEBEMOTOR_DO258_3710__de_en_fr_es.pdf
cit. 17.5.2019
- [5.4.5] <https://www.teatechnik.cz/download.php?file=doc%2FMHG100.pdf&name=mhg100.pdf>
cit. 17.5.2019
- [5.4.6] <https://www.teatechnik.cz/download.php?file=doc%2FMHG100.pdf&name=mhg100.pdf>
cit. 18.5.2019
- [5.4.7] https://asset.conrad.com/media10/isa/160267/c1/-/cs/1493519_ZB_00_FB/Mikrosp%C3%ADna%C4%8D+-+p%C3%A1ka+s+rolnou+Panasonic+ASQM11628-A%2C+16+V%2FDC%2C+50+mA%2C+IP67.jpg?align=center&x=250&ex=250&y=250&ey=250

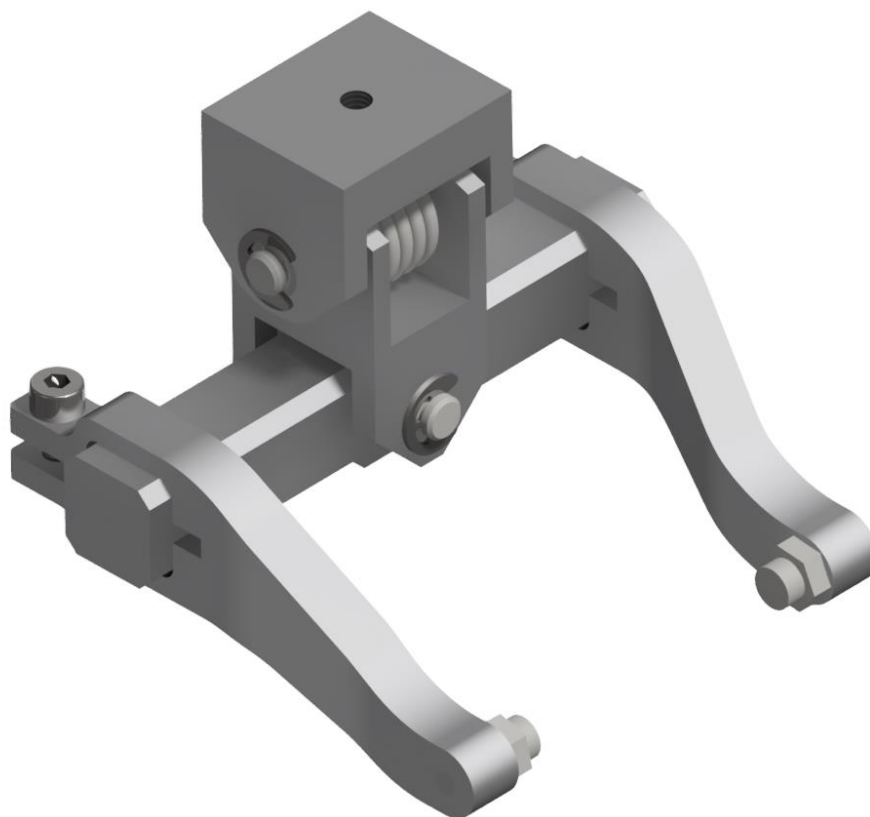
8 Přílohy

Příloha č. 1: CAD modely hlavních částí

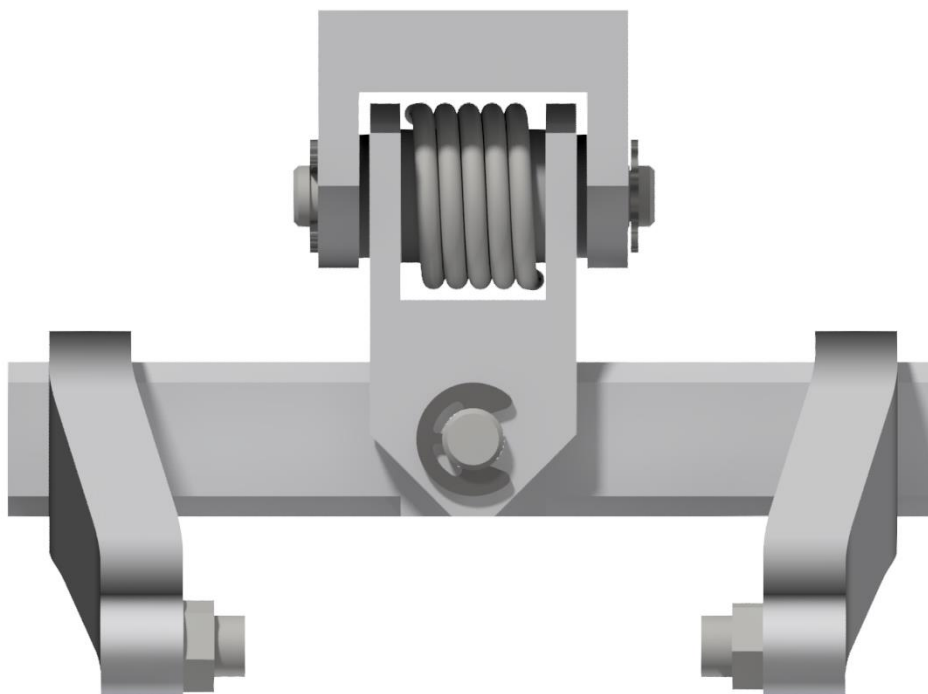
Příloha č. 2: Výkresová dokumentace

PŘÍLOHA č. 1

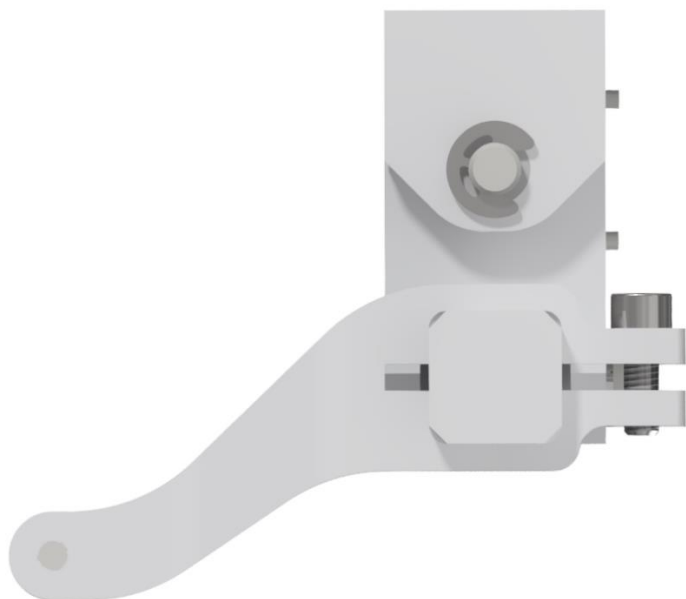
CAD modely hlavních částí



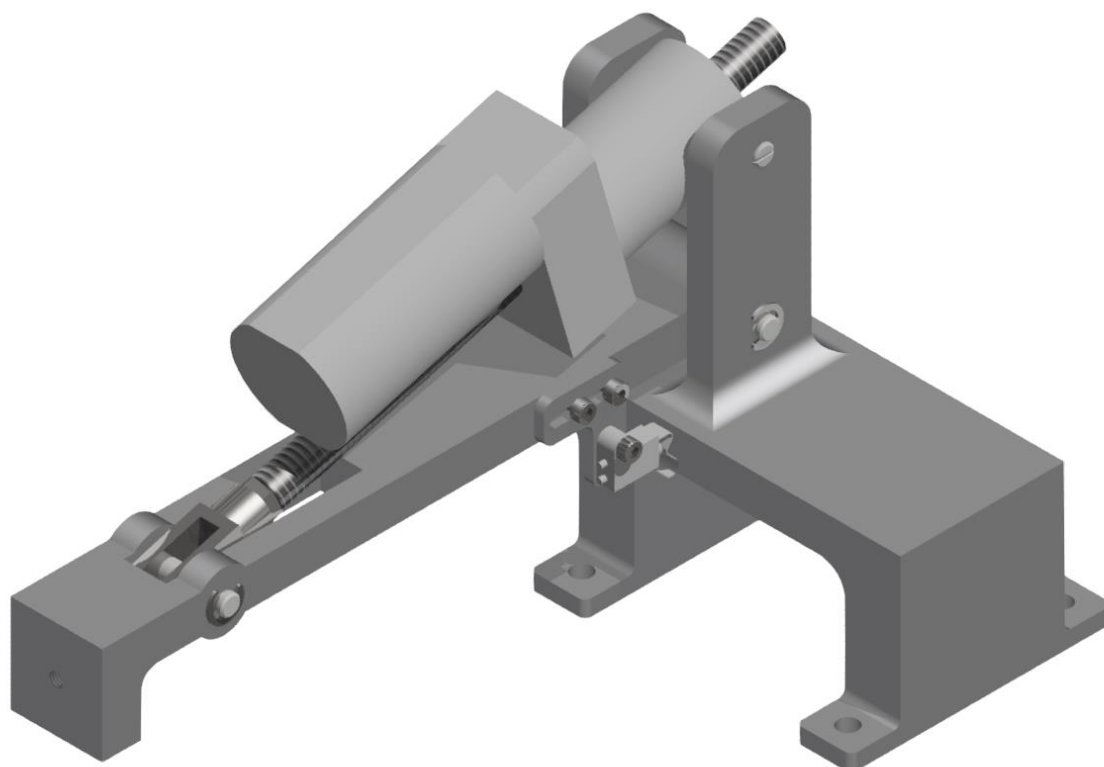
Obr. P 1.1 Izometrický pohled na sestavu koncového držáku



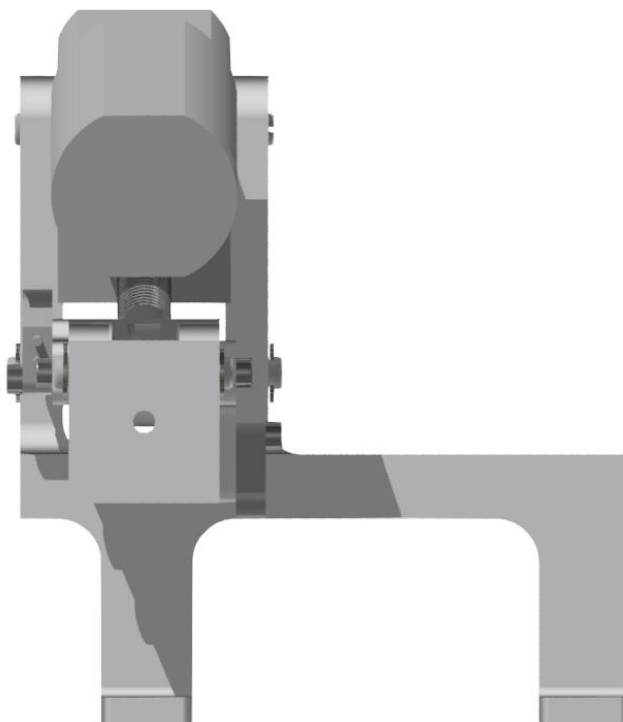
Obr. P 1.2 Čelní pohled na sestavu koncového držáku



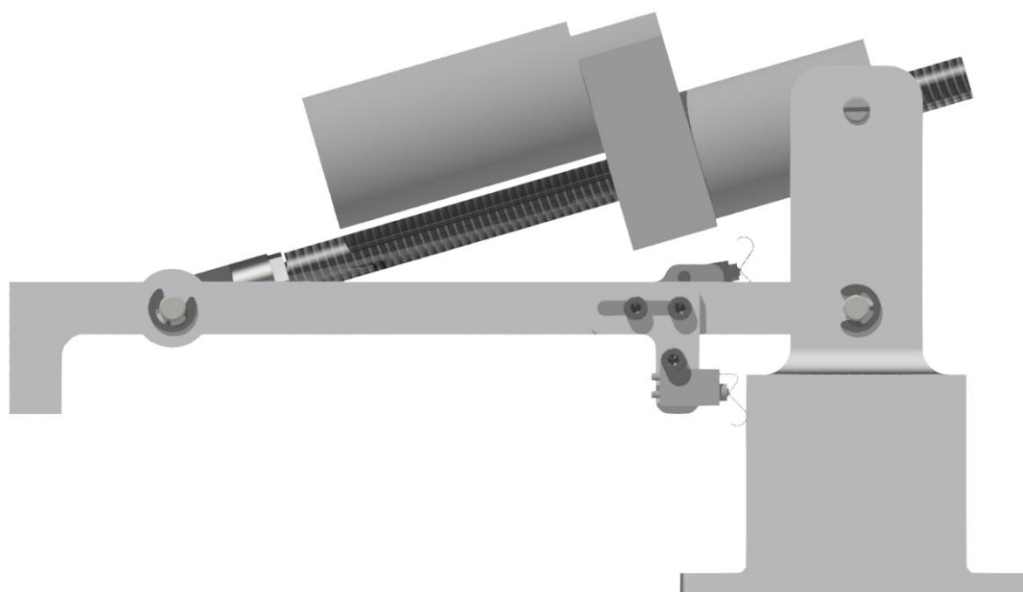
Obr. P 1.3 Boční pohled na sestavu koncového držáku



Obr. P 1.4 Izometrický pohled na sestavu zdvihacího zařízení



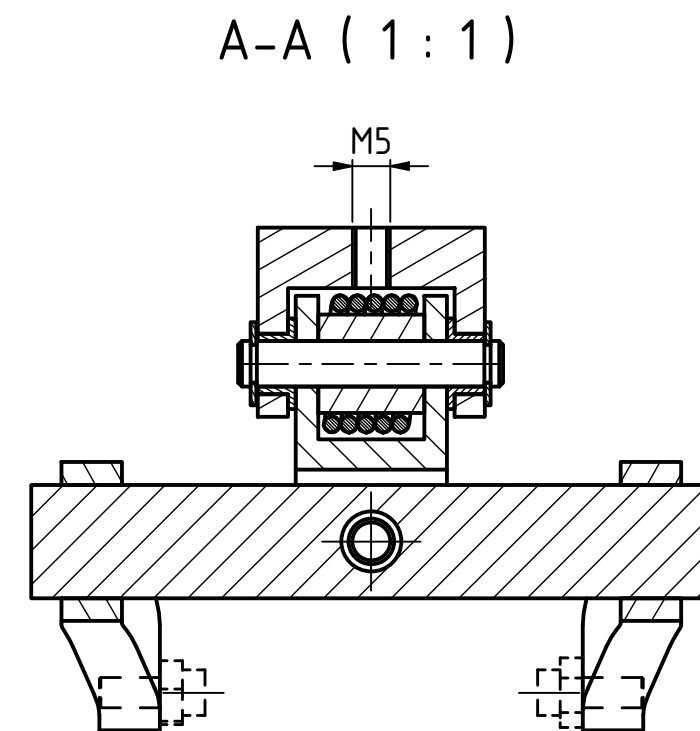
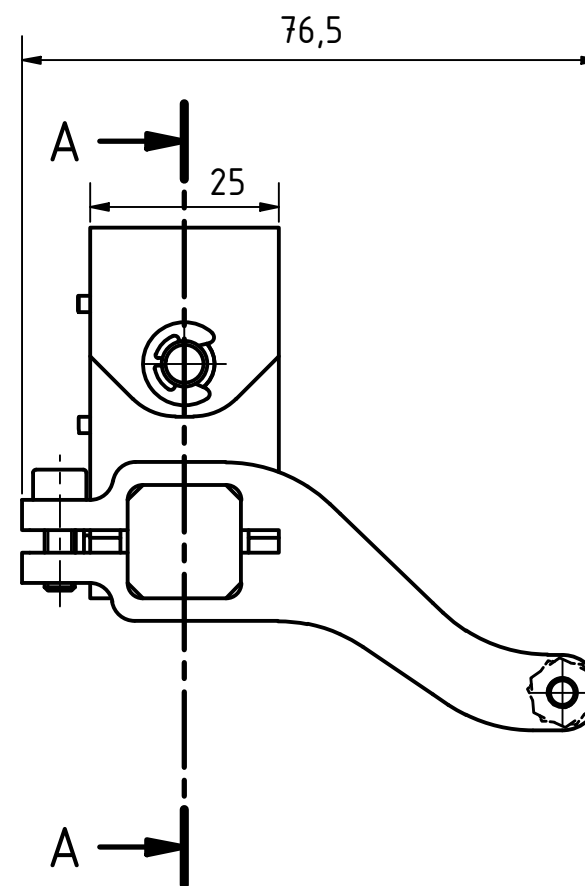
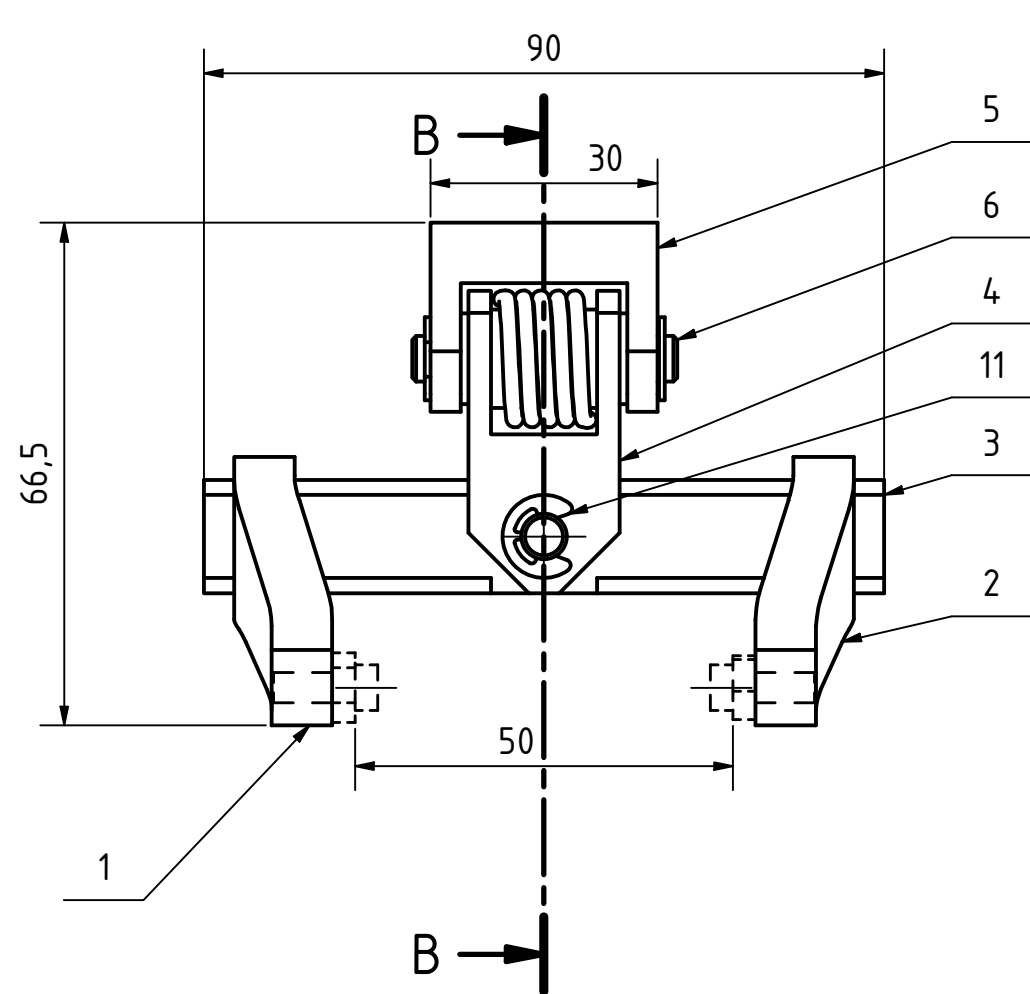
Obr. P 1.5 Čelní pohled na sestavu zdvihacího zařízení



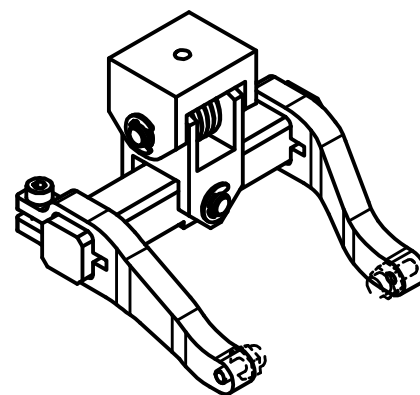
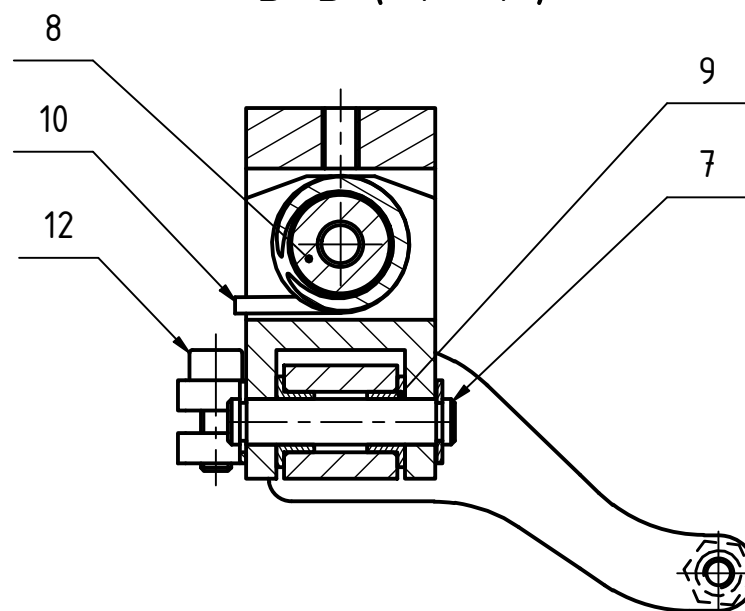
Obr. P 1.6 Boční pohled na sestavu zdvihacího zařízení

PŘÍLOHA č. 2

Výkresová dokumentace



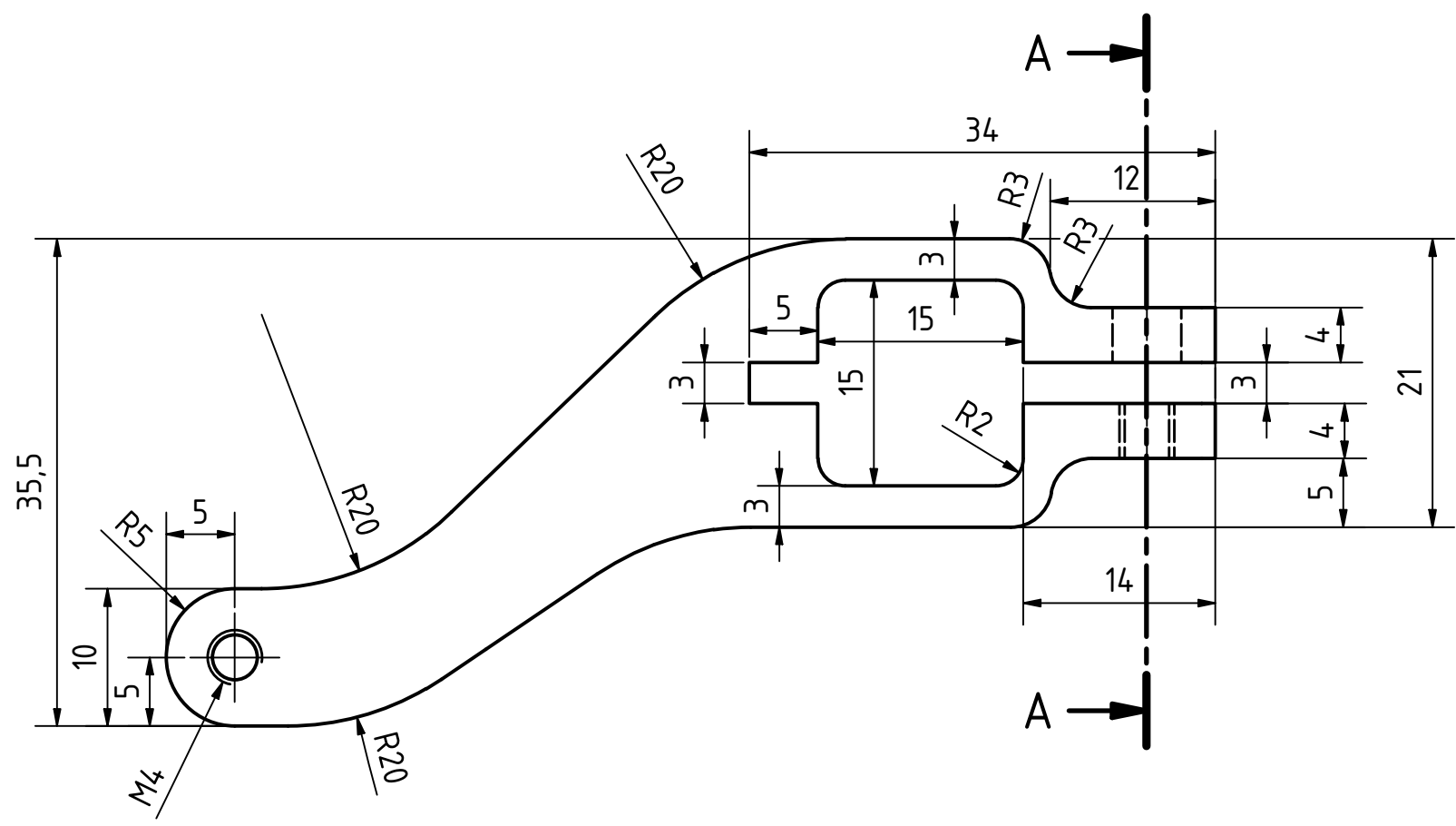
B-B (1 : 1)



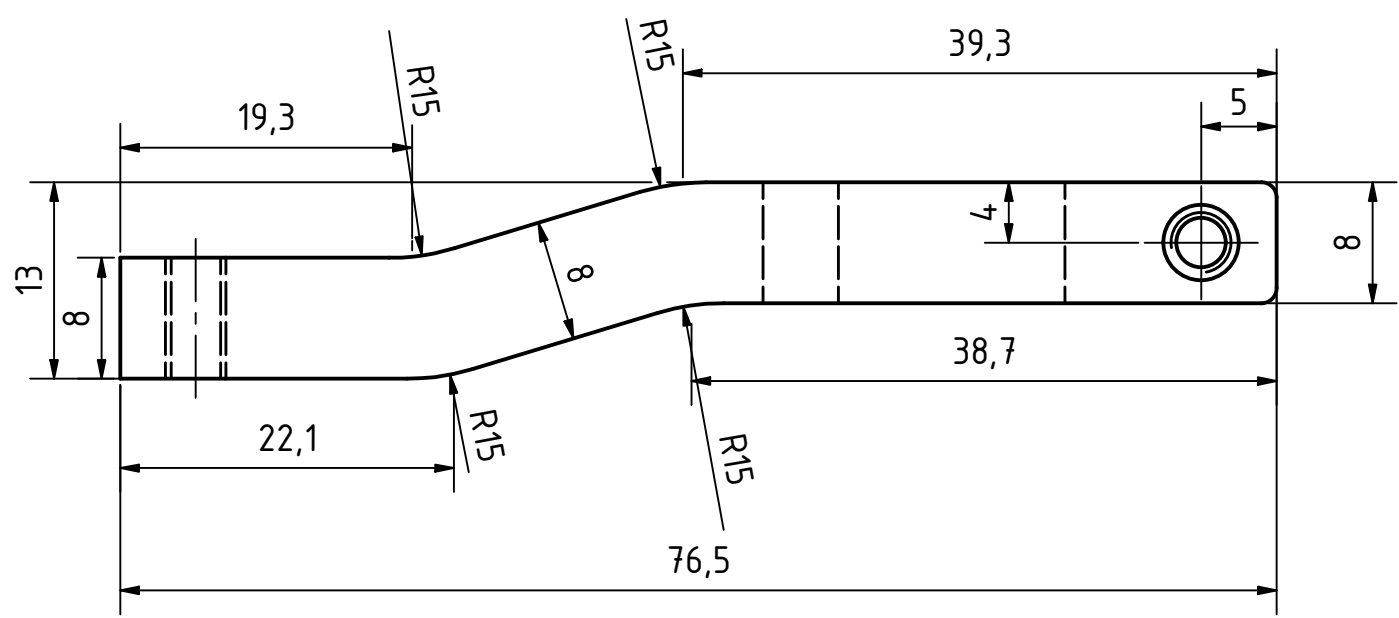
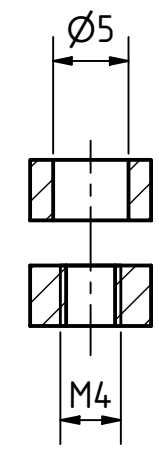
12	ŠROUB M4x12	ISO 4762	0,002	2
11	POJISTNÝ KROUŽEK 6	CSN 02 2929	0,000	4
10	ZKRUTNÁ PRUŽINA 1217862	ESSENTA COMPONENTS	0,007	1
9	KLIZNÉ POUZDRO GFM-0608-05	HENLICH	0,000	4
8	POUZDRO PRUŽINY	DP KKS 19-1/8	0,001	1
7	ČEP 2	DP KKS 19-1/7	0,007	1
6	ČEP 1	DP KKS 19-1/6	0,008	1
5	VIDLICE	DP KKS 19-1/5	0,023	1
4	KŘÍŽOVÁ VIDLICE	DP KKS 19-1/4	0,018	1
3	NOSNÍK RAMEN	DP KKS 19-1/3	0,051	1
2	RAMANO 2	DP KKS 19-1/2	0,018	1
1	RAMENO 1	DP KKS 19-1/1	0,018	1
POZICE	NÁZEV-ROZMĚR	ČÍSLO - NORMA	HMOTNOST	KS

KUSOVNÍK

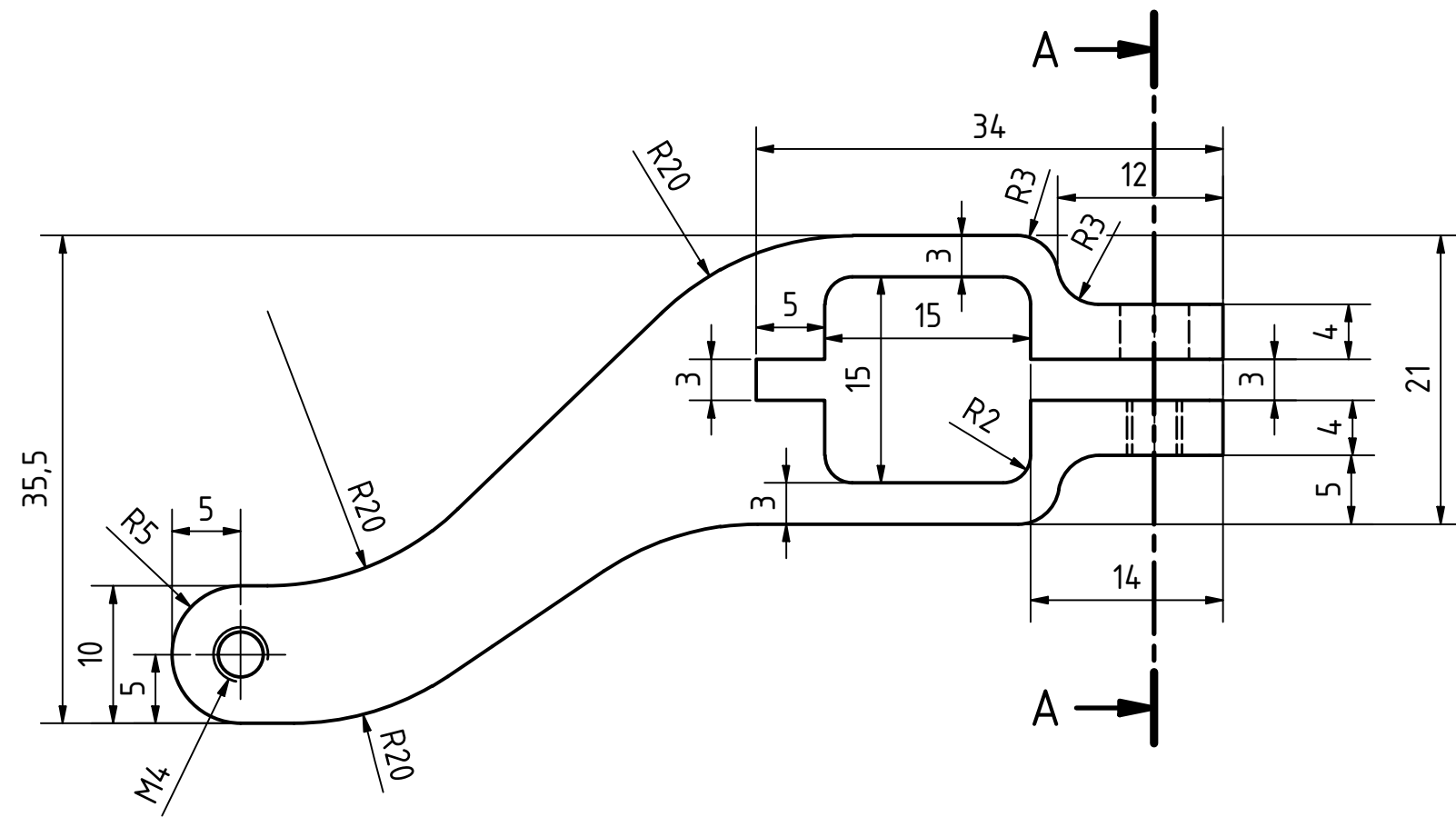
Měřítko	1:1	Hmotnost (kg)	0,162	Promítání		Formát	A3
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil	JAN ŠVEC		Název			
	Datum			KONCOVÝ DRŽÁK SONDY			
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil			Číslo dokumentu			
	Datum			DP KKS 19-1			
	Druh dokumentu	VÝKRES SESTAVY		List 1 Listů 1			



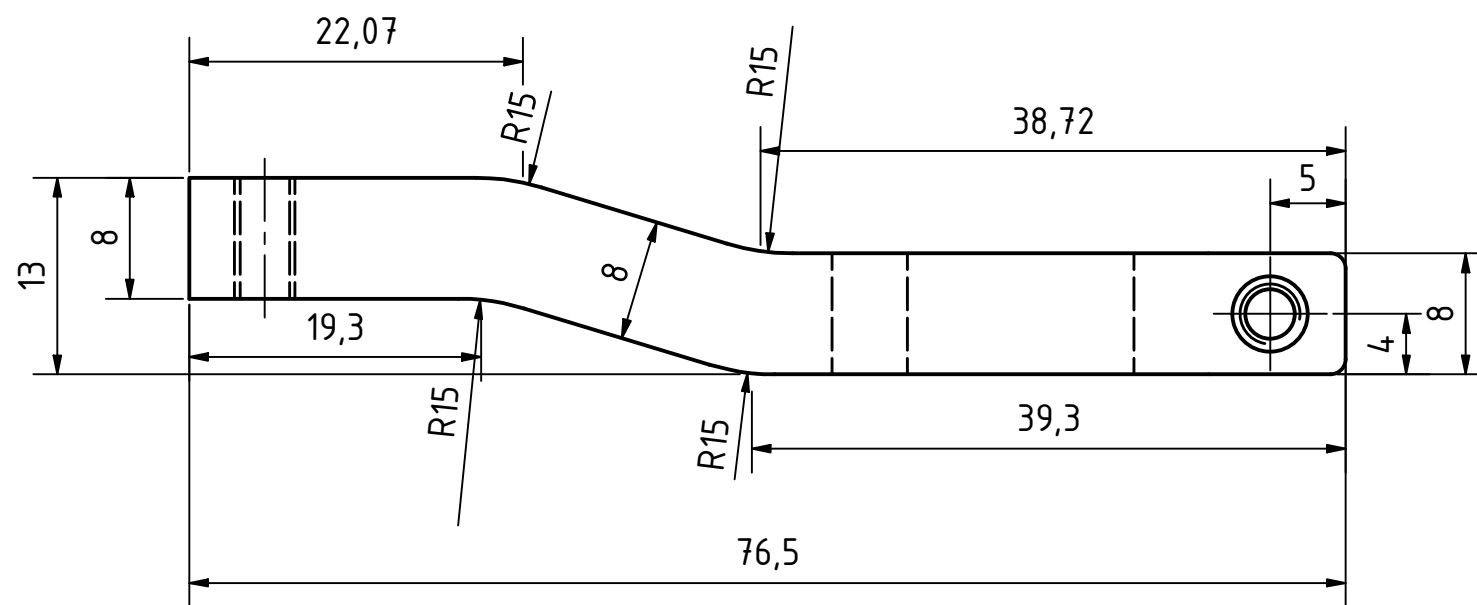
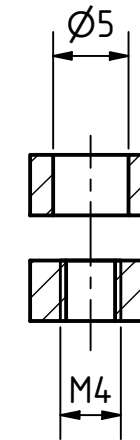
A-A (2 : 1)



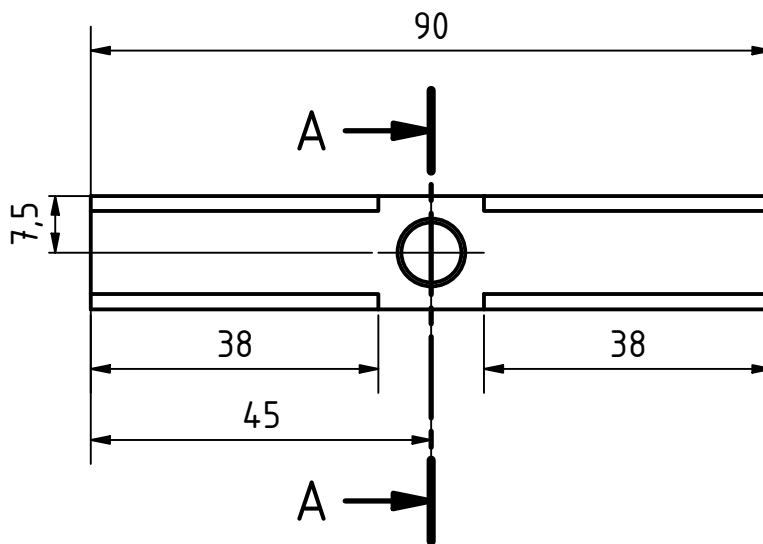
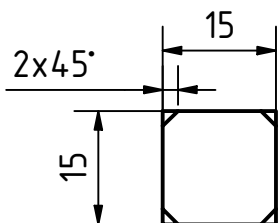
Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítko 2:1	Přesnost ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg) 0.018	Tolerování ISO 8015
Materiál - Polotovár 4HR 40-78 AW6060		Promítání 	
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil JAN ŠVEC	Název RAMENO 1	
	Schválil	Číslo dokumentu DP KKS 19-1/1	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Datum	Formát A3	
	Datum	Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES	



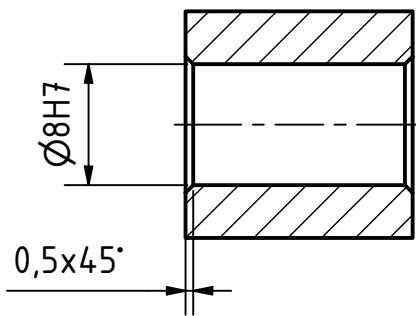
A-A (2 : 1)



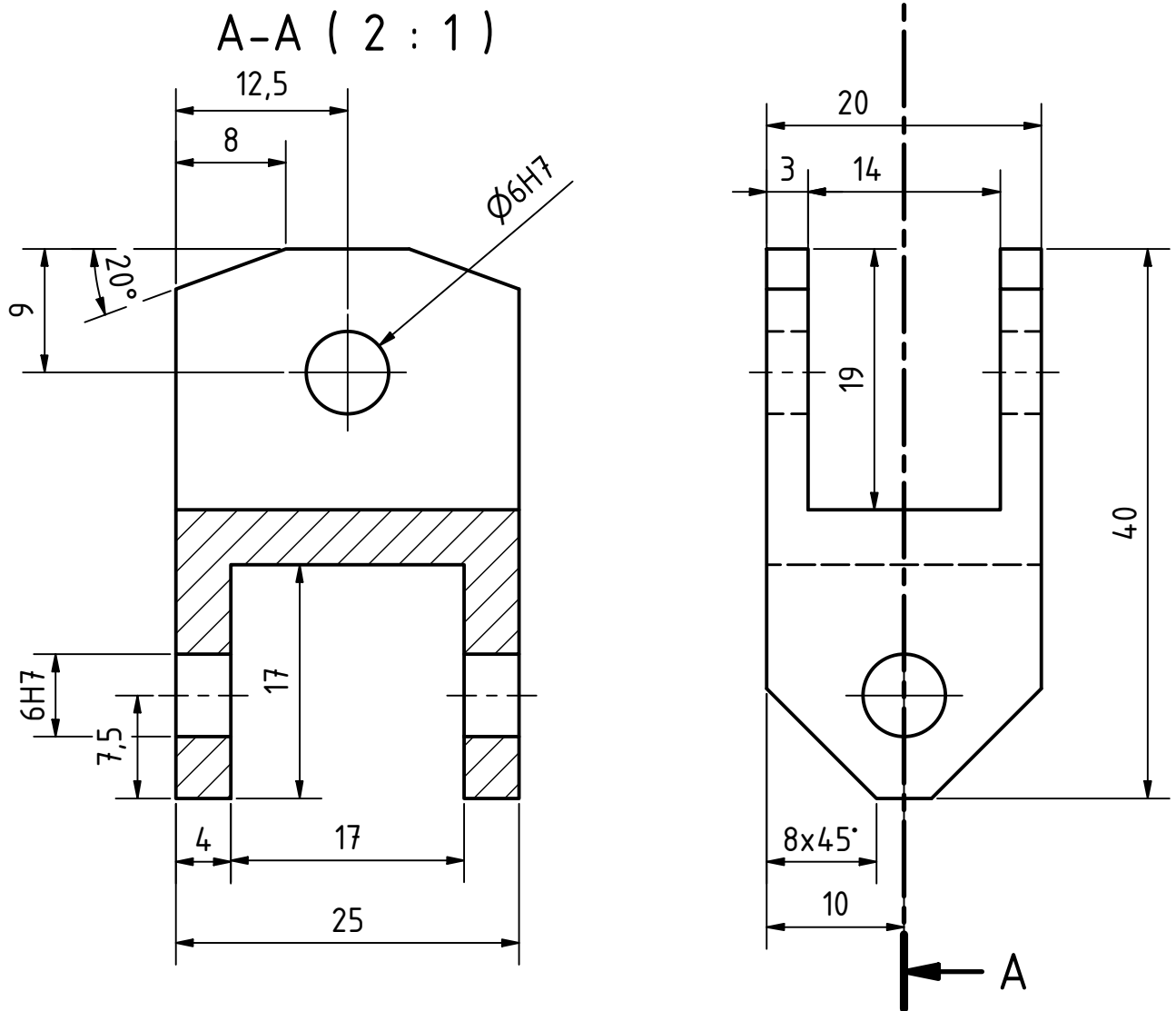
Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítko 2:1	Přesnost ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg) 0.018	Tolerování ISO 8015
Materiál - Polotovár 4HR 40-78 AW6060		Promítání 	
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil JAN ŠVEC	Název RAMENO 2	
	Schválil	Číslo dokumentu DP KKS 19-1/2	
KKS	Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES	Formát A3	



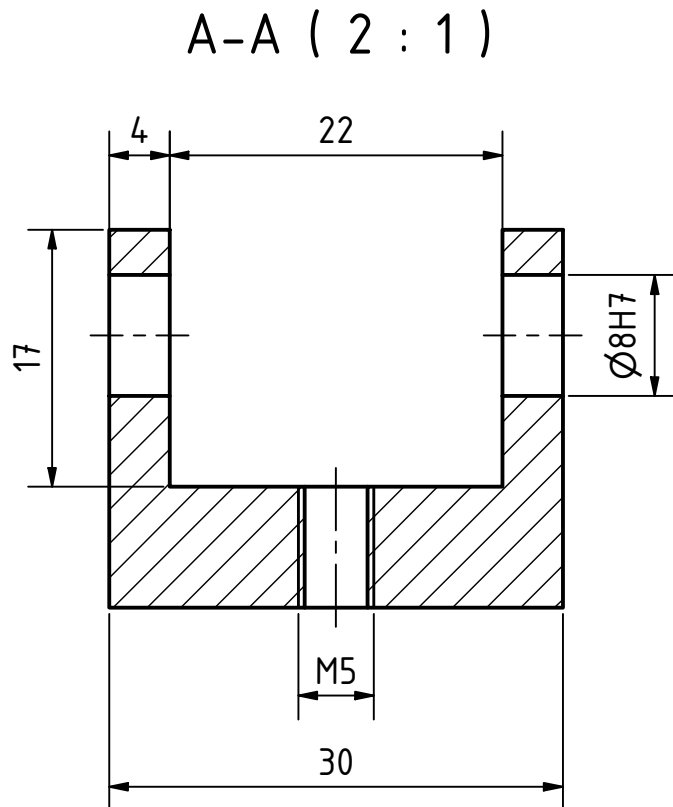
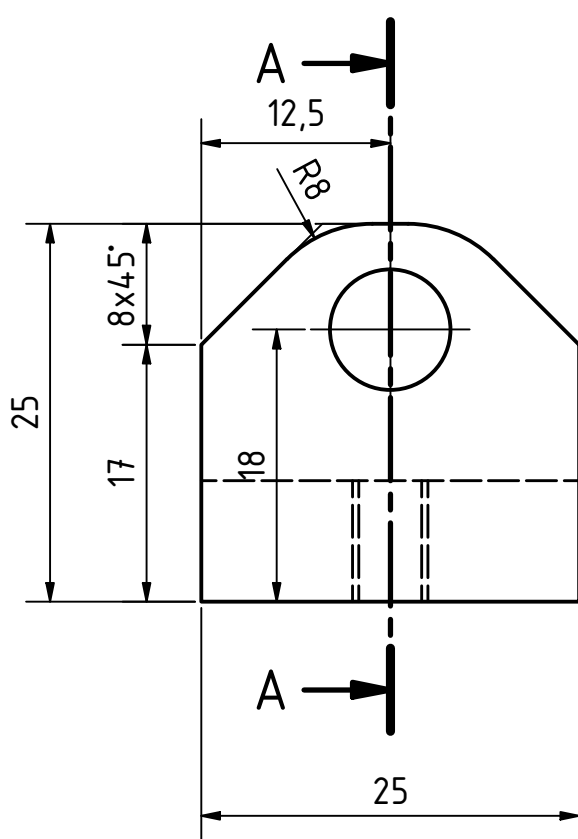
A-A (2 : 1)



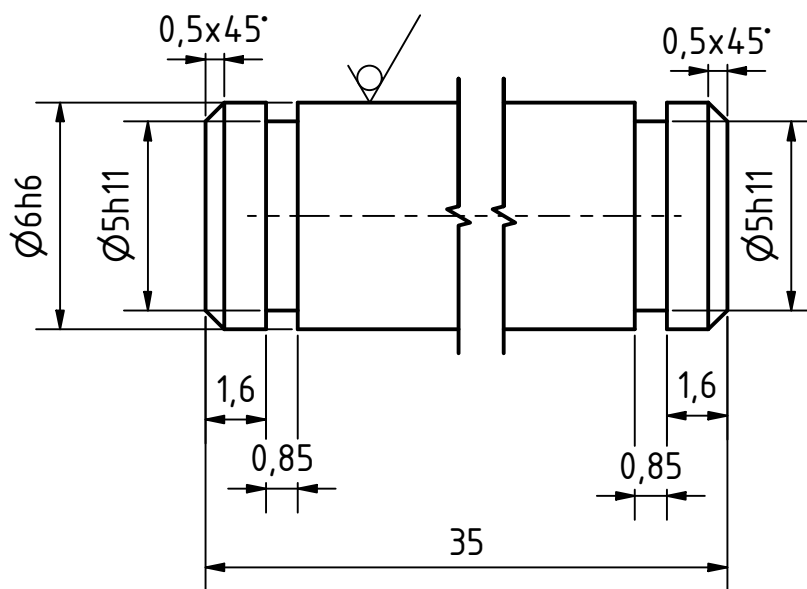
Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítko 1:1	Přesnost ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg) 0.051	Tolerování ISO 8015
Materiál - Polotovár 4HR 20x20-92 AW6060		Formát A4	
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil JAN ŠVEC	Název NOSNÍK RAMEN	
	Datum Schválil Datum Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES DP KKS 19-1/3	Číslo dokumentu	



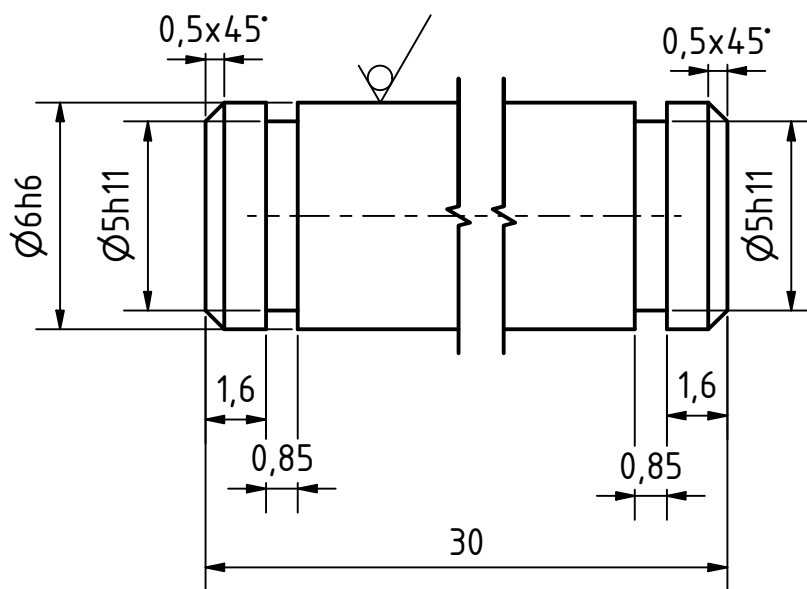
Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítko 2:1	Přesnost ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg) 0.023	Tolerování ISO 8015
Materiál - Polotovár 4HR 30x30-32 AW6060		Formát A4	
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil JAN ŠVEC	Název KŘÍŽOVÁ VIDLICE	
	Datum Schválil Datum Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES	Číslo dokumentu DP KKS 19-1/4	



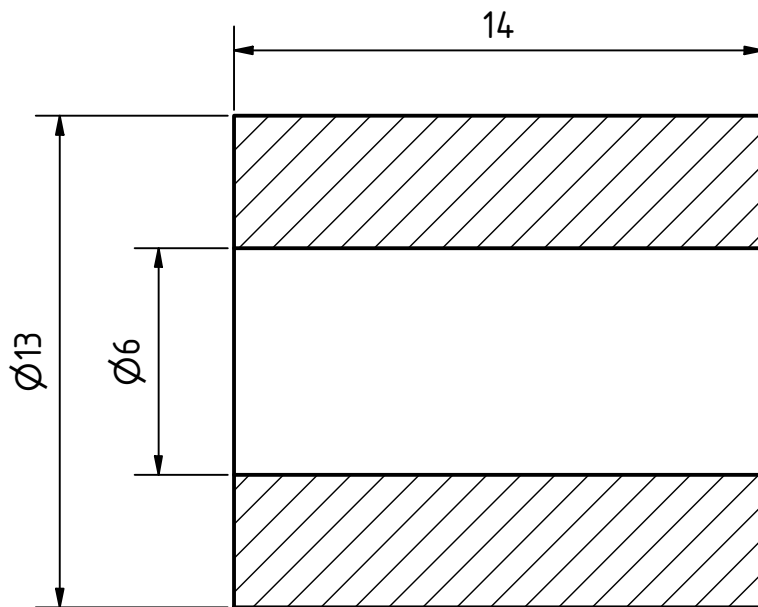
Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítko 2:1	Přesnost ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg) 0.023	Tolerování ISO 8015
Materiál - Polotovár 4HR 30x30-32 AW6060		Formát A4	
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil JAN ŠVEC	Název VIDLICE	
	Datum		
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil	Číslo dokumentu DP KKS 19-1/5	
	Datum		
Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES		List 1 Listů 1	



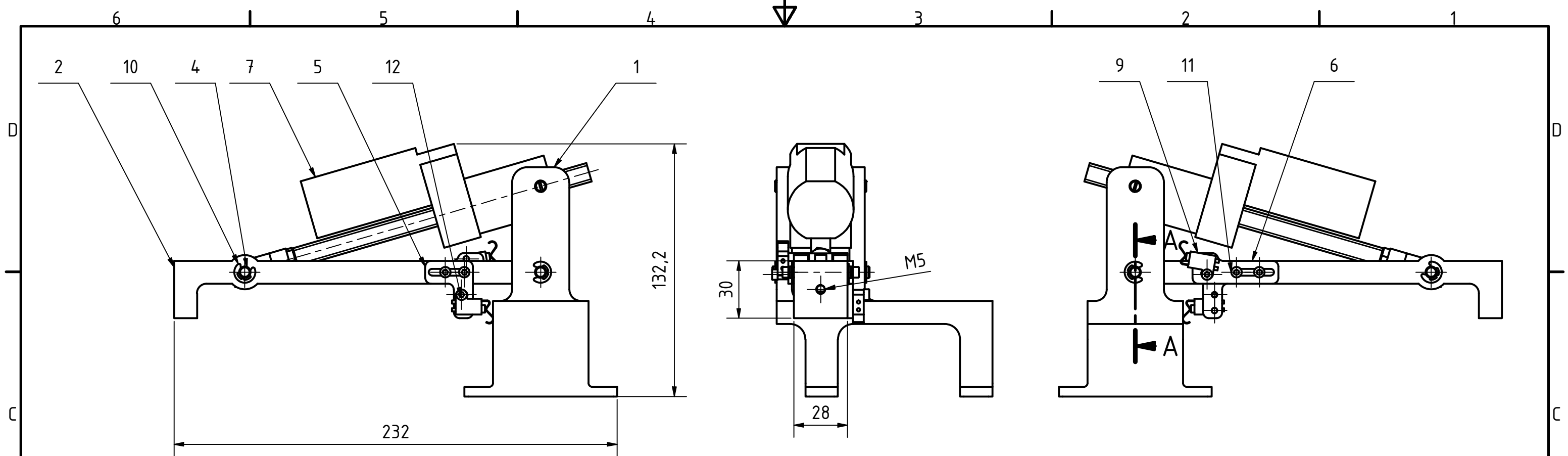
Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítko 5:1	Přesnost ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg) 0.008	Tolerování ISO 8015
Promítání 		Formát A4	
Materiál - Polotovár KR 6h6-36 12050		Datum JAN ŠVEC	
KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ KKS	Kreslil Datum	Název ČEP 1	
	Schválil Datum	Číslo dokumentu DP KKS 19-1/6	
Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES		List 1 Listů 1	



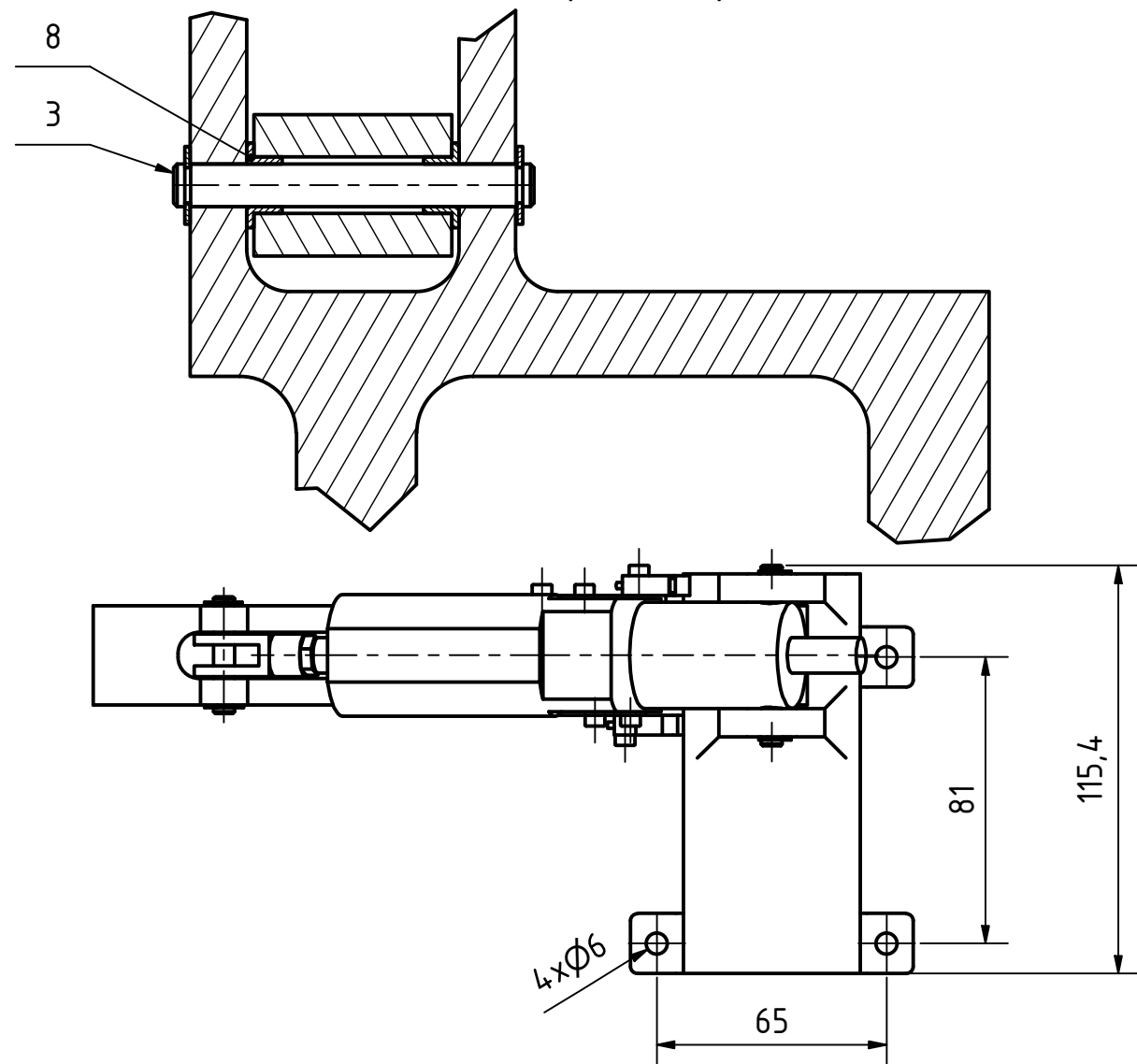
Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítko 5:1	Přesnost ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg) 0.007	Tolerování ISO 8015
Promítání 		Formát A4	
Materiál - Polotovár KR 6h6-32 12050		Datum JAN ŠVEC	
KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ KKS	Kreslil Datum	Název ČEP 2	
	Schválil Datum	Číslo dokumentu DP KKS 19-1/7	
Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES		List 1 Listů 1	



Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítko 2:1	Přesnost ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg) 0.002	Tolerování ISO 8015
Promítání 		Formát A4	
Materiál - Polotovár KR 15-16 PA6		Formát A4	
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil JAN ŠVEC	Název POUZDRO PRUŽINY	
	Datum		Číslo dokumentu DP KKS 19-1/8
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Datum	Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES	



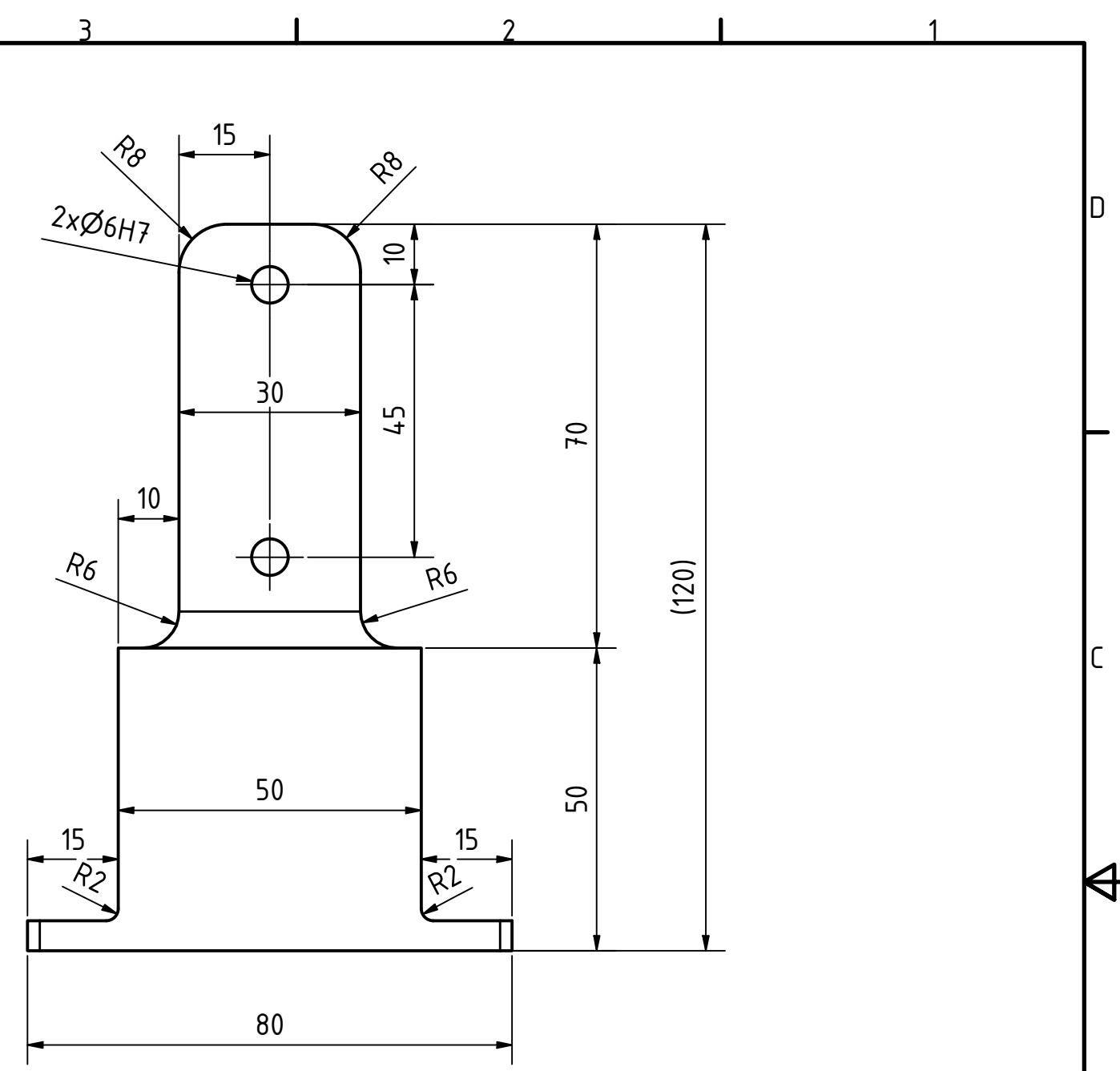
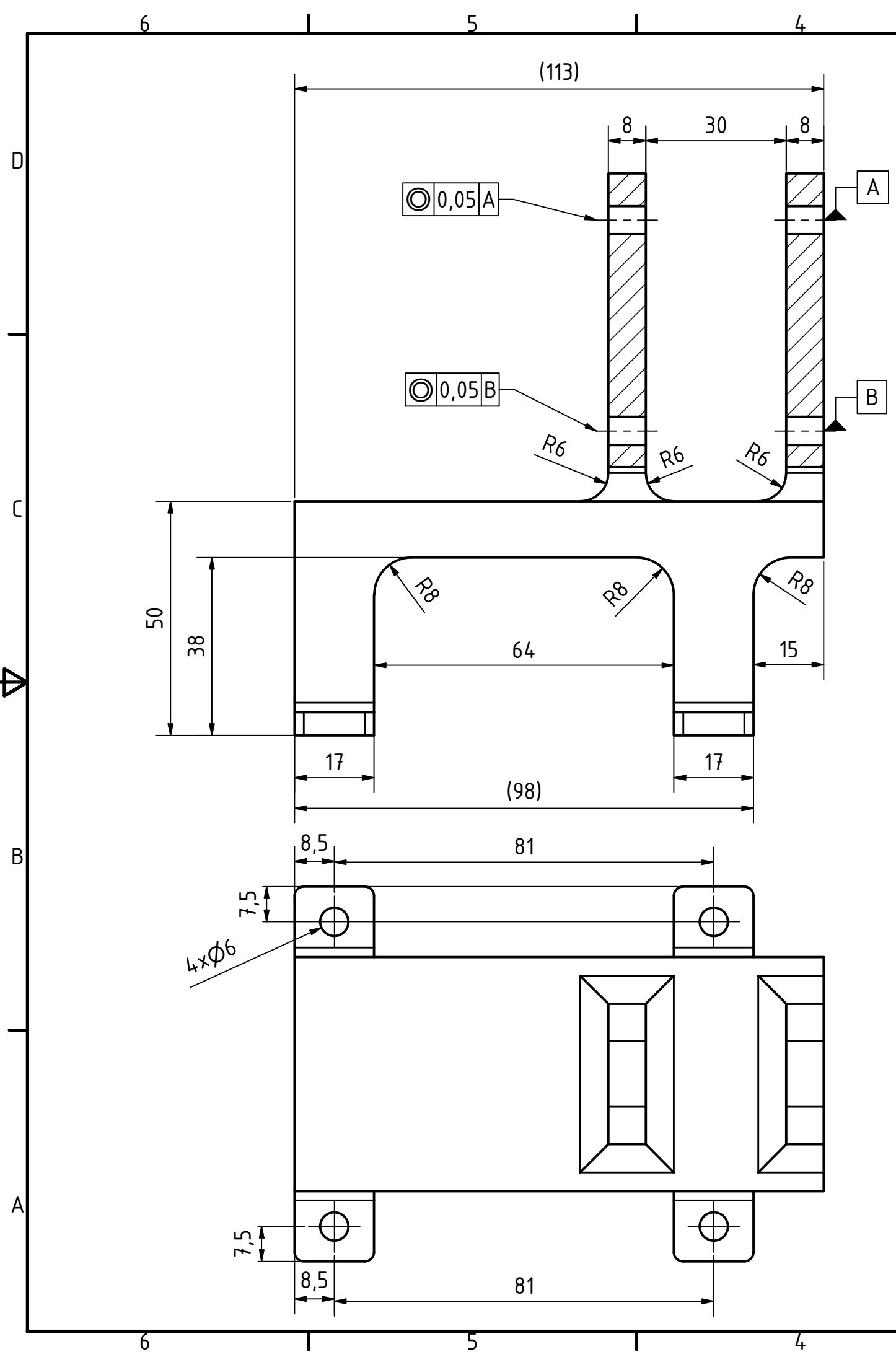
A-A (1:1)



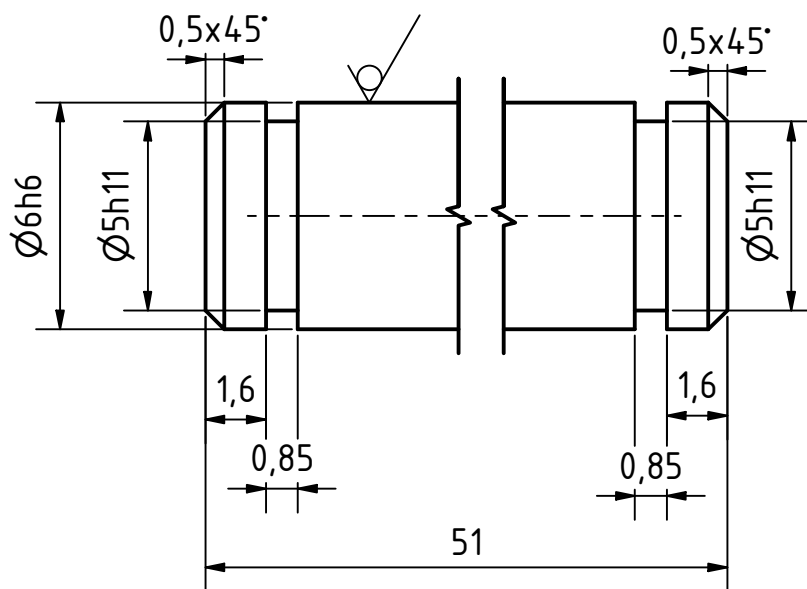
12	ŠROUB M3 x 10	ISO 4762	0,001 kg	1
11	ŠROUB M3 x 8	ISO 4762	0,001 kg	5
10	POJISTNÝ KROUŽEK 6	CSN 02 2929	0,000 kg	4
9	MIKROSPÍNAČ ASQM11620	PANASONIC	0,001 kg	2
8	KLIZNÉ POUZDRO GFM-0608-05	HENLICH	0,000 kg	2
7	ELEKTROPŘEVODOVKA MHG 100/12	DP KKS 19-3	0,519 kg	1
6	DRŽÁK MIKROSPÍNAČE 2	DP KKS 19-2/6	0,004 kg	1
5	DRŽÁK MIKROSPÍNAČE 1	DP KKS 19-2/5	0,003 kg	1
4	ČEP 4	DP KKS 19-2/4	0,007 kg	1
3	ČEP 3	DP KKS 19-2/3	0,011 kg	1
2	RAMENO ZDVIŽE	DP KKS 19-2/2	0,177 kg	1
1	ZÁKLADNÍ PLATFORMA	DP KKS 19-2/1	0,465 kg	1
POZICE	NÁZEV - ROZMĚR	ČÍSLO - NORMA	HMOTNOST	KS

KUSOVNÍK

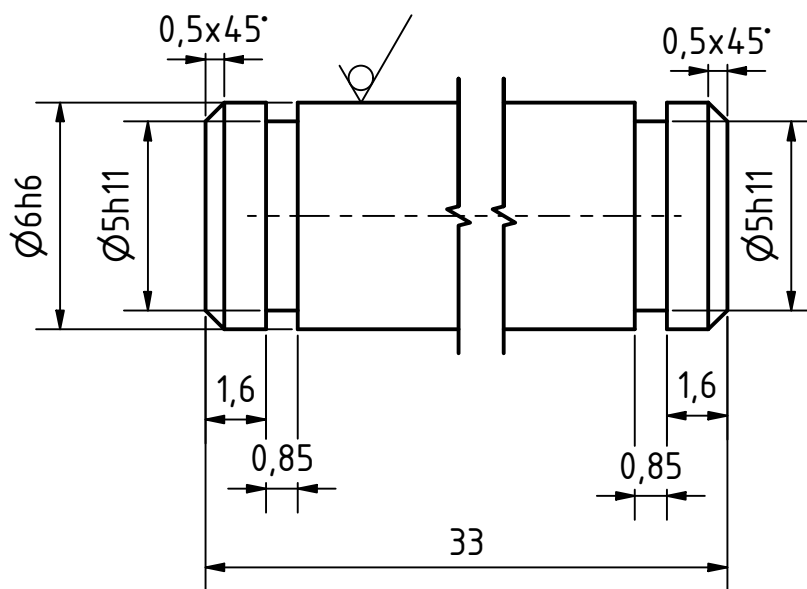
Měřítko	1:2	Hmotnost (kg)	1,2	Promítání		Formát	A3
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil	JAN ŠVEC		Název			
	Datum			ZDVIŽNÉ ZAŘÍZENÍ			
KKS	Schválil			Číslo dokumentu			
	Datum			DP KKS 19-02			
KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Druh dokumentu	VÝKRES SESTAVY		List 1 Listů 1			



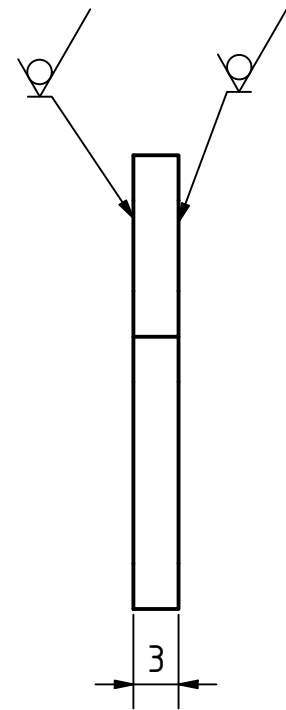
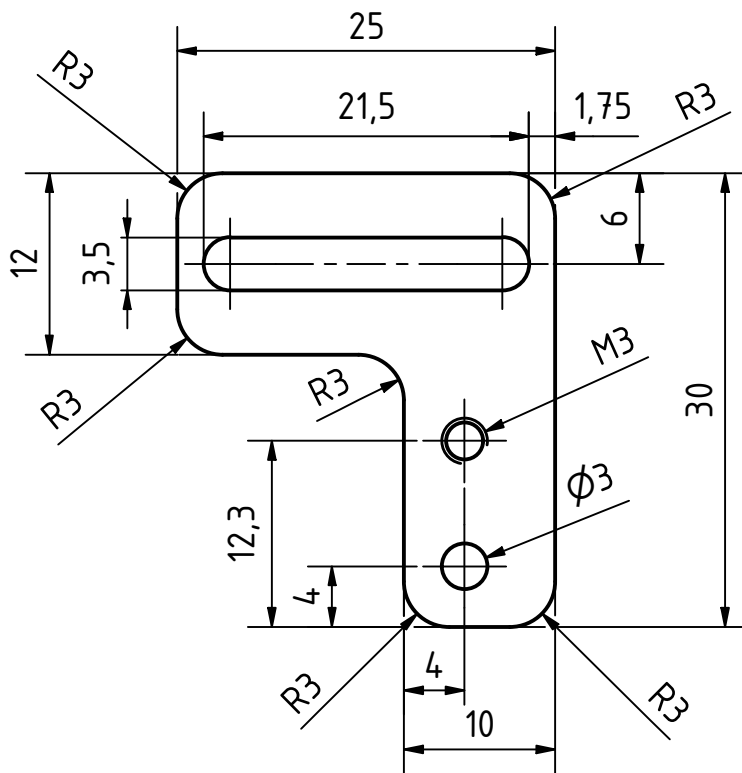
Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítko	Přesnost
		2:1	ISO 2768 - mK
Materiál - Polotovár		Hmotnost (kg)	Tolerování
4HR 120-125 AW6060		0,465	ISO 8015
Formát		Promítání	
A3			
Kreslil JAN ŠVEC Datum	Název		
	ZÁKLADNÍ PLATFORMA		
KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ KKS	Číslo dokumentu		
	DP KKS 19-2/1		



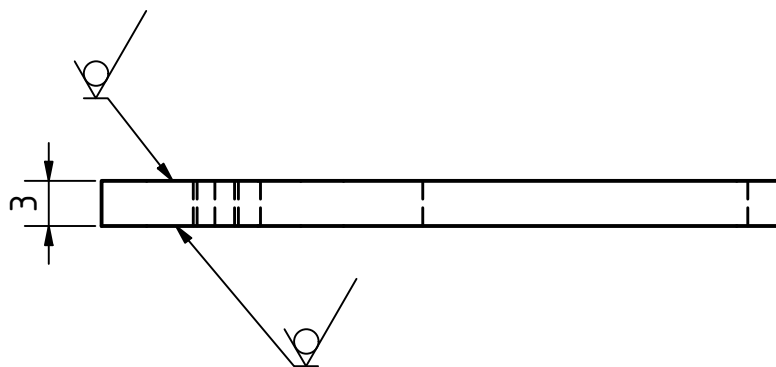
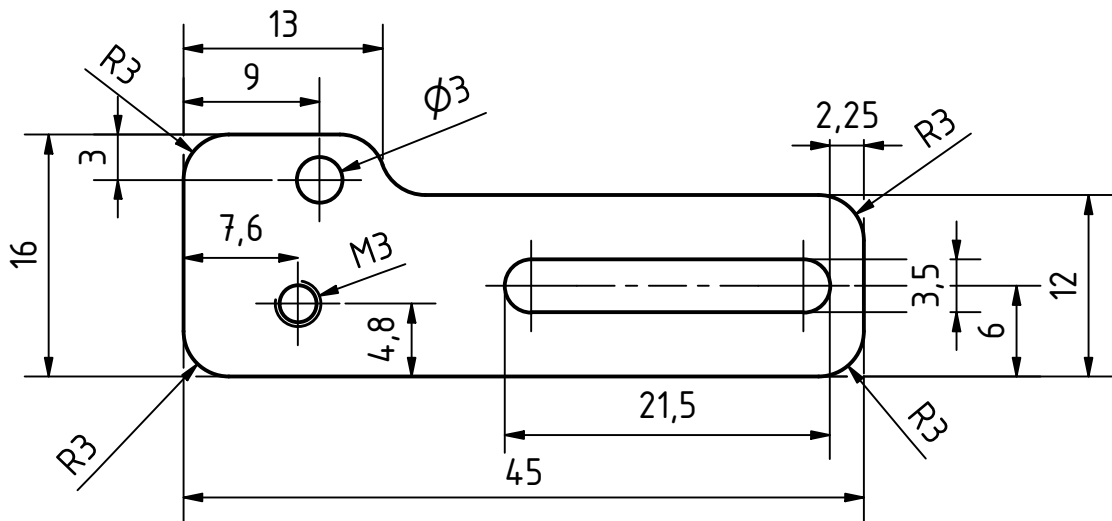
Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítko 5:1	Přesnost ISO 2768 - mK
			Tolerování ISO 8015
		Hmotnost (kg) 0.011	Promítání
Materiál - Polotovár KR 6h6-53 12050		Formát A4	
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil JAN ŠVEC	Název ČEP 3	
	Datum	Číslo dokumentu DP KKS 19-2/3	
	Schválil Datum	Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	List 1 Listů 1		



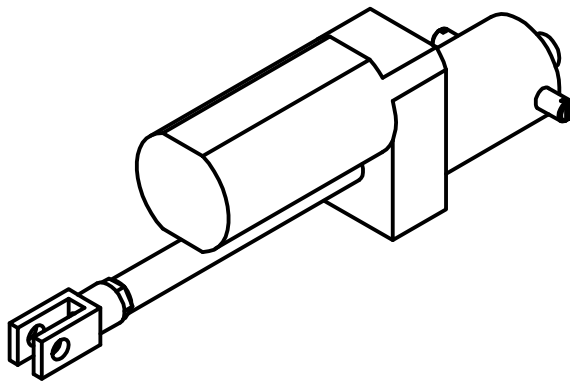
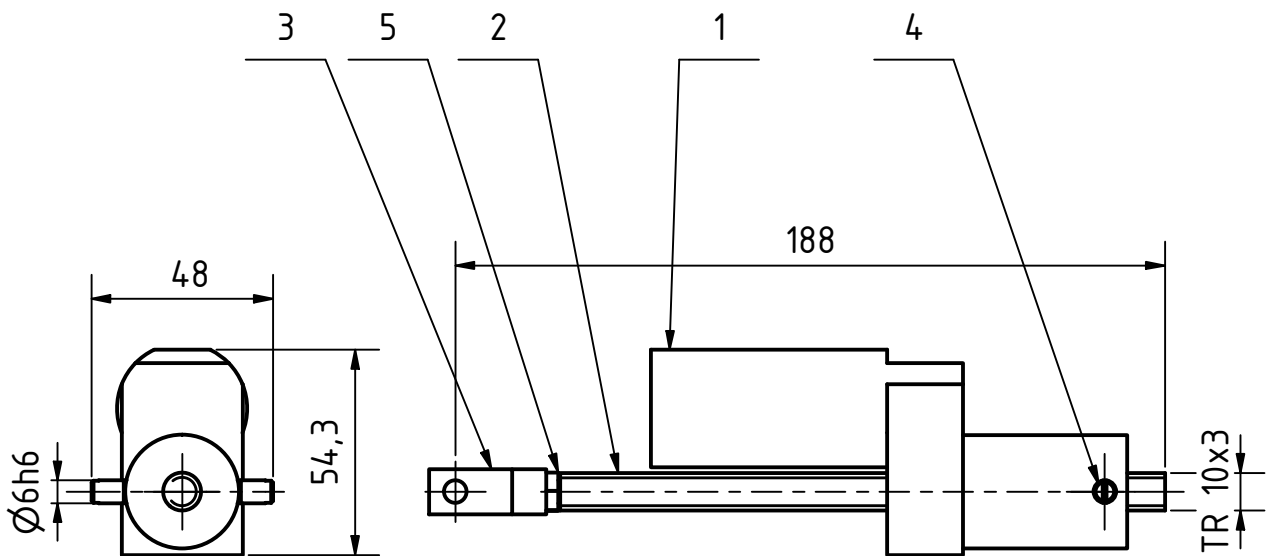
Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítko 5:1	Přesnost	ISO 2768 - mK	
			Tolerování	ISO 8015	
		Hmotnost (kg)	0.007	Promítání	
Materiál - Polotovár KR 6h6-35 12050				Formát	A4
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil	JAN ŠVEC			
	Datum				
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil				
	Datum				
Druh dokumentu		VÝROBNÍ VÝKRES		Název	ČEP 4
				Číslo dokumentu	DP KKS 19-2/4



Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítko 2:1	Přesnost ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg) 0.003	Tolerování ISO 8015
Materiál - Polotovár P 3 - 25x35 AW6060		Formát A4	
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil JAN ŠVEC	Název DRŽÁK MIKROSPÍNAČE 1	
	Datum Schválil Datum Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES	Číslo dokumentu DP KKS 19-2/5	



Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítko 2:1	Přesnost ISO 2768 - mK
			Tolerování ISO 8015
		Hmotnost (kg) 0.004	Promítání
Materiál - Polotovár P 3 - 50x20 AW6060		Formát A4	
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil JAN ŠVEC	Název DRŽÁK MIKROSPÍNAČE 2	
	Datum Schválil Datum Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES	Číslo dokumentu DP KKS 19-2/6	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	List 1 Listů 1		



5	NÍZKÁ MATICE M6	CSN EN 24 036	0,002	1
4	ČEP PŘEVODOVKY	MHG-KS	0,000	2
3	VIDLICE PRO MHG	MHG-GK-6	0,019	1
2	TR 10x3 - 168	HG-TR 10x3-05000 1xM6	0,100	1
1	ELEKTROPŘEVODOVKA MHG 100/12	MHG 100/12	0,114	1
POZICE	NÁZEV - ROZMĚR	ČÍSLO- NORMA	HMOTNOST	KS

KUSOVNÍK

Měřítko	1:2	Hmotnost (kg)	0,519	Promítání		Formát	A4
---------	-----	---------------	-------	-----------	--	--------	----

 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil	JAN ŠVEC		Název	ELEKTROPŘEVODOVKA MHG 100/12	
	Datum			Číslo dokumentu	DP KKS 19-3	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil					
	Datum					
			Druh dokumentu	VÝKRES SESTAVY		