

**Vysoká škola technická a ekonomická**

v Českých Budějovicích

# **Bakalářská práce**

**Jakub Ján**

*2016*

**Vysoká škola technická a ekonomická**

Ústav technicko-technologický

**Návrh a realizace metody  
pro ověření stability uložení  
lůžek pro automatizované  
zakládání kontaktů**

**Autor bakalářské práce:** Jakub Ján

**Vedoucí bakalářské práce:** Ing. Martin Podařil, PhD.

**České Budějovice, duben 2016**

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pouze s použitím uvedených zdrojů.

V Českých Budějovicích 1. 4. 2016

.....  
vlastnoruční podpis

# Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Martinu Podařilovi, PhD., za jeho odborné vedení práce, ochotu a čas strávený při konzultacích i nad rámec jeho osobního volna.

Dále bych chtěl poděkovat společnosti XY za nabídku a umožnění řešit bakalářskou práci právě pro ni, za poskytnutí všech potřebných podkladů a softwarů při řešení práce a také za to, že jsem v této firmě mohl absolvovat praktickou část mého studia.

V poslední řadě bych rád poděkoval všem, kteří mne během studia podporovali, a to zejména své rodině a přítelkyni.

# Abstrakt

Práce se zabývá návrhem a realizací vhodné metody pro ověření stability uložení lůžek pro automatizované zakládání kontaktů ve firmě XY. Teoretická část práce je zaměřena na automatizaci, na zařízení a prostředky hmotného toku, mezi něž patří např. roboty či manipulátory, dále na analýzu způsobilosti stroje a procesu a konečně na kontaktní a bezkontaktní senzory pro měření vzdálenosti.

Aplikační část se zabývá návrhem a realizací metody pro ověření stability uložení lůžek pro automatizované zakládání kontaktů, tzn. výběrem vhodného měřicího zařízení a jeho aplikací v sériovém výrobním procesu, samotným měřením pomocí laserového měřicího systému, vyhodnocením stability uložení lůžek pomocí analýzy způsobilosti stroje ve statistickém softwaru a hodnocením získaných výsledků.

Metoda přinesla výsledky, kterými bylo prokázáno nestabilní uložení zakládacích lůžek. Vychýlení lůžek bylo na hraně předepsané tolerance a nebyly splněny požadavky pro způsobilost stroje. Na základě těchto výsledků byla konstrukce uložení lůžek reklamována dodavateli, který navrhl a zavedl novou konstrukci uložení lůžek. Stabilita uložení nové konstrukce lůžek byla ověřena stejnou metodou. Díky zavedení nové konstrukce se zmenšilo vychýlení lůžek a bylo prokázáno jejich stabilní uložení, čímž byly splněny požadavky pro způsobilost stroje. Použitá metoda pro ověření stability uložení lůžek pro automatizované zakládání kontaktů se ukázala jako vhodná a v praxi využitelná.

## Klíčová slova

Stabilita uložení lůžek, vychýlení lůžek, měření vzdálenosti, analýza způsobilosti, manipulace s kontakty, automatizace, senzory.

# Abstract

The thesis is focused on the design and realization of a suitable method for verification of the position stability of special fixtures for automatic contacts implementation in the company XY, a limited liability company in České Budějovice.

The theoretical part of the thesis deals with the automatization, the material flow equipment and means, for example robots and manipulators. This part also discusses the suitability analysis of machinery and process, and the last but not least contact and incontact sensors for distance measurement.

The application part investigates the design and realization of the method for verification of the position stability of special fixtures for automatic contacts implementation, it means the selection of suitable measuring equipment and its application in a serial production process, the measurement by means of a laser measuring system, the evaluation of special fixtures position stability by means of analysis on machinery ability in a statistical software and the acquired data interpretation.

The method brought the results that proved an unstable position of the implementation fixtures. The fixture deflection was on the edge of the set toleration and the machinery suitability requirements were not kept. On the basis of the results the fixture position was complained to the supplier who consequently designed and implemented a new construction for fixture position. The stability of the position of the new fixture construction was verified with the same method. Thanks to the implementation of the new construction the fixture deflection was reduced and the stable position was proved which lead to the fulfilment of the machinery ability requirements. The used method for verification of the position stability of special fixtures for automatic contacts implementation has turned out as suitable and workable in practice.

## Key Words

Fixture position stability, fixture deflection, distance measurement, capability analysis, manipulation with contacts, automatization, sensors.

# Obsah

1	Úvod.....	8
2	Cíl práce.....	10
3	Teoreticko-metodologická část.....	11
3.1	Literární rešerše.....	12
3.1.1	Automatizace a mechanizace.....	12
3.1.2	Manipulátory a roboty.....	18
3.1.3	Ověření způsobilosti.....	23
3.1.4	Zařízení pro získání dat určených k ověření způsobilosti.....	28
3.2	Úvod do problému.....	38
3.3	Výzkumný problém.....	42
3.4	Metodika práce.....	42
4	Aplikační část a diskuse výsledků.....	45
4.1	Aplikační část.....	45
4.1.1	Výběr vhodné metody pro ověření stability uložení zakládacích lůžek.....	45
4.1.2	Výběr vhodného měřicího zařízení.....	46
4.1.3	Analýza cyklu.....	50
4.1.4	Aplikace měřicích zařízení ve výrobním procesu.....	51
4.1.5	Měření výchylky původních lůžek (před reklamací).....	53
4.1.6	Analýza naměřených dat před reklamací.....	57
4.1.7	Měření výchylky zakládacích lůžek po jejich reklamaci a přestavbě.....	66
4.2	Diskuse výsledků.....	68
4.3	Návrhy opatření.....	71
5	Závěr.....	72
	Seznam zdrojů.....	74
	Seznam použitých zkratk.....	77

Seznam obrázků .....	78
Seznam tabulek .....	80
Přílohy .....	81

# 1 Úvod

Napříč všemi obory můžeme vypořádat snahu o osvobození člověka od fyzické a duševní práce, která je v posledních letech, a to hlavně díky rychlému vývoji výpočetní techniky, v popředí zájmu každého subjektu, ať už výrobního, či nevýrobního. Proces vývoje techniky, jímž se daného osvobození za použití automaticky pracujících strojů dosahuje, se nazývá automatizace. Příkladem automatizace může být například kalkulátor, ve kterém jsou rutinní i složitější matematické operace zautomatizovány a uloženy v jeho paměti za účelem usnadnění a urychlení dílčích výpočtů. Pokud se budeme bavit o automatizaci na vyšší úrovni, můžeme zmínit například programové vybavení a výpočetní techniku, které dohromady ulehčují život lidem pracujícím ve všech oborech - technikům, ekonomům, vědcům, lékařům, atd., ale automatizace obecně se dotýká více či méně každého z nás, ať už se budeme bavit o lednici, automatické pračce, regulaci spotřeby energií v „chytřém“ rodinném domě, výrobní lince na výrobu skleněných lahví na pivo či o řízení provozu teplárny.

Velmi důležitou oblastí automatizace je automatizace výrobního procesu. Její počátky sahají do minulosti, kdy byla automatizována například výroba zbraní. Snaha automatizovat výrobní proces si klade několik cílů – odstranit ruční práci, zvýšit produktivitu, zvýšit jakost a konkurenční schopnosti výroby a služeb, zajistit stabilitu procesu, snížit náklady. Automatizace výrobního procesu dále vede k ekonomicko-provozním úsporám, zefektivnění samotné výroby a hlavně ke zjednodušení práce za pomoci strojů. To vše má společně s mechanizací výroby i stinnou stránku v podobě vyšší nezaměstnanosti, vzpomenout můžeme např. první průmyslovou revoluci, kdy uvedením parního stroje do výroby došlo k odstranění řemeslného způsobu práce, čímž o svá pracovní místa přišlo velké množství pracovníků.

V práci se budu zabývat problematikou, která spadá právě do výše zmiňované oblasti automatizace výrobního procesu. Podstatou práce bude řešení problému dílčí části složitého automatizovaného procesu výroby plastového výrobku, který je dále použitý v sestavě produktu určeného pro automobily. Tento automatizovaný výrobní proces se skládá z několika úkonů. Prvním z nich je příprava složitě profilovaných kontaktů ve střížném postupovém nástroji, dalším je odebrání kontaktů ze střížného nástroje a následné založení kontaktů do základacích lůžek na otočném stole za pomoci manipulátoru, následuje odebrání kontaktů z lůžek otočného stolu robotem a jejich založení do formy uložené na vstřikovacím lisu.



Při odebrání kontaktů z otočného stolu nastává ten problém, že kontakty robot buďto neodebere, takže zůstanou založeny v zakládacím lůžku na otočném stole, nebo během jejich přemísťování do formy vstřikovacího lisu vypadnou z čelistí robota. Během sériového procesu dochází k nesprávnému odebrání kontaktů, které je způsobeno výkyvem zakládacích lůžek do stran. Díky nesprávnému odebrání kontaktů z lůžek, resp. díky jejich neodebrání, se výrobní proces stává nestabilním a dochází k mnoha problémům, například k vynuceným prostojeům, kdy v konečném důsledku není možno díly vyrábět. Konstrukce uložení lůžek s největší pravděpodobností není dostatečně robustní, a proto se práce zaměřuje na nalezení a realizaci vhodné metody pro ověření stability uložení zakládacích lůžek v sériovém procesu.

Stabilita výrobního procesu je důležitým prvkem, má obrovský vliv na samotnou výrobu součástí, která se nakonec vždy promítne po stránce ekonomické. V našem případě vede nestabilita výrobního procesu automatizovaného odebrání resp. zakládání dílu ke znečištění a deformaci kontaktů a tím ke vzniku zmetků, dále pak k zastavování a přerušování výrobního procesu a konečně ke snížení produktivity.

Důvodem výběru tohoto tématu je praktický přínos jak pro firmu XY, ve které je tato bakalářská práce řešena, tak i pro mne samotného, jelikož se podrobně seznámím s výrobními procesy, postupy a kontrolními metodami v této firmě, jež jsou potřebné k dosažení stanovených cílů.

## 2 Cíl práce

Cílem práce je najít vhodnou metodu pro ověření stability uložení lůžek pro automatizované zakládání kontaktů a použít tuto metodu pro vyhodnocení stability uložení lůžek v sériovém procesu ve firmě XY.

Předepsaná tolerance maximálního vychýlení lůžek v rámci vyhodnocení stability zařízení (schopnosti stroje) byla definována  $\pm 0,03$  mm.

### 3 Teoreticko-metodologická část

Člověk jako takový se vždy snažil usnadnit si různé, méně či více rutinní, činnosti. K usnadnění těchto činností začal vynalézat a používat různé nástroje, mechanismy, stroje a zařízení, jejichž vývoj jde neustále kupředu, a se vznikem a masovým využitím výpočetní techniky je tento vývoj ještě rychlejší. Trendem posledních let je zavádění automatizace ve všech výrobních i nevýrobních odvětvích. Ve výrobním odvětví má automatizace obzvláště velký význam, protože hlavně díky ní dochází ke zvýšení produktivity práce i výroby, snížení počtu potřebných pracovníků ve výrobě při současném zvýšení nároků na kvalifikaci pracovníků údržby, seřizování a chodu strojů. Jako příklad si můžeme uvést zavedení automatizace výroby plastové komponenty na vstřikovacím lisu. Její výroba sestává z několika kroků – příprava materiálu, doprava materiálu, samotné vstřikování materiálu na vstřikovacím lise, odebrání hotového výrobku a vtokové soustavy z formy, manipulace s hotovým výrobkem a jeho kontrola. Pokud by takovýto proces nebyl automatizovaný, byl by velmi náročný na koordinaci, velmi zdoluhavý a drahý, s využitím většího množství pracovníků. V případě, že bychom chtěli takovýto výrobní proces zautomatizovat, využijeme k tomu různé druhy strojů a zařízení, např. robotů, manipulátorů, dopravníků, výpočetní techniky, řídicích a vyhodnocovacích jednotek, programovatelných logických automatů a také softwarů. Všechna tato zařízení by však správně nefungovala, pokud by tyto systémy nebyly opatřeny dalšími technickými zařízeními a součástkami, které slouží k získávání informací a zpětných vazeb, k měření velečin, ke snímání a záznamu dat a údajů všeho druhu. Těmito technickými zařízeními mohou být např. různé typy snímačů, čidel a senzorů. Ruku v ruce s vývojem automatizace a různorodosti požadavků řídicích a informačních systémů je neustále vyvíjen tlak na vývoj nových typů snímačů a senzorů pracujících na různých fyzikálních principech.

Při zavedení automatizace do výroby, ale i během provozu automatizované výroby se však mohou vyskytnout problémy, které mají negativní vliv na samotný výrobní proces. Tyto problémy je vždy nutné řešit a opravit. Vždy je nutné diagnostikovat samotnou příčinu problému, tu dále zkoumat a navrhnout opatření k jejímu odstranění. K tomu nám mohou dopomoci informace právě z výše zmiňovaných technických zařízení. Někdy však tyto informace nestačí a je nutné vymyslet metody, jak podpůrné informace potřebné pro řešení problému ze systému získat. K jejich získání je možné využít zavedení speciálních a přesnějších zařízení do daného systému, které informace poskytnou. Mohou to být například další senzory a čidla, měřicí přístroje, sondy, spínače, ale i kamery a další potřebná zařízení.

## **3.1 Literární rešerše**

Literární rešerše této práce se zabývá základními informacemi o automatizaci a mechanizaci, o jejich základních prostředcích s detailnějším zaměřením na roboty a manipulátory, jakožto zařízení v automatizaci nepostradatelná. V dalších kapitolách jsou popsány analýzy způsobilosti strojů a procesů a konečně senzory, které se využívají například k získávání dat potřebných při ověřování způsobilosti strojů, procesů a dalších analýz způsobilosti, ale i jako zařízení informačního toku v automatizaci.

### **3.1.1 Automatizace a mechanizace**

Vývoj techniky popisuje Lacko a kol. (2000) ve 3 základních stupních. 1. stupněm je instrumentace (výroba pomůcek a různých nástrojů používaných ve výrobním procesu), druhým stupněm je mechanizace (zbavení člověka fyzicky namáhavé práce díky činnosti strojů) a třetím stupněm je automatizace (zbavení člověka fyzické i duševní namáhavé práce díky činnosti strojů).

Ve většině definicí mechanizace je uváděno, že zavádění mechanizace patřilo mezi první průmyslové stupně, jejichž realizace probíhala díky poměrně jednoduchým nebo lehce ovladatelným nástrojům. Vrchol období mechanizace můžeme sledovat na konvenčních, klasických výrobních strojích, např. konvenční soustruhy, frézky, stojanové vrtačky, kdy jsou tyto stroje ovládány ručně člověkem za pomoci různých mechanismů. V případě výše uváděných strojů mohou být těmito mechanismy například různé páky a kliky.

„Mechanizace je směr vývoje techniky, který využitím účelových zařízení zbavuje člověka namáhavé, opakující se fyzické práce. Komplexní mechanizace může být předpokladem automatizace.“ (Hluchý, Kolouch, 2007, str. 259)

Za nejvyšší a prozatím i poslední stupeň ve vývoji techniky lze považovat automatizaci. V podstatě se jedná o nový směr rozvoje techniky, který vychází z komplexní mechanizace. Oproti mechanizaci, při které je člověk osvobozen od namáhavé fyzické opakující se práce, automatizace zbavuje člověka i od duševní práce. Ve svém nejvyšším stupni se automatizace snaží člověka zcela vyloučit z obsluhy strojů a ponechat mu pouze kontrolu, seřízení a údržbu stroje, což klade vyšší požadavky na úroveň kvalifikace pracovníků, kteří se starají o návrh, údržbu a chod automatizace (konstruktéři, seřizovači), při současném snižování počtu potřebné obsluhy, která může být zařazena až na samotný konec výrobního procesu.

Automatizace je období, které z hlediska vývoje následovalo po mechanizaci - v prvním období ji nazýváme tvrdou automatizací. Ta zahrnuje systémy řízené např. mechanickými převody, narážkami a dorazy. Jejich nevýhodou může být relativně dlouhá doba přípravy při změně programu, resp. při přechodu z jedné výroby na druhou. Automatizace se postupně vyvíjela a přetvářela v automatizaci pružnou, představovanou především číslicovým řízením. Našla uplatnění zvláště v pružných výrobních systémech, vyznačujících se vysokým stupněm automatizace, a to hlavně zásluhou možnosti relativně rychlé přeměny výroby díky změně programu bez větších úprav strojů, výměny či výroby nových přípravků, aj. Pružné výrobní systémy využívají různé typy manipulátorů, průmyslových robotů, číslicově řízených strojů.

V odborné literatuře (Hluchý, Kolouch, 2007, str. 258) se uvádí, že automatizace je „vyšší forma moderní strojní výroby, při níž řada výrobních postupů (popřípadě celý závod) je samočinně řízena podle stanoveného programu prostřednictvím elektrických, měřících a kontrolních zařízení.“

Za automatizaci tedy můžeme považovat samočinné uskutečňování úkonů, pohybů, výroby aj., kdy jsme schopni pomocí řídicích systémů (např. výpočetní techniky) řídit průmyslová zařízení (např. stroje, výrobní linky, montážní linky) a procesy.

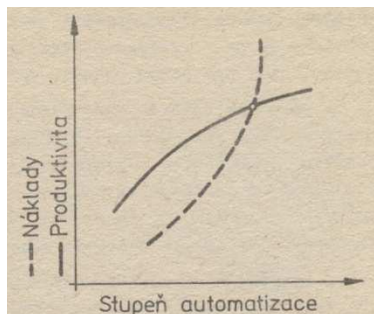
### **3.1.1.1 Stupně automatizace**

Lacko a kol. (2000) rozlišuje 3 základní stupně automatizace. Prvním a nejjednodušším stupněm je automatické ovládání, při kterém probíhá tok informací pouze v jednom směru. Nemá zpětnou vazbu o následcích svého působení a je charakterizováno přímým otevřeným řetězcem (viz Příloha 1). Druhým stupněm je automatická regulace (viz Příloha 2), kdy tok informací probíhá v obou směrech. Obsahuje ovládací člen – regulátor, a je pro ni typický uzavřený řetězec se zpětnou vazbou sloužící k úpravě procesních parametrů. Třetím stupněm je automatické řízení, které řídí procesy automaticky a při výskytu problému hledá řešení. Kromě regulátoru obsahuje ještě další členy. Používají se v těch nejsložitějších procesech.

Podle Vlacha (1980) můžeme automatizovat dané zařízení pouze do určitého stupně, který je dán hranicí, kterou tvoří ekonomická a technologická hlediska. Tvrdí, že se zvyšujícím stupněm mechanizace a automatizace rostou náklady na pořízení a údržbu stroje při současném zvyšování produktivity. Růst produktivity je však výhodný a hospodárny pouze do určitého bodu (průsečík křivky nákladů a křivky produktivity, viz Obrázek 1). Pokud se bude stupeň automatizace ještě zvyšovat, růst nákladů bude velmi prudký a růst produktivity malý.

Při automatizaci využíváme 2 skupiny strojů – automatické, které samočinně vykonávají všechny činnosti a automatizované, jež dokážou samočinně vykonávat jen některé činnosti.

**Obrázek 1: Vliv stupně automatizace na náklady a produktivitu**



Zdroj 1: VLACH, B., 1980. Technologie obrábění. Praha: České vysoké učení technické, 263 s.

### 3.1.1.2 Výhody a nevýhody automatizace

Jako hlavní *výhody automatizace* Rumíšek (2002) uvádí zvýšení produktivity, snížení výrobních nákladů, odstranění vlivu člověka na množství a kvalitu vyrobených dílů, osvobození člověka od fyzické i duševní namáhavé opakující se práce. Výhodou pro praxi je zejména úspora pracovníků, zvýšení jakosti, přesnosti a spolehlivosti, snížení režijních nákladů, jednoduché plánování, regulace a vyhodnocení automatizované výroby (v případě funkční automatizace), dále úspora výrobních ploch, skladů a materiálu, rychlé a přesné informace o výrobě a přesun pracovních sil do oblastí přípravy výroby a kontroly.

*Nevýhodou automatizace* je především vysoká pořizovací cena, vysoké provozní náklady a dlouhý vývoj. Rumíšek (2002) zmiňuje konstrukční složitost s nutností individuálního řešení pro daný výrobní proces (při návrhu automatizace se musí k problému přistupovat komplexně s nutností aplikovat nové metody a postupy), zásadní změny v organizaci a přístupu oproti neautomatizované výrobě (vyšší kvalifikovanost pracovníků zajišťujících údržbu, seřizování a chod strojů), technická složitost integrovaných soustav tvořených výrobními a řídicími zařízeními.

*Důvody* k zavedení automatizace jsou obvykle vynucené, např. zdraví člověka, kvalitativní, jež jsou ve firmě XY často důvody hlavními, a to kvůli zajištění vysokého požadavku na kvalitu, nebo ekonomické, kdy je hlavním důvodem zavedení automatizace zisk. Původním motivem bylo ulehčení života a práce lidem.

Lacko a kol. (2000) uvádí mimo jiné využití automatizace ve škodlivých prostředích, která ohrožují zdraví člověka; nahrazení pracovníků z důvodu chyb, které do výrobního procesu vnášejí a vedou k časovým a finančním ztrátám, dále v případech, kdy potřebujeme mít z různých důvodů vzdálenou kontrolu nad daným zařízením (pyrotechnické roboty, průzkumné letouny). Někdy by přítomnost obsluhy byla neekonomická (např. různé druhy samoobslužných automatů, ať už potravinových či nápojových, automatů na výdej poštovních balíčků, bezpilotní zařízení (tzv. drony) sloužící pro získání obrazového záznamu) či není možná přítomnost člověka (ponorky při potápění do velkých hlubin, průzkumná zařízení, jako jsou bezpilotní letouny, kosmické sondy, sondy malých rozměrů). Zaměstnavatelé oceňují to, že automatické řízení je rychlejší a přesnější než lidská obsluha a zajistí vyšší jakost úkonů než člověk (např. automatické svařování robotem zajistí rovnoměrné svaření a tloušťku svaru).

*Ekonomická automatizace* umožňuje zvýšení produktivity práce a objemu výroby, snížení výrobních i režijních nákladů (mzdových i materiálových), vysokou úroveň kvality výrobků, možnost pružně reagovat na přání zákazníků, zkrácení průběžné doby a vývoje, čímž firma získává konkurenční výhodu.

### **3.1.1.3 Automatizace výrobních a nevýrobních procesů**

Rozlišujeme nevýrobní a výrobní automatizaci. Dle Lacka (2005) se *nevýrobní* zabývá automatizací nevýrobních procesů a funkcí nevýrobních soustav. Jejími typickými produkty jsou veřejně přístupné automaty, automatizované lékařské přístroje, automatizovaná zařízení v automobilech a letadlech, zabezpečovací systémy, automatizované spotřebiče v domácnosti, atp. Mezi procesy nevýrobní automatizace řadí procesy veřejných služeb (systémy státní správy, peněžní ústavy, informační služby, spojovací služby, zdravotnictví, atp.), procesy spojené s provozem bytových a nebytových prostor a jiné procesy (spojené s ochranou majetku, se vzděláváním, se šířením informací skrze média, automatizace funkcí spotřebního zboží, atp.).

*Výrobní automatizace* je automatizace výrobních procesů a dílčích operací ve strojírenství, elektrotechnice, ve stavebnictví, v potravinářském, energetickém či chemickém průmyslu, atp. Mezi její hlavní produkty řadíme automatické linky, bezobslužné výrobní stroje (pružné výrobní buňky), výrobní robotizovaná pracoviště, systémy CIM (Computer Integrated Manufacturing), a pružné výrobní systémy (FMS – Flexible manufacturing systém). (Lacko, 2005)

#### 3.1.1.4 Základní prostředky automatizace

Rumíšek (2002) uvádí, že jsou všechny automatizované druhy výrobních systémů strukturální, a proto na ně můžeme pohlížet jako na stavebnicové jednotky, díky čemuž lze celou skladbu a strukturu automatizovaných systémů detailně specifikovat. Skladbu automatizovaných systémů rozděluje do následujících skupin:

- *zařízení a prostředky hmotného toku* - různá zařízení sloužící pro transport a manipulaci s obrobky, materiálem, nástroji, např. dopravníky, manipulátory, roboty, transportní zařízení, zásobníky, násypky, oddělovací a podávací mechanismy, skluzu, apod.
- *zařízení a prostředky informačního toku* – např. senzory, snímače, spínače, měřicí zařízení, čtečky, interpolátory, paměti, nosiče informací, různé narážky, vačky, atp.,
- *zařízení a prostředky energetického toku* – měniče, silové systémy, servomechanizmy aj.,
- *řídící systémy*,
- *ostatní pomocné automatizační prvky* – jsou jimi např. kuličkové šrouby,
- *pomocné mechanizačně-automatizační zařízení a prostředky (MAZ)*,
- *vlastní výrobní stroje a zařízení s různou úrovní automatizace*.

#### 3.1.1.5 Zařízení a prostředky hmotného toku

Jsou nejdůležitějším prvkem, který vstupuje do výrobního procesu ve strojírenském podniku, kde realizují přemísťování, posuv, zvedání, překlápění, transport a manipulaci s obrobky, materiálem, nástroji, polotovary a všemi výrobními pomůckami. Úkony prováděné zařízeními a prostředky hmotného toku Rumíšek (2002) dělí podle délky manipulačních drah a míst, ve kterých se manipulace provádí na úkony pro:

- *transport, dopravu a mezioperační manipulaci* (úkony jsou uskutečňovány mezi jednotlivými technologickými pracovišti, a to v různých úrovních a délkách manipulačních drah),
- *operační manipulaci* (úkony jsou uskutečňovány vždy na daném konkrétním technologickém pracovišti).

Do oblasti základní mechanizace patří množství manipulačních prostředků, zmiňují především transportní zařízení, dopravníky a tratě, skluzu a žlaby.

*Dopravníky* též nazývané dopravní jednotky jsou zařízení, která slouží k přemístění všech součástí v dopravním proudu. Dopravník zajišťuje dopravu materiálu, polotovarů, obrobků,



výrobků nebo součástí pro montáž mezi jednotlivými stroji a pracovními místy a případně i zpětnou dopravu nosných desek s upínači (tzv. technologických palet) z vykládací do nakládací stanice. Holeček a Holoubek (1985) rozdělují dopravníky na dopravníky s tažným prvkem (pásové, článkové, okružní vozíkové, korečkové, podvěsné, závěsové, hrnouchy, pohyblivé schodiště), kdy materiál nevykonává žádný relativní pohyb vzhledem k tažnému prvku, kterým může být např. pás či články a na dopravníky bez tažného prvku (šnekové, vibrační, válečkové a kladkové tratě, paletové vozíky), u nichž dopravovaný materiál vykonává relativní pohyb vůči hnacímu prvku.

*Skluzy a žlaby* jsou nejjednoduššími dopravními zařízeními, protože se po nich součásti (materiál, výrobky, polotovary, atp.) pohybují smykáním. Jsou jednoduché na výrobu, levné, mají nízké nároky a náklady na údržbu a provoz, mají dlouhodobou životnost a jsou bezporuchové. Příliš se nehodí pro malé a lehké díly a komponenty, které by se lepily na stěny skluzu. Využívají se hlavně k podávání materiálu a dílů, které navíc mohou během skluzu měnit svou orientaci. Též se používají k odkládání hotových výrobků přímo ze stroje.

*Zařízení pro skladování součástí, násypky a zásobníky* naleznou uplatnění zvláště u tvrdé automatizace. Násypky jsou zařízení nebo části zařízení, ve kterých se ukládají a shromažďují objekty s různými rozměry a tvary. Podle Rumiška (2002) slouží převážně k vytváření zásob prostorově neorientovaných, neuspořádaných součástí. Užívají se ke shromažďování součástí a tedy i vytváření zásob již orientovaných polotovarů, mohou být jednoúčelové nebo univerzální.

*Mechanismy pro zachycení a orientaci součástí* slouží k zachycení různých objektů, kdy jsou tyto objekty zároveň orientovány do požadované polohy. Obvykle bývají mezi násypkou a zásobníkem, objekty bývají zachyceny a polohově orientovány v násypce, odkud jsou pomocí zachytného členu nebo díky gravitaci a hmotnosti vlastní tíhou přemístěny do zásobníku. Rumišek (2002) je rozděluje na mechanismy k zachycení za vnitřní povrch, k zachycení za vnější povrch a konečně na mechanismy k zachycení do výřezu dle tvaru součástí.

*Mechanismy pro kontrolu správnosti orientace objektů* se umísťují např. do zásobníků, kde hlídají správnost polohové orientace objektů a případně ji i samy upravují, aby se zabránilo poruchám a prostojům ve výrobním procesu (např. pákový mechanismus). Někdy se používá mechanismus, který v případě nesprávné orientace dílu pouze vyše informaci k zastavení procesu (např. otáčivý kontrolní mechanismus).

*Odměřovací a dávkovací mechanismy* mají dle Rumiška (2002) za úkol oddělování, separaci a dávkování těch součástí, které jsou prostorově orientovány do podávacího systému stroje.

Bývají spojeny dohromady s podávacím mechanismem nebo jsou řešeny samostatně. Dle způsobu provedení je dělíme na bubnové, tyčkové a kyvadlové. Jsou-li spojeny s podávacím mechanismem a ten převádí přenášený objekt ze zásobníku nebo dopravního systému do pracovního prostoru stroje, nazýváme je podavači. V případě pouhého odměřování určitého množství součástí se mechanismy nazývají oddělovače.

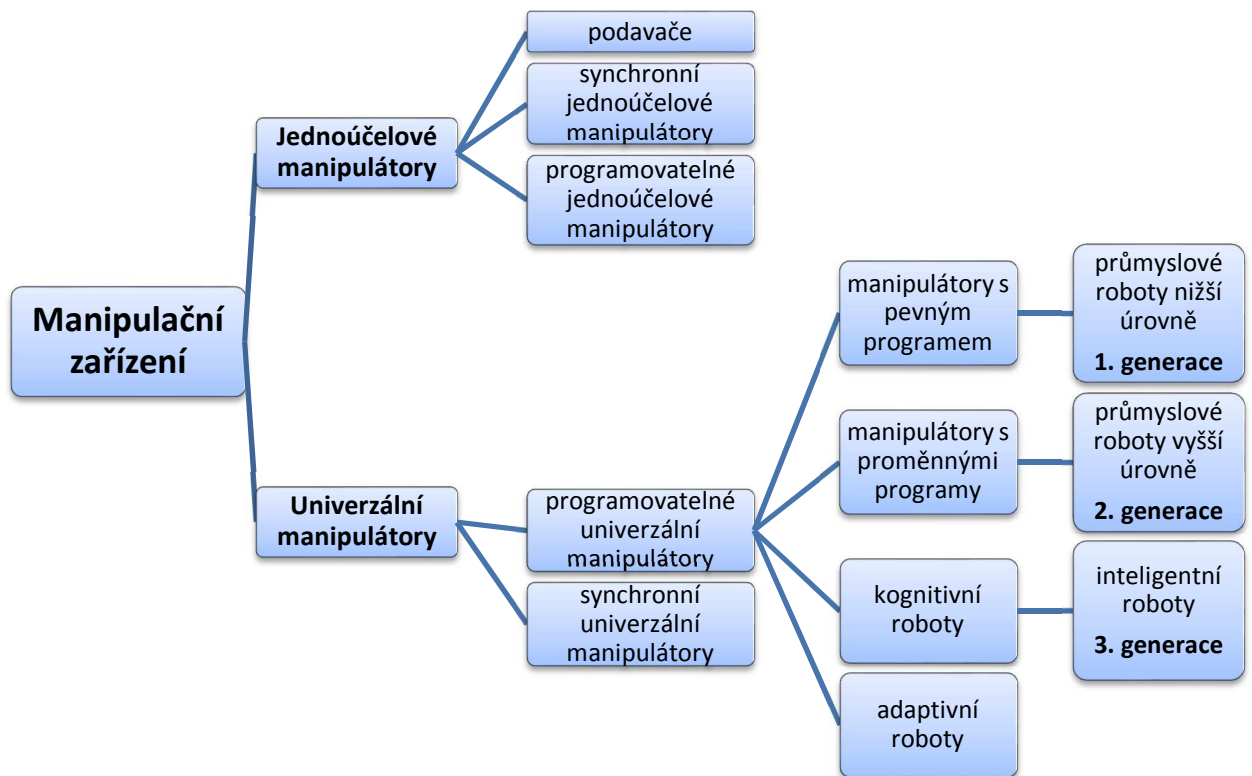
*Podavače a podávací zařízení* se dle Rumíška (2002) používají při automatizaci a mechanizaci spojené s manipulací s materiálem, např. při podávání polotovarů do pracovního stroje nebo k řízení automatické výměny nástrojů u obráběcích strojů, nebo při přenosu materiálu. Podavače jsou válečkové, sklíčidlové, háčkové, kleštinové, šoupátkové, revolverové, savkové. Kolíbal (1993) dělí podávací mechanismy dle pohybu podávacích členů na mechanismy s kývavým pohybem, s otáčivým pohybem, s přímočarým vratným pohybem a se složitým pohybem, viz Příloha 3. Autor Rumíšek (1990) dělí podavače a podávací zařízení podle určení a konstrukce na kontinuální, zařízení s násypkou, podávací se zásobníkem, manipulační zařízení se zásobníkem, speciální manipulační zařízení a průmyslové roboty a manipulátory. Jelikož je problematika průmyslových robotů a manipulátorů velmi obsáhlá a zároveň souvisí s tématem práce, je jim věnována samostatná kapitola.

### **3.1.2 Manipulátory a roboty**

Roboty i manipulátory spadají do oblasti tzv. manipulačních zařízení, které je možno rozdělit podle složitosti provedení, stupně či úrovně řízení, což je možno vidět na následujícím diagramu (viz Obrázek 2), vytvořeným podle Rumíška (2002).

Manipulační systémy mívají podobný vzhled, ale liší se použitým řídicím systémem, způsobem jejich programování a použitím. Např. Schmid a kol. (2005) se spokojil s rozdělením manipulačních systémů na manipulátory, přemisťovací systémy typu „Pick-and-Place“, servisní roboty a průmyslové roboty.

Obrázek 2: Rozdělení manipulačních zařízení



Zdroj 2: Vlastní zpracování podle Rumíška (2002)

*Manipulátory* se ve výrobním procesu začaly používat mnohem dříve, nežli roboty. Skařupa (2007) je vnímá jako zařízení bez řídicího systému pracující v cyklickém režimu. Za autonomní manipulátor považuje zařízení s méně než 3 pohybovými osami nebo s více než 3 osami, které nelze programovat. Tyto manipulátory slouží k ulehčení práce např. při přemisťování těžkých kusů materiálu do kovacího zařízení. Manipulátor od robota se v podstatě liší jen na základě úrovně inteligence, tedy úrovně jeho řídicího systému. Kolíbal (2009) konstatuje, že jednotné měřítko pro přesné oddělení manipulátorů od průmyslových robotů neexistuje.

*Jednoučelové manipulátory* se využívají při automatizaci manipulačních prací ve velkosériové a hromadné výrobě. Patří mezi ně nejjednodušší typy podávacích mechanismů, tzv. podavače, ale i manipulační zařízení přímo ovládané člověkem (synchronní manipulátory) a manipulátory přímo řízené za pomoci programu.

*Univerzální manipulátory* jsou složitější a pružnější, z nich jsou nejrozšířenější průmyslové roboty. Rumíšek (2002) zmiňuje samostatnou skupinu tzv. kognitivních robotů, které dokážou na základě získaných informací racionálně uvažovat a vnímat.

*Synchronní manipulátory (tzv. teleoperátory)* nemají samostatný počítačový řídicí systém. Jak uvádí Kolíbal (1993), používají se pro odstranění nedokonalostí člověka a pro přenos pohybů při současném zvětšení sil, které vyvolá obsluhující pracovník. Jejich využití můžeme spatřit v lékařských, vědeckých, vojenských, ale i dalších pro člověka nebezpečných prostředích. Synchronní jsou např. manipulátory typu „master-slave“ zastupující člověka v nebezpečném prostředí, dále exoskeletony, průmyslové balancery, umělé končetiny, protézy aj.

*Programovatelné manipulátory* jsou řízené samostatným řídicím systémem pracujícím na principu počítačové techniky. Kolíbal (1993) je dělí do těchto skupin:

- *s pevným programem* – mají automatický řídicí systém, kdy během činnosti manipulačního mechanismu nedochází ke změně řídicího programu, ten však může být mimo provoz změněn. Mají jednoduchou konstrukci, jsou spolehlivé a levné. Nazývají se „jednoduché průmyslové roboty“ nebo též „průmyslové roboty 1. generace“,
- *s proměnnými (pružnými) programy* - automatický nebo adaptivní systém řízení umožňuje rychlé programové změny, a to i během jejich provozu. Nazývají se „roboty vyšší úrovně“ nebo též „roboty 2. generace“ a vykazují relativně samostatné chování,
- *adaptivní roboty* – provádí činnosti definované ve vloženém programu, který si sám upravuje a modifikuje na základě aktuálních informací ze snímačů, senzorů a čidel, např. vesmírné sondy,
- *kognitivní roboty* – jsou mechatronické systémy, které jsou vybaveny řídicím systémem na principu umělé inteligence. Tyto roboty mají možnost vnímat a racionálně se rozhodovat díky informacím z dat získaných pomocí senzorů, čidel a snímačů, kterými bývají roboty opatřeny. Umí vybrat jednu z většího počtu variant, mají schopnost učit se ze získaných zkušeností, adaptovat se v daných situacích, zvládají řízení více procesů najednou a umí pokračovat v daném úkonu i při neúplné informaci. Kognitivním robotům se říká „inteligentní roboty“ nebo též „průmyslové roboty 3. generace“.

*Roboty* definuje Kolíbal (2009, str. 9) v odborném článku jako „automatický nebo počítačem řízený integrovaný systém, schopný autonomní, cílově orientované interakce s přirozeným prostředím, podle instrukcí od člověka. Tato interakce spočívá ve vnímání a rozpoznávání tohoto prostředí a v manipulování s předměty, popř. v pohybování se v tomto prostředí.“

Schmid a kol. (2005) definují roboty jako „univerzálně použitelné manipulační pohyblivé autonomní systémy s rameny pohyblivými ve více osách.“

„Průmyslové roboty a manipulátory jsou charakterizovány jako automatizační prostředky, sloužící k přenosu pohybu a sil, k transformaci jednoho druhu mechanického pohybu na jiný, nebo k vedení objektů po určitých, předem definovaných drahách.“ (Rumíšek, 2002, str. 19).

Vývoj robotů začal ve 20. století a pokračuje i v současnosti. Oplatek a kol. (2000) rozdělují roboty do tří generací, které se odlišují složitostí a objemem řídicího systému a tím i jejich schopnostmi zastat práci za člověka. Za roboty první generace považují roboty nižší úrovně řízené programem s pevně naprogramovanými postupnými operacemi tak, aby robot vykonával jednotlivé úkony za účelem dosažení cíle. Roboty druhé generace jsou roboty vyšší úrovně zásluhou čidel, senzorů, kamer atp. Ve třetí generaci se nazývají „inteligentními roboty“, protože se umí do určité míry učit, přizpůsobovat se okolním podmínkám a řešit samostatně některé úkoly, čímž vykazují určitou formu umělé inteligence.

*Průmyslový robot* je definován dle ISO 8373:2012 jako „automaticky řízený, reprogramovatelný víceúčelový manipulátor, programovatelný ve třech nebo více osách, který může být stacionární nebo mobilní, pro použití v průmyslové automatizaci“, přičemž zastává manipulační pracovní úkony za člověka prakticky na všech úrovních v malosériové i velkosériové výrobě a to díky jeho osazení uchopovacími prvky (např. chapadly), nástroji, senzory a měřicími zařízeními. Průmyslové roboty lze naprogramovat v několika osách. Schmid a kol. (2005) označují za nejčastější konstrukci průmyslových robotů tzv. kloubové roboty s ramenním kloubem, zápěstním kloubem a loketním kloubem (viz Příloha 4), např. manipulátory s tříkloubovými mechanickými rameny s úchopy na konci.

*Manipulační zařízení robotického typu* rozděluje Skařupa (2007) podle různých kritérií, např. podle počtu stupňů volnosti: jsou univerzální s 6 stupni volnosti, dále redundantní s více než 6 stupni volnosti a deficitní (např. robot SCARA - Selective Compliance Assembly Robot Arm, viz Příloha 5) s méně než 6 stupni volnosti. Podle kinematické struktury (viz Příloha 6) rozděluje roboty na sériové, které jsou v průmyslu nejpoužívanější a mají otevřený kinematický řetězec, dále na paralelní (mají uzavřený kinematický řetězec) a nakonec hybridní struktury kombinující oba předchozí typy řetězců. Pohony robotů mohou být elektrické (nejpoužívanější typ viz Příloha 7), pneumatické (vhodné pro vysoké rychlosti) a hydraulické (vhodné pro velké nosnosti).

Roboty dle oblasti nasazení a vykonávaných činností využíváme průmyslové nebo servisní, jimiž jsou obvykle samostatně pojízdné automaty provádějící úkony, nebo přemísťující a dopravující součásti do požadovaných míst, např. bezobslužné vozíky pro rozvoz jídla v nemocnicích.

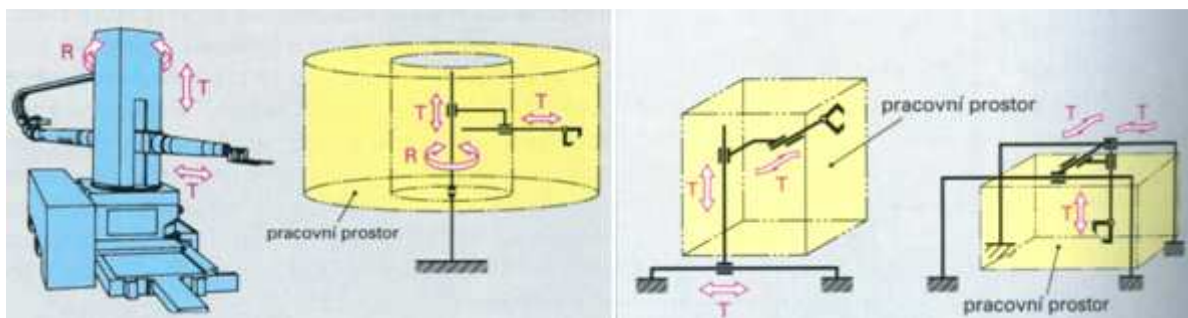
Dalším rozdělením podle Skařupy (2007) může být dělení dle geometrie pracovního prostoru. Autor rozlišuje kartézské, cylindrické, sférické, angulární a speciální SCARA roboty.

### 3.1.2.1 Kinematické konstrukce robotů

Použitelnost, požadavky na řízení robota, konstrukce a pracovní prostor jsou podle Schmida a kol. (2005) určeny druhem, vzájemným uspořádáním a počtem jednotek generujících pohyby (počtem os). Pohyblivé vlastnosti těchto os jsou dány počtem rotačních os a počtem translačních os. Translační osy se označují písmenem „T“, rotační osy písmenem „R“. K nastavení požadovaného směru a polohy úchopu nebo nástroje v libovolném místě pracovního prostoru robotu je potřeba tedy celkem 6 os, které odpovídají 6 stupňům volnosti, viz Příloha 8. Podle typu kinematiky, tedy podle skladby hlavních os, rozděluje roboty na roboty s kinematikou TTT, RTT, RRT a RRR.

*Kinematika typu TTT* (viz Obrázek 3 vpravo) je základním typem kinematiky a používá pravoúhlý kartézský souřadnicový systém. Pohyb této kinematiky se skládá z 3 translačních na sebe kolmých pohybů, pracovním prostorem je tedy krychle nebo kvádr. Délka hran těchto prostorových objektů odpovídá rozsahům pohybů v osách X, Y a Z. Manipulační zařízení s touto kinematikou se používají u progresivních stavebnicových řešení, u portálových přemisťovacích systémů a při konstrukci NC-frézek.

Obrázek 3: Robot s kinematikou RTT (vlevo) a TTT (vpravo)



Zdroj 3: SCHMID, D. a kol., 2005. Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku. Praha: Europa - Sobotáles, 420 s. ISBN 80-86706-10-9.

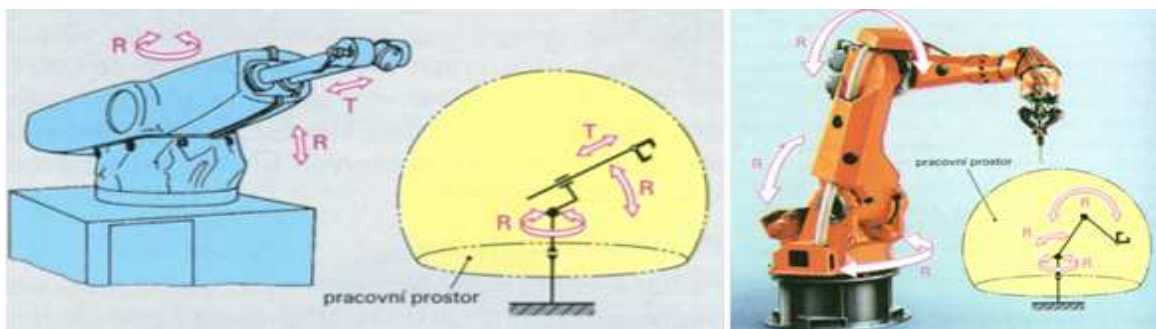
*Kinematika typu RRT* (viz Obrázek 3 vlevo) má přemisťovací pohyby složeny z jedné rotace a ze dvou translací. První translační pohyb obstarává nastavení výšky, druhý translační pohyb obstarává radiální vzdálenost od svislé osy robota a třetí, rotační pohyb zajišťuje úhlové nastavení kolem svislé osy robota. Kinematika RRT používá válcový (cylindrický) souřadnicový systém, na který musí řídicí jednotka přepočítat souřadnice zadané v kartézském souřadnicovém

systemu. Pracovním prostorem tohoto typu kinematiky je válec. Z hlediska světové produkce je tento typ nejrozšířenějším.

*Kinematika typu RRT* používá kulový (sférický) souřadnicový systém, kdy je pracovní prostor ohraničený kulovou plochou a rovinou. Mají jednu svislou osu otáčení, jednu vodorovnou osu otáčení, která je kolmá ke svislé ose a jednu přímou translační osu pro změnu vzdálenosti od konce ramena otočného ve 2 osách. Během řízení je třeba přepočítávat kartézské souřadnice na sférické; výhodou je dobré umístění zóny pro obsluhu, naopak změna orientace předmětu ve 2 směrech je jejich nevýhodou. Jedním z těchto druhů robotů může být i robot s kinematikou RRT s vodorovným otočným ramenem (viz Obrázek 4 vlevo). (Schmid a kol., 2005)

*Kinematika RRR* (Obrázek 4 vpravo) používá složený kulový prostor (tzv. torusový, antropomorfní) souřadnicový systém. Pohyby se skládají ze tří rotací a mají trojdílné rameno s třemi otočnými klouby. Nazývají se kloubové roboty a zabírají nejméně místa v poměru k velikosti kulového pracovního prostoru. Jejich další výhodou je jejich anatomicita. Většina robotů má konstrukci odpovídající právě této kinematice RRR.

**Obrázek 4: Robot s kinematikou RRT (vlevo) a RRR (vpravo)**



Zdroj 4: SCHMID, D. a kol., 2005. Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku. Praha: Europa - Sobotáles, 420 s. ISBN 80-86706-10-9.

Roboty s 6 řízenými osami mohou získat ještě další osy k rozšíření svého pracovního prostoru, např. připevněním na kolejnice, použitím naklápěcího otočného stolu, atp. Přidáním každé osy však musí být odpovídajícím způsobem rozšířen i řídicí systém, který koordinuje celé pracoviště.

### 3.1.3 Ověření způsobilosti

Jednou z podmínek funkce automatizovaného výrobního procesu je automatické sledování technologického procesu. Nahrazení člověka vytváří a neustále zvyšuje požadavky na vyvinutí a zdokonalení prostředků, které nahrazují jeho kontrolní funkci. Aplikace technických

prostředků je závislá na struktuře a rozsahu kontrolní činnosti, která zabezpečí správné fungování v oblasti chodu technologického procesu (např. rozměry a poloha polotovarů, přípravků, poloha a vzájemná součinnost všech součástí výrobního procesu, plynulý chod bez prostojů, plynulý přísun materiálu atd.), stavu nástrojů (kontroluje se např. opotřebení, poškození, trvanlivost), a jakosti výrobků.

*Kontrola chodu technologického procesu* zahrnuje cíle, které vycházejí z náhrady operátora. Pokud se člověk přímo účastní technologického procesu, může do něj na základě svých znalostí, zkušeností a schopností samočinně zasáhnout. Automatická kontrola musí být schopna zajistit kvalitu výroby, výrobu bez prostojů, bezporuchovost všech operací a rozvíjet poznatky o kontrole technologického procesu. Rozlišujeme kontrolu před, během a po výrobním procesu. Ke kontrole chodu technologického procesu nám slouží zařízení pracující na různých fyzikálních principech, která snímají a dodávají informace o veličinách výrobního procesu, jako např. o polohách výrobků, materiálů, přípravků, teplotách, rozměrech a tvarech výrobků, procesních parametrech (rychlostech procesu, posuvech jednotlivých zařízení, otáčkách, ...), počtu vyrobených součástí, hmotnostech a o řadě dalších veličin. V podstatě se jedná o zařízení a prostředky informačního toku, které byly zmíněny v předchozí kapitole. Tato zařízení slouží ke snímání výše popsaných veličin, ty se neustále monitorují a slouží k řízení procesů metodou zpětné vazby.

Výrobní proces nemůže být nikdy zcela dokonalý, protože je ovlivňován mnoha faktory, ať už díky strojům, materiálům, zvoleným metodám, faktorům prostředí či lidským faktorům. Jejich vlivem proces není konstantní, ale proměnlivý, díky čemuž je náhodný i výstup z výrobního procesu. Použitím aplikované statistiky jsme schopni řídit a zlepšovat výrobní procesy. K tomu, abychom mohli provádět různé statistické analýzy, potřebujeme informace získané z výrobního procesu (o výrobcích, nástrojích, materiálech, atd.). Pomáhají nám zlepšovat např. stabilitu, resp. způsobilost strojů, výrobních procesů, měřidel, atp. a tím dokážeme analyzovat a poté odstraňovat vlivy, které nám výrobní proces negativně ovlivňují.

„Ke sledování procesů a případně pro měření procesů musí být aplikovány vhodné metody. Tyto metody musí dokládat, že procesy jsou schopny dosahovat plánovaných výsledků. Pokud nebude plánovaných výsledků dosaženo, je třeba za účelem zajištění konformity výrobku provést změny a učinit nápravná opatření, bude-li to zapotřebí.“(Vnitropodnikový materiál, 2004, str. 4)



### 3.1.3.1 Analýza způsobilosti

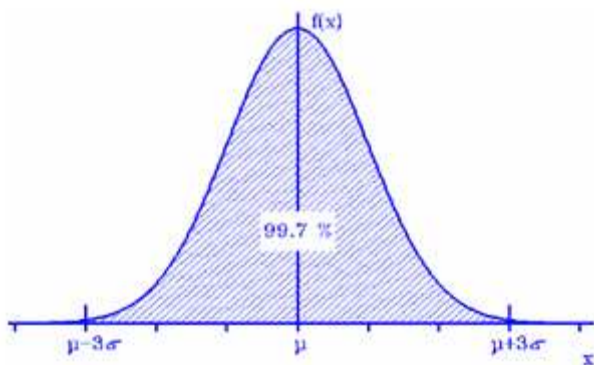
U nového nebo změněného výrobního procesu se provádí analýza procesu, aby se ověřila způsobilost procesu / výkonnost procesu a získaly se potřebné údaje k jeho řízení. Rozlišuje se mezi krátkodobými a dlouhodobými analýzami, kdy se u krátkodobé analýzy (např. analýza způsobilosti stroje) evidují a hodnotí např. parametry výrobků, vyrobených v kontinuálním výrobním běhu. Naopak u dlouhodobé analýzy (např. způsobilost procesu) pochází např. vyrobené díly z delšího časového období, které reprezentuje sériovou výrobu. Způsobilost je určena množstvím jednoduchých a srozumitelných číselných ukazatelů s dobrou vypovídající schopností a s širokou použitelností. Použití každého ukazatele je možné pouze za určitých předpokladů, některé uvádí Szmek (2011), např. aby byly naměřené hodnoty bez odlehlých hodnot. Při výběru rozhoduje o vhodnosti ukazatele způsobilosti měřitelnost znaku nebo parametru kvality. V případě neměřitelného znaku se způsobilost vyjádří procentem kvalitě vyhovujících výrobků. Měřitelný znak kvality je z hlediska statistiky charakterizován výběrovým souborem s normálním rozdělením, pro které platí „pravidlo 3 sigma“, jež říká, že 99,73 % všech hodnot leží v pásmu  $6\sigma$ , kde  $\sigma$  představuje směrodatnou odchylku.

Hustota normálního rozdělení (rozložení) je dána matematickým vztahem:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2}, \quad (3.1)$$

kde  $\mu$  je střední hodnota rozložení a  $\sigma$  představuje směrodatnou odchylku. Normální rozložení se dá zobrazit i graficky, např. pomocí Gaussovy křivky (viz Obrázek 5).

**Obrázek 5: Gaussova křivka**



Zdroj 5: XY, 1996. *Zajištění jakosti ve skupině XY, Technická statistika: Základy technické statistiky – Variabilní znaky*. 10. vyd., přepracoval: RACH, XY. Česká republika. Vnitropodnikový materiál: XY sešit 1. 80 s.

Při analýze způsobilosti je nejprve nutné provést test předpokladů vybraného ukazatele způsobilosti, následně se provede výpočet vybraného ukazatele a nakonec se zjišťuje jeho významnost a využití pro analýzu řešeného procesu.

Hodnocení způsobilosti se v praxi provádí podle určitých pravidel výpočtem indexů způsobilosti (např.  $C_p$ ,  $C_{pK}$ ,  $C_m$ ,  $C_{mK}$ ), což je poměr předepsané a skutečné přesnosti. Pravidla nám vymezují hranice způsobilosti, na jejichž základě rozhodujeme o způsobilosti procesu. Index způsobilosti je bezrozměrné číslo nabývající kladných hodnot, vyjadřující schopnost daného procesu/stroje dosáhnout požadovaných cílů, tedy plnit zadané specifikace. Indexy se liší hlavně způsobem výpočtu, ale i vlastnostmi a podmínkami použití. Předepsaná přesnost je specifikována horní toleranční mezí  $HTM$ , dolní toleranční mezí  $DTM$  a cílovou (optimální) hodnotou tolerance  $T$  ( $HTM - DTM$ ). Cílem hodnocení způsobilosti procesů je číselné vyhodnocení aktuálního stavu procesu, tedy je-li schopný udržet požadovanou hodnotu kvalitu a míru variability v určité širší pásma. (Tošenovský, Noskievičová, 2000)

Za stabilní nebo též zvládnutý proces považujeme takový, který podléhá pouze náhodným vlivům. Časově stabilní vlastnosti procesu jsou hlavně poloha a rozptyl.

*Způsobilost stroje* má za cíl odhalit vlivy působící na výrobní proces, které jsou způsobeny výhradně strojem. Analýzu způsobilosti strojů řadíme mezi krátkodobé analýzy. Indexy způsobilosti stroje se označují jako  $C_m$  (Machine Capability) a  $C_{mK}$  (Machine Capability katayori<sup>1</sup>). Při analýze způsobilosti stroje se zaměřujeme na vlastnosti stroje a pokoušíme se vyloučit možné ovlivňující a poruchové veličiny, resp. minimalizovat jejich ovlivňování. Řadíme sem odchylky způsobené člověkem (obsluha, střídání směn, atd.), materiálem (např. polotovary, různá šarže materiálu), metodou (vstupní čas obráběcího zařízení před odebráním výběrového vzorku, rozdílné přípravné zpracování, výrobní běh), okolním prostředím (teplota okolí, rázy a vibrace působící na stroj, umístění stroje, mimořádné události, jako např. otevřená okna, tepelné zdroje, atp.). Očekává se tedy, že na výrobek, resp. stroj působí už jen náhodné neodstranitelné vlivy stroje, které se snažíme udržovat pokud možno konstantní. Pokud to není možné, je třeba změny způsobené těmito vlivy dokumentovat.

Pro výpočet indexů způsobilosti stroje lze použít metodu, která předpokládá přiřazení vhodného distribučního modelu, tu je možno použít pouze s aplikací speciálního statistického softwaru, kdy se obvykle vybírá vhodný distribuční model automaticky. Přitom je nutné dodržet podmínku

---

<sup>1</sup> katayori = japonský pojem pro offset, zkreslení, systematickou odchylku

normálního rozdělení. Pro výpočet indexu způsobilosti stroje  $C_{mK}$  se je vhodná např. kvantilová metoda, aplikovatelná pouze za pomoci výpočetní techniky.

Při ručním výpočtu z  $n$  naměřených hodnot  $x_i$  se vypočítá aritmetický průměr  $\bar{x}$  a celková směrodatná odchylka  $s_{total}$ :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3.2)$$

$$s_{total} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3.3)$$

z čehož se následně vypočítá

$$C_m = \frac{T}{6 \cdot s_{total}}, \quad (3.4)$$

$$T = HTM - DTM, \quad (3.5)$$

$$C_{mK} = \min\left(\frac{HTM - \bar{x}}{3 \cdot s_{total}} \text{ resp. } \frac{\bar{x} - DTM}{3 \cdot s_{total}}\right), \quad (3.6)$$

kde je  $HTM$  horní toleranční mez,  $DTM$  dolní toleranční mez a  $T$  je velikost tolerančního pole. (Vnitropodnikový materiál, 1996)

Index způsobilosti  $C_m$  zohlední oproti indexu  $C_{mK}$  pouze šířku rozptylu, ale orientaci rozdělení vzhledem k tolerančnímu poli už ne. Za standardní hodnotu, kdy můžeme hovořit o stroji jako o způsobilém, považujeme hodnotu  $C_{mK} \geq 1,67$ . (Nenáhlo, 2005)

V případě menšího počtu naměřených hodnot se zvyšuje i nejistota a s ní i index způsobilosti. V praxi však tyto situace někdy nastávají, a to např. díky vysoké ceně zkoušek, ze kterých získáme naměřené hodnoty. Ve firmě XY je nutno mít k dispozici alespoň 50 naměřených hodnot, pak je hranice způsobilosti rovna  $C_{mK} \geq 1,67$ . V praxi si velikost indexu způsobilosti obvykle určuje zákazník.

*Způsobilost procesu* je schopnost trvale dosahovat předem stanovených cílů. Analýza způsobilosti procesu patří mezi dlouhodobé analýzy. Proces je způsobilý, když je schopen dlouhodobě a stabilně plnit požadavky zákazníka, které jsou určeny např. tolerančními mezemi. Hodnocení způsobilosti se v praxi provádí výpočtem indexů způsobilosti procesu  $C_p$ ,  $C_{pK}$ , aj. Index způsobilosti  $C_p^2$  hodnotí proces jen z hlediska variability a ne z hlediska polohy rozložení.

---

<sup>2</sup>  $C_p$  – Process Capability

Nebere v úvahu, jak je proces vycentrován  $\mu = T$ , tedy vztah mezi střední hodnotou  $\mu$  a předepsanou cílovou hodnotou  $T$  (tolerancí). Pro výpočet indexu (viz Příloha 9) musejí být splněny obecné předpoklady ukazatele způsobilosti a podmínka normálního rozložení. Index  $C_{pK}^3$  (výpočet viz Příloha 10) je obecnější a dosahuje vyšších vypovídacích schopností než index  $C_p$ , platí pro něj stejné podmínky (podmínka normálního rozložení, obecné předpoklady způsobilosti). Index  $C_{pK}$  dokáže na rozdíl od indexu  $C_p$  odhalit nedodržení cílové hodnoty  $T$  (tedy pokud  $\mu \neq T$ ) za předpokladu, že je  $\sigma$  konstantní. Pokud je hodnota indexu  $C_p, C_{pK} < 1$  proces má nízkou způsobilost (měřicí proces není způsobilý); pokud je hodnota indexu  $1 \leq C_p, C_{pK} \leq 1,33$  má proces střední způsobilost (vyhovuje předepsaným mezím); pokud je index  $C_p, C_{pK} > 1,33$  má proces vysokou způsobilost a je tedy způsobilý. V praxi se hodnota indexu rovna 1,33 a vyšší považuje za dostačující. (Szmek, 2011)

### 3.1.4 Zařízení pro získání dat určených k ověření způsobilosti

K tomu, abychom mohli provést statistické vyhodnocení způsobilosti strojů nebo procesů, potřebujeme získat potřebné údaje a hodnoty charakterizované různými fyzikálními veličinami. K tomu používáme měřidla a měřicí zařízení (např. posuvné měřidlo, mikrometr, digitální číselníkový úchylkoměr, mikroskop, spektrometr, multimetr, osciloskop, atd.), senzory, snímače, čidla, kamery, atp.

V případě mé bakalářské práce je řešen problém vychýlení zakládacích lůžek pomocí senzorů, a proto se budu v teoretické části práce detailně zabývat pouze senzory pro měření vzdálenosti.

#### 3.1.4.1 Druhy senzorů

Senzor je funkční prvek, který je v přímém styku s měřeným prostředím; odpovídají mu pojmy jako „detektor“, „snímač“, či „převodník“. Vlastní citlivá část senzoru se označuje jako čidlo.

„Senzor je primární zdroj informace, který snímá fyzikální, chemické nebo i biologické hodnoty a převádí je (nejčastěji) na elektrické signály jako jsou napětí, proud, kapacita, atd.“ (Martinek, 2004, str. 11)

Senzory můžeme rozdělit dle různých kritérií:

- *Dle měřené veličiny* – senzory polohy, vzdálenosti, rychlosti, zrychlení, teploty, tlaku, senzory elektrických a magnetických veličin, chemické a biologické senzory, atd.

---

<sup>3</sup>  $C_{pK}$  – Process Capability katayori

- *Dle fyzikálního principu* – senzory odporové, kapacitní, indukční, ultrazvukové, indukčnostní, magnetické, optické, chemické, biologické, piezoelektrické, pyroelektrické.
- *Dle použité technologie* – elektrické, mechanické, pneumatické, elektronické, elektrochemické, elektromechanické, polovodičové, optoelektrické.
- *Dle dotyku senzoru s měřeným prostředím* – senzory dotykové a bezdotykové.
- *Dle výstupu* – analogový (např. vzdálenosti odpovídá určitá hodnota proudu) nebo dvoustavový (např. při překročení dané hodnoty vyvolá napěťový výstupní signál, např. polohový snímač).
- *Dle transformace signálu* – aktivní nebo pasivní.

### 3.1.4.2 Senzory pro měření vzdálenosti

Dělíme je z hlediska interakce s okolím na kontaktní a bezkontaktní, resp. na dotykové a bezdotykové. Kontaktní měření bývá obvykle přesnější nežli bezkontaktní, avšak ne vždy se dá použít dotykový senzor. Nevýhodou kontaktního měření může být odpor, kterým měřicí zařízení působí na měřený objekt (způsobený např. pružinou), čímž může dojít ke zkreslení naměřených hodnot nebo materiál, ze kterého je snímáný objekt vyroben – těžko by se kontaktně snímal např. objekt z pryže či měkkého nebo tekutého materiálu.

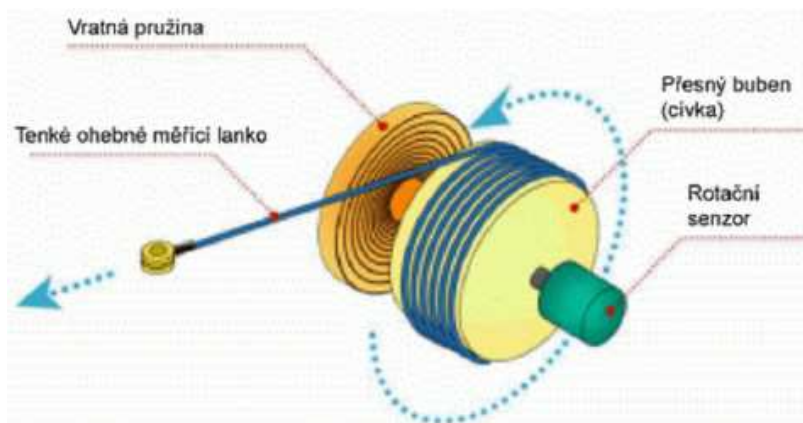
**Senzory pro kontaktní měření vzdálenosti** sestávají z části pevné, která je na stroji a pohyblivé, která je připevněna (nebo se dotýká) k pohybuující se konstrukci. Při pohybu pohyblivé části dochází ke změně vzdálenosti, která bývá vyjádřena nejčastěji změnou elektrické fyzikální veličiny, jako např. elektrického odporu, amplitudy sinusových nebo jiných průběhů nebo jejich fázový rozdíl mezi dvěma signály. Používají se zvláště v nepřístupných místech se sníženou viditelností či s členitým prostředím. Dosahují vysokých přesností, a to v závislosti na způsobu převedení signálu. Podle způsobu převodu mechanického pohybu na elektrický signál dělíme senzory např. na odporové (rotační lankové, lineární posuvné), magnetostrikční a indukční transformátorové (LVDT).

*Odporové senzory vzdálenosti* představují jeden z nejjednodušších principů snímání vzdálenosti, resp. polohy. Jsou založeny na použití proměnných rezistorů (odporových potenciometrů) s pohyblivým jezdcem. Jezdec je mechanicky ovládán měřenou veličinou. Potenciometr může být lineární posuvný (tahový) nebo otočný, jenž slouží k měření úhlu nebo k odměřování úhlu natočení různých mechanismů. Přesné potenciometry bývají vinuté z odporového drátu nebo z vodivých plastů odolných proti otěru, na podložku nebo na vhodnou kostru. Odporové senzory mají velkou linearitu, která závisí na rovnoměrnosti odporové vrstvy nebo vinutí. Jejich

nevýhodou je mechanické opotřebení a přechodový dynamický odpor sběrače potenciometru, protože vedou k nárůstu nejistoty naměřené hodnoty.

*Rotační lankové senzory* jsou lankem ovládané senzory s rotujícím jezdcem (viz Obrázek 6). Klíčový je optimálně tvarovaný buben s navinutým ohebným lankem; buben je mechanicky vázaný na pohyb jezce vysokootáčkového potenciometru. V klidovém stavu udržuje ohebné lanko vratná pružina, která zajišťuje neustálé napnutí lanka, potlačuje hysterezi a zmírňuje otřesy během provozu. Princip spočívá v tom, že při odvíjení lanka se otáčí i buben, tím se otáčí i jezdec na potenciometru, díky čemuž dochází ke změně rezistivity, úměrné délce odvinutého lanka. Lanko se může odvíjet rychlostí až 2 m/s a jeho délka se v závislosti na měřené vzdálenosti pohybuje od 5 cm do 60 m. (Šolc, 2012)

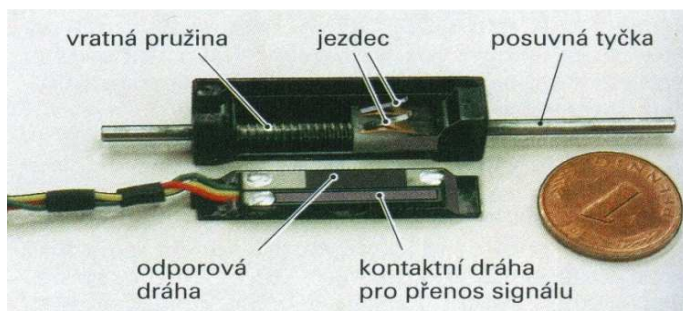
**Obrázek 6: Konstrukce lankového snímače**



Zdroj 6: ŠOLC, T., 2012. Návrh ultrazvukového senzoru vzdálenosti [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci. Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: [http://www.fm.tul.cz/esf0247/download\\_file.php/navrh\\_ul](http://www.fm.tul.cz/esf0247/download_file.php/navrh_ul)

*Lineární posuvné odporové senzory* (viz Obrázek 7) se používají např. jako mechanické měřicí snímače a k odměřování dráhy strojních posuvů. Posouváním jezce lineárního potenciometru se mění jeho výstupní odpor. Pokud je potenciometr zapojen jako dělič napětí, je výstupní napětí úměrné poloze jezce, tedy měřené vzdálenosti od konce dráhy s nulovým potenciálem. Pokud není výstup potenciometru zatížen nebo je zatížen velkým odporem, je výstupní napětí úměrné posuvu jezce. (Schmid a kol., 2005)

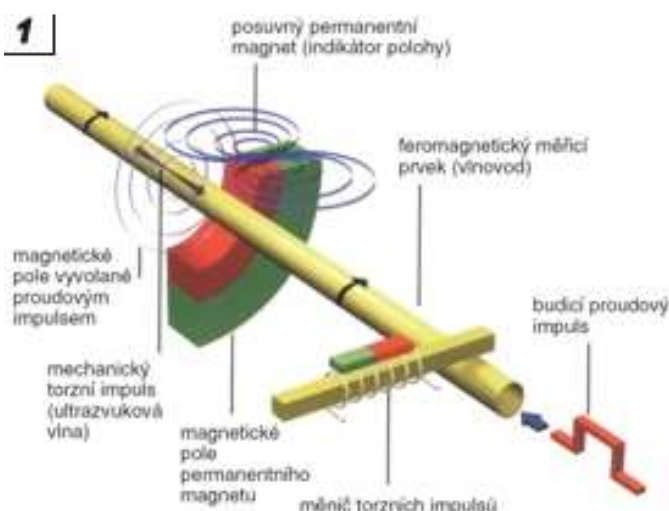
**Obrázek 7: Lineární posuvný odporový senzor**



Zdroj 7: SCHMID, D. a kol., 2005. Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku. Praha: Europa - Sobotáles, 420 s. ISBN 80-86706-10-9.

*Magnetostrikční senzory vzdálenosti* (viz Obrázek 8) slouží ke spojitému zjišťování polohy různých objektů přesným měřením jejich vzdálenosti od zvoleného vztažného bodu. Jsou založené na principu využívajícím kombinaci magnetomechanických jevů ve feromagnetickém materiálu a přesného měření doby šíření mechanického torzního impulsu (ultrazvukové vlny). Magnetostrikce je schopnost materiálu měnit své rozměry v magnetickém poli. Magnetostrikční senzor vzdálenosti je složen z feromagnetického měřicího prvku tvaru tyče, který vede ultrazvukovou vlnu k měniči impulsu a z posuvného permanentního prstencového magnetu, které vytváří v měřicím prvku podélné magnetické pole. Měřicí objekt ve tvaru tyče se nazývá vlnovod, přičemž se nedotýká permanentního magnetu, jenž je spojený s pohybující se měřenou součástí. V ose trubky je vodič napájený krátkými impulsy proudu, čímž se vytváří kolem vlnovodu proměnné magnetické pole, které se šíří s proudovými impulsy kolem vlnovodu rychlostí světla. V určitém místě se setká radiální magnetické pole vlnovodu s podélným magnetickým polem prstencového magnetu a dojde ke vzniku mechanické torzní deformace vlnovodu. Tím vznikne mechanický torzní impuls, který se od místa střetnutí šíří k oběma koncům vlnovodu, kdy je na jednom konci pohlcen tlumivým obvodem a na druhém konci se zjišťuje příchod torzní vlny pomocí měniče torzních impulsů. Z rychlosti šíření mechanického rozruchu v materiálu vlnovodu a doby mezi budícím a výstupním impulsem vzniklým v cívice měniče torzních impulsů, se určí okamžitá vzdálenost pracovního magnetu od výchozího bodu. (Kabeš, 2007).

**Obrázek 8: Základní části magnetostrikčního senzoru**



Zdroj 8: KABEŠ, K., 2007. Magnetostrikční snímače vzdálenosti. *Automa: odborný časopis pro automatizační techniku* [online]. Praha: FCC public, 12(4) [cit. 2016-02-29]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: [http://automa.cz/index.php?id\\_document=34229](http://automa.cz/index.php?id_document=34229)

Magnetostrikční snímače mohou obsahovat jeden ale i více pracovních permanentních magnetů. Při měření vzdálenosti na základě doby šíření ultrazvukové vlny je rozlišení snímače nezávislé na délce vlnovodu. Snímače s tyčovým vlnovodem se vyrábějí v délce až 7,6 m. Jejich výhodou je odolnost proti opotřebení, díky čemuž jsou použitelné i ve ztížených pracovních podmínkách, kde jiné senzory selhávají.

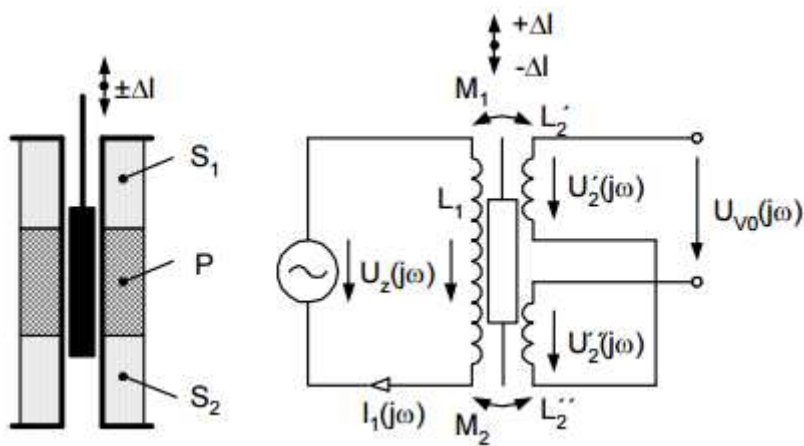
*Indukční transformátorové senzory* patří mezi velmi odolné magnetické senzory s otevřeným magnetickým obvodem, a jsou používány pro kontaktní měření polohy, resp. vzdálenosti, různých objektů, v řádech milimetrů až několika centimetrů. Fungují na principu změny magnetického toku v lineárním diferenciálním transformátoru. Vyrábějí jako tlumivkové nebo transformátorové. Základním prvkem těchto senzorů je válcová cívka (bývá jich více) a feromagnetické jádro pohybující se uvnitř této cívky. Cívky bývají obvykle 3, jedna primární navinutá uprostřed a dvě sekundární cívky jsou navinuty po celé délce senzoru. Sekundární cívky jsou zapojeny do série, ale jsou zapojeny proti sobě. Jádro je v rovnovážné poloze umístěno v polovině délek obou sekundárních cívek, díky čemuž je výsledné výstupní napětí rovno nule. Pohybem jádra dojde ke změně magnetického toku, a tím i ke změně indukovaného napětí na obou sekundárních cívkách, kdy na jedné z nich dojde k poklesu napětí a na druhé k nárůstu. Na výstupu se tak objeví rozdílové střídavé napětí o stejné frekvenci, jako je na primárním vinutí. Amplituda střídavého napětí na primárním vinutí je rovna rozdílu mezi napětími sekundárních vinutí, díky čemuž je možné zaznamenat pohyb objektu a jeho



vzdálenost. Díky vzájemnému fázovému posunu jednotlivých signálů mezi sebou o  $180^\circ$  se od sebe dají elektricky odlišit obě sekundární vinutí, čímž zjistíme směr pohybu objektu. Aby bylo možné tento směr výchylky rozpoznat, používá se k měření napětí nerovnováhy můstku fázově citlivý usměrňovač. (Šolc, 2012)

Nejrozšířenějším typem těchto senzorů je senzor typu LVDT (Linear Variable Differential Transformer), viz Obrázek 9.

**Obrázek 9: Lineární diferenční transformátorový senzor**



Zdroj 9: [http://measure.fel.cvut.cz/system/files/files/cs/vyuka/predmety/A3B38SME/07\\_Poloha%20text.pdf](http://measure.fel.cvut.cz/system/files/files/cs/vyuka/predmety/A3B38SME/07_Poloha%20text.pdf)

Dalšími zařízeními pro kontaktní měření mohou být například analogové nebo digitální číselníkové úchylkoměry, souřadnicové měřicí přístroje, různé měřicí sondy, atd.

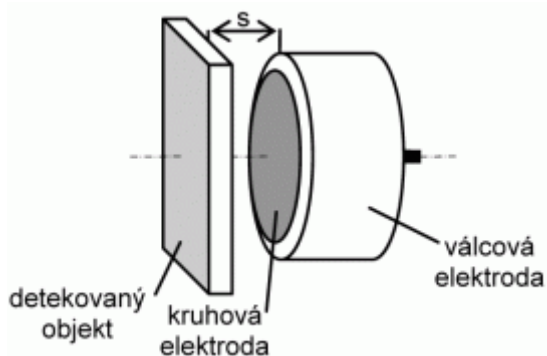
**Senzory pro bezkontaktní měření vzdálenosti** naleznou uplatnění zvláště v případech, kdy se z nějakého důvodu nemůžeme nebo nechceme při měření vzdálenosti mezi měřícím zařízením a měřeným objektem tohoto objektu dotýkat. Těmito důvody mohou být např. možnost poškození měřeného objektu, nepřístupnost k měřenému objektu, prostředí, ve kterém se měřený objekt vyskytuje, atp. Pro velmi přesné měření vzdálenosti se v průmyslu používají optické senzory (např. laserové, infračervené, konfokální), kapacitní, snímače na principu vířivých proudů a ultrazvukové senzory.

*Kapacitní senzory* (viz Obrázek 10) pracují bez kontaktu s měřeným objektem, bez zpětného působení. V průmyslové automatizaci nejsou příliš rozšířené, a to hlavně kvůli vysoké závislosti na teplotě a náchylnosti k rušení vlivem elektromagnetického pole. Další nevýhodou je nízká spínací frekvence. Jejich použití je vhodné pouze pro čisté a suché prostředí. Výhodou je, že jsou

schopny měřit kovové i nekovové, vodivé i nevodivé materiály, např. plasty, skla, kovy, ale i kapaliny.

Kapacitní senzory pracují na kapacitním principu, kdy snímač a snímaný objekt fungují jako ideální paralelní desky kondenzátoru. Aktivním prvkem senzoru je kotoučová elektroda uvnitř pouzdra, které působí jako stínění a druhou elektrodou je snímaný objekt, elektrody tvoří kondenzátor. Protéká-li kondenzátorem střídavý proud s konstantní frekvencí, amplituda střídavého napětí na senzoru je úměrná vzdálenosti mezi dvěma elektrodami kondenzátoru. Pokud měřený objekt, tedy 1 elektrodu kondenzátoru, přiblížíme nebo oddálíme, dojde ke změně kapacity kondenzátoru. Kondenzátor je součástí RC oscilátoru. Výstupní napětí tohoto oscilátoru závisí na aktivní kapacitě mezi elektrodou senzoru a jeho stíněním. Výstupní napětí oscilátoru je následně usměrněno, vyfiltrováno a přivedeno do obvodu potlačující případné poruchy signálu. (Martinek, 2004)

**Obrázek 10: Kapacitní snímač**



Zdroj 10: <http://automatizace.hw.cz/komponenty-mereni-a-regulace/bezkontaktni-kapacitni-senzory-priblizeni-obecny-popis.html>

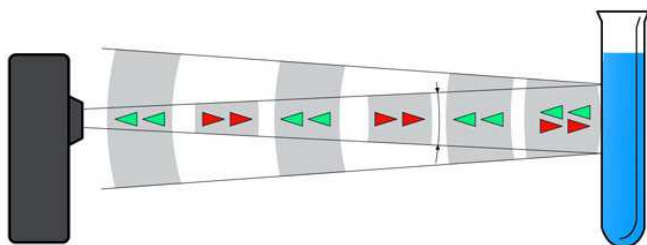
*Snímače na principu vířivých proudů* mohou být použity pro všechny elektricky vodivé, feromagnetické i nemagnetické kovy. Princip měření vířivých proudů vychází z indukční měřicí metody, která je založena na extrakci energie z oscilačního obvodu, nutné pro indukci vířivých proudů v elektricky vodivých materiálech. Základní částí těchto sensorů je cívka, kolem níž se vytváří magnetické pole díky střídavému elektrickému proudu, jež je na ni přiveden. Jakmile se měřený elektricky vodivý objekt objeví uvnitř magnetického pole, dojde k indukci vířivých proudů a ty následně vytvoří elektromagnetické pole. Vytvořené elektromagnetické pole vyvolá změnu impedance cívky, kterou následně řídicí jednotka vypočítá podle změny amplitudy a fázového posunu. Výhodou snímačů je jejich velikost ve srovnání s jinými technologiemi

a vysoký rozsah pracovních teplot; jsou velmi přesné a odolné proti nečistotám, vlhkosti, prachu, oleji, vysokým tlakům a dielektrickým materiálům v měřeném místě. (Zárybnický, 2014)

Nevýhodou snímačů tohoto typu je závislost výstupu a linearity na elektrických a magnetických vlastnostech měřeného materiálu.

*Ultrazvukové senzory* se používají pro měření vzdálenosti nebo tvaru měřeného objektu. Měří vzdálenosti v řádech milimetrů až kilometrů, a jsou náchylné na zvuková rušení a závislé na teplotě, tlaku, vlhkosti a znečištění vzduchu. Zvuk vznikne díky chvění hmoty, která chvění předává hmotným částicím prostředí, například vzduchu. Pracují na principu (viz Obrázek 11) měření času odezvy, která se vyhodnocuje na stejném místě, ze kterého byl ultrazvukový signál vyslán. Tento způsob snímání se nazývá reflexní nebo difúzní a prakticky funguje na stejném principu, jako optické senzory. Vysílač (měnič) vyšle několik akustických impulzů, šířících se prostředím rychlostí zvuku. Po nárazu těchto impulzů do snímaného předmětu se určitá část vlnění odrazí zpět do senzoru, kde je vyhodnocena buďto stejným měničem, nebo dalším měničem (přijímačem). Následně dochází za pomoci vyhodnocovací techniky ke změření doby mezi vysláním a přijmutím signálu, která se následně převede na vzdálenost. (Martinek, 2004)

**Obrázek 11: Princip ultrazvukového senzoru**



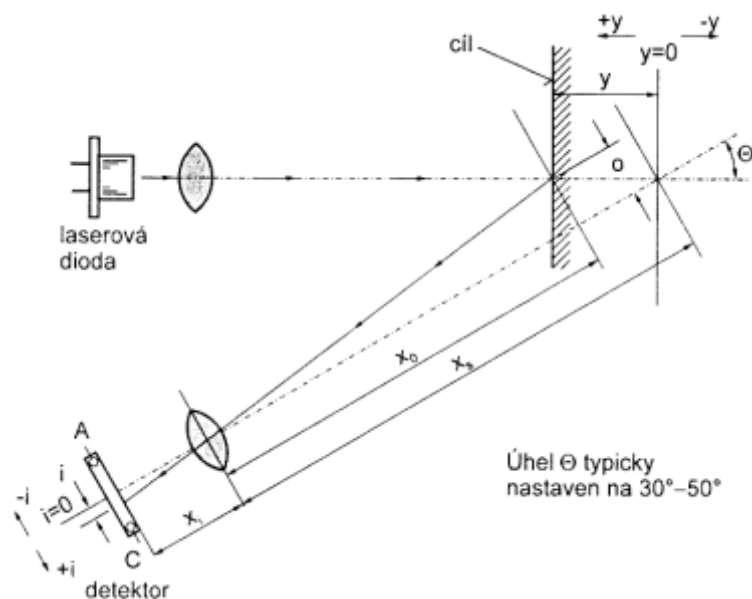
Zdroj 11: <http://coptel.coptkm.cz/?action=2&doc=9226>

*Optické senzory, resp. optoelektronické,* patří mezi nejpoužívanější senzory v průmyslové automatizaci a mají velmi široké spektrum použití. Jsou schopny snímat téměř všechny druhy materiálů, ať už se jedná o kovové, nekovové, elektricky vodivé či nevodivé; za určitých podmínek změří i transparentní materiály, např. sklo. Výhodou optických sensorů je vysoká přesnost, malé rozměry, vhodnost pro měření malých i velkých vzdáleností a velká výkonnost. Nejsou příliš odolné proti vlhkosti, silnému znečištění a infračervenému záření. Senzory sestávají ze dvou základních částí, a to z vysílače a přijímače. Přijímač může a nemusí být umístěn společně s vysílačem v senzoru. Vysílacím prvkem těchto sensorů bývá nejčastěji luminiscenční dioda (LED) nebo laserová dioda. Optoelektronické senzory fungují na několika

měřicích principech – např. princip měření „Time-of-Flight“, triangulační princip nebo princip založený na měření množství světla dopadající na přijímač. Podstatou sensorů pracujících s měřicí metodou „Time-of-Flight“ je, že vysílač vyšle světelný paprsek (např. laserový či infračervený), ten se od měřeného předmětu odrazí zpět a přijímač ho zachytí, přičemž se změří doba mezi vysláním a přijmutím paprsku. Tato doba se následně zpracuje, vyhodnotí a převede se na délku nebo jinou veličinu. Mnohem přesnější a používanější jsou však senzory s triangulačním principem měření.

*Optoelektronické senzory s triangulací* (viz Obrázek 12) jsou nejpoužívanějšími optickými senzory pro přesné měření vzdálenosti, a to kvůli zvyšující se přesnosti optických a laserových technologií. Dosahují výsledků v řádu nanometrů. Pracují s odraženým světelným paprskem, podmínkou pro správnou funkci je tedy povrch s difúzním odrazem. Předpokládají, že pokud se paprsek od měřeného objektu odráží pod konstantním úhlem, je vzdálenost dopadu odraženého paprsku na čelo senzoru úměrná vzdálenosti měřeného předmětu od čela senzoru. V principu je svazek z infračervené nebo laserové diody o určité šířce vyslán a promítán na povrch měřeného objektu. Následně se paprsek od měřeného objektu odrazí zpět k senzoru a promítá se díky vysoce kvalitním optickým čočkám na zorné pole senzoru typu CCD (Charge Coupled Device) nebo PSD (Position Sensitive Detector). Pozice světla je dále vyhodnocována, aby se mohla určit přesná vzdálenost měřeného objektu. Prakticky se tedy nevyhodnocuje doba letu paprsku nebo intenzita dopadajícího paprsku, ale místo, kam paprsek dopadne. Pokud měřený objekt mění svou vzdálenost k senzoru, mění se zároveň poloha dopadajícího světla na zorné pole CCD senzoru. Naměřené hodnoty jsou nakonec digitálně zpracovány v integrovaném kontroléru a převedeny na výstupní signál. Laserové senzory dokážou snímat krátké vzdálenosti v jednotkách milimetrů, až do několika tisíc metrů. (Zárybnický, 2014)

Obrázek 12: Princip senzoru s triangulační metodou



Zdroj 12: ŠIPULA, M., 2009. Zařízení pro lineární odměřování polohy. Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky.

*Konfokální snímače* (viz Obrázek 13) vzdálenosti či tloušťky se řadí mezi optické snímače, v přesnosti měření patří mezi absolutní špičku - dosahují rozlišovací schopnosti v řádech jednotek až desítek nanometrů. Výhodou je zanedbatelná tloušťka paprsku, díky čemuž dokážou měřit i velmi malé předměty. Díky konfokálnímu principu, mohou snímat prakticky jakékoli materiály, a to i transparentní, jako např. sklo. Jejich slabinou je závislost na čistém prostředí pro průchod paprsku a jejich použití je omezené vzdáleností mezi snímačem a cílem.

Konfokální princip spočívá v zaostřování polychromatického bílého světla na cílový povrch prostřednictvím složitého multičočkového systému. Čočky tohoto systému jsou složeny v tzv. konfokálním uspořádání, kde je bílé světlo řízenou chromatickou aberací prostřednictvím chromatické odchylky rozptýlené do monochromatického světla (je rozděleno na jednotlivé vlnové délky nezávislé na posunu). Při tovární kalibraci je přiřazena každé vlnové délce určitá odchylka; pro měření je tedy použita pouze ta vlnová délka, která je přesně zaměřena na snímání objekt. Světlo se od měřeného objektu odráží a prochází přes konfokální clonu do přijímače, který detekuje a zpracovává změny spektra. Konfokální clona zamezuje průchodu záření, které je jiné než z právě měřené roviny, na přijímač. (Vojáček, 2011)

**Obrázek 13: Konfokální snímač**



Zdroj 13: VOJÁČEK, A., 2011. Velmi přesné optické měření s konfokálními snímači. In: automatizace.hw.cz [online]. 14. listopadu 2011 [cit. 2016-29-02, 16:20]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/komponenty/velmi-presne-opticke-mereni-s-konfokalnimi-snimaci.html>

### **3.2 Úvod do problému**

Výrobní proces (viz Obrázek 14), ve kterém je problém řešen, je plně automatizovaný a sestává z několika sekvencí. Při zjednodušeném pohledu se proces skládá z přípravy kontaktů (stříhání, ohýbání), dále z manipulace s kontakty (od střížného stroje do formy), ze samotné výroby plastového dílu vstřikovacím procesem, z manipulace s hotovým výrobkem a z konečné kontroly výrobku.

V levé třetině Obrázku 14 je možno vidět hybridní vstřikovací lis s postupovým nástrojem, na kterém dochází k přípravě kontaktů. Příprava kontaktů zahrnuje ohýbání, obstřík kontaktů vstřikovacím procesem a stříhání. Kontakty jsou vyráběny z pásu, který vstupuje zleva do hybridního vstřikovacího lisu a je dopravován podávacím zařízením. Podrobněji je proces výroby kontaktů možno vidět v Příloze 11.

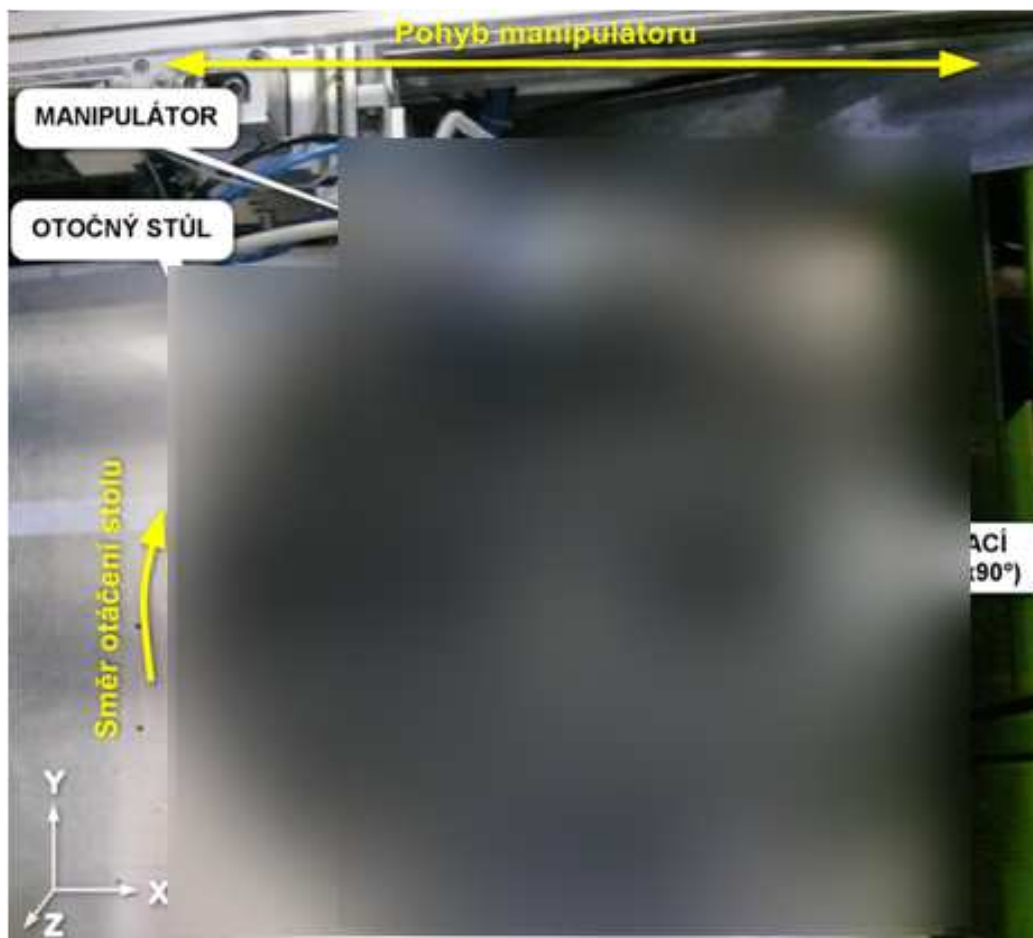
**Obrázek 14: Složení výrobního procesu**



Zdroj 14: Vlastní

V prostřední třetině Obrázku 14 dochází k manipulaci s kontakty za pomoci jednoduchého manipulátoru, otočného stolu se zakládacími lůžky a tříosého robotu. Kontakty jsou nejprve jednotlivě odebírány za pomoci manipulátoru z hybridního vstřikovacího lisu, poté je manipulátor otočí o 180 stupňů vzhůru nohama, dopraví je a založí do zakládacích lůžek, která jsou umístěna na otočném stole po jeho obvodu a svírají mezi sebou úhel 90°. Celkem jsou na otočném stole uložena čtyři zakládací lůžka (viz Obrázek 15). Lůžka jsou označena čísly 1-4, přičemž tato čísla představují pořadí, v jakém manipulátor zakládá kontakty do zakládacích lůžek. Manipulátor tedy založí jeden kontakt nejprve do lůžka vzdálenějšího směrem od hybridního vstřikovacího lisu (1), ve druhé fázi založí kontakt do bližšího lůžka (2). Následuje otočení stolu s lůžky o 180° tak, že prázdná lůžka si vymění pozici s těmi, ve kterých jsou již kontakty založeny. V dalším kroku manipulátor opět založí kontakty do dvou prázdných lůžek (3 a 4). V okamžiku, kdy jsou ve všech lůžkách založeny kontakty, dostane signál tříosý robot, který se pro kontakty ihned vydá. Robot odebere z lůžek všechny čtyři kontakty současně a dopraví je a založí do formy uložené na vstřikovacím lisu.

Obrázek 15: Pohled na otočný stůl a manipulátor



Zdroj 15: Vlastní

Otočný stůl se otáčí vždy po směru hodinových ručiček. Manipulátor je opatřen otočným chapadlem pro uchycení kontaktů a pojezd probíhá ve směru osy  $x$  (viz Obrázek 15), při zakládání kontaktů se dále pohybuje ve směru osy  $y$  a  $z$ .

Robot (viz Obrázek 16) se pohybuje ve 3 osách v prostřední třetině a ve třetině v pravé části Obrázku 14. Jak bylo zmíněno výše, nejprve kontakty odebere z lůžek otočného stolu, poté je dopraví a založí do vstřikovací formy, přičemž současně odebere z formy hotové plastové výrobky a plastové vtoky, ty poté dopraví a odloží na skluz. Mezitím vzniká ve vstřikovacím lisu hotový plastový výrobek s kontakty, a to procesem zvaným vstřikování.



**Obrázek 16: Robot**



Zdroj 16: Vlastní

Robot je opatřen chapadly a dalšími uchopovacími prvky, které slouží k uchopení a odložení vtoků materiálu a hotových výrobků. K odebrání kontaktů je použita vakuová přísavka a speciální aretační element ve tvaru vidličky, který vymezuje správnou polohu kontaktů.

Výše uvedený výrobní proces se neustále cyklicky opakuje.

K problémům dochází v oblasti nacházející se v prostřední části Obrázku 14, tedy v oblasti s manipulací s kontakty. Nutno zdůraznit, že z hlediska historie se na této soustavě strojů vyráběl pouze jeden typ výrobku, u kterého zpočátku nebylo odebrání kontaktů z hybridního vstřikolisu a jejich zakládání do vstřikovací formy automatizované a tyto operace zastával operátor.

Následně byl tento proces zautomatizován a přibyla periferie s manipulátorem, robotem, otočným stolem a zakládacími lůžky. Lůžka pro zakládání kontaktů byla uchycena na otočném stole pevně. Této výrobní soustavě se však přiřadila výroba dalších tří projektů s požadavkem na jejich plnou automatizaci (stejně jako v případě prvního projektu), přičemž každý z nich vyžadoval jiná zakládací lůžka a jinou robotickou hlavu pro odebrání kontaktů z lůžek a jejich zakládání do formy. Z toho důvodu bylo nutné udělat konstrukční změny, a proto dodavatel zavedl uchycení lůžek na speciálním rychloupínacím systému, zajišťujícím jejich rychlou

výměnu. Dodavatelem aplikované řešení se jevílo při přejímce stroje jako funkční, nicméně v sériové výrobě začaly problémy, kdy robot občas přestal z lůžek odebírat kontakty, případně je při manipulaci upustil, což vedlo k deformaci kontaktů, vzniku prostožů a opakovanému zastavování výrobního procesu. Kvůli tomu docházelo k ekonomickým ztrátám, protože zajistit obnovení chodu výrobního procesu vyžaduje relativně dlouhou dobu (i desítky minut), nemluvě o spotřebovaném materiálu na výrobu kontaktů, materiálu pro výrobu finálního plastového výrobku a riziku zastříknutí formy (pokud k tomuto problému došlo, forma byla kvůli čištění na několik hodin vyřazena z provozu, a to by narušilo výrobní plán na tomto stroji). Problém se částečně stupňoval a nastávaly okamžiky, kdy musel být seřizovač u stroje přítomen i několik hodin v kuse, aby byl schopen v případě zastavení výrobní proces opětovně zprovoznit.

Ve spolupráci s pracovníky firmy XY byl výrobní proces analyzován a přišlo se na to, že v oblasti manipulace s kontakty kromě výměny zakládacích lůžek a jejich uložení nedošlo k žádným dalším změnám, které by problémy s odebíráním kontaktů mohly způsobit. Proto jsme stanovili hypotézu, že pochybení vzniklo na straně dodavatele, kdy kvůli zavedení nové konstrukce a uložení lůžek není zajištěno jejich stabilní uložení v sériovém procesu, resp. došlo k porušení jejich stability nerobustní konstrukcí.

### **3.3 Výzkumný problém**

Výzkumným problémem práce je navržení vhodné metody pro ověření stability uložení lůžek pro automatizované zakládání kontaktů a použití této metody pro vyhodnocení uložení lůžek v sériovém procesu ve firmě XY.

Navrženou metodu pak realizovat v praxi a ověřit stabilitu původního uložení zakládacích lůžek v sériovém procesu. Původní uložení zakládacích lůžek bylo provedeno za pomoci rychloupínacího systému. Pokud by původní uložení lůžek nebylo stabilní, bylo by nutné uplatnit reklamaci u dodavatele.

Po případné přestavbě zakládacích lůžek a jejich uložení znovu ověřit, jestli aplikované řešení dodavatelem vedlo ke zlepšení stability uložení. Předepsaná tolerance maximálního vychýlení lůžek v rámci vyhodnocení stability zařízení (schopnosti stroje) byla definována  $\pm 0,03$  mm.

### **3.4 Metodika práce**

Při zpracování bakalářské práce jsem nejprve shromáždil a prostudoval literaturu, související s řešením dané problematiky, a to včetně interních materiálů firmy XY. Poté jsem se musel

podrobně seznámit s řešeným problémem ve firmě, což zahrnovalo i detailní analýzu výrobního procesu.

Dále se chystám navrhnout metodu pro ověření stability uložení zakládacích lůžek. V práci plánuji ověřit stabilitu uložení zakládacích lůžek pomocí analýzy způsobilosti stroje, kdy budu vyhodnocovat vychýlení lůžek. Abych mohl provést analýzu způsobilosti stroje, budu potřebovat dle standardů firmy XY alespoň 50 naměřených hodnot. Potřebné hodnoty získám měřením vzdálenosti zakládacích lůžek od pevného bodu na rámu stroje a tím provedu nepřímé změření výchylky lůžek v dané ose, a to pomocí kontaktního nebo bezkontaktního měření, v závislosti na konstrukčních, montážních a prostorových možnostech, které budou v aplikační části probrány.

Analýzu způsobilosti stroje provedu ve statistickém firemním softwaru *abc*. Statistický software počítá způsobilost stroje pomocí tzv. kvantilové metody. Její výhodou je, že funguje u všech empirických rozdělení, která lze očekávat v praxi. V případě kvantilové metody je šíře rozsahu, která odpovídá 99,73 % rozdělení základního souboru, definována jako šíře procesního rozptylu. Hranice tohoto rozsahu se označují jako "0,135%-kvantil" =  $\hat{Q}_{0,00135}$  resp. "99,865%-kvantil" =  $\hat{Q}_{0,99865}$ . Pod hodnotou  $\hat{Q}_{0,00135}$  a nad hodnotou  $\hat{Q}_{0,99865}$  leží vždy 0,135 % hodnot základního souboru. „Stříška“ nad symbolem  $Q$  ukazuje, že se jedná o odhadní hodnotu, která byla stanovena z jednoho výběru. (Vnitropodnikový materiál, 1996)

Indexy způsobilosti stroje se spočítají dle vzorců:

$$C_m = \frac{T}{\hat{Q}_{0,99865} - \hat{Q}_{0,00135}}, \quad (3.7)$$

$$C_{mK} = \min\left(\frac{OGW - \tilde{x}}{\hat{Q}_{0,99865} - \tilde{x}}; \frac{\tilde{x} - UGW}{\tilde{x} - \hat{Q}_{0,00135}}\right), \quad (3.8)$$

kde  $OGW$  je horní mezní hodnota,  $UGW$  je dolní mezní hodnota,  $\hat{Q}_{0,99865}$  odhadní hodnota pro 99,865%-kvantil parametrové distribuce,  $\hat{Q}_{0,00135}$  je odhadní hodnota pro 0,135%-kvantil parametrové distribuce,  $T$  je tolerance parametru a  $\tilde{x}$  je medián. (Vnitropodnikový materiál, 1996)

V rozporu s  $C_{mK}$  zohlední  $C_m$  pouze šířku rozptylu, ale už ne orientaci rozdělení vzhledem k tolerančnímu poli. Způsobilost stroje je dána, pokud je index  $C_{mK} \geq 1,67$ .

V dalším kroku vyberu vhodné měřicí zařízení pro změření vzdálenosti zakládacích lůžek od pevného bodu na rámu stroje ve dvou osách. Rozhodovat se budu mezi některými kontaktními snímači, bezkontaktními snímači a kamerami.

Po výběru vhodného měřicího zařízení provedu analýzu cyklu, abych se v dané části výrobního procesu lépe orientoval. Ihned potom navrhnu a provedu aplikaci zvolených měřicích zařízení a dalších potřebných zařízení pro sběr dat. Lůžko bude snímáno po celou dobu výrobního procesu.

Poté plánuji změřit vzdálenost zakládacích lůžek s rychloupínacím systémem v sériovém procesu. V další fázi provedu analýzu naměřených dat a vyberu vhodné oblasti z daného cyklu, které budu následně vyhodnocovat. Data z příslušné oblasti bude potřeba vždy připravit tak, aby je bylo možné vyhodnotit ve statistickém softwaru pomocí analýzy způsobilosti stroje. Až budou data připravena, provedu jejich samotné vyhodnocení právě ve zmiňovaném statistickém softwaru. Výsledná data budu dále zkoumat, s cílem zjistit, zdali je uložení zakládacích lůžek v sériovém procesu stabilní. Pokud se potvrdí, že uložení lůžek stabilní není a chyba bude na straně dodavatele, budou mu lůžka reklamována a bude požadován návrh a realizace konstrukční úpravy, jež bude v sériovém procesu stabilní a tedy vyhovující.

V případě zavedení nové konstrukce uložení zakládacích lůžek provedu po přestavbě lůžek další měření stejnou metodou a stejnými měřicími zařízeními, která byla použita při měření původního uložení lůžek, abych ověřil stabilitu uložení zakládacích lůžek po jejich přestavbě. Získaná data opět připravím a vyhodnotím ve statistickém softwaru a budu zkoumat případné zlepšení stability uložení lůžek.

## 4 Aplikační část a diskuse výsledků

### 4.1 Aplikační část

V aplikační části budu nejprve hledat vhodnou metodu pro ověření stability uložení lůžek pro automatické zakládání kontaktů, dále budu vybírat vhodné zařízení pro získání dat a informací. Vybranou metodu a zařízení aplikuji v praxi a změřím nepřímým měřením vychýlení zakládacích lůžek. Poté provedu analýzu naměřených dat a upravená data vyhodnotím ve statistickém softwaru pomocí analýzy způsobilosti stroje a tím ověřím stabilitu uložení zakládacích lůžek.

#### 4.1.1 Výběr vhodné metody pro ověření stability uložení zakládacích lůžek

Stabilitu uložení zakládacích lůžek v sériovém procesu budu zjišťovat pomocí měření vzdálenosti zakládacích lůžek. Detail zakládacího lůžka - viz Obrázek 17.

Jako metodu pro ověření stability uložení zakládacích lůžek v sériovém procesu jsem zvolil provedení analýzy způsobilosti stroje. Analýza způsobilosti stroje patří mezi krátkodobé analýzy. Hodnocení způsobilosti se provede výpočtem indexů způsobilosti stroje  $C_m$  resp.  $C_{mK}$ , což je poměr předepsané a skutečné přesnosti. Za předepsanou přesnost považujeme v našem případě toleranci výchylky lůžek, jež činí  $\pm 0,03$  mm. Skutečnou výchylku zjistíme nepřímo měřením vzdálenosti zakládacích lůžek. Aby bylo uložení zakládacích lůžek stabilní, index způsobilosti  $C_{mK}$  musí být větší než 1,67. Podle standardů firmy XY potřebuji alespoň 50 naměřených hodnot k tomu, abych mohl provést analýzu způsobilosti stroje.

**Obrázek 17: Detail zakládacého lůžka**



Zdroj 17: Vlastní

#### **4.1.2 Výběr vhodného měřicího zařízení**

Jak bylo uvedeno v předchozím odstavci, podmínkou analýzy způsobilosti stroje je naměření minimálně 50 hodnot. Jedna naměřená hodnota v našem případě představuje vždy jednu vzdálenost jednoho zakládacého lůžka od pevného bodu na rámu stroje v jedné ose. Vzdálenost změříme pomocí měřicího zařízení buď kontaktním, nebo bezkontaktním způsobem. Měřicí zařízení jsem vybíral z dostupných měřicích zařízení ve firmě a podle možnosti jejich aplikace v závislosti na možnosti jejich umístění z hlediska konstrukce, montáže a prostoru v oblasti zakládacích lůžek. Při volbě měřidla jsem zohlednil pravidla „XY standard“ pro stanovení vhodnosti měřidla (pravidlo pro rozlišení a mezní chybu).

Kontaktní způsob měření je obecně přesnější, nežli bezkontaktní. Mezi uvažované zařízení pro kontaktní způsoby měření patřil např. digitální kontaktní senzor, lineární posuvný odporový senzor a úchylkoměr. Mezi měřicí zařízení pro bezkontaktní měření bylo zvaženo použití kamer a optoelektronických snímačů vzdálenosti.

##### **4.1.2.1 Digitální kontaktní senzor, lineární posuvný odporový senzor**

Jednou z možností je použití digitálního či lineárního posuvného odporového senzoru. Uvažovaným typem zařízení v kategorii digitálních kontaktních senzorů byly snímače firmy AB z portfolia AB Series (příklad viz Obrázek 18). Např. senzor s katalogovým označením XY se vyznačuje měřicím rozsahem 12 mm, který byl pro náš účel dostačující, rozlišením 0,1  $\mu\text{m}$  a přesností 1  $\mu\text{m}$ . Byl by dostačující i z hlediska sběru dat. Uvažované umístění bylo přímo na otočný stůl. (Vnitropodnikový materiál, 2006)

Tento senzor nebyl použit například proto, že se otočný stůl se zakládacími lůžky otáčí vždy v jednom směru, a to ve směru hodinových ručiček. Pokud by byl výstupní kabel ze senzoru vytažen nad povrchem otočného stolu mimo otočný stůl, docházelo by k namotávání a poté i k poškození kabelu. Pokud by se kabel protáhl středem otočného stolu, každým pootočením stolu by došlo k jeho zkroucení a tím i k jeho trvalému poškození. Pokud by se stůl otočil vždy jednou o 180° ve směru hodinových ručiček a podruhé zpět o 180° proti směru hodinových ručiček, dalo by se nad tímto řešením uvažovat, protože by pravděpodobně nedošlo k tak velkému zkroucení kabelu, které by vedlo k jeho poškození. Vzhledem ke konstrukci stolu a jeho pohonu umístěným pod ním by však stejně použití takového řešení nebylo možné. Dalším důvodem pro nepoužití takového řešení byl nedostatečný prostor v okolí lůžek v momentě, kdy z nich robot odebírá kontakty, díky čemuž by došlo ke kolizi mezi robotem a senzorem, případně by došlo ke kolizi mezi robotem a kabely senzoru.

**Obrázek 18: Digitální kontaktní senzor firmy AB řady XY Series**



Zdroj 18: AB, ©2006. Ultra General Purpose Digital Contact Sensor. Japan: AB. Vnitropodnikový materiál. 20 s.

Eventualitou by bylo umístění senzoru na jistou konstrukci, například na nějaké rameno opatřené manipulátorem či robotem, která by zajišťovala umístění senzoru v základní poloze mimo otočný stůl a pouze v potřebném okamžiku by zajistila přisun senzoru k lůžku. Aby takové řešení zajistilo potřebné podmínky měření z hlediska přesnosti, opakovatelnosti, atp., bylo by velmi drahé, navíc by ani neřešilo riziko kolize senzoru a robota při odebírání kontaktů. Také by v tomto případě nebylo možné snímat celý proces, ale pouze jeho dílčí část.

#### **4.1.2.2 Digitální úchylkoměry**

Použití digitálního úchylkoměru by patřilo také mezi přesné metody, jak získat údaje o výchylce. Některá tato zařízení mají i analogový výstup, což by umožnilo snadný sběr dat. Použití takového přístroje nebylo možné realizovat, obdobně jako u snímačů uvedených v předchozí kapitole, např. z důvodu nedostatku prostoru kolem zakládacích lůžek, a to by mohlo vyústit

v kolizi robota a měřicího zařízení v momentě odběru kontaktů z lůžek robotem. Digitální úchylkoměr s analogovým výstupem viz Obrázek 19.

**Obrázek 19: Digitální úchylkoměr**



Zdroj 19: M & B Calibr Ivančice [online]. [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: <http://www.mbcaltibr.cz/prodej-produkt-741-digitalni-uchylkomery-marcator-rozliseni-1-1000.html>

#### **4.1.2.3 Kamery**

Při řešení problému se vyskytla idea použití kamer, resp. kamerového systému pro změření výchylky zakládacích lůžek. Poměrně dlouhou jsem se tímto způsobem měření zabýval, nakonec jsem jej z několika důvodů zavrhl. Mezi hlavní důvody patřila nedostupnost takových zařízení, která by pro měření byla vhodná a to z důvodu jejich použití v jiných projektech. Z dostupných kamer žádná nevyhovovala z hlediska přesnosti, rozlišení a dalších parametrů. Dalším důvodem, proč nebyla kamera použita, byla nemožnost snímání procesu v reálném čase, resp. malá vzorkovací frekvence snímků, a proto by nebylo možné zachytit celý proces a nepříznivé vlivy, které na něj působí. Problematické by mohlo být i zaostření kamery na snímáný objekt po celou dobu snímání.

Uložení kamery mimo pracovní prostor stroje také nebylo možné, jelikož bychom museli odstranit bezpečnostní prvky stroje, jako např. ochranné sklo. Nepříznivými vlivy by byly i nedostatečné a měnící se světelné podmínky. Podstatným důvodem pro mé rozhodnutí nepoužít tuto metodu bylo její neúspěšné použití na obdobném projektu v rámci firmy, ve které jsem problém řešil.

#### **4.1.2.4 Laserový senzor vzdálenosti**

Laserové senzory vzdálenosti se řadí mezi optoelektronické snímače a používají se pro bezkontaktní měření, což jsem vyhodnotil jako vhodný způsob měření vzhledem ke konstrukčním, montážním, prostorovým a měřicím možnostem (umožňuje snímat proces



odebírání kontaktů v reálném čase, takže je možno zaznamenat i další vlivy, např. nahodilé rázy a vybrat pouze data, která jimi nejsou ovlivněna). Z dostupných měřidel jsem vybral měřicí laserový systém CMOS pracující na triangulačním principu od firmy AB z řady XY Series, který se vyznačuje vysokou rychlostí, přesností a způsobilostí. Konkrétně jsem pro samotné měření zvolil sensorovou hlavu s označením XY-XY a vyhodnocovací jednotku XY-XY.

Senzorová hlava je zobrazena na Obrázku 20, má referenční vzdálenost 50 mm, rozsah měření je  $\pm 10$  mm, světelným zdrojem je červený polovodičový laser s vlnovou délkou 650 nm, průměr laserového paprsku při referenční vzdálenosti je 50  $\mu\text{m}$ , linearitu má  $\pm 0,02$  % z měřicího rozsahu, opakovatelnost 0,025  $\mu\text{m}$ , volitelnou vzorkovací frekvenci 2.55/5/10/20/50/100/200/500/1000  $\mu\text{s}$ , teplotní kolísání 0,01 % z měřicího rozsahu na jeden stupeň Celsia a je použitelná od 0°C do +50°C. (Vnitropodnikový materiál, 2010)

**Obrázek 20: Sensorová hlava řady XY-XY Series**



Zdroj 20: AB CORPORATION, ©2010. Ultra High-Speed/High-Accuracy Laser Displacement Sensor. Japan: AB Corporation. Vnitropodnikový materiál. 20 s.

Vyhodnocovací jednotku je možno vidět na Obrázku 21. Minimální hodnota, kterou může zobrazit je 0,001  $\mu\text{m}$ , zobrazovací cyklus hodnot na displeji má přibližně 10x za sekundu. Disponuje analogovým napěťovým výstupem s rozsahem  $\pm 10$  V a proudovým analogovým výstupem v rozsahu 4-20 mA. Použitelná je od 0°C do 40°C, napájena musí být stejnosměrným proudem 24 V  $\pm 10$  %. (Vnitropodnikový materiál, 2010)

**Obrázek 21: Vyhodnocovací jednotka XY-XY.**



Zdroj 21: AB CORPORATION, ©2010. Ultra High-Speed/High-Accuracy Laser Displacement Sensor. Japan: AB Corporation. Vnitropodnikový materiál. 20 s.

### **4.1.3 Analýza cyklu**

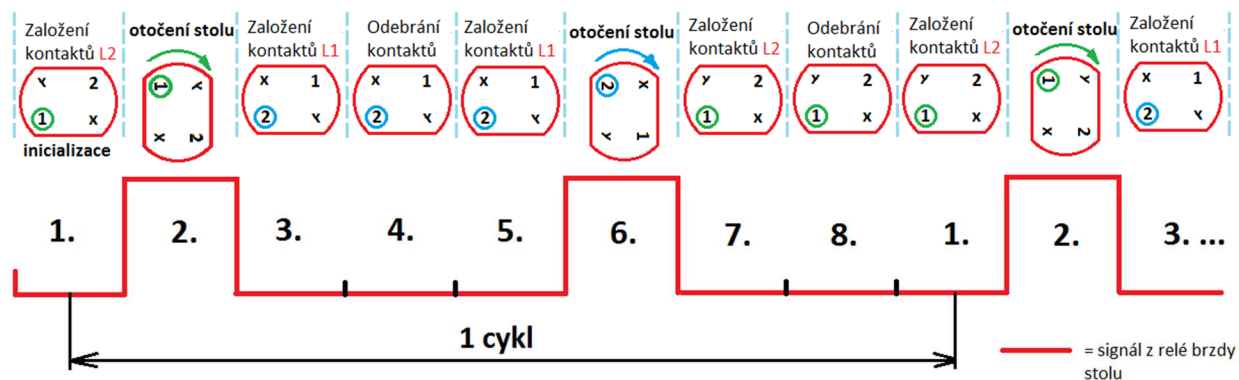
Před samotnou aplikací měřicích zařízení bylo třeba provést analýzu cyklu (viz Obrázek 22). Počátek cyklu jsem zvolil v časovém období po založení kontaktů do lůžka 2 a lůžka  $y$ , a konec cyklu taktéž po založení kontaktů do lůžka 2 a lůžka  $y$ .

Popis cyklu, znázorněném na Obrázku 22:

1. *Inicializace* – počátek cyklu po založení kontaktů manipulátorem do lůžka 2 a lůžka  $y$ , snímáno lůžko 1, které je prázdné.
2. *Otočení stolu* – viz první skoková změna signálu - se založenými kontakty v lůžku 2 a lůžku  $y$ ; prohození pozice lůžka 1 a 2.
3. *Založení kontaktů L1* – založení kontaktů manipulátorem do lůžka 1 a lůžka  $x$ , snímáno lůžko 2.
4. *Odebrání kontaktů* – odebrání všech kontaktů současně robotem, snímáno lůžko 2.
5. *Založení kontaktů L1* – založení kontaktů manipulátorem do lůžka 1 a lůžka  $x$ , snímáno lůžko 2.
6. *Otočení stolu* – viz druhá skoková změna signálu - se založenými kontakty v lůžku 1 a lůžku  $x$ ; prohození pozice lůžka 2 a 1.

7. *Založení kontaktů L2* – založení kontaktů manipulátorem do lůžka 2 a lůžka  $y$ , snímáno lůžko 1.
8. *Odebrání kontaktů* – odebrání všech kontaktů současně robotem, snímáno lůžko 1.
1. *Založení kontaktů L2 (konec/začátek cyklu)* – založení kontaktů manipulátorem do lůžka 2 a lůžka  $y$ , snímáno lůžko 1.

Obrázek 22: Analýza cyklu



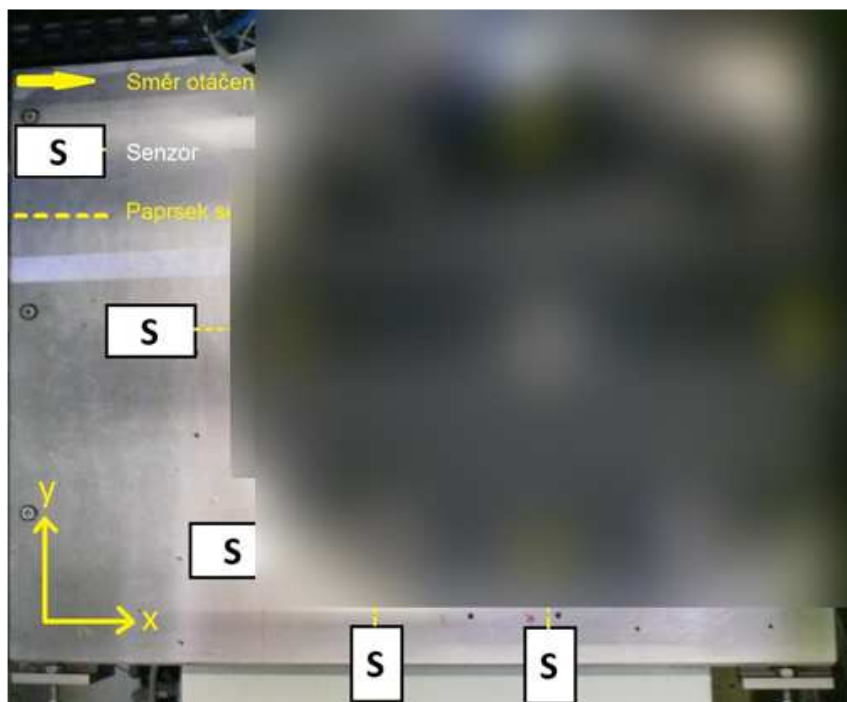
Zdroj 22: Vlastní

Jednotlivá lůžka jsou znázorněna čísly (1, 2) a písmeny ( $x$ ,  $y$ ), viz Obrázek 22. Čísla a písmena leží v červeném geometrickém objektu, jenž představuje otočný stůl. V levém dolním rohu tohoto geometrického objektu je číslo v zeleném nebo světle modrém kroužku. Pokud je číslo v zeleném kroužku, znamená to, že je v daný čas snímáno lůžko 1, pokud je v kroužku modrém, v daném čase je snímáno lůžko 2.

#### 4.1.4 Aplikace měřicích zařízení ve výrobním procesu

Pro uchycení senzorů bylo nutné vytvořit speciální uchycovací přípravky na míru, jejichž výrobu a montáž zajistilo podpůrné konstrukční oddělení v rámci firmy. Hlavními požadavky na výrobu přípravků byla jejich tuhost, jednoduchost, polohovatelnost ve 3 osách, nízká cena, snadná montáž a aretace jejich polohy zajišťující opakovatelnost měření. Přípravky byly namontovány na desku spojenou s rámem stroje, na níž je uložen otočný stůl.

Obrázek 23: Vize - umístění přípravků a senzorů

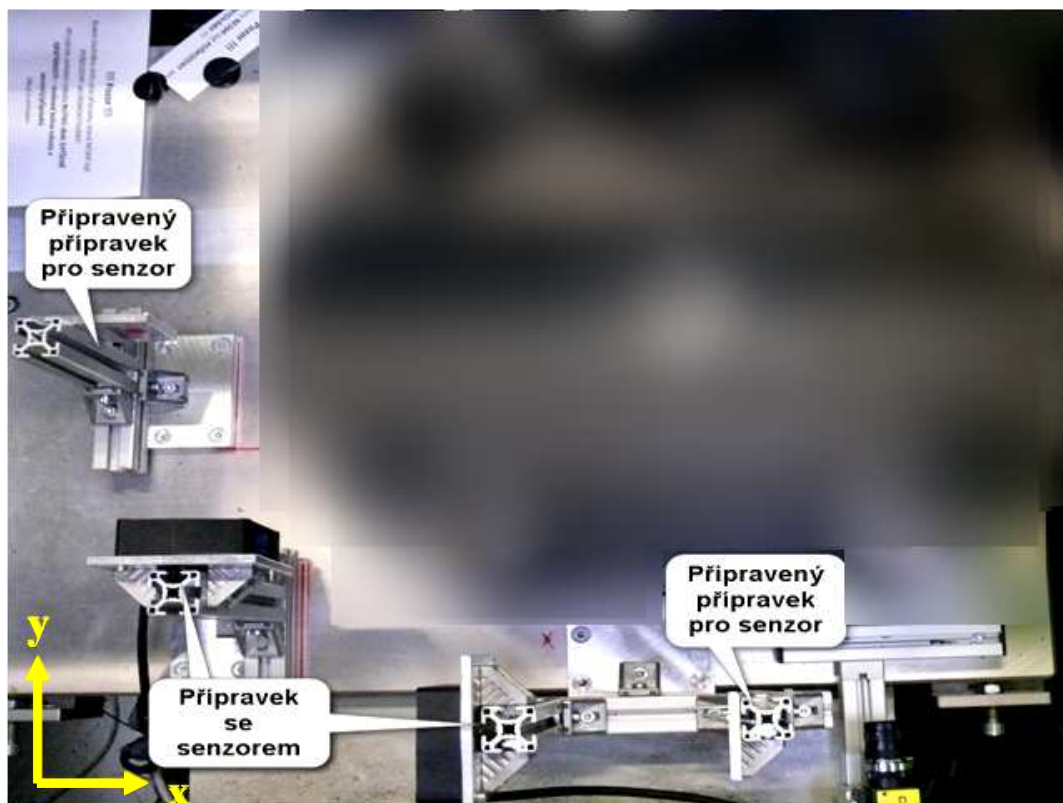


Zdroj 23: Vlastní

Na Obrázku 23 je vyobrazena vize toho, jak bylo plánováno umístění senzorů pro snímání zakládacích lůžek. V levém dolním rohu je zobrazen zvolený souřadnicový systém, žluté šipky znázorňují směr otáčení stolu, černobílé obdélníky se symbolem „S“ znázorňují senzory a z nich vycházející přerušované čáry žluté barvy znázorňují laserové paprsky.

Obrázek 24 zachycuje skutečné umístění přípravků se senzory po jejich instalaci. Ze vzájemného porovnání Obrázku 23 a Obrázku 24 vyplývá fakt, že můj plán umístění přípravků a senzorů se od skutečného umístění prakticky nelišil. Senzory s přípravky byly pevně uloženy na desce spojené s rámem stroje. Veškeré kladené požadavky při návrhu, výrobě a montáži přípravků byly splněny. Přípravky se senzory byly umístěny tak, aby během měření nemohlo dojít např. k namotání kabelu senzorů na otočný stůl nebo lůžka, či k poškození senzorů a přípravků ve smyslu kolize s otočným stolem, robotem atp. Dva senzory s přípravky byly umístěny tak, aby paprsek senzorů směřoval do osy stolu a byly na sebe vzájemně kolmé, což umožnilo měřit vzdálenost stolu od pevného bodu na rámu stroje v ose  $x$  a v ose  $y$ . Další dva senzory s přípravky byly umístěny tak, aby paprsek senzorů směřoval do osy zakládacího lůžka a byly na sebe vzájemně kolmé, a to z důvodu měření vzdálenosti zakládacích lůžek ve směru osy  $x$  a  $y$ .

Obrázek 24: Realita - umístění přípravků a senzorů



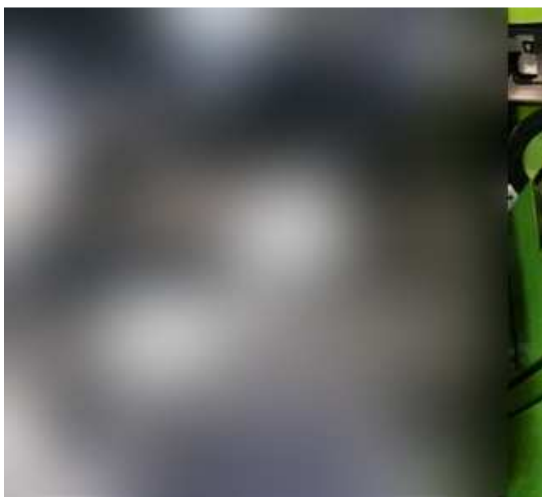
Zdroj 24: Vlastní

Pro snazší orientaci při budoucím rozboru a identifikaci zaznamenaných signálů byl vyveden z rozvaděče napěťový signál z relé pro ovládání brzdy otočného stolu.

#### 4.1.5 Měření výchylky původních lůžek (před reklamací)

Problematická lůžka, tedy lůžka, ze kterých robot nedokázal odebrat kontakty, byla celkem dvě (viz Obrázek 25). Ideální by bylo snímat vždy obě problematická lůžka současně, jak je ale vidět z Obrázku 25, umístění dalších přípravků a senzorů ke snímání lůžka 2 nebylo vzhledem k nedostatku prostoru možné. Pokud bych pominul nedostatek montážního prostoru a přesto senzory umístil ke snímání lůžka 2 současně s lůžkem 1, narušil bych tím pracovní prostor manipulátoru a došlo by k jeho kolizi se senzorem a s přípravkem. Přípravky se senzory byly tedy umístěny tak, aby snímaly vždy jen jedno lůžko (viz Obrázek 23). Otáčení stolu však umožňuje snímání obou lůžek (i když ne současně), jelikož se lůžko 1 a lůžko 2 vzájemně střídají na pozici, kde jsou umístěna měřicí zařízení, čímž byl problém vyřešen. Měření výchylky probíhalo nepřímo.

**Obrázek 25: Pozice lůžek a pracovní prostor**



Zdroj 25: Vlastní

Senzory a vyhodnocovací jednotku jsem pro měření používal v defaultním nastavení. Měření probíhalo v normálním měřicím módu s typem měření nastaveným na měření vzdálenosti, s průměrováním 256, vzorkovací frekvencí 200 Hz, minimální zobrazovanou jednotkou 0,001 mm. Měřicí rozsah byl nastavený maximální ( $\pm 10$  mm), stejně jako jemu odpovídající napěťový výstup ( $\pm 10$  V).

Aby bylo možné snímat celý proces v reálném čase, byly propojeny analogové napěťové výstupy vyhodnocovací jednotky s analogovými napěťovými vstupy tzv. rekordéru (viz Obrázek 26), tedy multifunkčního firemního zařízení sloužícím k záznamu napětí a dalších veličin v čase. Ve firmě je toto zařízení známé pod názvem „Blackbox“ a je založeno na platformě *abcs*. Do tohoto zařízení se v kuse zaznamenaly desítky celých po sobě jdoucích cyklů (včetně otáčení stolu, odebírání kontaktů, atp.), a to v jednotkách elektrického napětí v čase. Vzorkovací frekvence rekordéru byla nastavena na 200 Hz. Na analogový napěťový vstup rekordéru byl též přiveden signál z relé pro ovládání brzdy otočného stolu, který jednoznačně ohraničoval dobu otáčení stolu.

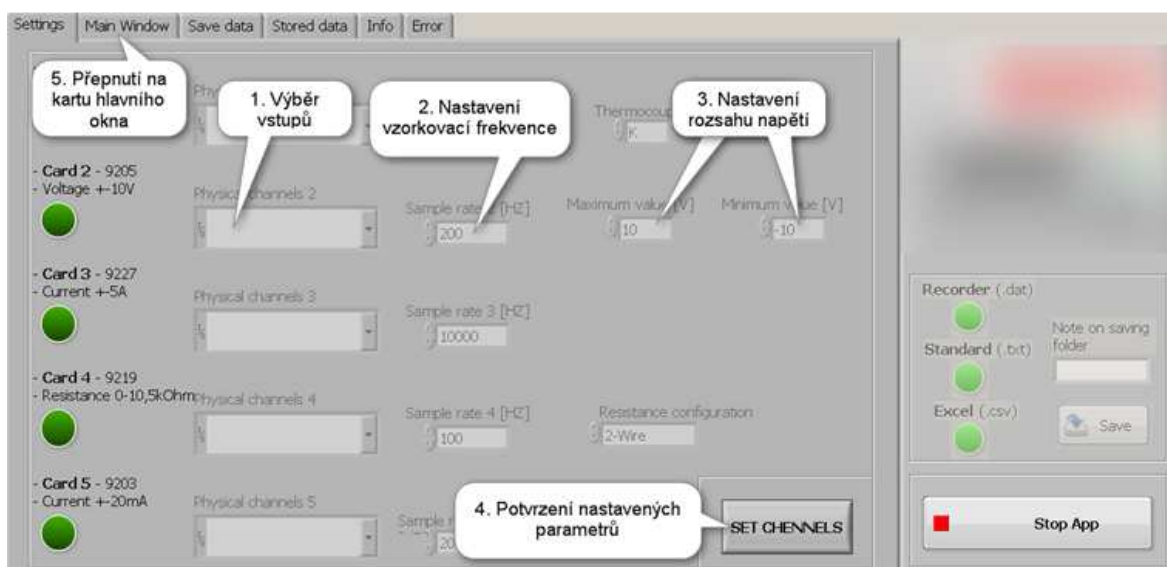
**Obrázek 26: Rekordér**



Zdroj 26: Vlastní

V rekordéru byla během měření spuštěna speciální aplikace s názvem *xxx* (viz Obrázek 27). Pomocí této aplikace docházelo k záznamu dat v čase. Nejprve bylo nutné vybrat v kartě „nastavení“ požadované napěťové vstupy, poté definovat vzorkovací frekvenci (200 Hz), dále nastavit rozsah napětí, potvrdit nastavené parametry a nakonec se přepnout na kartu hlavního okna.

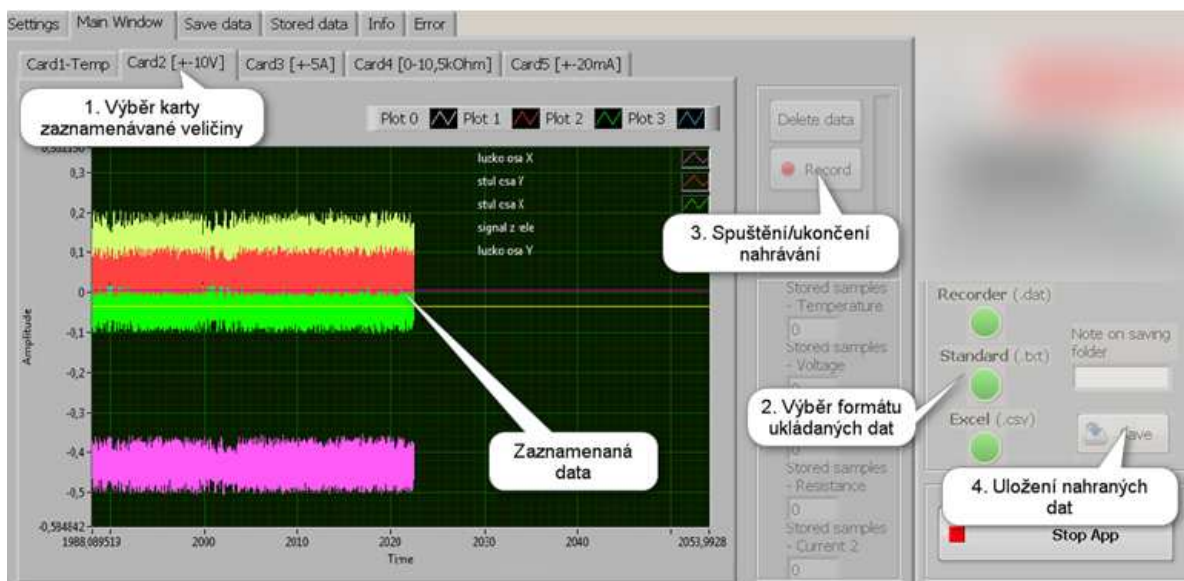
**Obrázek 27: Aplikace *xxx***



Zdroj 27: Vlastní

Na kartě hlavního okna (viz Obrázek 28) bylo nutné správně vybrat kartu se zaznamenávanou veličinou (v našem případě karta 2 pro záznam napětí), dalším krokem byl výběr formátu ukládaných dat (software umožňuje ukládat data ve formátech s příponou *.dat*, *.txt*, *.csv*). Tlačítkem „record“ se spouští/ukončuje záznam měřené veličiny.

**Obrázek 28: Záznam dat v aplikaci .xxx**



Zdroj 28: Vlastní

Měření stability uložení základacího lůžka před reklamací mělo přinést výsledky potřebné pro rozhodnutí o jejich případné reklamaci dodavateli. Snímala se lůžka s rychloupínacím systémem (viz Obrázek 29), který zavedl dodavatel a po jehož zavedení začaly problémy s odebíráním kontaktů ze základacích lůžek. Na stejném obrázku je možno vidět paprsek laserového snímače, směřující do osy základacího lůžka.

**Obrázek 29: Lůžko s původním rychloupínacím systémem**



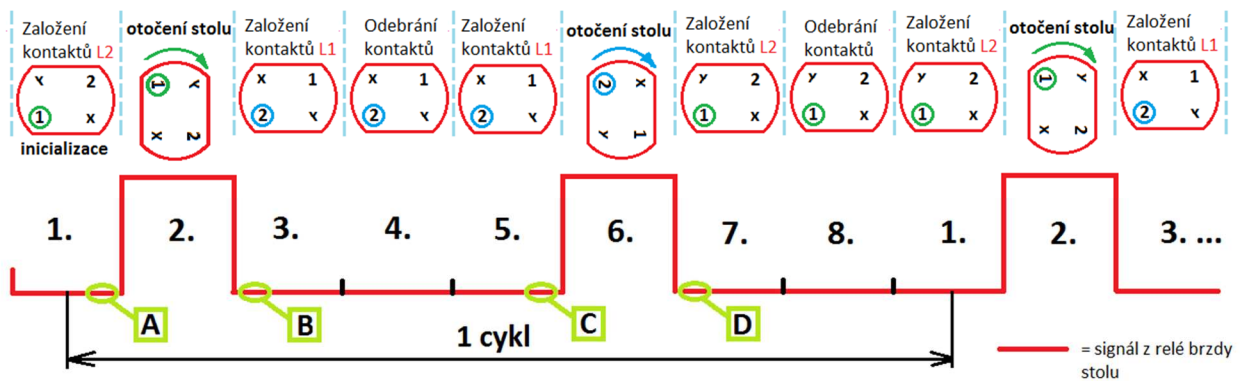
Zdroj 29: Vlastní



#### 4.1.6 Analýza naměřených dat před reklamací

Data získaná ze zařízení sloužícího pro záznam napětí v čase bylo nejprve potřeba analyzovat a zjistit, jaký signál patří kterému senzoru a jaké naměřené hodnoty přiřadit kterému lůžku. V dalším kroku bylo třeba data připravit a zpracovat tak, aby výstupem z každého měření byla pouze jedna hodnota, odpovídající vzdálenosti lůžka od pevného bodu na rámu stroje v dané ose. Takto vzniklé hodnoty byly poté vyhodnoceny ve statistickém softwaru.

Obrázek 30: Výběr oblastí pro vyhodnocení

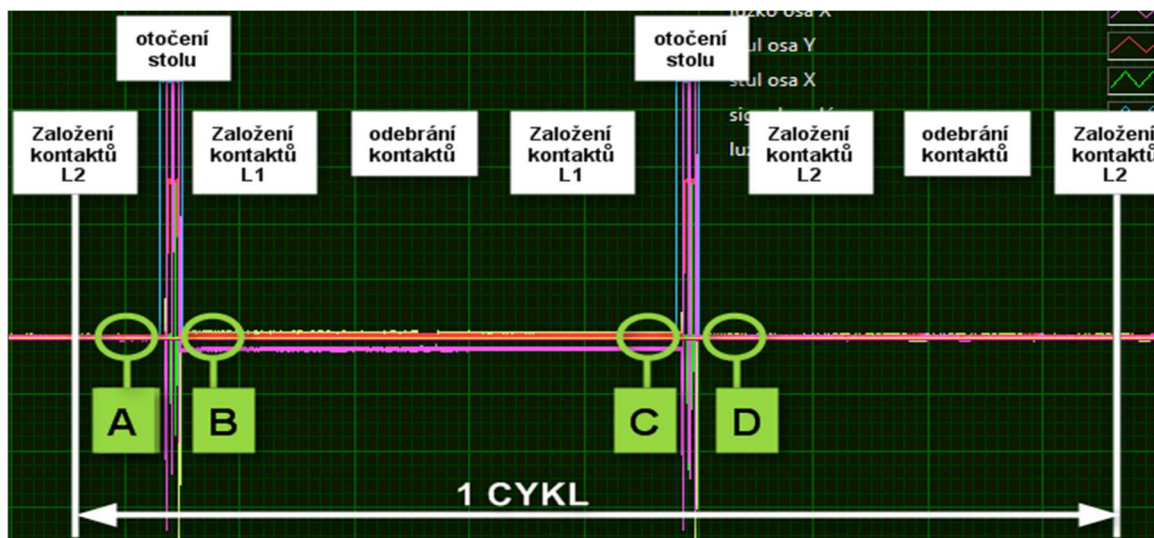


Zdroj 30: Vlastní

Prvním krokem byl výběr vhodného časového okna z výrobního cyklu, ve kterém byla vyhodnocována poloha zakládacích lůžek.

Z jednoho cyklu jsem vybral celkem 4 oblasti, které jsem dále zpracovával. Tyto oblasti jsou označeny písmeny A, B, C, D v zeleném rámečku (viz Obrázek 30). V oblasti A se měřilo lůžko 1, a to po založení kontaktů manipulátorem do lůžka 2, ale těsně před otočením stolu. V oblasti B se měřilo lůžko 2 těsně po otočení stolu, ale před založením kontaktů manipulátorem do lůžka 1. Mezitím robot odebral všechny kontakty. V oblasti C se měřilo opět lůžko 2, a to po založení kontaktů manipulátorem do lůžka 1, ale těsně před otočením stolu. V oblasti D se měřilo znovu lůžko 1, a to těsně po otočení stolu, ale před založením kontaktů manipulátorem do lůžka 2.

Obrázek 31: Popis reálného cyklu



Zdroj 31: Vlastní

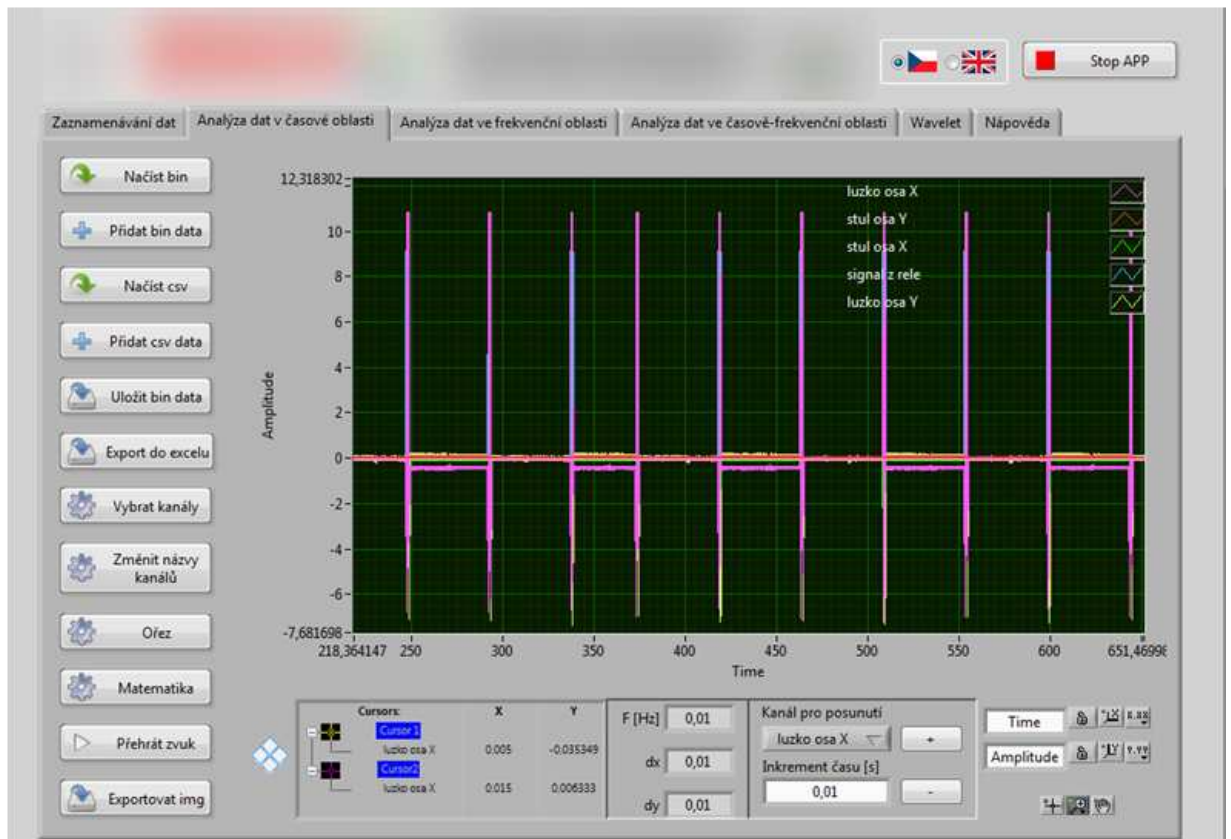
Zjednodušený popis reálného cyklu je možno vidět na Obrázku 31. V tomto obrázku jsou současně zaznamenány všechny napěťové signály ze senzorů v daném čase, tedy včetně signálu z brzdy otočného stolu. Měřené oblasti jsou opět znázorněny písmeny A, B, C, D v zeleném obdélníku, zkratka L1 značí lůžko 1, zkratka L2 značí lůžko 2.

#### 4.1.6.1 Příprava dat

Druhým krokem byla příprava dat takovým způsobem, abych vyhodnocoval v každém cyklu vždy identické místo vzhledem k časovému průběhu daného cyklu.

Jak již bylo zmíněno, naměřená data byla nahrávána v záznamovém zařízení v kuse, vždy tedy bylo nahráno několik desítek cyklů za sebou, viz Obrázek 32. Aby se s naměřenými daty dalo dále pracovat, bylo nutné nejprve rozdělit tuto sérii po sobě jdoucích cyklů na jednotlivé cykly a ty dále rozdělit na menší oblasti A, B, C a D. Tyto operace jsem ručně prováděl ve firemní aplikaci Recorder na kartě „Analýza dat v časové oblasti“.

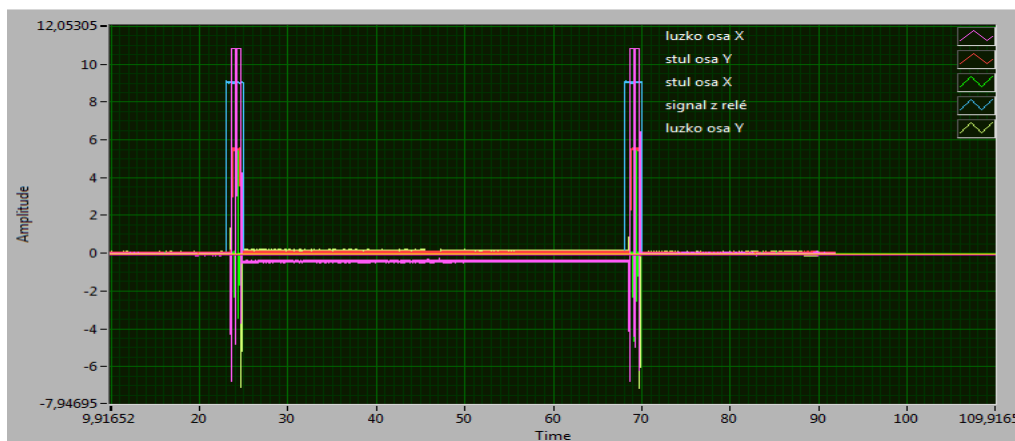
Obrázek 32: Aplikace Recorder



Zdroj 32: Vlastní

V aplikaci Recorder bylo nejprve nutné načíst zdrojová data nahraná aplikací *xxx* s příponou *.dat*, následně jsem identifikoval a pojmenoval jednotlivé signály, poté jsem za pomoci dvou kurzorů ohraničil oblast jednoho cyklu, tuto oblast ořezal od série naměřených cyklů a uložil ji pod novým názvem opět s příponou *.dat*. Tímto způsobem jsem celý naměřený signál rozdělil na jednotlivé cykly (viz Obrázek 33).

Obrázek 33: 1 cyklus

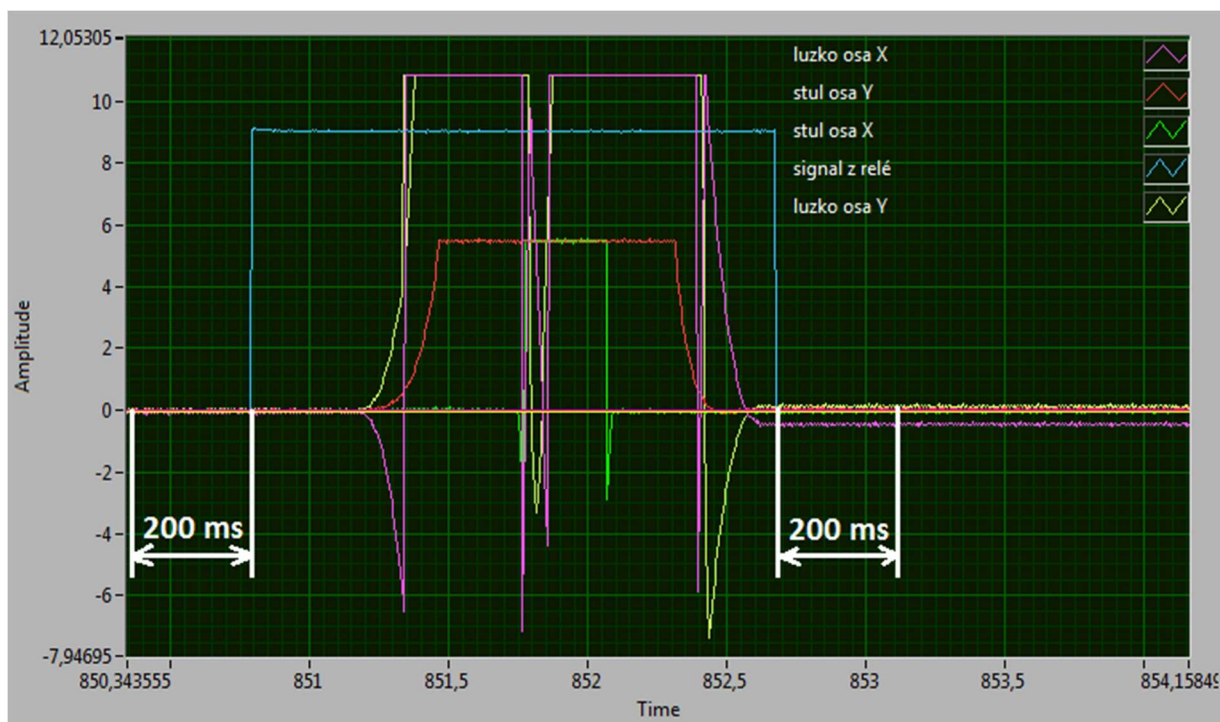


Zdroj 33: Vlastní

Po rozdělení naměřených hodnot na jednotlivé cykly a po jejich uložení jsem v aplikaci Recorder otevřel samostatně každý jednotlivý cyklus. Ten jsem prozkoumal, jestli během jeho snímání nebyly zaznamenány nahodilé šумы. Pokud byl daný cyklus v pořádku, dle Obrázku 31 jsem z něj vybral části signálů z oblastí *A*, *B*, *C* a *D*. V případě oblasti *A* (analogicky pro oblast *C*) byl jeden kurzor umístěn přesně v oblasti, kdy se začalo spínat relé z brzdy otočného stolu (viz modrý skokový signál na Obrázku 34). V případě oblasti *B* (analogicky pro oblast *D*) byl jeden kurzor umístěn v místě, kde se signál z relé otočného stolu vrátil zpět do nulové hodnoty. Ať se ohraničovala oblast *A*, *B*, *C* či *D*, druhý kurzor jsem vždy umístil do vzdálenosti 200 ms od prvního, a to buď do plusu či mínusu ve směru časové osy, v závislosti na dané oblasti. Takovéto umístění kurzorů vzhledem k náběžné a sestupné hraně signálu z relé brzdy jsem provedl proto, aby byla vždy vybrána oblast odpovídajícímu stejnému okamžiku.

V dalším kroku jsem takto ohraničenou oblast kurzory ořízl, uložil a exportoval do souboru s formátem *.csv*. V tomto souboru vznikly vždy sloupce, z nichž každý odpovídal jednomu signálu, přičemž v každém sloupci bylo celkem 200 hodnot. Získané hodnoty bylo ještě potřeba převést z jednotek napětí na jednotky délky. Měřicímu rozsahu vyhodnocovací jednotky  $\pm 10$  mm odpovídal napěťový rozsah  $\pm 10$  V, a proto byl převodní poměr mezi napětím a délkou 1:1. Pro přehlednost se výsledek převedl z milimetrů na mikrometry, a to vynásobením hodnotou  $10^3$ . V softwaru MS Excel jsem nakonec hodnoty z každého sloupce zprůměroval a zaokrouhlil na tři desetinná místa. Výsledná zprůměrovaná hodnota odpovídala vždy jedné vzdálenosti jednoho lůžka nebo stolu v jedné ose v dané oblasti. Tímto způsobem bylo potřeba připravit celkem 50 hodnot z každé oblasti a z každého signálu, viz Příloha 12.

Obrázek 34: Ohraničení oblastí A, B, C, D



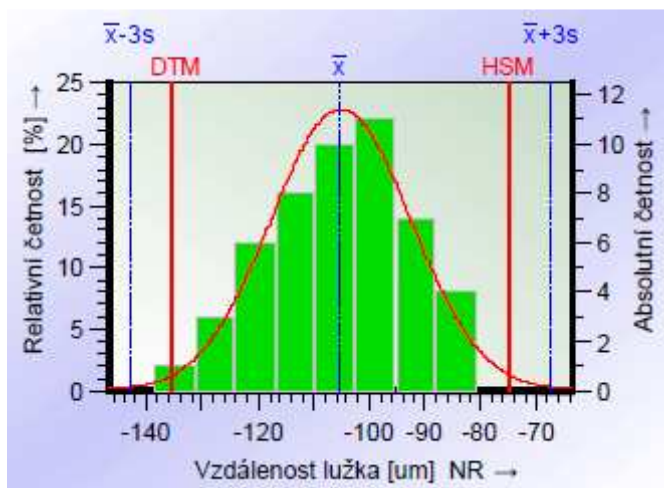
Zdroj 34: Vlastní

#### 4.1.6.2 Vyhodnocení naměřených dat ve statistickém SW

Připravená data bylo třeba dále vyhodnotit ve statistickém softwaru. Ověření stability uložení lůžek jsem prováděl ve firemním statistickém softwaru *abc* (viz Příloha 13) s použitím modulu pro výpočet způsobilosti stroje. Software na základě zadaných hodnot přiřadil pro výpočet vždy nejvhodnější distribuční model. V našem případě u všech souborů dat software vyhodnotil modelové rozdělení jako normální.

Do statistického softwaru jsem zadal vždy 50 naměřených hodnot, kdy každá hodnota odpovídala jedné vzdálenosti daného lůžka v jednom bodě cyklu, dále jmenovitou hodnotu a předepsanou toleranci vychýlení lůžek, která byla definována  $\pm 0,03$  mm. Vzhledem k tomu, že měření probíhalo nepřímou a že nebyla významná pozice lůžka, zvolil jsem jako jmenovitou hodnotu vždy střední hodnotu z 50 naměřených hodnot. Zároveň jsem posoudil první skupinu naměřených hodnot a jejich chování a potvrdilo se jejich normální rozdělení, viz Obrázek 35. Naměřené hodnoty a z nich vypočítané střední hodnoty jsou uvedeny v Příloze 12.

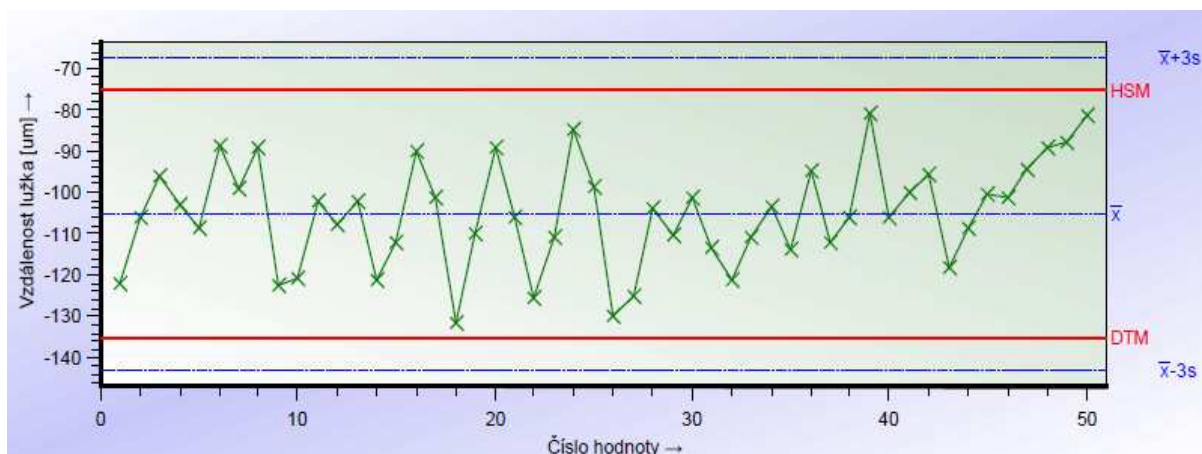
Obrázek 35: Normální rozdělení naměřených hodnot (pro lůžko 1 v ose X)



Zdroj 35: Vlastní

Na základě zadaných hodnot a přiřazeného modelové rozdělení software automaticky vypočítal indexy způsobilosti stroje  $C_m$  a  $C_{mK}$  podle strategie XY 2012. Software počítal způsobilost stroje pomocí tzv. kvantilové metody. Výsledkem každého vyhodnocení byl protokol a způsobilost stroje (příklad jednoho z nich uveden v Příloze 14), který vyhodnotil, jestli jsou splněny podmínky pro způsobilost či nikoliv. V hlavičce takového protokolu jsou uvedeny základní informace o měření, o čase, o strojích, jednotkách, atp. V další části protokolu je graficky znázorněn rozptyl hodnot (viz Obrázek 36) a pod ním grafické znázornění normálního rozložení.

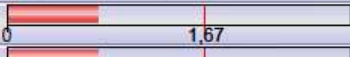
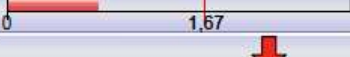
Obrázek 36: Rozptyl hodnot



Zdroj 36: Vlastní

Ve spodní části protokolu je uvedena tabulka (viz Obrázek 37) se zadanými a vypočítanými hodnotami, včetně indexů způsobilosti a jejich grafického znázornění. V předposlední řádce je pak vždy uveden celkový výsledek způsobilosti. V levé části je sloupec „Údaje z výkresu“, kde údaj  $T_m$  odpovídá středu tolerance,  $DTM$  je dolní toleranční mez,  $HSM$  je horní toleranční mez a  $T$  je tolerance parametru. Ve sloupci naměřené hodnoty je údaj  $x_{min}$ , který odpovídá nejnižší jednotlivé hodnotě v početním množství (minimum),  $x_{max}$  je nejvyšší jednotlivá hodnota v početním množství (maximum),  $R$  rozpětí početního množství,  $n_{<T>}$  počet hodnot v toleranci,  $n_{>HTM}$  počet hodnot větších než horní toleranční mez,  $n_{<DSM}$  celkový počet hodnot menších než dolní toleranční mez,  $n_{Eff}$  je vyhodnocený počet hodnot,  $n_{Celk}$  je celkový počet hodnot. Ve sloupci vpravo jsou spočítané statistické hodnoty, kde  $\bar{x}$  je aritmetická průměrná hodnota,  $\bar{x}-3s$  je rozdíl aritmetické průměrné hodnoty a trojnásobku směrodatné odchylky,  $\bar{x}+3s$  je součet aritmetické průměrné hodnoty a trojnásobku směrodatné odchylky,  $6s$  je šestinásobek směrodatné odchylky,  $p_{<T>}$  očekávaný podíl hodnot v toleranci,  $p_{>HTM}$  očekávaný podíl hodnot větších než horní mezní rozměr a  $p_{<DSM}$  je očekávaný podíl hodnot menších než dolní mezní rozměr.

**Obrázek 37: Protokol - tabulka výsledků**

Údaje z výkresu		Naměřené hodnoty		Statistické hodnoty	
$T_m$	-105,181			$\bar{x}$	-105,18140
$DTM$	-135,181	$X_{min}$	-131,416	$\bar{x}-3s$	-142,96645
$HSM$	-75,181	$X_{max}$	-80,723	$\bar{x}+3s$	-67,39635
$T$	60,000	$R$	50,693	$6s$	75,57010
		$n_{<T>}$	50	$p_{<T>}$	98,27762 %
		$n_{>HTM}$	0	$p_{>HTM}$	0,86119%
		$n_{<DSM}$	0	$p_{<DSM}$	0,86119%
		$n_{Eff}$	50		
		$n_{Celk}$	50		
Modelové rozdělení			Normální rozdělení		
Typ výpočtu			M42 Percentil (0,135%-50%-99,865%)		
Ukazatel způsobilosti procesu	$C_m$	0,64 ≤ 0,79 ≤ 0,95			
Využití způsobilosti	$C_{mk}$	0,61 ≤ 0,79 ≤ 0,98			
Požadavky NE-splněny ( $C_m, C_{mk}$ )					

Zdroj 37: Vlastní

Výsledky vyhodnocení způsobilosti jsou uvedeny v Tabulce 1. Ve druhé řádce této tabulky jsou uvedeny vybrané vyhodnocované oblasti z jednoho cyklu, viz Obrázek 31. Údaj „Střední hodnota“ v Tabulce 1 představuje hodnotu získanou výpočtem aritmetického průměru ze souboru 50 získaných hodnot. Zkratka „Min“ představuje minimální naměřenou hodnotu, tedy minimální naměřenou vzdálenost lůžka od pevného bodu na rámu stroje, zkratka „Max“ znamená maximální naměřenou hodnotu a údaj „Rozptyl hodnot“ je rozdíl největší a nejmenší naměřené hodnoty. Aby byly splněny podmínky způsobilosti, indexy  $C_m$ ,  $C_{mk}$  musejí být větší

nebo rovny hodnotě 1,67. Červeně označené jsou ty výsledky, které tuto podmínku nesplňují. Výsledky vyznačené světle zelenou barvou jsou ty, které podmínku způsobilosti splňují.

**Tabulka 1: Výsledky způsobilosti původních lůžek**

Výsledky způsobilosti před reklamací								
Oblasti vyhodnocení	A (snímáno lůžko 1)		B (snímáno lůžko 2)		C (snímáno lůžko 2)		D (snímáno lůžko 1)	
Osa	Osa Y	Osa X	Osa Y	Osa X	Osa Y	Osa X	Osa Y	Osa X
Střední hodnota [ $\mu\text{m}$ ]	5,677	-105,181	257,032	-895,273	192,323	-835,341	20,555	-90,189
Min [ $\mu\text{m}$ ]	-24,981	-131,416	248,101	-909,894	177,330	-846,359	5,833	-99,778
Max [ $\mu\text{m}$ ]	28,190	-80,723	264,109	-879,268	203,727	-821,163	36,557	-78,045
Rozptyl hodnot [ $\mu\text{m}$ ]	53,172	50,693	16,008	30,626	26,396	25,197	30,723	21,733
$C_m/C_{mK}$	0,89	0,79	2,29	1,2	1,4	1,55	1,23	2,02

Zdroj 38: Vlastní

Z výsledků v Tabulce 1 je možno vidět, že ani jedno ze dvou snímaných zakládacích lůžek nespĺnilo podmínku způsobilosti, a to vždy buď v ose  $x$  nebo v ose  $y$  takže uložení lůžek nebylo stabilní. Po tom, co jsem zjistil, že stabilita uložení lůžek nevychází, jsem musel analyzovat, zda problém leží v soustavě zakládací lůžko vs. rám, nebo otočný stůl vs. rám. Během měření vychýlení lůžek probíhalo paralelně i měření výkyvu otočného stolu vůči rámu stejnou měřicí metodou a měřicím zařízením a zjistil jsem, že výkyv stolu vůči rámu byl minimální. Problém tedy ležel v uložení zakládacích lůžek na otočném stole.

Tato skutečnost byla důvodem k reklamaci technického provedení dodavatelí. Dodavatel reklamaci uznal a okamžitě začal pracovat na zlepšení konstrukce zakládacích lůžek a jejich uložení. Upravená lůžka poté opět instaloval na otočný stůl.

Na Obrázku 38 jsou v grafu vyobrazena zaznamenaná výrobní data ze stroje, a to z období ještě před úpravou lůžek a jejich uložení. V grafu v horní části Obrázku 38 je zaznamenan počet výrobních cyklů za jednu směnu. Ze stejného grafu je možno vypořozovat i prostoje stroje, které jsou znázorněny červeně. V ideálním případě by měl být růst křivky v čase konstantní. Z výrobních dat je patrné, že během směny byl narušen chod stroje několika prostoji, během kterých byl stroj zastaven.

Ve spodním grafu Obrázku 38 jsou uvedeny časy jednotlivých cyklů v průběhu směny, kde červené body značí zmetky a modré značí výrobky, jež jsou v pořádku.



Obrázek 38: Výrobní data před reklamací lůžek

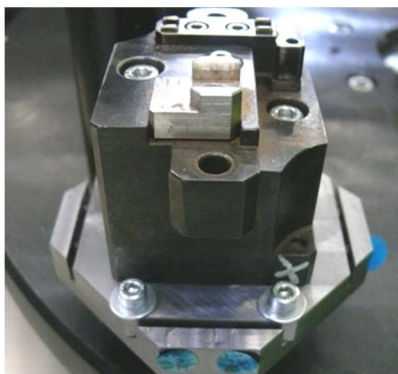


Zdroj 39: Vlastní

#### 4.1.7 Měření výchylky zakládacích lůžek po jejich reklamaci a přestavbě

Po reklamaci původních zakládacích lůžek a jejich uložení na otočném stole došlo k jejich přestavbě a bylo žádoucí ověřit, jestli aplikované řešení pomohlo vyřešit problémy s nestabilitou jejich uložení a problémy, které nestabilita vyvolává. Zakládací lůžko po přestavbě viz Obrázek 39.

Obrázek 39: Zakládací lůžko po přestavbě



Zdroj 40: Vlastní

Aby tedy bylo možné ověřit stabilitu uložení nových zakládacích lůžek, realizoval jsem druhé měření vychýlení lůžek za pomoci stejné měřicí metody a stejných měřicích zařízení. Pro zajištění opakovatelnosti měření zůstaly přípravky se senzory uloženy na stejném místě, jako při 1. měření lůžek (měření před reklamací). Příprava a analýza dat i jejich vyhodnocení probíhalo totožným způsobem, jako při 1. měření zakládacích lůžek. Data jsem tedy nejprve zaznamenal v aplikaci *xxx* v záznamovém zařízení, poté jsem je analyzoval v aplikaci Recorder, ve kterém jsem i naměřená data ořezal podle oblastí *A*, *B*, *C* a *D* a exportoval je do formátu *.csv*. Z naměřených hodnot z těchto oblastí jsem vždy udělal aritmetický průměr, který odpovídal jedné hodnotě vzdálenosti jednoho lůžka od pevného bodu na rámu stroje v jedné ose v dané oblasti. Výsledky jsou uvedeny v Příloze 15.

Tyto hodnoty, stejně jako další hodnoty (např. tolerance vychýlení zakládacích lůžek  $\pm 0,03$  mm, jmenovitý rozměr, atp.) jsem opět zadal do statistického softwaru *abc*. Všechny soubory naměřených hodnot měly normální rozložení. Statistický software nakonec vypočítal indexy způsobilosti stroje a vyhodnotil celkovou způsobilost. Výsledky jsou uvedeny v Tabulce 2, kde světle zeleně označené znamenají, že jsou splněny podmínky způsobilosti stroje. Stejně jako v případě Tabulky 1 představuje údaj „Střední hodnota“ v Tabulce 2 hodnotu získanou výpočtem aritmetického průměru ze souboru 50 naměřených hodnot, zkratka „Min“ představuje

minimální naměřenou hodnotu vzdálenosti zakládacího lůžka, zkratka „Max“ maximální naměřenou hodnotu a údaj „Rozptyl hodnot“ je rozdíl největší a nejmenší naměřené hodnoty. Výstupem ze statistického softwaru byl vždy protokol o způsobilosti stroje.

**Tabulka 2: Výsledky způsobilosti po reklamaci a přestavbě lůžek**

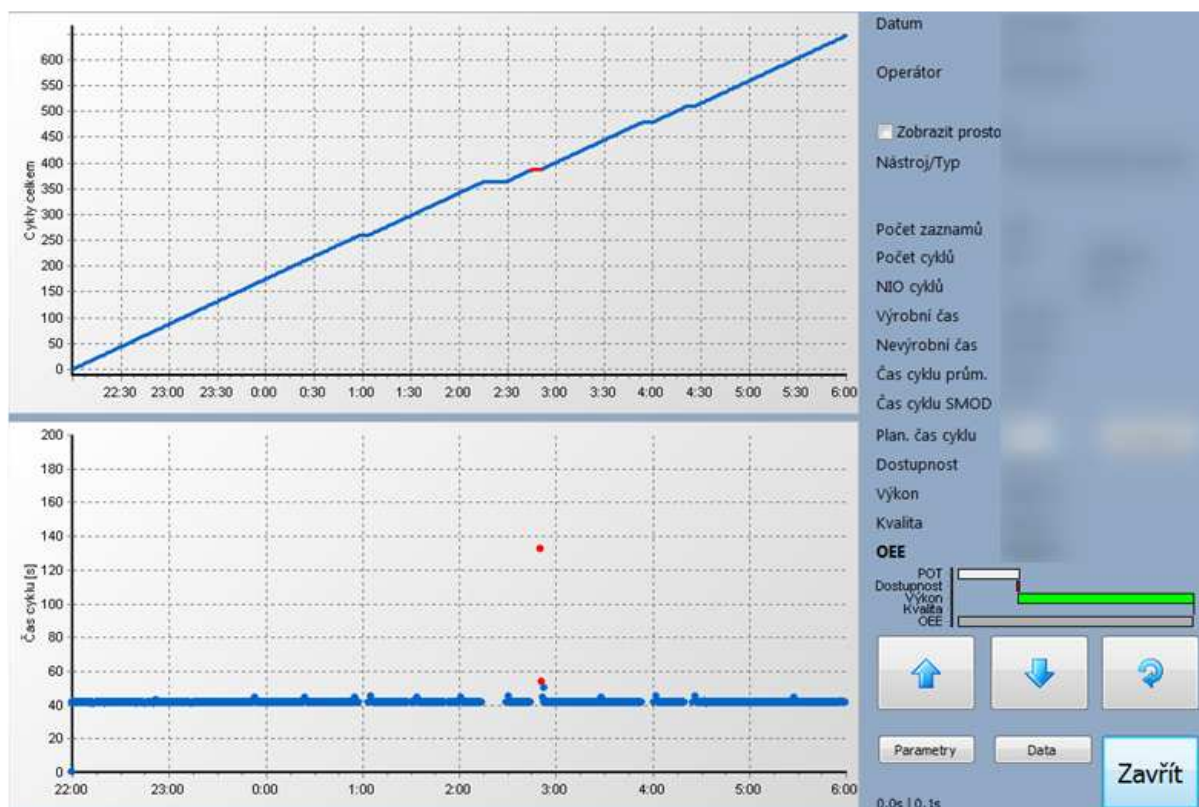
Výsledky způsobilosti po reklamaci								
Oblasti vyhodnocení	A (snímáno lůžko 1)		B (snímáno lůžko 2)		C (snímáno lůžko 2)		D (snímáno lůžko 1)	
Osa	Osa Y	Osa X	Osa Y	Osa X	Osa Y	Osa X	Osa Y	Osa X
Střední hodnota [ $\mu\text{m}$ ]	-144,422	-527,998	-133,389	-515,624	-160,566	-482,374	-142,577	-529,916
Min [ $\mu\text{m}$ ]	-149,799	-535,073	-137,68	-521,266	-166,885	-492,828	-145,881	-534,419
Max [ $\mu\text{m}$ ]	-138,098	-518,869	-129,628	-509,244	-154,321	-473,009	-139,783	-526,046
Rozptyl hodnot [ $\mu\text{m}$ ]	11,700	16,204	8,051	12,021	12,563	19,819	6,096	8,372
$C_m/C_{mK}$	3,92	2,46	4,55	3,54	2,84	1,84	6,21	4,31

Zdroj 41: Vlastní

Na Obrázku 40 jsou vyobrazena zaznamenaná výrobní data ze stroje, a to z období již po přestavbě lůžek a jejich uložení. V grafu uvedeném v horní části Obrázku 40 je možno vidět počet výrobních cyklů v čase (za jednu výrobní směnu). Z tohoto grafu je možno vypočítat i prostoje. Prostoje během této směny nebyly téměř žádné a růst křivky je téměř konstantní. Z celkového času výroby činil nevýrobní čas jen nepatrnou část, stroj povětšinou fungoval bez zastavení. Pět krátkých prostoje, které je možno na Obrázku 40 vidět, nesouviselo s odebráním kontaktů ze zakládacích lůžek na otočném stole.

Spodní graf na Obrázku 40 ukazuje časy jednotlivých cyklů v průběhu směny. Červené body v tomto grafu znázorňují zmetky, modré body znázorňují hotové výrobky, které jsou v pořádku.

Obrázek 40: Výrobní data po reklamaci a přestavbě lůžek



Zdroj 42: Vlastní

## 4.2 Diskuse výsledků

V následujících dvou tabulkách (Tabulka 3 a Tabulka 4) uvádím výsledky ověření způsobilosti stroje, pomocí nichž jsem ověřoval stabilitu uložení zakládacích lůžek v sériovém procesu. Červeně zvýrazněné hodnoty znamenají, že nebyla splněna podmínka způsobilosti stroje, světle zeleně označené hodnoty znamenají, že byly splněny podmínky způsobilosti stroje.

V Tabulce 3 jsou uvedeny výsledky způsobilosti v ose  $y$ . Z výsledků je patrné, že se rozptyl naměřených hodnot vždy po reklamaci (úpravě zakládacích lůžek a jejich uložení) zmenšil, zmenšil se tedy i výkyv lůžek. Co se způsobilosti stroje týče, v případě výsledků v ose  $y$  byla před reklamací nejhorší způsobilost v oblasti  $A$  u lůžka 1. Nejlepší způsobilosti dosáhlo také lůžko 1, a to v bodě  $D$  po reklamaci. Stejně tak, jako u všech ostatních se způsobilost stroje po reklamaci zlepšila a mohu tedy prohlásit, že je uložení zakládacích lůžek v sériovém procesu v ose  $y$  po reklamaci lůžek a jejich uložení stabilní.

Tabulka 3: Výsledky způsobilosti - osa y

Výsledky způsobilosti – osa y								
Oblasti vyhodnocení	A (snímáno lůžko 1)		B (snímáno lůžko 2)		C (snímáno lůžko 2)		D (snímáno lůžko 1)	
Výsledky	Před reklamací	Po reklamaci	Před reklamací	Po reklamaci	Před reklamací	Po reklamaci	Před reklamací	Po reklamaci
Rozptyl hodnot [μm]	53,172	11,700	16,008	8,051	26,396	12,563	30,723	6,096
$C_m/C_{mK}$	0,89	3,92	2,29	4,55	1,4	2,84	1,23	6,21

Zdroj 43: Vlastní

V Tabulce 4 jsou výsledky způsobilosti v ose x. Rozptyl naměřených hodnot se vždy po reklamaci základacích lůžek zmenšil, takže se vždy zmenšil i výkyv základacích lůžek. Ze statistického hlediska se způsobilost stroje zlepšila ve všech případech. V ose x byla nejhorší způsobilost u lůžka 1 v bodě A před reklamací, nejlepší způsobilosti dosáhlo také lůžko 1, a to v bodě D po reklamaci. Uložení základacích lůžek v sériovém procesu v ose x je po reklamaci lůžek a jejich uložení stabilní.

Tabulka 4: Výsledky způsobilosti - osa x

Výsledky způsobilosti – osa x								
Oblasti vyhodnocení	A (snímáno lůžko 1)		B (snímáno lůžko 2)		C (snímáno lůžko 2)		D (snímáno lůžko 1)	
Výsledky	Před reklamací	Po reklamaci	Před reklamací	Po reklamaci	Před reklamací	Po reklamaci	Před reklamací	Po reklamaci
Rozptyl hodnot [μm]	50,693	16,204	30,626	12,021	25,197	19,819	21,733	8,372
$C_m/C_{mK}$	0,79	2,46	1,2	3,54	1,55	1,84	2,02	4,31

Zdroj 44: Vlastní

Výsledky způsobilosti z osy x i z osy y jsou spolu uvedeny v následující tabulce (Tabulka 5). Pokud se na tyto výsledky podíváme komplexně jako na systém složený ze soustavy bodů, můžeme prohlásit za nejhorší lůžko před reklamací lůžko 1 v bodě A v ose y, které mělo rozpětí naměřených hodnot 53,172 μm a index způsobilosti stroje  $C_{mK}$  roven 0,89. Nejhorším základacím lůžkem v sériovém procesu po reklamaci bylo lůžko 2 v bodě C a v ose x s rozpětím naměřených hodnot 19,819 μm a indexem způsobilosti stroje  $C_{mK}$  rovnu 1,84.

Ve všech měřených oblastech v obou osách a u obou problematických lůžek došlo díky přestavbě původního uložení zakládacích lůžek dodavatelem ke zmenšení výkyvu lůžek a ke zlepšení způsobilosti stroje. Protože jsem zjišťoval stabilitu uložení zakládacích lůžek v sériovém procesu právě pomocí způsobilosti stroje, mohu prohlásit, že úprava uložení lůžek dodavatelem vedla ke zlepšení a uložení obou zakládacích lůžek je v sériovém procesu stabilní. Stabilní uložení zakládacích lůžek zlepšilo celý výrobní proces, protože nedochází k prostojům, k vypadávání kontaktů z robota během jejich odebírání a manipulace, k deformaci hotových kontaktů vlivem vychýlení zakládacích lůžek a ke vzniku zmetků.

**Tabulka 5: Výsledky způsobilosti - celkové**

<b>Výsledky způsobilosti – celkové</b>								
Oblasti vyhodnocení	<b>A</b> (snímáno lůžko 1)		<b>B</b> (snímáno lůžko 2)		<b>C</b> (snímáno lůžko 2)		<b>D</b> (snímáno lůžko 1)	
Výsledky	Před reklamací	Po reklamaci	Před reklamací	Po reklamaci	Před reklamací	Po reklamaci	Před reklamací	Po reklamaci
<b>Osa y</b>								
Rozptyl hodnot [μm]	53,172	11,700	16,008	8,051	26,396	12,563	30,723	6,096
$C_m/C_{mK}$	0,89	3,92	2,29	4,55	1,4	2,84	1,23	6,21
<b>Osa x</b>								
Rozptyl hodnot [μm]	50,693	16,204	30,626	12,021	25,197	19,819	21,733	8,372
$C_m/C_{mK}$	0,79	2,46	1,2	3,54	1,55	1,84	2,02	4,31

Zdroj 45: Vlastní

Z porovnání Obrázku 38, kde jsou znázorněna výrobní data stroje původních lůžek (před reklamací), s Obrázkem 40, kde jsou znázorněna výrobní data stroje po přestavbě lůžek, vyplývá, že se aplikací nového systému uložení lůžek snížila zmetkovitost a prostoje stroje, čímž se v konečném důsledku zvýšila produktivita. Před reklamací lůžek docházelo k většímu množství prostojů během směn i k výrobě relativně velkého množství zmetků. Po přestavbě lůžek se počet prostojů snížil a snížila se i zmetkovitost.

Hypotéza o tom, že pochybení vzniklo na straně dodavatele, se výše uvedenými výsledky potvrdila.

### **4.3 Návrhy opatření**

Výsledky získané způsobem popsaným v aplikační části jsou výsledky krátkodobého sledování stability uložení zakládacích lůžek v sériovém procesu. Metody použité v této práci jsou vhodné k ověření stability uložení zakládacích lůžek.

Z hlediska zjištění a odstranění dalších možných negativních náhodných vlivů způsobujících vychýlení lůžek bych doporučil, aby se provedlo ještě jedno měření s cílem ověřit stav stability uložení zakládacích lůžek po určité době v sériovém procesu. Pokud by se projevila opakovaná nestabilita lůžek, bylo by nutné lůžka znovu reklamovat dodavateli. V tomto případě bych zároveň navrhl další opatření ve formě zavedení 100 % hlídání pozice zakládacích lůžek pomocí mnou navrženou metodou, které by bylo propojeno s řízením stroje. Pokud se při opakovaném měření nestabilita neprokáže, dá se toto konstrukční řešení prohlásit za dlouhodobě vyhovující.

Na soustavě strojů popsané v kapitole „Úvod do problému“ v současné době probíhá výroba celkem čtyř typů výrobků a z nich je pouze jeden výrobní proces plně automatizovaný, u ostatních typů kontakty do vstřikovací formy zakládá ručně obsluha stroje, což je neekonomické, a proto by bylo výhodnější celý proces automatizovat. U výrobních procesů zbývajících třech typů výrobků se automatizace teprve bude zavádět. Z tohoto důvodu bych doporučil, aby se při změně vyráběného typu za jiný, vyměnily ne jen samostatně zakládací lůžka, jako tomu je doposud, ale celý otočný stůl i s výměnnými lůžky, které by na stole byly uloženy pevně. Jelikož se nový způsob uložení zakládacích lůžek osvědčil, aplikoval bych ho stejně i v dalších projektech, které se budou ve firmě v budoucnu zavádět.

## 5 Závěr

Bakalářskou práci na téma „Návrh a realizace metody pro ověření stability uložení lůžek pro automatizované zakládání kontaktů“ jsem zpracoval ve firmě XY. Důvodem výběru tématu bakalářské práce právě v této firmě byla dlouholetá vazba díky praxi, kterou jsem zde vykonával již po dobu studia na střední škole a která pokračovala i při studiu na škole vysoké.

V teoretické části jsem se zabýval automatizací, základními prostředky automatizace se zaměřením na zařízení a prostředky hmotného toku, například roboty a manipulátory, dále jsem se zabýval analýzou způsobilosti stroje a procesu, a nakonec zařízeními sloužícími k ověření resp. získání dat pro vyhodnocení způsobilosti stroje.

Cílem mé práce bylo najít vhodnou metodu pro ověření stability uložení lůžek pro automatizované zakládání kontaktů a následně tuto metodu použít k vyhodnocení stability uložení lůžek v sériovém procesu.

Cíl práce byl splněn, jelikož jsem našel vhodnou metodu pro ověření stability uložení zakládacích lůžek a tuto metodu použil v praxi. Stabilitu uložení zakládacích lůžek jsem ověřil pomocí nepřímého měření vychýlení zakládacích lůžek a pomocí analýzy způsobilosti stroje. Ke změření lůžek jsem vybral vhodná měřicí zařízení. Zvolil jsem bezkontaktní způsob měření, provedený pomocí laserového měřicího systému. K záznamu dat jsem použil speciální firemní zařízení zvané „Blackbox“. Záznam dat probíhal v softwaru LabVIEW v aplikaci xxx. Zaznamenaná data jsem následně zpracoval ve firemní aplikaci Recorder, abych je mohl dále vyhodnotit ve statistickém softwaru. Připravená data jsem vyhodnotil ve firemním statistickém softwaru abc a tím získal výsledky o způsobilosti stroje, díky kterým jsem vyhodnotil stabilitu uložení zakládacích lůžek.

Při řešení bakalářské práce jsem provedl celkem dvě měření a dvě vyhodnocení a výsledky z nich jsem poté vzájemně porovnal. První měření zakládacích lůžek mělo za cíl zjistit, jestli během sériového procesu skutečně dochází k vychýlení lůžek a je tedy aplikované řešení uložení lůžek dodavatelem pro daný výrobní proces nevhodné. To jsem prvním měřením a ověřením stability uložení lůžek potvrdil, takže bylo původní uložení lůžek reklamováno dodavateli. Dodavatel reklamaci uznal a v relativně krátké době vypracoval a zavedl nový způsob uložení zakládacích lůžek. Po přestavbě uložení lůžek jsem tedy provedl měření stejnou metodou a za pomoci stejných zařízení, abych zjistil, jestli aplikované řešení dodavatelem zlepšilo stabilitu uložení lůžek.



Výsledky z druhého měření jsem prokázal, že aplikovaný způsob uložení lůžek dodavatelem po jejich reklamaci výrazně zlepšil jejich stabilitu uložení a zároveň splnil požadavky na způsobilost, takže mohu novou konstrukci uložení lůžek prohlásit za stabilní.

Tím, že se zmenšilo vychýlení lůžek a zlepšila jejich stabilita uložení, se výrazně snížil počet prostožů, které nastávaly např. díky špatnému odebrání kontaktů ze zakládacích lůžek.

Zjištěnými výsledky byla potvrzena hypotéza o pochybení na straně dodavatele ve smyslu dodání nevhodné konstrukce uložení zakládacích lůžek, kterou jsem si na počátku ve spolupráci s pracovníky firmy XY stanovil.

Na základě získaných výsledků bych použití způsobu uložení lůžek aplikovaného po jejich reklamaci doporučil při zavádění automatizace jak do nových, tak i do stávajících projektů podobných tomu, který jsem v bakalářské práci řešil.

# Seznam zdrojů

## A) vnitropodnikové materiály, statistiky, právní předpisy, normy, ověřené technologie, užité vzory a další institucionální zdroje

ISO 8373:2012. *Robot and robotic devices – Vocabulary* [online]. Geneva: International Organization for Standardization, [cit. 2016-03-03], 2012. 38 s. Dostupné z: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=55890](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=55890)

AB CORPORATION, ©2010. *Ultra High-Speed/High-Accuracy Laser Displacement Sensor*. Japan: AB Corporation. Vnitropodnikový materiál. 20 s.

AB CORPORATION, ©2006. *Ultra General Purpose Digital Contact Sensor*. Japan: AB Corporation. Vnitropodnikový materiál. 20 s.

XY, 1996. *Zajištění jakosti ve skupině XY, Technická statistika: Základy technické statistiky – Variabilní znaky*. 10. vyd., přepracoval: RACH, XY. Česká republika. Vnitropodnikový materiál: XY sešit 1. 80 s.

XY, 2004. *Zajištění jakosti ve skupině XY, Technická statistika: Způsobilost strojů a procesů*. 3. vyd., přepracoval: RACH, XY. Česká republika. Vnitropodnikový materiál: XY sešit 9. 42 s.

## B) knihy, kvalifikační práce

HLUCHÝ, M. a J. KOLOUCH, 2007. *Strojírenská technologie 1: Nauka o materiálu 1. díl*. 4., rev. vyd. Praha: Scientia, 266 s. ISBN 978-80-86960-26-5.

HOLEČEK, J. a Z. HOLOUBEK, 1985. *Strojnictví II: pro střední odborná učiliště*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 165 str.

KOLÍBAL, Z., 1993. *Průmyslové roboty II.: Konstrukce výstupních hlavic a periferii*. Brno PC DIR. 165s. ISBN 80-214-0533-3.

LACKO, B. a kol., 2000. *Automatizace a automatizační technika: Systémové pojetí automatizace*. Praha: Computer Press. ISBN 80-7226-246-7.

MARTINEK, R., 2004. *Senzory v průmyslové praxi*. Praha: BEN - technická literatura, 199 s. ISBN 80-7300-114-4.

- NENÁHLO, Č., 2005. *Měření vybraných geometrických veličin*. Praha: Česká metrologická společnost, 207 s.
- OPLATEK, F. a kol., 2000. *Automatizace a automatizační technika 4: Automatické systémy*. Praha: Computer Press, 166 s. ISBN 80-7226-249-1.
- RUMÍŠEK, P., 1990. *Automatizace výrobních procesů II: Tváření*. Brno: VUT Brno, 192 s. ISBN 80-214-0221-0.
- RUMÍŠEK, P., 2002. *Mechanizace a automatizace* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. 2002 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory\\_soubory/mechanizace\\_a\\_automatizace\\_ucebni\\_texty\\_ru\\_misek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/mechanizace_a_automatizace_ucebni_texty_ru_misek.pdf)
- SCHMID, D. a kol., 2005. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*. Praha: Europa - Sobotáles, 420 s. ISBN 80-86706-10-9.
- SKAŘUPA, J., 2007. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, [cit. 2016-02-23]. ISBN 978-80-248-1522-0. Dostupné z: [http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta\\_PRaM.pdf](http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf)
- SZMEK, T., 2011. *Stabilita procesu výroby železničních podkladnic*. Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky.
- ŠÍPULA, M., 2009. *Zařízení pro lineární odměřování polohy*. Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky.
- ŠOLC, T., 2012. *Návrh ultrazvukového senzoru vzdálenosti* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci. Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: [http://www.fm.tul.cz/esf0247/download\\_file.php/navrh\\_ultrazvukoveho\\_senzoru\\_vzdalenosti.pdf?id=970](http://www.fm.tul.cz/esf0247/download_file.php/navrh_ultrazvukoveho_senzoru_vzdalenosti.pdf?id=970)
- TOŠENOVSKÝ, J., NOSKIEVIČOVÁ, D., 2000. *Statistické metody pro zlepšování jakosti*. Ostrava: Montanex a.s.. 362 s. ISBN 80-7225-040-X.
- VLACH, B., 1980. *Technologie obrábění*. Praha: České vysoké učení technické, 263 s.

### C) odborné časopisecké články a studie ze sborníků

KABEŠ, K., 2007. Magnetostrikční snímače vzdálenosti. *Automa: odborný časopis pro automatizační techniku* [online]. Praha: FCC public, **12**(4) [cit. 2016-02-29]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: [http://automa.cz/index.php?id\\_document=34229](http://automa.cz/index.php?id_document=34229)

KOLÍBAL, Z., 2009. Minulost a budoucnost robotů. *Automa: odborný časopis pro automatizační techniku* [online]. Praha: FCC public, **14**(5), str. 8-10 [cit. 2016-02-24]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: <http://automa.cz/res/pdf/39014.pdf>

LACKO, B., 2005. Taxonomie a vymezení nevýrobní automatizace. *ATP Journal*. **17**(4), str. 54-55. ISSN 1335-2237.

ZÁRYBNICKÝ, V., 2014. Bezkontaktní měření vzdálenosti. *MM průmyslové spektrum* [online]. Praha: Vogel Publishing, 11. 3. 2014, **7**(3), str. 54 [cit. 2016-02-29]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/bezkontaktni-mereni-vzdalenosti.html>

#### **D) jiné**

VOJÁČEK, A., 2011. Velmi přesné optické měření s konfokálními snímači. In: *automatizace.hw.cz* [online]. 14. listopadu 2011 [cit. 2016-29-02, 16:20]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/komponenty/velmi-presne-opticke-mereni-s-konfokalnimi-snimaci.html>

*M & B Calibr Ivančice* [online]. [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: <http://www.mbcaltibr.cz/prodej-produkt-741-digitalni-uchylkomery-marcator-rozliseni-1-1000.html>

# Seznam použitých zkratek

**CCD** – Charge Coupled Device

**PSD** – Position Sensitive Detector

**RC** – rezistor capacitor

**LVDT** – linear Variable Differential Transformer

**$C_p$**  – Process Capability

**$C_{pK}$**  – Process Capability katayori

**$C_m$**  – Machine Capability

**$C_{mK}$**  – Machine Capability katayori

**SCARA** - Selective Compliance Assembly Robot Arm

**CIM** - Computer Integrated Manufacturing)

**FMS** – Flexibile manufacturing systém

**MAZ** – mechanizačně-automatizační zařízení a prostředky

**CMOS** - Complementary Metal–Oxide–Semiconductor

**L1** – lůžko 1

**L2** – lůžko 2

**Char.** - charakteristika

**vs.** – versus

**vzdál.** - vzdálenost

# Seznam obrázků

Obrázek 1: Vliv stupně automatizace na náklady a produktivitu .....	14
Obrázek 2: Rozdělení manipulačních zařízení .....	19
Obrázek 3: Robot s kinematikou RTT (vlevo) a TTT (vpravo).....	22
Obrázek 4: Robot s kinematikou RRT (vlevo) a RRR (vpravo).....	23
Obrázek 5: Gaussova křivka .....	25
Obrázek 6: Konstrukce lankového snímače .....	30
Obrázek 7: Lineární posuvný odporový senzor .....	31
Obrázek 8: Základní části magnetostrikčního senzoru.....	32
Obrázek 9: Lineární diferenční transformátorový senzor.....	33
Obrázek 10: Kapacitní snímač .....	34
Obrázek 11: Princip ultrazvukového senzoru.....	35
Obrázek 12: Princip senzoru s triangulační metodou.....	37
Obrázek 13: Konfokální snímač .....	38
Obrázek 14: Složení výrobního procesu.....	39
Obrázek 15: Pohled na otočný stůl a manipulátor .....	40
Obrázek 16: Robot .....	41
Obrázek 17: Detail zakládacího lůžka.....	46
Obrázek 18: Digitální kontaktní senzor firmy AB řady XY Series .....	47
Obrázek 19: Digitální úchytkoměr.....	48
Obrázek 20: Senzorová hlava řady XY-XY Series.....	49
Obrázek 21: Vyhodnocovací jednotka XY-XY.....	50
Obrázek 22: Analýza cyklu.....	51
Obrázek 23: Vize - umístění přípravků a senzorů.....	52
Obrázek 24: Realita - umístění přípravků a senzorů.....	53
Obrázek 25: Pozice lůžek a pracovní prostor .....	54
Obrázek 26: Rekordér.....	55
Obrázek 27: Aplikace xxx .....	55
Obrázek 28: Záznam dat v aplikaci xxx.....	56
Obrázek 29: Lůžko s původním rychloupínacím systémem.....	56
Obrázek 30: Výběr oblastí pro vyhodnocení .....	57
Obrázek 31: Popis reálného cyklu.....	58
Obrázek 32: Aplikace Recorder.....	59

Obrázek 33: 1 cyklus .....	60
Obrázek 34: Ohraničení oblastí <i>A, B, C, D</i> .....	61
Obrázek 35: Normální rozdělení naměřených hodnot (pro lůžko 1 v ose X).....	62
Obrázek 36: Rozptyl hodnot .....	62
Obrázek 37: Protokol - tabulka výsledků .....	63
Obrázek 38: Výrobní data před reklamací lůžek .....	65
Obrázek 39: Zakládací lůžko po přestavbě.....	66
Obrázek 40: Výrobní data po reklamaci a přestavbě lůžek .....	68

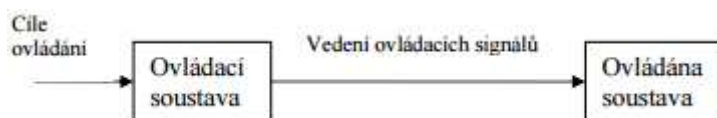
# Seznam tabulek

Tabulka 1: Výsledky způsobilosti původních lůžek .....	64
Tabulka 2: Výsledky způsobilosti po reklamaci a přestavbě lůžek .....	67
Tabulka 3: Výsledky způsobilosti - osa $y$ .....	69
Tabulka 4: Výsledky způsobilosti - osa $x$ .....	69
Tabulka 5: Výsledky způsobilosti - celkové .....	70



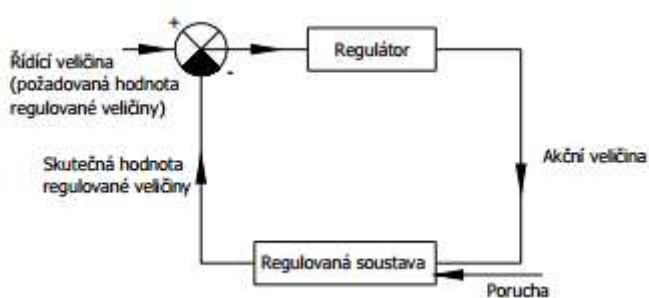
# Přílohy

## Příloha 1: Schéma automatického ovládání



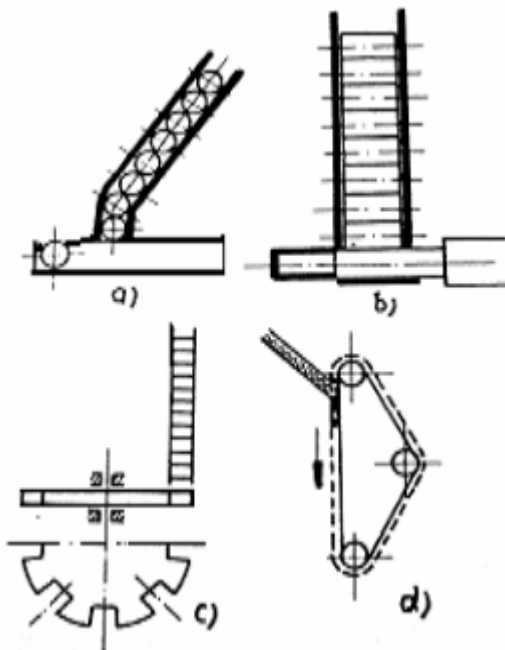
Zdroj 46: LACKO, B. a kol, 2000. Automatizace a automatizační technika: Systémové pojetí automatizace. Praha: Computer Press. ISBN 80-7226-246-7.

## Příloha 2: Automatická regulace



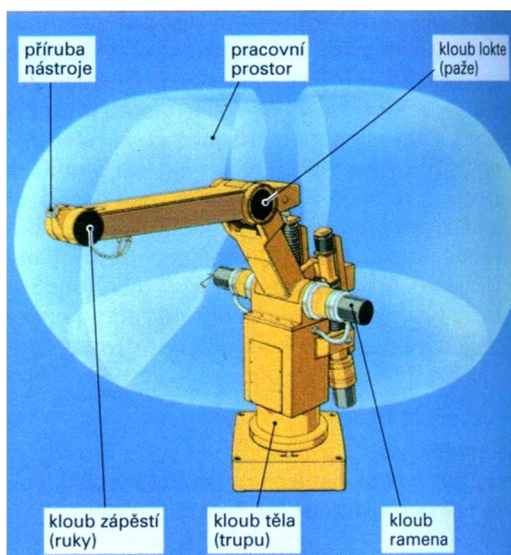
Zdroj 47: Zdroj 2: LACKO, B. a kol, 2000. Automatizace a automatizační technika: Systémové pojetí automatizace. Praha: Computer Press. ISBN 80-7226-246-7.

### Příloha 3: Podávací mechanismy



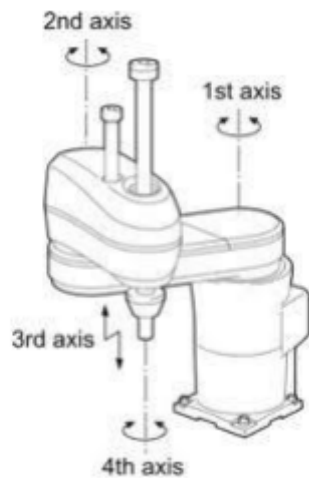
Zdroj 48: KOLÍBAL, Z., 1993. *Průmyslové roboty II.: Konstrukce výstupních hlavic a periferii*. Brno PC DIR. 165s. ISBN 80-214-0533-3.

### Příloha 4: Průmyslový robot



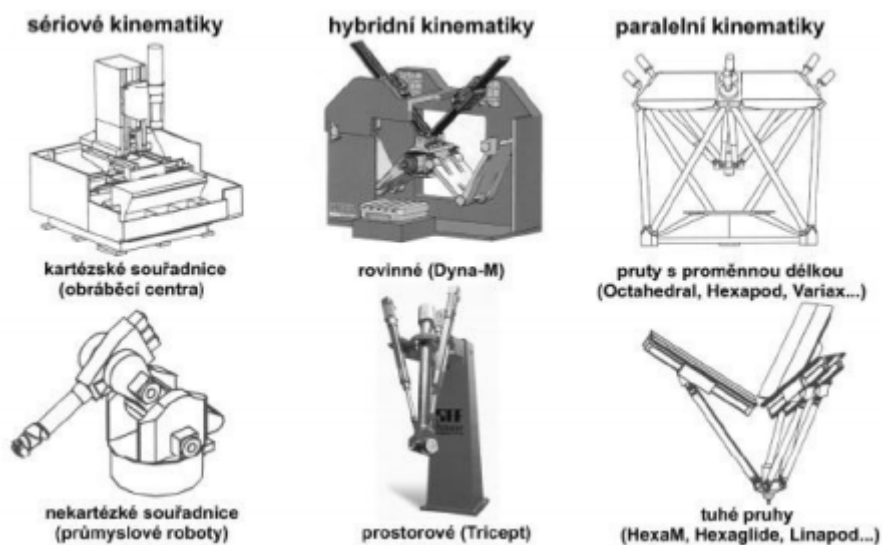
Zdroj 49: SCHMID, D. a kol., 2005. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*. Praha: Europa - Sobotáles, 420 s. ISBN 80-86706-10-9.

## Příloha 5: SCARA robot



Zdroj 50: HEINRICH, M., 2015. Návrh manipulační úlohy pro průmyslový robot KUKA. Brno. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie.

## Příloha 6: Rozdělení robotů dle kinematické struktury



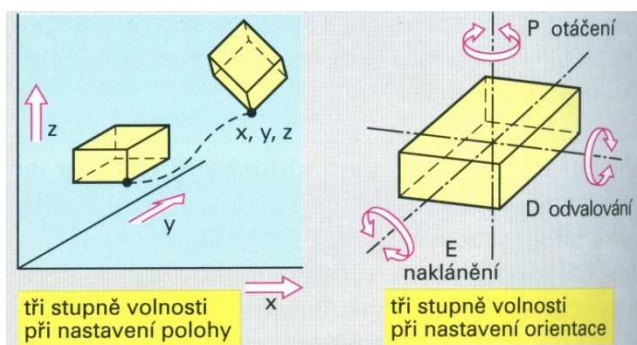
Zdroj 51: PAVLICA, J., 2012. Paralelní kinematické struktury kinematických robotů. Brno. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky.

## Příloha 7: Elektrický servisní pyrotechnický a průzkumný robot



Zdroj 52: SKAŘUPA, J., 2007. Průmyslové roboty a manipulátory [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, [cit. 2016-02-23]. Dostupné z:  
[http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta\\_PRaM.pdf](http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/PRM/Text/Skripta_PRaM.pdf). ISBN 978-80-248-1522-0

## Příloha 8: Pohyb s 6 stupni volnosti



Zdroj 53: SCHMID, D. a kol., 2005. Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku. Praha: Europa - Sobotáles, 420 s. ISBN 80-86706-10-9.

## Příloha 9: Výpočet indexu způsobilosti $C_p$

Index způsobilosti  $C_p$  se vypočítá podle následujícího vztahu:

$$C_p = \frac{HTM - DTM}{6\sigma},$$

kde

$\sigma$  je směrodatná odchylka základního souboru (obvykle je neznámá a nahrazuje se proto výběrovou směrodatnou odchylkou  $s$ ).

Zdroj 54: Vlastní zpracování dle Szmeka (2011)

## Příloha 10: Výpočet indexu způsobilosti $C_{pK}$

Výpočet indexu způsobilosti  $C_{pK}$ :

$$C_{pK} = \min(C_{pD}, C_{pH}),$$

kde

$$C_{pD} = \frac{\mu - DTM}{3\sigma},$$

$$C_{pH} = \frac{HTM - \mu}{3\sigma},$$

kde  $\mu$  je střední hodnota základního souboru (v případě neznámosti nahrazována aritmetickým průměrem výběrového souboru  $\bar{x}$ ),  $\sigma$  je směrodatná odchylka základního souboru (obvykle je neznámá a nahrazuje se proto výběrovou směrodatnou odchylkou  $s$  – jako v případě výpočtu  $C_p$ ),  $DTM$  je dolní toleranční mez,  $HTM$  je horní toleranční mez.

Zdroj 55: Vlastní zpracování dle Szmeka (2011)

## Příloha 11: Příprava kontaktů



Zdroj 56: Vlastní

## Příloha 12: Měřicí protokol – měření zakládacích lůžek

Návrh a realizace metody pro ověření stability uložení lůžek pro automatizované zakládání kontaktů		Název dokumentu: <b>Protokol o měření č. 1</b>						
		Jméno	Datum	Počet stran				
		Ján	5.11.2015	3				
<b>Měřicí protokol - měření zakládacích lůžek</b>								
<b>Předmět měření</b>	měření vzdálenosti lůžek pro automatizované zakládání kontaktů							
<b>Použité měřidlo/Výrobce</b>	laserový měřicí systém AB series/AB International NV/SA							
<b>Senzorová hlava/výrobní číslo</b>	XY-H052/#43011027H							
- měřicí rozsah	±10 mm							
- dělení	0,001 μm							
- referenční vzdálenost	50 mm							
- linearita	± 0,02 % z měřicího rozsahu							
- opakovatelnost	0,025 μm							
- teplotní charakteristika	0,01 % z měřicího rozsahu/°C							
<b>Vyhodnocovací jednotka/Výrobní číslo:</b>	XY-XY/#2E010019							
<b>Datum měření:</b>	5. 11. 2015							
<b>Místo měření:</b>	XY							
<b>Podmínky okolí:</b>								
- teplota:	začátek měření: 22,9 °C konec měření: 23,2 °C							
<b>Měření provedl:</b>	Jakub Ján							
<b>Naměřené hodnoty původních lůžek</b>								
oblast měření	<b>A</b> (snímáno lůžko 1)		<b>B</b> (snímáno lůžko 2)		<b>C</b> (snímáno lůžko 2)		<b>D</b> (snímáno lůžko 1)	
<b>Pořadí cyklu</b>	Vzdál. lůžka - osa Y [um]	Vzdál. lůžka - osa X [um]	Vzdál. lůžka - osa Y [um]	Vzdál. lůžka - osa X [um]	Vzdál. lůžka - osa Y [um]	Vzdál. lůžka - osa X [um]	Vzdál. lůžka - osa Y [um]	Vzdál. lůžka - osa X [um]
<b>1</b>	16,702	-121,982	260,412	-907,556	203,658	-838,000	13,871	-91,549
<b>2</b>	17,495	-106,019	261,555	-898,069	199,011	-839,625	9,070	-97,300
<b>3</b>	-1,585	-96,097	259,495	-895,137	201,104	-835,763	32,925	-93,025
<b>4</b>	20,307	-103,021	258,577	-889,027	177,330	-844,120	30,581	-89,198
Strana 1/3								

oblast měření	A (snímáno lůžko 1)		B (snímáno lůžko 2)		C (snímáno lůžko 2)		D (snímáno lůžko 1)	
Pořadí cyklu	Vzdál. lůžka - osa Y [um]	Vzdál. lůžka - osa X [um]	Vzdál. lůžka - osa Y [um]	Vzdál. lůžka - osa X [um]	Vzdál. lůžka - osa Y [um]	Vzdál. lůžka - osa X [um]	Vzdál. lůžka - osa Y [um]	Vzdál. lůžka - osa X [um]
5	8,328	-108,584	263,165	-897,955	192,634	-842,644	36,557	-89,008
6	-3,797	-88,522	255,481	-890,241	184,407	-824,801	30,995	-94,485
7	-24,981	-98,965	264,109	-904,039	196,497	-839,052	20,901	-88,607
8	11,663	-89,185	262,136	-894,974	193,861	-832,746	32,968	-93,303
9	10,922	-122,455	263,831	-909,894	201,137	-842,347	16,029	-84,828
10	24,327	-120,744	261,490	-906,465	194,272	-834,167	24,993	-96,839
11	6,549	-102,025	253,937	-892,978	187,777	-826,035	27,380	-83,653
12	2,656	-107,901	260,017	-890,859	191,301	-843,154	25,852	-95,069
13	4,351	-102,020	255,808	-883,449	186,657	-821,163	23,435	-86,533
14	19,660	-121,054	264,011	-908,490	192,963	-845,191	29,660	-78,045
15	13,207	-112,093	248,101	-901,328	199,315	-833,328	19,713	-92,872
16	6,104	-90,066	262,068	-888,677	196,356	-835,097	23,171	-94,276
17	10,673	-101,268	261,078	-895,532	202,117	-843,066	29,287	-83,009
18	28,190	-131,416	250,808	-896,208	199,047	-841,312	5,958	-85,099
19	-3,500	-109,964	260,843	-905,943	187,000	-837,501	21,858	-86,334
20	-10,452	-89,011	262,173	-899,614	188,545	-831,289	5,833	-99,778
21	-3,781	-105,856	255,089	-880,676	189,320	-842,716	6,869	-88,953
22	22,880	-125,682	255,511	-886,855	202,087	-843,683	6,682	-94,338
23	21,378	-110,643	258,459	-902,249	183,486	-825,428	20,082	-91,588
24	-0,149	-84,861	251,980	-879,540	202,927	-844,868	18,785	-85,573
25	-2,664	-98,609	252,820	-889,330	200,138	-840,505	17,867	-84,743
26	7,715	-130,020	257,869	-898,952	182,992	-838,977	12,650	-92,286
27	-3,352	-125,089	258,986	-899,787	193,799	-835,152	15,915	-97,528
28	-10,573	-104,050	253,604	-895,821	185,170	-834,625	32,620	-89,931
29	20,263	-110,545	254,292	-889,271	177,608	-840,956	30,325	-89,461
30	11,952	-101,277	261,137	-897,573	193,391	-831,289	17,805	-88,381
31	4,744	-113,624	254,933	-880,284	187,153	-824,969	12,325	-94,143
32	-1,225	-121,198	249,902	-904,362	202,799	-839,539	21,945	-86,216
33	6,069	-110,772	255,792	-894,651	178,928	-831,828	24,495	-93,631
34	21,030	-103,396	255,761	-900,298	187,049	-834,047	16,305	-88,259
35	3,940	-113,978	262,557	-904,018	191,747	-826,687	24,075	-96,280
36	-2,109	-94,834	256,668	-892,881	194,311	-836,328	27,435	-83,482
37	-17,254	-112,129	250,355	-890,894	186,574	-821,320	10,445	-89,697
38	-1,033	-105,881	257,700	-883,991	198,273	-846,359	20,895	-92,469
39	-0,176	-80,723	248,667	-907,917	189,998	-834,336	29,346	-78,935
40	-3,435	-106,119	257,872	-901,445	189,000	-831,344	21,765	-87,129
41	10,695	-100,079	258,823	-888,027	189,659	-834,891	19,595	-94,949
42	10,955	-95,822	250,652	-895,853	201,928	-829,305	11,365	-83,273
43	8,409	-118,297	257,934	-896,248	189,581	-837,500	9,735	-89,999
44	19,616	-108,743	252,792	-904,472	187,701	-830,258	21,095	-92,480
45	4,187	-100,426	249,214	-899,248	182,024	-839,211	25,935	-98,551



oblast měření	A (snímáno lůžko 1)		B (snímáno lůžko 2)		C (snímáno lůžko 2)		D (snímáno lůžko 1)	
Pořadí cyklu	Vzdál. lůžka - osa Y [um]	Vzdál. lůžka - osa X [um]	Vzdál. lůžka - osa Y [um]	Vzdál. lůžka - osa X [um]	Vzdál. lůžka - osa Y [um]	Vzdál. lůžka - osa X [um]	Vzdál. lůžka - osa Y [um]	Vzdál. lůžka - osa X [um]
	<b>46</b>	6,005	-101,317	257,184	-890,335	203,727	-831,594	16,736
<b>47</b>	13,057	-94,366	255,434	-880,761	191,068	-836,508	6,525	-94,662
<b>48</b>	-3,043	-89,060	258,137	-902,986	188,615	-828,430	20,805	-91,246
<b>49</b>	-24,341	-87,718	258,896	-879,268	195,871	-835,699	28,291	-85,712
<b>50</b>	7,276	-81,564	253,482	-889,243	194,239	-828,301	17,976	-93,601
Střední hodnota	5,677	-105,181	257,032	-895,273	192,323	-835,341	20,555	-90,189
Min	-24,981	-131,416	248,101	-909,894	177,330	-846,359	5,833	-99,778
Max	28,190	-80,723	264,109	-879,268	203,727	-821,163	36,557	-78,045
Rozptyl hodnot	53,172	50,693	16,008	30,626	26,396	25,197	30,723	21,733
Strana 3/3								

Zdroj 57: Vlastní

# Příloha 13: Statistický software *abc*

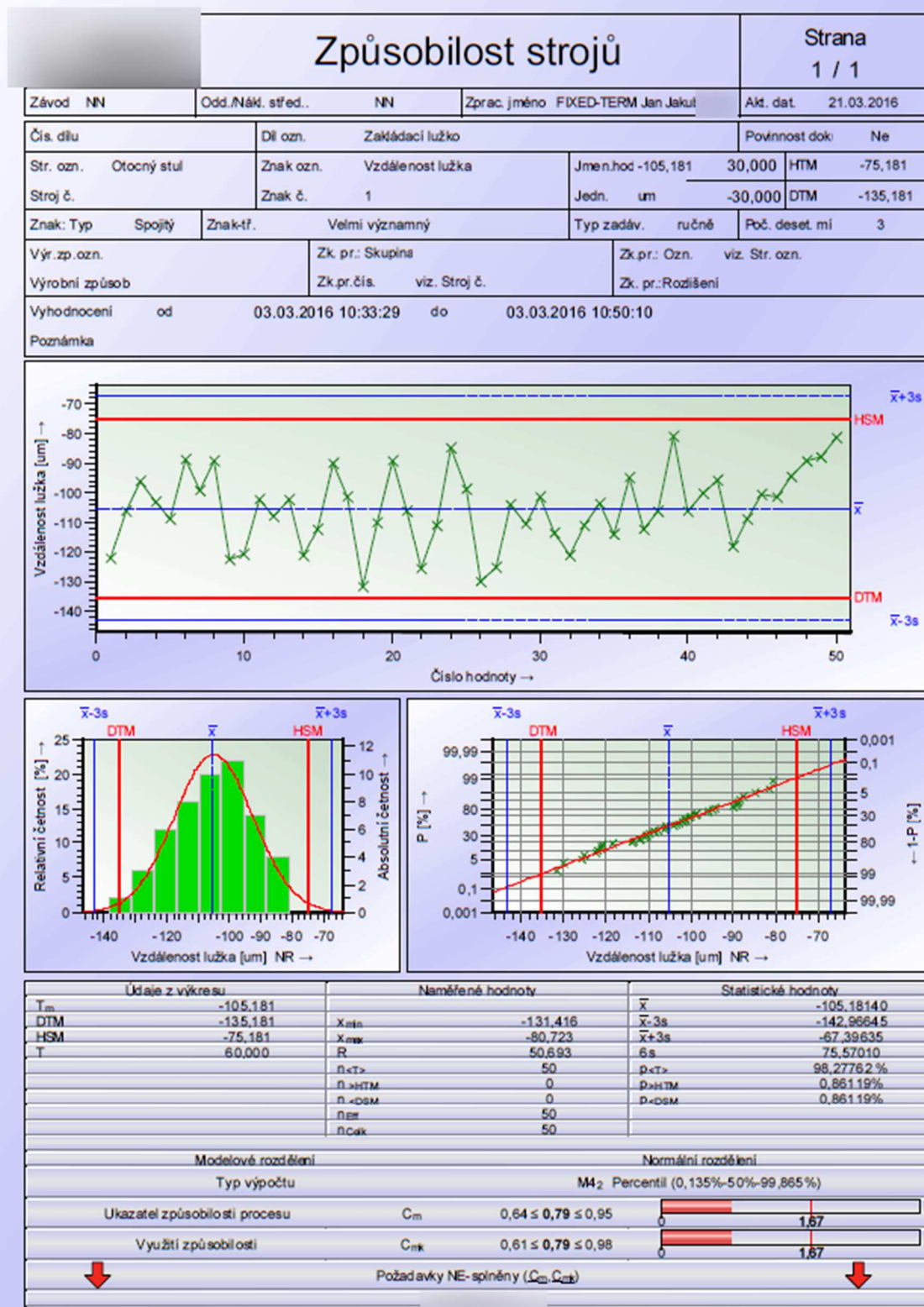
The screenshot displays the 'abc' statistical software interface. The main window is titled 'Maska dílu' (Part Mask) and contains several data entry sections:

- Maska znaku (Part Marking):** Fields for 'Znak číslo' (1), 'Znak. Ozn.' (Vzdálenost lužka), 'Znak. Ozn.' (Vzdálenost lužka), 'Díl. Změnový stav', and 'Čís. t.' (1).
- Maska hodnot (Part Values):** A table with columns for 'Znak' and 'Hodnota'. The data is as follows:
 

Znak	Hodnota
15	-112,093
16	-90,066
17	-101,268
18	-131,416
19	-109,964
20	-89,011
21	-105,856
- Maska měření (Part Measurement):** Fields for 'Jmen. hodnota' (-105,181), 'Jednotka' (um), 'Poč. deset. míst' (3), 'Odchyška nahoru' (30,000), 'Horní fyzikální mez' (-75,181), 'Odchyška dolů' (-30,000), 'Dolní fyzikální mez' (-135,181), 'Tolerance' (60,000), 'Znak: Typ' (Spojlý), 'Velična měření' (Poloha), and 'Způsob zadávání' (ručně).
- Maska dílu (Part Mask):** Fields for 'Úřvar' (RBCB / MOE13), 'Dílna/úřvar' (MOE 13), 'Výrobek' (Díl), 'Zakládací lužko' (Číslo), 'Čís. t.' (Díl: Změnový stav), 'Datum' (29.1.2015), 'Měřící místo' (Dílna MOE 13), 'Odd./Jméno' (MOE13 / Ján Jakub), and 'Komentář'.
- Statistical Summary:** 'Využití způsobilosti' (Cpk) = 0,61 ± 0,79 ± 0,98.
- Control Chart:** A line graph showing data points over time, with a mean line and control limits.

Zdroj 58: Vlastní

# Příloha 14: Protokol způsobilosti stroje



Zdroj 59: Vlastní

## Příloha 15: Měřicí protokol – měření lůžek po reklamaci

Návrh a realizace metody pro ověření stability uložení lůžek pro automatizované zakládání kontaktů		Název dokumentu: <b>Protokol o měření č. 2</b>							
		Jméno		Datum		Počet stran			
		Ján		13.11.2015		3			
<b>Měřicí protokol - měření zakládacích lůžek po reklamaci</b>									
<b>Předmět měření</b>	měření vzdálenosti lůžek pro automatizované zakládání kontaktů - po reklamaci								
<b>Použité měřidlo/Výrobce</b>	laserový měřicí systém AB series/AB International NV/SA								
<b>Senzorová hlava/výrobní číslo</b>	XY-H052/#43011027H								
- měřicí rozsah	±10 mm								
- dělení	0,001 µm								
- referenční vzdálenost	50 mm								
- linearita	± 0,02 % z měřicího rozsahu								
- opakovatelnost	0,025 µm								
- teplotní charakteristika	0,01 % z měřicího rozsahu/°C								
<b>Vyhodnocovací jednotka/Výrobní číslo</b>	XY-XY/#2E010019								
<b>Datum měření</b>	13. 11. 2015								
<b>Místo měření</b>	XY								
<b>Podmínky okolí</b>									
- teplota	začátek měření: 23,2 °C konec měření: 22,9 °C								
<b>Měření provedl</b>	Jakub Ján								
<b>Naměřené hodnoty lůžek po přestavbě</b>									
oblast měření	A (snímáno lůžko 1)		B (snímáno lůžko 2)		C (snímáno lůžko 2)		D (snímáno lůžko 1)		
<b>Pořadí cyklu</b>	Vzdál. lůžka - osa Y [µm]	Vzdál. lůžka - osa X [µm]	Vzdál. lůžka - osa Y [µm]	Vzdál. lůžka - osa X [µm]	Vzdál. lůžka - osa Y [µm]	Vzdál. lůžka - osa X [µm]	Vzdál. lůžka - osa Y [µm]	Vzdál. lůžka - osa X [µm]	
<b>1</b>	-143,783	-526,677	-137,01	-512,779	-161,653	-482,052	-142,333	-532,477	
<b>2</b>	-143,499	-519,447	-131,067	-516,191	-158,867	-486,493	-144,208	-527,474	
<b>3</b>	-142,565	-530,39	-132,096	-516,893	-159,903	-484,798	-141,426	-526,697	
<b>4</b>	-146,373	-523,398	-136,961	-515,394	-166,826	-473,009	-142,239	-530,263	
Strana 1/3									

oblast měření	A (snímáno lůžko 1)		B (snímáno lůžko 2)		C (snímáno lůžko 2)		D (snímáno lůžko 1)	
Pořadí cyklu	Vzdál. lůžka - osa Y [um]	Vzdál. lůžka - osa X [um]	Vzdál. lůžka - osa Y [um]	Vzdál. lůžka - osa X [um]	Vzdál. lůžka - osa Y [um]	Vzdál. lůžka - osa X [um]	Vzdál. lůžka - osa Y [um]	Vzdál. lůžka - osa X [um]
5	-144,528	-527,84	-131,887	-512,498	-155,595	-476,138	-140,041	-527,742
6	-142,631	-529,453	-132,082	-516,557	-165,507	-478,195	-139,969	-527,02
7	-145,772	-526,151	-131,772	-516,593	-160,35	-483,916	-142,343	-526,694
8	-146,804	-524,012	-130,858	-517,752	-164,295	-478,097	-144,995	-529,544
9	-145,544	-525,848	-136,465	-514,068	-160,461	-478,286	-143,574	-531,648
10	-145,305	-524,793	-129,973	-521,184	-166,885	-474,688	-140,936	-528,803
11	-141,141	-532,96	-130,388	-521,266	-154,637	-492,277	-144,286	-526,739
12	-145,018	-529,032	-133,108	-517,85	-165,951	-491,222	-145,025	-534,325
13	-142,346	-530,119	-137,049	-512,622	-166,721	-473,652	-145,88	-529,322
14	-141,092	-531,971	-135,583	-512,132	-160,624	-484,909	-139,783	-532,431
15	-142,314	-531,004	-132,651	-516,005	-165,872	-481,32	-144,819	-534,244
16	-146,004	-525,159	-134,401	-515,26	-161,307	-479,423	-142,519	-526,997
17	-142,653	-529,963	-132,977	-511,645	-154,501	-492,828	-144,273	-532,167
18	-147,718	-528,8	-137,68	-509,363	-158,636	-484,073	-143,594	-528,434
19	-145,272	-530,322	-135,355	-515,91	-159,658	-492,159	-141,958	-529,682
20	-138,441	-533,248	-134,094	-520,309	-165,307	-481,676	-140,776	-531,644
21	-149,799	-520,616	-130,012	-515,002	-157,783	-484,857	-141,331	-527,742
22	-140,1	-535,073	-132,523	-516,43	-162,489	-477,744	-141,073	-530,322
23	-143,202	-532,128	-136,504	-513,105	-155,033	-489,726	-143,049	-527,102
24	-149,799	-520,616	-130,012	-515,002	-157,783	-484,857	-141,331	-532,386
25	-141,364	-531,243	-134,447	-518,222	-158,835	-485,435	-144,025	-531,644
26	-146,338	-526,274	-137,102	-512,575	-162,968	-482,131	-142,852	-529,627
27	-145,8	-530,039	-134,086	-517,012	-158,022	-486,783	-142,956	-531,851
28	-144,638	-530,312	-135	-516,221	-159,662	-484,564	-141,687	-526,063
29	-148,074	-523,756	-134,07	-509,244	-162,719	-473,86	-142,914	-530,682
30	-145,34	-527,13	-131,961	-514,978	-157,542	-476,583	-139,99	-531,031
31	-144,122	-529,329	-134,969	-510,838	-161,278	-478,731	-142,062	-527,367
32	-142,933	-526,985	-133,25	-516,291	-160,389	-483,183	-140,568	-530,509
33	-145,473	-525,993	-130,734	-517,943	-164,22	-478,106	-144,678	-531,083
34	-148,065	-525,939	-136,172	-514,361	-160,455	-482,067	-143,019	-527,098
35	-143,876	-524,123	-132,055	-519,005	-162,389	-474,596	-140,864	-530,032
36	-145,188	-532,588	-134,242	-520,314	-154,321	-480,318	-144,076	-531,658
37	-144,486	-529,992	-132,937	-516,721	-158,453	-491,183	-142,204	-534,419
38	-144,963	-518,869	-135,461	-512,698	-160,125	-484,08	-145,826	-529,712
39	-143,488	-531,176	-132,68	-516,887	-159,984	-473,047	-143,143	-532,457
40	-148,508	-530,413	-133,016	-516,547	-164,359	-481,97	-139,991	-534,4
41	-143,544	-525,809	-129,887	-515,733	-161,111	-479,699	-142,069	-526,046
42	-143,954	-529,703	-132,305	-511,221	-155,731	-492,035	-143,014	-530,637
43	-143,399	-528,429	-133,937	-515,64	-158,147	-484,615	-143,656	-528,614
44	-143,532	-530,611	-135,492	-516,523	-159,137	-479,254	-142,519	-530,793
45	-138,098	-533,45	-132,883	-520,233	-164,638	-482,415	-140,926	-530,211

oblast měření	A (snímáno lůžko 1)		B (snímáno lůžko 2)		C (snímáno lůžko 2)		D (snímáno lůžko 1)	
Pořadí cyklu	Vzdál. lůžka - osa Y [um]	Vzdál. lůžka - osa X [um]	Vzdál. lůžka - osa Y [um]	Vzdál. lůžka - osa X [um]	Vzdál. lůžka - osa Y [um]	Vzdál. lůžka - osa X [um]	Vzdál. lůžka - osa Y [um]	Vzdál. lůžka - osa X [um]
<b>46</b>	-144,486	-520,733	-133,703	-516,186	-157,735	-485,125	-141,983	-529,277
<b>47</b>	-145,44	-534,466	-134,062	-515,198	-162,721	-477,583	-143,699	-530,01
<b>48</b>	-143,809	-532,314	-131,656	-514,652	-155,069	-489,983	-141,406	-527,375
<b>49</b>	-141,635	-521,628	-129,628	-515,356	-157,646	-484,912	-142,103	-529,16
<b>50</b>	-148,841	-529,574	-131,23	-518,798	-164,013	-480,035	-144,856	-532,123
Střední hodnota	-144,422	-527,998	-133,389	-515,624	-160,566	-482,374	-142,577	-529,916
Min	-149,799	-535,073	-137,68	-521,266	-166,885	-492,828	-145,88	-534,419
Max	-138,098	-518,869	-129,628	-509,244	-154,321	-473,009	-139,783	-526,046
Rozptyl hodnot	11,701	16,204	8,052	12,022	12,564	19,819	6,097	8,373
Strana 3/3								

Zdroj 60: Vlastní