

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

---

Technická fakulta

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů



**Využití metody Six Sigma při optimalizaci  
procesu výroby tlačných pružin**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Aleš, Ph.D.

Autor práce: Bc. Stanislav Bleha

Praha 2017

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Zdeňka Aleše. Použil jsem jen prameny citované v příložené bibliografii.

V Praze dne:

Podpis:

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Zdeňku Alešovi za jeho odborné rady, připomínky, vstřícný přístup a podněty, které mi v průběhu zpracovávání práce poskytl a za čas, který mi při konzultacích věnoval. Velice děkuji své rodině a všem přátelům za jejich podporu a trpělivost při psaní této práce.

# Využití metody Six Sigma při optimalizaci procesu výroby tlačných pružin

**Klíčová slova:** Six Sigma, indexy způsobilosti procesu, variabilita, toleranční meze.

**Abstrakt:** Cílem diplomové práce je optimalizace procesu výroby tlačných pružin využitím metody Six Sigma ve firmě Technické pružiny SCHERDEL, s. r. o., ve které autor pracuje. V první části je představena tato firma, druhá, teoretická část popisuje zvolené nástroje a metody, které firma využívá a třetí, praktická část, zahrnuje měření, která byla v rámci této práce provedena. V závěru jsou představeny zjištěné výsledky a navržena vhodná doporučení.

## Optimization of the production process of compression springs using Six Sigma

**Keywords:** Six Sigma, Process capability index, variability, tolerance limits

**Abstract:** The goal of this dissertation is optimization of the compression spring production using Six Sigma method at Technické pružiny SCHERDEL, s.r.o. where the author of this dissertation works. The company is presented in the first part of the dissertation. The second part is theoretical part describing tools and methods this company uses. The third part is dedicated to the measuring which was executed. Lastly, the measured results and the proposed recommendations are presented in the conclusion.

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Stanislav Bleha

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Využití metody Six Sigma při optimalizaci procesu výroby tlačných pružin

Název anglicky

Optimization of the production process of compression springs using Six Sigma

---

Cíle práce

Cílem práce bude optimalizovat proces výroby tlačných pružin využitím metody Six Sigma.

Metodika

- 1) Úvod
- 2) Rozbor současného stavu
- 3) Cíl práce a metodika
- 4) Vlastní práce
- 5) Zhodnocení výsledků a doporučení
- 6) Závěr

Doporučený rozsah práce

50 – 60

Klíčová slova

Six Sigma, indexy způsobilosti procesu, variabilita, toleranční meze

---

Doporučené zdroje informací

BESTERFIELD, Dale H. Quality control. 8th edition. Upper Saddle River: Pearson/Prentice Hall, 2009. ISBN 978-013-7144-396.

FABIAN, František. a kol. Statistické metody řízení jakosti. Praha: Česká společnost pro jakost, 2007, 394 s. ISBN 978-800-2018-971.

FICALORA, Joseph P, Lou COHEN a Lou COHEN. Quality function deployment and Six Sigma: a QFD handbook. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2010, xxvi, 449 p. ISBN 9780135138359.

JURAN, J a Joseph A DE FEO. Juran's quality handbook: the complete guide to performance excellence. 6th ed. New York: McGraw Hill, 2010, xxi, 1113 p. ISBN 007162934.

KOŽIŠEK, Jan a Barbora STIEBEROVÁ. Management jakosti I. Vyd. 3., přeprac. V Praze: České vysoké učení technické, 2010, 227 s. ISBN 978-80-01-04568-8.

LEGÁT, Václav. Management a inženýrství údržby. 1. vyd. Praha: Professional Publishing, 2013, 570 s. ISBN 978-80-7431-119-2.

NENADÁL, Jaroslav. Moderní management jakosti: principy, postupy, metody. Vyd. 1. Praha: Management Press, 2008, 377 s. ISBN 978-80-7261-186-7.

PLURA, Jiří. Plánování a neustálé zlepšování jakosti. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 2001, 244 s. ISBN 80-722-6543-1.

TÖPFER, Armin. Six Sigma: koncepce a příklady pro řízení bez chyb. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2008, x, 508 s. ISBN 978-80-251-1766-8.

ZIMMERMAN, Steven M a Marjorie ICENOGLE. Statistical quality control using Excel. 2nd ed. Milwaukee, Wis.: ASQ Quality Press, c2003, xviii, 430 p. ISBN 08-738-9566-5.

---

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Zdeněk Aleš, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

Elektronicky schváleno dne 8. 2. 2016

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 12. 02. 2017

---

## OBSAH

1. Úvod .....	1
2. Charakteristika firmy SCHERDEL .....	2
2.1 Firma SCHERDEL GmbH .....	2
2.2 Firma SCHERDEL v ČR .....	2
3. Teoretická část .....	8
3.1 Six Sigma .....	8
3.2 Systém měření .....	9
3.3 Metoda DMAIC .....	10
3.3.1 Definovat .....	11
3.3.2 Měřit .....	11
3.3.3 Analyzovat .....	11
3.3.4 Zlepšovat .....	11
3.3.5 Řídit .....	12
3.4 Histogram .....	12
3.4.1 Interpretace histogramu .....	12
3.5 MSA – Analýza systému měření .....	15
3.5.1 Využití analýzy MSA v praxi: .....	15
3.5.2 Metoda R&R .....	16
3.5.3 Koeficienty způsobilosti měřidla .....	17
3.6 Způsobilost výrobního procesu .....	19
3.6.1 Analýza způsobilosti procesu .....	20
3.6.2 Ověření normality sledovaného znaku .....	21
3.7 Indexy způsobilosti .....	21
3.7.1 Index způsobilosti <b>C<sub>p</sub></b> .....	22

3.7.2	Index způsobilosti <b>C<sub>pk</sub></b> .....	22
3.7.3	Index způsobilosti <b>C<sub>m</sub></b> a <b>C<sub>mk</sub></b> .....	23
3.7.4	Index způsobilosti <b>C<sub>pm</sub></b> .....	24
3.7.5	Index způsobilosti <b>C<sup>*</sup><sub>pm</sub></b> .....	24
3.7.6	Index způsobilosti <b>C<sub>pmk</sub></b> .....	25
3.8	Požadavky na způsobilost procesu a možnosti jejího dosažení .....	25
3.8.1	Příčiny nezpůsobilosti procesu.....	26
4.	Praktická část.....	28
4.1	Výběr navíjecího automatu .....	28
4.1.1	Navíjecí automat od firmy HTC.....	28
4.1.2	Navíjecí automat od firmy Wafios .....	29
4.1.3	Parametry pružinového drátu .....	30
4.1.4	Měřicí prostředek – kalibrace.....	32
4.1.5	Měřicí prostředek – MSA.....	34
4.1.6	Naměřené hodnoty .....	38
4.1.7	Vyhodnocení měření .....	41
4.2	Výběr dodavatele pružinového drátu .....	41
4.2.1	Hodnoty testovaných materiálů.....	41
4.2.2	Popis průběhu testování .....	44
4.2.3	Postup při měření .....	44
5.	Závěr.....	49
	Použitá literatura:.....	51
	Seznam příloh.....	52



# 1. Úvod

Strategie Six Sigma je filozofií zlepšování, která se orientuje zejména na prevenci neshod, zkrácení průběžné doby výroby a úsporu nákladů. Ve filozofii Six Sigma je zdůrazněna orientace na zlepšování rentability, jejím bezprostředním vedlejším produktem je zlepšování jakosti a hospodárnosti. [Zdroj 1]

Tématem této diplomové práce je optimalizace procesu výroby tlačných pružin využitím metody Six Sigma ve vybraném výrobním podniku, společnosti Technické pružiny SCHERDEL, spol. s r.o., která se výrobou pružin zabývá. Tento podnik si autor vybral z toho důvodu, že zde od října 1998 do dnešní doby pracuje. Firma je stručně představena ve druhé kapitole.

Optimalizace se bude týkat hlavně výběru stroje pro navíjení a materiálu pro výrobu pružin s nejlepšími výsledky, které budou zjišťovány měřením a testováním v různých fázích procesu.

Pro porovnání byly vybrány dva stroje od různých dodavatelů a čtyři dráty pro výrobu pružin se stejným průměrem od tří dodavatelů, od jednoho dodavatele budou materiály dva v rozdílných pevnostech v tahu.

V rámci práce bude vyrobeno několik kusů stejných pružin z totožné cívky materiálu na obou strojích (na každém stroji zhruba půlka cívky), rozměry těchto pružin budou vyhodnoceny a tak bude vybrán lepší stroj pro výrobu. Na vybraném stroji budou postupně navinuty vzorky pružin ze všech čtyř materiálů, tyto pružiny budou měřeny a testovány na začátku a na konci procesu a na základě naměřených výsledků bude vybrán nejvhodnější materiál.

Cílem optimalizace bude nejen určení lepšího automatu pro výrobu pružin a výběr nejvhodnějšího dodavatele materiálu, ale hlavně snížení zmetkovitosti pružin, což vedlo autora k výběru tohoto tématu.

## **2. Charakteristika firmy SCHERDEL**

### **2.1 Firma SCHERDEL GmbH**

Firma SCHERDEL (mateřská firma) vznikla v roce 1890 v blízkosti našich státních hranic založením první pobočky ve městě Marktedwitz v Německu. Původním zaměřením firmy bylo tažení vysoce kvalitního drátu používaného převážně pro klavírní struny, paralelně ale došlo k rozvoji spalovacích motorů. Tento posun vyvolal velkou potřebu nových výrobců ventilových pružin. Právě firma SCHERDEL se stala díky vysoké kvalitě taženého drátu předním dodavatelem ventilových pružin pro první prototypy spalovacích motorů. Sortiment se začal postupně rozvíjet a rozšiřovat např. o nástroje, výlisky, zařízení aj. Skupina SCHERDEL se stala předním světovým výrobcem i dodavatelem částí pro automobilový průmysl, ale i pro další průmyslová odvětví (např. pro e-mobilitu).

### **2.2 Firma SCHERDEL v ČR**

Očekávaný rozvoj automobilového průmyslu v ČR byl v roce 1994 rozhodující motivací pro založení společnosti Technické pružiny SCHERDEL, spol. s r.o. Výroba byla zahájena 1. dubna 1996 v pronajaté budově průmyslového areálu v prostoru bývalých kasáren Vysočany nedaleko Boru u Tachova. V roce 1998 firma zahájila výstavbu vlastní haly s výrobní plochou 2000m<sup>2</sup> a dalších 800m<sup>2</sup> vznikalo pro kancelářské prostory a sociální zázemí. Výroba v nové hale byla zahájena na začátku roku 1999. Ještě v témže roce získala firma certifikát dle DIN EN ISO 9001 a rok poté obdržela certifikát dle ISO TS 16949. V roce 2006 prošla firma úspěšně auditem životního prostředí a získala certifikát DIN EN ISO 14001 a v současné době je firma i držitelem certifikátu ISO 50001. Zajištění požadované kvality výroby a odpovídající kvalifikace pracovníků umožnily rozšíření výroby o další výrobky a tím i o nové zákazníky.

**Obrázek I. – Podnik Technické pružiny SCHERDEL, spol. s r.o. v Boru, nedaleko Rozvadova**



[Zdroj 2]

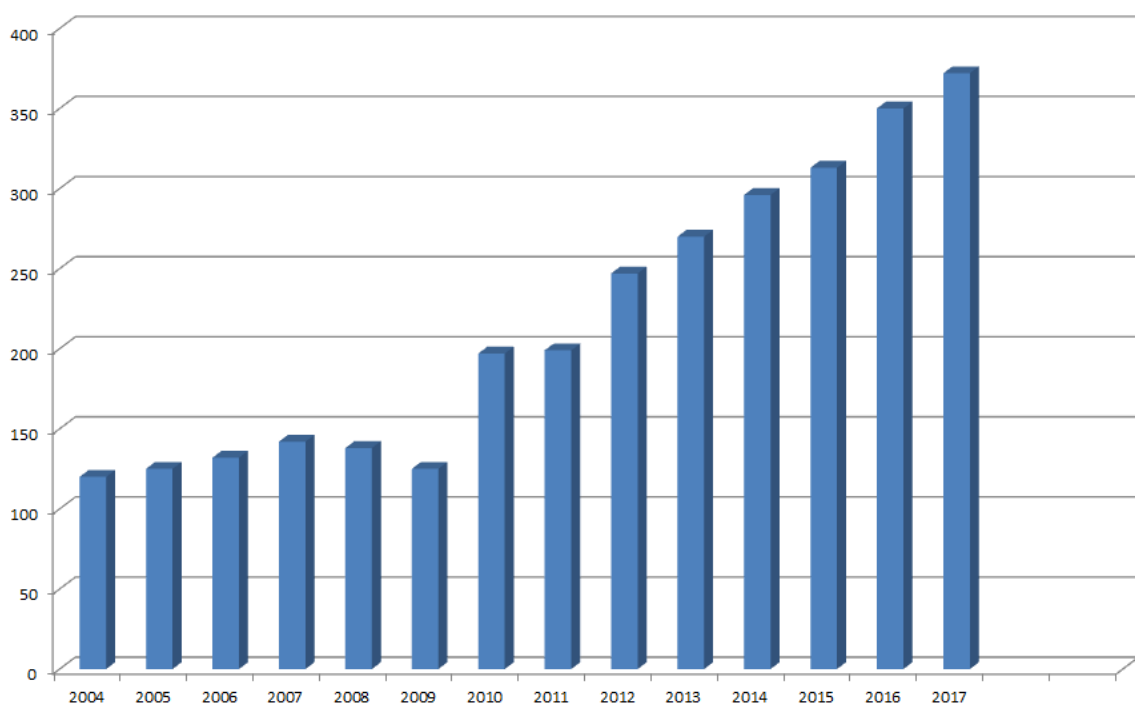
V roce 2003 byla přistavena další výrobní hala, což znamenalo navýšení výrobních a skladových ploch o 50%. Tento krok umožnil v následujících letech adekvátně zvýšit výrobu.

Významným přínosem byl vstup ČR do Evropské unie v roce 2004, znamenající pro společnost, která je součástí nadnárodní skupiny, odbourání celních bariér a zvětšení trhu. Ihned po vstupu do EU byly zahájeny projekční práce na rozšíření stávajících kapacit a během roku 2006 byly postaveny dvě nové výrobní haly o celkové ploše 2200 m<sup>2</sup>.

V roce 2007 byl pro firmy na zakázku vytvořený vnitropodnikový systém FORS – nový software, který byl téhož roku do firmy zaveden a je používán dodnes.

Celosvětová krize v roce 2008 měla vliv i na automobilový průmysl. V České republice se tato krize projevila relativně málo, a to proto, že zdejší automobilový průmysl se zaměřuje spíše na výrobu menších aut. Postihla však vyšší kategorie vozů v zahraničí, kterým firma pružiny také dodává. V důsledku těchto událostí byla firma nucena, poprvé v její historii, propustit několik zaměstnanců.

**Obrázek II. – Vývoj počtu zaměstnanců firmy v jednotlivých letech**



Technické pružiny SCHERDEL

**SCHERDEL**  
Fortschritt aus Tradition

[Zdroj 2]

Díky úzké spolupráci s mateřskou firmou v Marktredwitz a pomocí zavedení nových náročných programů, instalací nových strojů a zařízení nezbytných pro jejich výrobu, se postupně podařilo překonat dopady krize. Tato opatření se ukázala být správným krokem, výsledky

se začaly projevovat již koncem roku 2009. Rostoucí konkurence v automobilovém průmyslu způsobila zvýšení již tak tvrdých cenových tlaků. Neustále posilující česká koruna v roce 2010 ovlivňovala možnost dosáhnout vyšších ekonomických ukazatelů.

V roce 2011 došlo k navýšení výroby přibližně o 40%, zejména díky získání zakázek na výrobu nových produktů v oblastech, jako je snižování znečištění ovzduší, úspora paliv a zvyšování komfortu osobních i nákladních automobilů. V roce 2012 koupila firma přilehlý pozemek a na základě nových projektů bylo rozhodnuto o realizaci dalšího rozšíření závodu. Po dokončení v roce 2014 vznikly prostory potřebné pro další výrobu. V této době vyráběla firma cca 3 miliony pružin ročně.

Rozšíření prostor pro výrobu se ukázalo jako výborná strategie pro rok 2015, kdy zakázky od stávajících zákazníků se dostaly na téměř dvojitě množství aktuální výroby. Firma se ale v té době musela zabývat nejen otázkou výroby, ale i potřebou sociálních ploch pro zaměstnance a prostorem pro práci údržby. Z těchto důvodů došlo k další výstavbě nových prostor.

V roce 2016 byla ukončena výstavba administrativní budovy, včetně nových sociálních prostor a velké místnosti pro stravování. S přijetím dalších zakázek bylo potřeba sehnat další zaměstnance, což se ale ukázalo jako velký problém a firma byla nucena oslovit agentury, aby bylo možné zajistit výrobu zhruba 6 milionů tlačných pružin ročně, které jsou využívány do automobilového průmyslu, kde slouží jako vzpěry do systému pátých dveří osobních automobilů.

Autor práce ve firmě působí téměř od počátku. V roce 1998 bylo v celém podniku zaměstnáno přibližně 50 pracovníků, v dnešní době se počet pracovníků pohybuje kolem 350 a stále se navyšuje. Autor pracoval nejprve na pozici kontrolora kvality. Oddělení kontroly kvality mělo v tehdejší době jednu kancelář a 2 pracovníky, v současnosti je kontrola kvality ve firmě v pěti různých kancelářích a pracuje zde 15 kontrolorů a 3 manažeři kvality. Během více jak 18 let se autor vypracoval na manažera kvality a prošel řadou procesů, od výroby pružin, která je hlavní doménou firmy, přes výrobu lisovaných dílů, dále procesy svařování, frézování a soustružení, až po ruční ohýbání a další...

*Obrázek III. – Tlačné pružiny jsou využívány jako vzpěry pro systém pátých dveří u osobních automobilů*

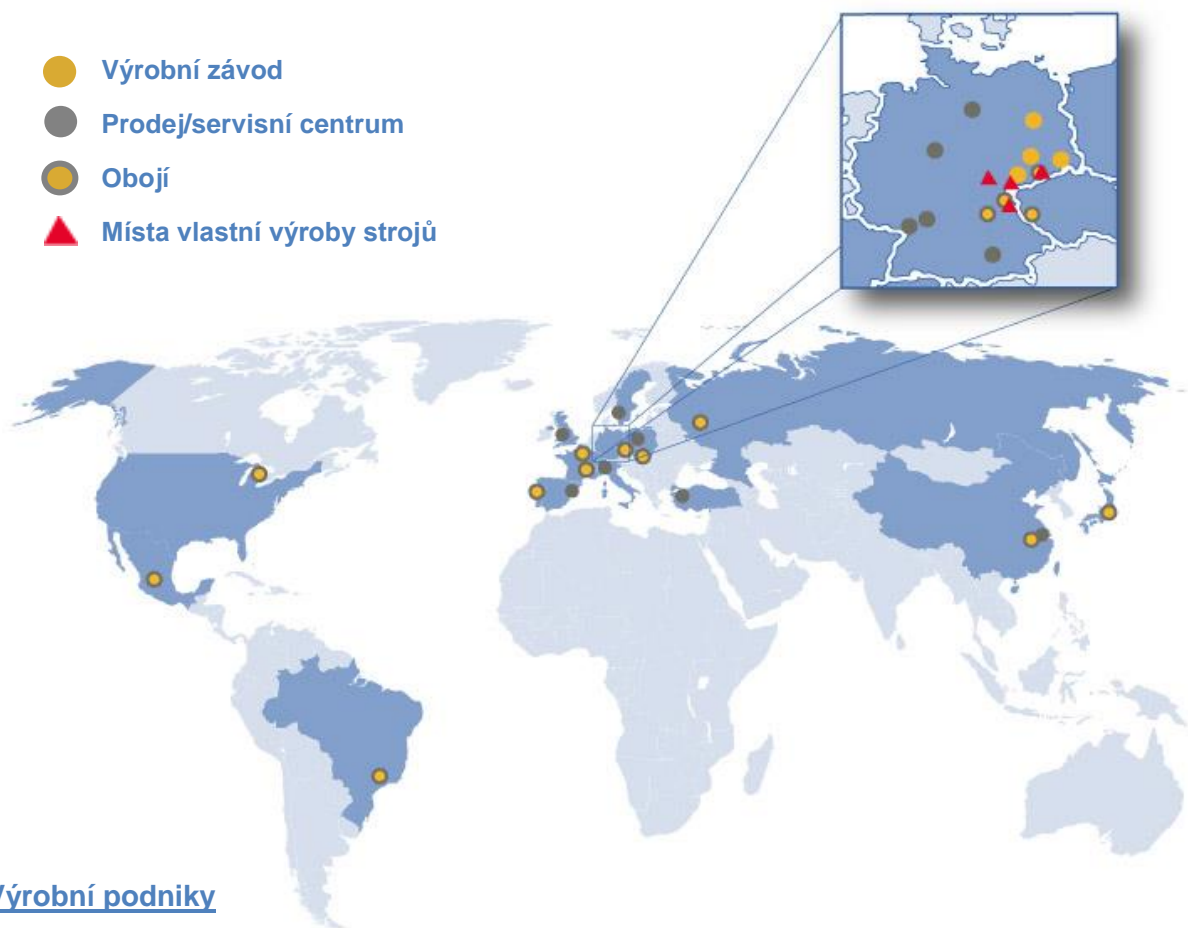


[Zdroj 2]

Společnost zde má zavedený takový systém řízení kvality, že je schopna garantovat kvalitu svých výrobků. Dnes je slovo kvalita v celosvětovém měřítku důležité, a to zejména pro rozhodování zákazníků. Proto systém řízení kvality dle DIN EN ISO 9001, ISO/TS16949, DIN EN ISO 14001, jako doklad o úspěšném absolvování certifikačního procesu vypovídá o tom, že společnost, jež certifikaci obdržela, umí kvalitu nabídnout a udržet na potřebné nebo vyšší úrovni s vysokou spolehlivostí a velkou mírou komplexnosti. Kvalita je klíčem k dosažení zákaznické spokojenosti a důvěry, který podstatně ovlivňuje potenciální odběratele při rozhodování o přidělení zakázek.

Převážnou část zákazníků tvoří zahraniční klientela, proto firma používá formuláře v německém nebo anglickém jazyce.

**Obrázek IV. – Výrobní podniky a servisní centra firmy ve světě**



**Výrobní podniky**

V Německu: *Berlín  
Chemnitz  
Coburg  
Erlangen  
Markterdwitz  
Marienberg  
Plauen  
Röslau  
Seifhennersdorf  
Treuen*

V Evropě: *Francie, Beauvais  
Francie, l'Arbresle  
Portugalsko, S. J. da Madeira  
Rusko, Kaluga  
Slovensko, Myjava  
Česká republika, Bor*

V Americe: *Brazílie, Sorocaba  
Mexiko, Leon  
USA, Muskegon*

V Asii: *Čína, Anqing  
Japonsko, Aichi*

**Servisní centra**

**V Evropě:** *Německo, Belgie, Francie, Velká Británie, Itálie, Švýcarsko, Polsko, Portugalsko, Švédsko, Slovensko, Španělsko, Česká republika, Turecko*

**Mimo Evropu:** *Amerika: Brazílie, Mexiko, USA  
Asie: Čína, Japonsko*

[Zdroj 2]



## 3. Teoretická část

V oblasti automobilového průmyslu kladou zákazníci na výrobce nesmírné požadavky na kvalitu a její dodržování během spolupráce.

*Jak je staré samo měření, tak stará je i pochybnost, zda naměřená hodnota odpovídá skutečné hodnotě. V metodice měření, v technické úrovni měřidel, ve znalostech personálu a možnostech zpracování dat byl sice učiněn velký krok vpřed, přesto můžeme stále pouze odhadnout interval, v němž s určitou pravděpodobností leží skutečná hodnota měřeného znaku. Velké množství postupů, statických metod a dalších metrologických nástrojů bylo a je vytvářeno jen proto, že i při současné vysoké úrovni měřidel nedokážeme měřit bez chyb. [Zdroj 3]*

V následujících podkapitolách je uveden přehled metod a dokumentů využívaných ve firmě Technické pružiny SCHERDEL, spol. s r.o. během procesu výroby pružin, které jsou požadovány zákazníky jako záruka splnění kladených požadavků na výrobek.

### 3.1 Six Sigma

Six Sigma je metoda, která při zlepšování procesu vychází z naměřených a dále analyzovaných dat. Je vhodná pro zvýšení efektivity práce napříč organizací. Six Sigma se uplatňuje v organizaci od vrcholového managementu až po zaměstnance na nižších úrovních organizační struktury podniku.

Six Sigma využívá statistické i jiné nástroje, které efektivně spojuje tak, aby byl výsledek co nejlepší. Mezi její základní nástroje patří statistická regulace procesu, navrhování experimentů a mnoho dalších dílčích nástrojů, které jsou závislé na typu procesu. Cílem použitých nástrojů je identifikace příčin odklonu od stanovených hodnot a jejich redukce.

Úspěšná implementace Six Sigma do podniku s sebou přináší i další výhody. Pomáhá redukovat ztráty a počet vadných jednotek, napomáhá udržet a zvyšovat kvalitu procesu při současném snižování nákladů.



Použitím metody Six Sigma se snižuje pravděpodobnost chybného rozhodnutí. Právě Six Sigma dává odpovědi na to, které řešení je správné, které má největší dopad na proces a mělo by být tedy implementováno. Avšak dopad na proces se musí porovnávat s úsilím a náklady vynaloženými na jeho dosažení.

Aplikace statistických metod je hlavní součástí zlepšování dle metodiky Six Sigma, není však jedinou. Velkou roli v ní hraje změna kultury podniku, bez které by nebylo možné výstupy provedené v praktické části úspěšně aplikovat.

Oproti jiným metodám řízení jakosti procesů je Six Sigma koncipovaná jako obecná metoda, která neobsahuje konkrétní případy jejího zavedení do podniků, ale je obecným rámcem, podle kterého by měl podnik postupovat. Právě tento fakt z ní dělá univerzální nástroj a je ji tedy možno implementovat v mnoha různých odvětvích. [Zdroj 4]

### 3.2 Systém měření

Systém měření tvoří vnitřní části, které jsou navzájem provázané, ovlivňují se a jsou hlavními zdroji variability. Tvoří jej především:

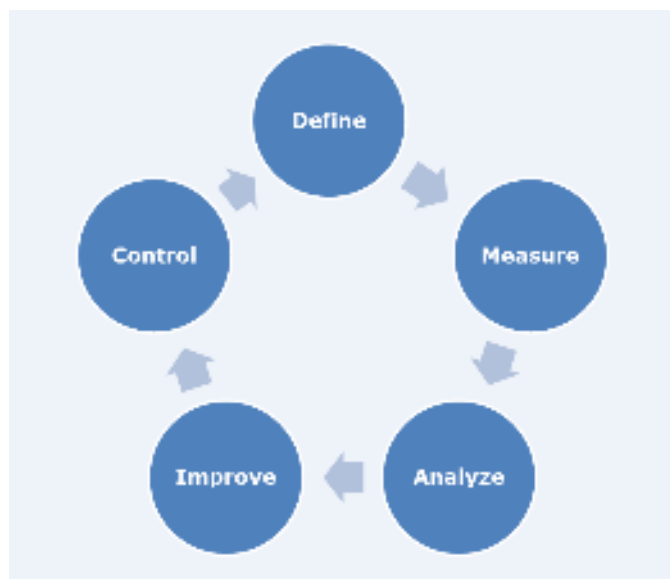
- **Operátor** – člověk, který měření provádí, často i vyhodnocuje a nese za něj odpovědnost. Tvoří živou část systému měření.
- **Měřicí přístroj** – řetězec, složený ze snímače (měřícího doteku), případně dalšího příslušenství a bloku zpracování a zobrazení výsledné hodnoty.
- **Postup měření** – logický sled po sobě následujících genericky posloupně popsaných činností. Patří sem příprava a kontrola měřidla, případná montáž snímače, nastavení a kalibrace a samotné sejmutí a zpracování signálu.
- **Měřený znak** – měřený rozměr se všemi vlastnostmi, které mohou mít vliv na naměřenou hodnotu. Těmi jsou především:
  - časová stálost
  - tvarové vlastnosti
  - materiálové a chemické vlastnosti
  - ovlivnitelnost měřené veličiny snímačem atd.

- **Prostředí** - především klimatický prostor, ve kterém se měření odehrává, a který může působit na zbylé části systému a tím na velikost naměřené hodnoty. V dalším postupu nás budou zajímat především parametry jako je teplota, barometrický tlak a vlhkost. Cílem konstruktérů měřidel je jejich maximální necitlivost k povětrnostním, chemickým, radiačním a jiným vlivům působícím v prostředí. Vlastnosti prostředí nepůsobí jen na měřidlo, důležitou roli hraje hluk, vibrace, stres, osvětlení a další vlivy působící na operátora. [Zdroj 3]

### 3.3 Metoda DMAIC

Metoda DMAIC vznikla v souvislosti s rozvojem neustálého zlepšování, zvyšování úrovně kvality, bezpečnosti, ochrany životního prostředí. Jedná se o zdokonalený PDCA cyklus. Kvalita je obor, kde cyklus zaznamenal hlavní rozvoj a použití v praxi. Nestáčil již novým nárokům, a proto došlo ke vzniku metody DMAIC.

Metodu definuje 5 fází pro úspěšné zavedení změny nebo řízení projektu určeného ke zlepšování:



[Zdroj 5]

### 3.3.1 Definovat

D – Define (**definovat**) – v první fázi se definují cíle, získávají informace, popisuje stav, kterého má být dosaženo, určuje se tým pracovníků a popisuje se proces, který má být zlepšen. Součástí popisu procesu je i jeho rozsah (začátek a konec procesu, vstupy a výstupy). Definuje se plán, který by měl obsahovat jednotlivé činnosti, jež jsou třeba k odstranění problému. Cílem fáze Definování je jasné vymezení toho „co, kdo, proč, s kým, jak moc a do kdy“ bude zlepšováno. Součástí správné definice je jasné definování cílů, ale ne toho „jak“ bude cílů dosaženo. To je předmětem DMAIC Lean Six Sigma projektu

### 3.3.2 Měřit

M – Measure (**měřit**) – při zlepšování jsou důležité postupné kroky, kterých má být dosaženo a které vedou k naplnění definovaných cílů. Doložit plnění cílů je možné jen na základě předem definovaných měření a měřitelných ukazatelů. Tak je možné odlišit domněnky od skutečnosti. Cílem fáze Měření je sběr a vyhodnocení informací o současné situaci (sledování výskytu vad, měření výstupů z procesu a zaznamenávání vstupů).

### 3.3.3 Analyzovat

A – Analyze (**analyzovat**) – zjištěné informace je potřeba podrobně analyzovat a zjistit skutečný potenciál pro zlepšení. Základem je analýza příčin problémů, nedostatků, nespokojenosti, apod. Zároveň je zjišťováno, zda je skutečně řešen původní problém. Cílem fáze Analyzování je určení klíčových příčin problému, tj. kritických vstupních faktorů, které mají významný vliv na výskyt vad.

### 3.3.4 Zlepšovat

I – Improve (**zlepšovat**) – základem zlepšení je odstranění skutečné příčiny. Nastavují se nové parametry procesu a jeho optimalizace. Vše se dělá pro zvýšení spokojenosti zákazníka, ať externího nebo interního. Součástí zlepšování by mělo být i zlepšení nákladů a přínosů pro

zákazníka. Jednotlivá řešení je možné otestovat v pilotním testu. Cílem fáze Zlepšení je vytvořit, vyzkoušet a implementovat řešení, která odstraňují hlavní příčiny vzniku vad.

### 3.3.5 Řídit

C – Control (**řídit**) – Je-li problém úspěšně odstraněn nebo je-li dosaženo zlepšení, je třeba udělat poslední a závěrečný krok, všechny potřebné změny zavést / standardizovat do procesů nebo systému. Také se samozřejmě přesvědčit, zda změny jsou řádně uplatňovány a zda jsou součástí běžných, každodenních, činností. Vhodné je stanovit období, ve kterém se sledují dosažené výsledky a zisk z nového zlepšení. Cílem fáze Řízení je zabezpečení trvalého udržení zlepšeného stavu. [Zdroj 5]

## 3.4 Histogram

Při zpracování prvotních údajů se neobejdeme bez určitého uspořádání údajů nebo jejich roztřídění do určitých skupin, tříd nebo intervalů. Statistickým tříděním rozumíme obecně jednoznačné rozdělení (přiřazení) prvků (údajů) statistického souboru do skupin, tříd nebo intervalů z takových hledisek, abychom co nejlépe poznali povahu zkoumaných jevů. Statistické údaje nebo ukazatele, uspořádané nebo roztříděné podle časového, místního, věcného nebo jiného kvantitativního znaku, nazýváme statistickými řadami. Podle těchto hledisek známe statistické řady časové, místní, věcné a řady rozdělení četností. Charakteristická pro třídění je jednoznačnost přiřazení prvků statistického souboru do určité skupiny (třídy) nebo intervalu. [Zdroj 6]

### 3.4.1 Interpretace histogramu

Analýza tvaru histogramu umožňuje posoudit:

- a) typ rozdělení (symetrické, asymetrické);
- b) působení vymežitelných příčin variability. Je-li analýzou prokázáno, že sledovaný znak jakosti či parametr procesu má normální rozdělení, pak by histogram měl mít zvonovitý

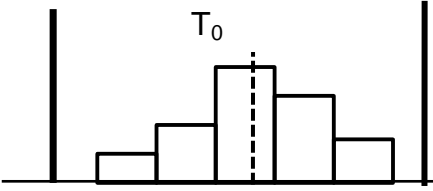
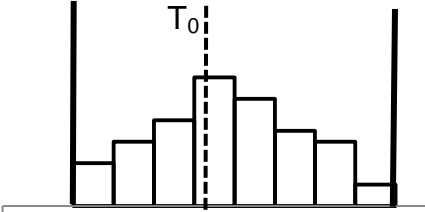
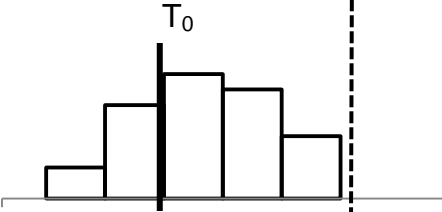
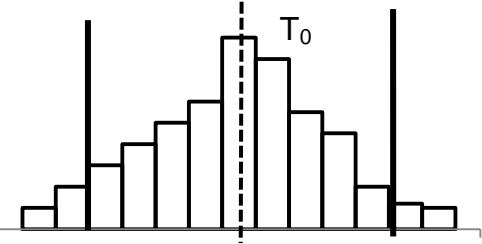
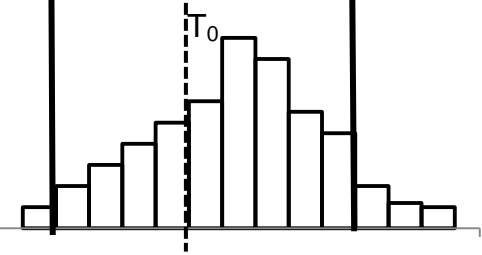
tvár, který signalizuje, že na proces působí pouze náhodné vlivy, a že je tak ve statisticky stabilním stavu. Každá odchylka histogramu od tohoto tvaru pak signalizuje pravděpodobné působení identifikovatelných (vymežitelných) vlivů. [Zdroj 6]

Z histogramu lze provést odhad statistických ukazatelů polohy a měnlivosti.

Histogram umožňuje prvotní analýzu způsobilosti procesu.

Jsou-li do histogramu zakresleny specifikace (toleranční meze) USL a LSL a střed tolerančního pole  $T_0$ , lze provést odhad způsobilosti procesu. V případě signalizujícím nezpůsobilý proces lze zvážit přijatelná řešení zvýšení způsobilosti. Možné situace a jejich řešení jsou v následující tabulce:

**TABULKA I. – Histogram a analýza způsobilosti procesu**

Situace	Opatření
<p>LSL  USL</p>	<p>Nejsou zapotřebí žádné zásahy, proces je způsobilý.</p>
<p>LSL  USL</p>	<p>Proces je blízký způsobilosti. Krátkodobě nejsou nutná žádná opatření, z dlouhodobého pohledu je třeba provádět analýzu procesu s cílem proces zdokonalit a zvýšit míru jeho způsobilosti.</p>
<p>LSL  USL</p>	<p>Proces produkuje neshodné výrobky, není způsobilý. Je třeba stroj seřídít na střed tolerančního pole.</p>
<p>LSL  USL</p>	<p>Proces je na středu tolerančního pole, ale produkuje neshodné jednotky. Není způsobilý z důvodu velké variability. Je nutné přijmout opatření ke snížení této variability: převod výroby na jiný, přesnější stroj, nákup nového přesného stroje, zvážení, zda toleranční meze nejsou zbytečně přísné apod.</p>
<p>LSL  USL</p>	<p>Proces není na středu tolerančního pole, a současně jeho variabilita je velká. Není způsobilý. Opatření lze hledat v nákupu nového stroje, je třeba zvážit zúžení tolerančního pole.</p>

[Zdroj 1]

### **3.5 MSA – Analýza systému měření**

MSA, Measurement Systems Analysis (v překladu: Analýza měřicího systému nebo Analýza systému měření; nepřekládá se, používá se zkratka MSA) je sada postupů pro vyhodnocení nastaveného systému měření. MSA vychází z měření kvality v automobilovém průmyslu a stala se součástí normy QS 9000, přesněji jejího 3. vydání. Sama o sobě je MSA analytická technika pro posouzení systému měření, která je však součástí nějakého systému řízení jakosti - buď podle zmiňované normy QS 9000, nebo jiné normy, či celostní metody řízení kvality (TQM, SixSigma).

Důležitou součástí plánování jakosti je analýza navrženého systému měření, který bude při realizaci výrobku používán. Úkolem této analýzy je ověřit způsobilost daného systému měření k měření sledovaného znaku jakosti v daném výrobním nebo tolerančním rozpětí. Způsobilost použitého systému měření rozhoduje o jakosti naměřených údajů. Uvážíme-li, že management jakosti se neobejde bez naměřených údajů, což je přesně v souladu se zásadou: “Co neměřím, to neřídím”, je zřejmé, že analýze systému měření je potřeba věnovat náležitou pozornost. Naměřené údaje jsou základním podkladem pro rozhodování, například při regulaci procesu, posuzování shody výrobku, hodnocení účinnosti nápravných opatření atd. [Zdroj 7]

#### **3.5.1 Využití analýzy MSA v praxi:**

Přestože byla původně vyvinutá v automobilovém průmyslu, používá se vzhledem ke své praktičnosti a univerzálnosti také v dalších odvětvích. Metoda MSA se používá pro hodnocení jak samotného měřidla (např. kalibrovaného měřidla), tak na posouzení celého systému měření (odtud zkratka Measurement System Analysis). Metoda se zaměřuje na analýzu zdrojů nejistot v celém procesu měření, protože vychází z předpokladu, že pro měření nestačí mít jen přesné měřidlo, ale vliv mohou mít i jiné faktory, a proto hodnotí měřicí systém jako celek. Cílem je zjistit vliv různých faktorů na variabilitu výsledků měření, tedy jaký mají faktory v celém procesu měření vliv na proměnlivost výsledků. Metoda MSA proto využívá a obsahuje další statistické metody a techniky.

### **Kroky v rámci MSA jsou následující:**

- Určit způsobilost systému měření.
- Určit zdroje variability systému měření.
- Popsat zdroje variability statistickými a metrologickými veličinami.
- Přinést potřebné informace o systému měření.

[Zdroj 8]

### **3.5.2 Metoda R&R**

Metoda R&R klade důraz na opakovatelnost a reprodukovatelnost měření (R&R - Repeatability and Reproducibility). Tato metoda bývá někdy nazývána metodou průměrů a rozpětí.

Vyšetření způsobilosti se provádí na několika skutečných výrobcích. Výrobky plní z pohledu této metody role etalonů. Skutečné hodnoty etalonů však není potřeba zjišťovat – nemají žádný vliv na výsledek. Metoda spočívá v opakovaném měření jednoho rozměru několika různých kusů stejného výrobku několika pracovníky (každý pracovník měření hodnot skupiny výrobků několikrát zopakuje), zjištění opakovatelnosti EV (variability měřicího zařízení při opakovaném měření jedním pracovníkem), reprodukovatelnosti AV (variability hodnocení při opakovaném měření různými pracovníky) a celkové variability měření R&R vyjádřené v procentech vzhledem k toleranci výrobku nebo vzhledem k proměnlivosti procesu (variabilitě výrobku). Opakovatelnost a reprodukovatelnost je možné pomocí této metody posuzovat individuálně. Pokud je  $R\&R\% < 10$ , je systém měření vyhovující. Pokud je  $R\&R\%$  v rozmezí 10-30, je podmíněčně vyhovující (systém měření může být přijatelný podle důležitosti aplikace, nákladů na měřidlo, nákladů na opravy a podobně). Pokud je  $R\&R\% > 30$ , je systém měření nevhovující. Parametr ndc (počet rozlišitelných kategorií neboli citlivost měřicího systému) musí dosahovat alespoň hodnoty 5. [Zdroj 9]



### 3.5.3 Koeficienty způsobilosti měřidla

Podobně jako je možné stanovit koeficienty způsobilosti procesu  $C_p$  nebo stroje  $C_m$ , je možné stanovit koeficienty způsobilosti měřidla  $C_g$ .

Používají se dva způsoby výpočtu, navržené firmami Bosch a Ford.

Oba způsoby uvažují, že rozptyl měřidla může být jen částí rozptylu parametru charakterizujícího procesu. Šířka pásma bývá stanovena na základě zkušeností a ekonomickou úvahou, obvykle doporučený poměr 1 : 10 není možné dodržet.

V obou způsobech je možné vztáhnout způsobilost měřidla k rozptylu procesu nebo k požadované šíři tolerančního pole. Stejně, jako při analýze R&R, dostáváme v prvním případě lepší výsledky, pokud přirozená variabilita procesu vyplňuje větší část tolerančního pole, ve druhém případě dostáváme lepší výsledky, když přirozená variabilita procesu vyplňuje menší část tolerančního pole.

Vychází-li se z opticky lepšího výsledku, dopouští se uživatel chyby. Měl by vycházet z výsledku horšího.

#### 1. varianta: šířka pásma 15% (Ford)

$$C_g = 0,15 \frac{S_p}{S_a} \quad (1)$$

$S_p$  velikost směrodatné odchyly procesu

$S_a$  směrodatná odchylna hodnot  $x_i$ , naměřených opakovanými měřeními etalonu

$X_r$  referenční hodnota

$\bar{x}$  výběrový průměr

$$C_{gk} = \frac{((X_r + 0,075 S_p) - \bar{x})}{3 S_a} \quad (2)$$

$$C_{gk} = \frac{(\bar{x} - (X_r - 0,075 S_p))}{3 S_a} \quad (3)$$

Pro posouzení koeficientu  $C_{gk}$  se použije menší hodnota.

Pro způsobilá měřidla je požadováno splnění nerovností:

- $C_g > 1$ , uvažuje pouze opakovatelnost
- $C_{gk} > 1$ , uvažuje opakovatelnost a strannost

Pokud vztahujeme způsobilost měřidla k šíři tolerančního pole  $T$  (4), nebo pokud neznáme rozptyl procesu:

$$T = USL - LSL \quad (4)$$

USL – horní mezní hodnota

LSL – dolní mezní hodnota

Příslušné vzorce se pak upraví takto:

$$C_g = 0,15 \frac{T}{S_a} \quad (5)$$

$$C_{gk} = \frac{((X_r + 0,075 T) - \bar{x})}{3 S_a} \quad (6)$$

$$C_{gk} = \frac{(\bar{x} - (X_r - 0,075 T))}{3 S_a} \quad (7)$$

## 2. varianta: šířka pásma 20% (Bosch)

$$C_g = 0,20 \frac{S_p}{S_a} \quad (8)$$

$$C_{gk} = \frac{((X_r + 0,1 S_p) - \bar{x})}{3 S_a} \quad (9)$$

$$C_{gk} = \frac{(\bar{x} - (X_r - 0,1 S_p))}{3 S_a} \quad (10)$$

Pro způsobilá měřidla je požadováno splnění nerovností:

- $C_g > 1,33$ , uvažuje pouze opakovatelnost

- $C_{gk} > 1,33$ , uvažuje opakovatelnost a strannost

Podobně se odvodí vztahy s použitím šíře tolerančního pole T:

$$C_g = 0,20 \frac{T}{S_a} \quad (11)$$

$$C_{gk} = \frac{((X_r + 0,1 T) - \bar{x})}{3 S_a} \quad (12)$$

$$C_{gk} = \frac{(\bar{x} - (X_r - 0,1 T))}{3 S_a} \quad (13)$$

Oba způsoby jsou si v praktickém důsledku rovnocenné.

### 3.6 Způsobilost výrobního procesu

Způsobilost výrobního procesu udává vztah mezi přirozeným kolísáním procesu, které pramení z náhodných příčin, a technickým zadáním. Způsobilost procesu lze kvantifikovat pomocí ukazatelů způsobilosti.

Ukazatele způsobilosti procesu je možno dělit podle cíle potřebné informace na:

- krátkodobé – založené na měřeních získaných z jediného provozního cyklu a určené pouze k ověření, že proces může pracovat ve statisticky zvládnutém stavu;
- předběžné – založené na měřeních před vlastním náběhem sériové výroby, v období, kdy se provádí analýza procesu a kdy se odstraňují nejčastější zvláštní příčiny variability; potřebný rozsah měření se pohybuje obvykle okolo 25 podskupin;
- dlouhodobé – založené na měřeních uskutečněných během delšího časového období po náběhu sériové výroby za běžných provozních podmínek a tím zohledňující variabilitu procesu v bohatším spektru a v delším časovém období. [Zdroj 10]

### 3.6.1 Analýza způsobilosti procesu

Analýzy způsobilosti procesů poskytují důležité informace pro plánování a řízení jakosti produktů. K hodnocení způsobilosti procesů se používají indexy způsobilosti, které porovnávají maximálně přístupnou variabilitu hodnot sledovaného znaku jakosti s jeho skutečnou variabilitou dosahovanou u statisticky zvládnutého procesu. Vyhodnocení způsobilosti procesu však nelze degradovat pouze na dosažení hodnot do příslušných vzorců pro výpočet indexů způsobilosti. Velice důležitý je zejména způsob shromáždění prvotních údajů a splnění omezujících podmínek.

- První základní podmínkou je, že hodnocený proces musí být ve statisticky zvládnutém stavu.
- Druhou základní podmínkou, která musí být splněna v případě měřitelných znaků jakosti při použití standardních vztahů pro výpočet indexů způsobilosti, je to, že rozdělení sledovaného znaku jakosti musí odpovídat normálnímu rozdělení.

Pro analýzu způsobilosti procesu na základě měřitelných znaků jakosti lze doporučit tento postup:

1. volba znaku jakosti;
2. analýza systému měření;
3. shromáždění údajů;
4. průzkumová analýza shromážděných údajů;
5. ověření normality sledovaného znaku jakosti;
6. posouzení statistické zvládnutosti procesu;
7. výpočet indexů způsobilosti a jejich porovnání s požadovanými hodnotami.

Nultým krokem analýzy způsobilosti procesu by měla být podrobná analýza procesu. Tato analýza by se měla zaměřit zejména na charakter procesu, jeho rozhodující vstupy a výstupy a na identifikaci faktorů, které ovlivňují hodnoty sledovaných znaků jakosti. [Zdroj 1]

### 3.6.2 Ověření normality sledovaného znaku

Vzhledem k tomu, že standardně se k hodnocení způsobilosti procesu používají indexy způsobilosti založené na předpokladu normálního rozdělení sledovaného znaku jakosti, je třeba před použitím příslušných vzorců splnění tohoto předpokladu ověřit. Normalitu je rovněž třeba ověřit před použitím některých typů regulačních diagramů pro analýzu statistické zvládnutosti procesu (například regulačního diagramu pro individuální hodnoty nebo regulačního diagramu pro medián).

Velmi přibližné posouzení toho, zda rozdělení naměřených hodnot znaku jakosti lze aproximovat normálním rozdělením, je možno provést na základě tvaru sestrojeného histogramu. Exaktním způsobem ověření normality je použití některého z testů dobré shody, například testu  $\chi^2$  (chí-kvadrát), Kolmogorovova-Smirnovova testu nebo testu založeného na vyhodnocení šikmosti a špičatosti zpracování hodnot.

Případy, kdy rozdělení sledovaného znaku jakosti neodpovídá normálnímu rozdělení, lze řešit například transformací hodnot nebo nalezením jiného teoretického modelu rozdělení sledovaného znaku.

## 3.7 Indexy způsobilosti

V případě, že byla ověřena normalita dat a analyzovaný proces je statisticky zvládnutý, lze podle standardních vztahů vyhodnotit indexy způsobilosti procesu. Nejčastěji se používají index  $C_p$  a  $C_{pk}$ , které posuzují potenciální a skutečnou schopnost procesu trvale poskytovat výrobky vyhovující tolerančním mezím. V menší míře se zatím uplatňují indexy  $C_{pm}$ ,  $C_{pm}^*$  a  $C_{pmk}$ , které navíc posuzují schopnost procesu dosahovat cílové hodnoty sledovaného znaku jakosti. [Zdroj 1]

Ve firmě Technické pružiny SCHERDEL, spol. s r.o. se k vyhodnocení procesu používají následující indexy:

### 3.7.1 Index způsobilosti $C_p$

Index způsobilosti  $C_p$  (14) je mírou potenciální schopnosti procesu zajistit, aby sledovaný znak jakosti ležel uvnitř tolerančních mezí. Lze ho stanovit pouze v případech, kdy jsou specifikovány oboustranné toleranční meze. Hodnota indexu  $C_p$  je poměrem maximálně přípustné a skutečné variability hodnot znaku jakosti bez ohledu na jejich umístění v tolerančním poli. Index  $C_p$  tedy charakterizuje potenciální možnosti procesu dané jeho variabilitou (schopnost sledovaného znaku „vejít se“ do tolerance), ale již nic neříká o tom, jak jsou tyto možnosti ve skutečnosti využity.

$$\text{Počítá se ze vztahu } C_p = \frac{USL-LSL}{6\delta} \quad (14)$$

kde: LSL – dolní toleranční mez,

USL – horní toleranční mez,

$\delta$  – směrodatná odchylka.

Skutečná variabilita sledovaného znaku jakosti je vyjádřena hodnotou  $6\delta$ , jež v případě normálního rozdělení vymezuje oblast, v níž s pravděpodobností 0,9973 bude ležet každá další hodnota sledovaného znaku jakosti. Hodnota směrodatné odchylky základního souboru většinou není k dispozici, a tak se nahrazuje vhodným odhadem. [zdroj 1]

Ukazatel  $C_p$  nezohledňuje nastavení procesu  $\mu$  (střední hodnota procesu). Podává tedy pouze informaci o tom, čeho je schopen dosáhnout za předpokladu tolerančního pole sledovaného znaku jakosti. [zdroj 10]

### 3.7.2 Index způsobilosti $C_{pk}$

Index způsobilosti  $C_{pk}$  na rozdíl od indexu  $C_p$  zohledňuje nejen variabilitu sledovaného znaku jakosti, ale i jeho polohu vůči tolerančním mezím. Index  $C_{pk}$  tedy charakterizuje skutečnou způsobilost procesu dodržovat předepsané toleranční meze. Tento index lze počítat jak v případě

jednostranné tolerance s dolní toleranční mezí (15) nebo s horní toleranční mezí (16), tak i v případě oboustranné tolerance (17).

K příslušným výpočtům se využívá vztahů:

- 1) jednostranná tolerance – předpis dolní toleranční meze

$$C_{pk} = C_{pL} = \frac{\mu - LSL}{3\delta} \quad (15)$$

- 2) jednostranná tolerance – předpis horní toleranční meze

$$C_{pk} = C_{pU} = \frac{USL - \mu}{3\delta} \quad (16)$$

- 3) oboustranná tolerance – předpis obou tolerančních mezí

$$C_{pk} = \min \left\{ C_{pL} ; C_{pU} \right\} = \min \left\{ \frac{\mu - LSL}{3\delta} ; \frac{USL - \mu}{3\delta} \right\} \quad (17)$$

Pro praktické stanovení indexu způsobilosti  $C_{pk}$  je třeba kromě odhadu směrodatné odchylky stanovit i odhad střední hodnoty sledovaného znaku. K odhadu směrodatné odchylky se používá některý z výše uvedených vztahů, k odhadu střední hodnoty se používá aritmetický průměr všech hodnot. [zdroj 1]

Na rozdíl od  $C_p$ , ukazatel  $C_{pk}$  již podává informaci o tom, čeho ve skutečnosti proces dosáhl za sledované období. [zdroj 10]

### 3.7.3 Index způsobilosti $C_m$ a $C_{mk}$

Tyto ukazatele slouží k posouzení krátkodobé způsobilosti (způsobilost stroje tzv. krátký výběr). Vyhodnocení způsobilosti je provedeno na 50 po sobě jdoucích vyrobených kusech.

Tím, že měříme ZA SEBOU, idealizujeme podmínky měření. Minimalizujeme vliv:

- pracovníka – nezmění se podstatně jeho pozornost,

- materiálu – je maximálně homogenní,
- metody – nestihnou se podstatně změnit otáčky, tlaky, časy...,
- prostředí – nestihne se podstatně změnit teplota, tlak, vlhkost...,
- měření – měří jeden člověk jedním měřidlem.

[Zdroj 11]

Požadovaná hodnota, pokud není stanoveno jinak, je  $C_{mk} > 1,67$

### 3.7.4 Index způsobilosti $C_{pm}$

Index způsobilosti  $C_{pm}$  (18) porovnává maximální přípustnou variabilitu sledovaného znaku jakosti danou šířkou tolerančního pole, s jeho skutečnou variabilitou kolem cílové hodnoty T. Tento index tedy zohledňuje jak variabilitu hodnot sledovaného znaku jakosti, tak míru dosažení optimální hodnoty. Lze ho stanovit pouze v případě oboustranné tolerance a měl by být používán pouze tehdy, když cílová hodnota leží ve středu tolerančního pole.

Index  $C_{pm}$  se počítá podle vztahu:

$$C_{pm} = \frac{USL-LSL}{6 \times \sqrt{\sigma^2 + (\mu-T)^2}} \quad (18)$$

### 3.7.5 Index způsobilosti $C_{pm}^*$

Pro případy, kdy cílová hodnota neleží ve středu tolerančního pole nebo je specifikována jednostranná tolerance, je zaveden index  $C_{pm}^*$  (19). Tento index porovnává vzdálenost cílové hodnoty sledovaného znaku od bližší toleranční meze s polovinou skutečné variability sledovaného znaku kolem této cílové hodnoty. Počítá se pomocí vztahu:

$$C_{pm}^* = \min\left(\frac{T-LSL}{3 \times \sqrt{\sigma^2 + (\mu-T)^2}}; \frac{USL-T}{3 \times \sqrt{\sigma^2 + (\mu-T)^2}}\right) \quad (19)$$



V případě, že cílová hodnota leží ve středu tolerančního pole, odpovídá hodnota indexu  $C_p$  hodnotě indexu  $C_{pm}$ .

### 3.7.6 Index způsobilosti $C_{pmk}$

Index způsobilosti  $C_{pmk}$  (20, 21) porovnává vzdálenost střední hodnoty sledovaného znaku jakosti k bližší toleranční mezi s polovinou variability znaku kolem cílové hodnoty.

$$C_{pmk} = \min\left(\frac{\mu - LSL}{3 \times \sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}; \frac{USL - \mu}{3 \times \sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}\right) \quad (20)$$

V případě oboustranné tolerance, kdy se dají stanovit indexy  $C_p$  a  $C_{pm}$ , lze uvedený vztah převést na tvar:

$$C_{pmk} = \frac{C_{pk} \times C_{pm}}{C_p} \quad (21)$$

Index způsobilosti procesu  $C_{pmk}$  je tedy v podstatě kombinací některých výše uvedených indexů. Využívá dobrých vlastností indexu  $C_{pk}$ , zejména jeho schopnosti ohodnotit, zda hodnoty sledovaného znaku jakosti skutečně leží uvnitř tolerance, které kombinuje s mírou dosažení cílové hodnoty. [Zdroj 1]

## 3.8 Požadavky na způsobilost procesu a možnosti jejího dosažení

Požadavky na způsobilost procesu se většinou vztahují k hodnotě indexu způsobilosti  $C_{pk}$ , který charakterizuje reálnou způsobilost udržovat sledovaný znak jakosti v předepsaných tolerančních mezích. Minimální hodnotu indexu  $C_{pk}$ , při které je proces považován za způsobilý, se s rozvojem technologií posouvá k vyšším hodnotám. V současné době se proces obvykle považuje za způsobilý v případě, kdy hodnota tohoto indexu způsobilosti dosahuje minimálně hodnoty 1,33 ( $C_{pk} > 1,33$ ). Tato hodnota představuje požadavek, aby střední hodnota sledovaného znaku jakosti ležela ve vzdálenosti nejméně  $4\delta$  od tolerančních mezí.

V některých případech se však lze setkat i s přísnějšími požadavky. Například jakost „Six Sigma“, které odpovídá očekávaný výskyt neshodných výrobků na úrovni 3,4 ppm (34 neshodných výrobků z deseti milionů vyrobených), odpovídá hodnotám indexů způsobilosti  $C_p = 2$ ,  $C_{pk} = 1,5$ .

V případě zjištění, že proces není způsobilý, je třeba rozlišit případy, kdy nezpůsobilost je dána posunem hodnot vůči středu tolerančního pole ( $C_{pk} < 1,33, C_p \geq 1,33$ ) nebo vysokou variabilitou sledovaného znaku jakosti ( $C_{pk} < 1,33, C_p < 1,33$ ).

### 3.8.1 Příčiny nezpůsobilosti procesu

Nezpůsobilost procesu je způsobena špatným seřízením ( $C_{pk} < 1,33, C_p \geq 1,33$ )

V tomto případě je variabilita sledovaného znaku jakosti dostatečně malá, takže proces je schopen vejít se do tolerance. Této potenciální způsobilosti procesu však není využito, protože proces není vhodně seřízen vůči tolerančním mezím. Pro zajištění způsobilosti procesu jej stačí správně seřadit vůči tolerančním mezím, nejlépe tak, aby střední hodnota sledovaného znaku odpovídala středu tolerance (tedy hodnoty indexu  $C_{pk}$  dosáhne úrovně indexu  $C_p$ ). V případě, že charakter procesu neumožňuje seřízení, lze způsobilosti, za předpokladu, že hodnota  $C_{pk}$  není příliš nízká, dosáhnout i snížením variability.

Nezpůsobilost procesu je způsobena vysokou variabilitou ( $C_{pk} < 1,33, C_p < 1,33$ ).

V tomto případě je variabilita sledovaného znaku jakosti příliš vysoká a proces není schopen zajistit, aby se hodnoty sledovaného znaku jakosti s dostatečnou rezervou vešly do tolerance. K dosažení způsobilosti je nutné snížit variabilitu dosahovaných hodnot, což obvykle vyžaduje buď radikální zásah do technologie, nebo převod výroby na jiné výrobní zařízení. Variabilitu procesu je třeba snížit alespoň na takovou úroveň, aby hodnota indexu  $C_p$  byla 1,33 nebo vyšší. Pak už lze způsobilosti procesu dosáhnout seřízením střední hodnoty sledovaného znaku na střed tolerance. [Zdroj 1]

V případě nestabilního procesu musí být o druhu nestability zákazník informován a při každém předložení s ním musí být řešena jednotlivá nápravná opatření. Pokud firma není schopna dosáhnout kritérií přijatelnosti, musí vytvořit nápravná opatření, která budou zahrnovat 100% kontrolu.

***Obrázek V. – model automobilu používaný k prezentaci firmy SCHERDEL***



[Zdroj 2]

## 4. Praktická část

### 4.1 Výběr navíjecího automatu

Cílem první zkoušky bude výběr automatu pro navíjení pružin. Prvním je automat od firmy HTC a druhým je automat od firmy Wafios. Firma Scherdel má dlouholeté zkušenosti se stroji od firmy HTC. Vzhledem k vysokému procentu neshodných dílů v aktuální výrobě a plánovanému navýšení zakázek se aktuálně řeší možnost zakoupení strojů od firmy Wafios, které jsou ve srovnání s HTC o necelé čtyři miliony korun dražší, měly by však vyrábět pružiny s nižší mírou variability, čímž by se výrazně snížil podíl zmetků a při plánované výrobě 7,5 milionu pružin ročně by se stroj poměrně rychle zaplatil.

Cílem tohoto měření je zjistit, zda se vyplatí do nových strojů firmy Wafios investovat. S ohledem na možnost rozdílnosti chování materiálu, bude k výrobě použit pružinový drát z jedné cívky, první půlka se zpracuje na automatu HTC 60 a druhá na automatu Wafios. Měření bude provádět sám autor práce a dále kvalifikovaní pracovníci z oddělení kontroly kvality. Jako měřicí prostředek bude použito posuvné měřidlo se speciálně upravenou plochou. Tato úprava byla provedena na základě inovačního návrhu autora práce, měřidlo i způsob měření je odsouhlaseno se zákazníkem. Výhodou měření je možnost usazení dvou závitů pružiny na upravenou plochu posuvného měřidla, čímž nedochází ke špatnému sklonu výrobku při měření a naměřená hodnota je přesná a shodná s měřením u zákazníka. K měřidlu bude doložena kalibrace a MSA.

Shodným materiálem a zvoleným měřidlem by při zkoušce měla být zajištěna přesnost a případná strannost tím bude způsobena pouze navíjecím strojem.

#### 4.1.1 Navíjecí automat od firmy HTC

Jedná se o navíjecí automat od výrobce z Taiwanu. Označení „HTC 60“ znamená, že se na automatu dají vyrábět pružiny s maximálním průměrem drátu 6,0 mm. Minimální průměr pro výrobu pružin je 2,2 mm. Stroj má 3 pevné a jednu posuvnou osu, jeho cena se pohybuje kolem 6.750.000,- Kč. V současné době má firma sedm kusů těchto strojů. Výhodou

je, že není potřeba pro každý stroj nakupovat náhradní díly, stačí zhruba tři rezervní sady, ze kterých se dají dlouhodobě udržovat všechny stroje.

*Obrázek VI. – navíjecí stroj HTC 60*



[Zdroj: fotografie autora]

#### **4.1.2 Navíjecí automat od firmy Wafios**

Jedná se o navíjecí automat od firmy z Německa. Firma zakoupila tento stroj na základě doporučení a předvedení provozu při návštěvě výstavy v Düsseldorfu. Na automatu se dají v pevnosti drátu 2240 – 2400 MPA vyrábět pružiny od 2,6 mm do 6,0 mm, v pevnostech nižších je možné navíjet pružiny až do 8,0 mm. Výhodou oproti HTC 60 je 5 pevných os a jedna

posuvná, které by měly zajistit zejména udržení průměru pružiny v menším rozptylu. Vzhledem k tomu, že se jedná o modernější stroj, je i cena ve srovnání s HTC 60 vyšší, pohybuje se kolem 10.800.000,- Kč.

**Obrázek VII. – navíjecí stroj Wafios Ecocoiler F6**



[Zdroj: fotografie autora]

### **4.1.3 Parametry pružinového drátu**

Pro testování automatů vybral autor práce pružinový drát s vysokou pevností v tahu, která zajišťuje pružině schopnost odolávat působení napětí bez poruchy, s minimální ztrátou síly i po několikatisícovém stlačení. Materiál je od jednoho ze tří současných dodavatelů pružinového



drátu v této kvalitě, od firmy Pengg sídlící v Rakousku. Hodnoty pružinového drátu byly převzaty za materiálového atestu 3.1 dle normy EN 10 204, který je povinnou součástí každé dodávky.

**TABULKA II. – Hodnoty testovaného pružinového drátu Pengg**

### Materiál Pengg

	Kvalita materiálu: FD SiCrV H.	Šarže materiálu: 373877	Vstupní datum: 13. 11. 2015
	Průměr materiálu d = 3,10mm +/- 0,03mm	Pevnost v tahu Rm [MPa]	Tažnost Z [%]
<b>Spodní hranice</b>	3,070	2240	40,0
<b>Horní hranice</b>	3,130	2340	
<b>Naměřená hodnota</b>	3,09 - 3,10	2279 - 2324	44,1 – 48,1

### Chemické složení

Chemický prvek	Uhlík % C	Křemík % Si	Mangan % Mn	Fosfor % P	Síra % S	Chrom % Cr	Měď % Cu	Vanad % V	Hliník % Al
<b>Minimální hodnota</b>	0,55	1,35	0,40			0,50		0,05	
<b>Maximální hodnota</b>	0,70	1,60	0,80	0,025	0,020	0,80	0,08	0,25	0,04
<b>Naměřená hodnota</b>	0,62	1,39	0,56	0,008	0,009	0,63	0,01	0,10	0,001

[Zdroj: autorova práce]

#### 4.1.4 Měřící prostředek – kalibrace

Kalibrace je metrologický úkon, který na pracovních měřidlech požaduje buď Zákon o metrologii pro naplnění požadavku jednotnosti měřidel a měření a/nebo norma ČSN ISO 9001 pro naplnění požadavku článku 7.6, případně je proveden z důvodu potřeby poznání měřidla. Povinným údajem v kalibračním listu je i nejistota měření. Z metodického pohledu se výpočet nejistoty při kalibraci ničím neliší od nejistoty měření. Pro nejistoty při kalibraci je specifické především:

- metodické zázemí dané příručkou EA 4/02;
- použití konfirmovaných etalonů jako měřeného znaku;
- měření v referenčních podmínkách, které dávají definovatelné systematické odchylky a zdroje standardních nejistot typu B;
- měření kvalifikovaným a způsobilým operátorem (metrologem);
- pravidelnost stanovení nejistoty daná konfirmačním intervalem;
- povinnost zpracovat metodiku výpočtu nejistot v kalibračním postupu.

Z pohledu měření není kalibrace ničím jiným, než opakovaným měřením znaku o známé konvenčně pravé hodnotě (etalonu), v řízených (referenčních) podmínkách, podle kalibračního postupu (písemně daného) provedeným kvalifikovanou osobou. Tyto okolnosti snižují množství zdrojů nejistot, jsou snadno definovatelné a většinou se týkají variability podmínek měření a etalonu. Výsledná nejistota při kalibraci je pak vyjádřením variability dané především vlastnostmi kalibrovaného měřidla. [Zdroj 3]

Postup měření použitý u procesu kalibrace má být pokud možno identický s normálním postupem měření výrobku. V našem případě je posuvné měřidlo použité pro měření kalibrováno s etalonem 1mm, 10mm a 60mm.



**TABULKA III. – Kalibrační list posuvného měřidla P00193**

<b>Qualitätsmanagement Technische pruziny Scherdel s.r.o.</b>				
<b>Kalibrierschein Nr. 4124</b>				
Prüfm.-Nr. P_00193		Bezeichnung Meßschieber Wellenprofil		Prüfmitt-Gr Messschieber
Prüfplan-Nr. MEDW-150	Normen DIN 862	Prüfverfahren VDI 2618 Blatt 9.1	Kostenst.	Standort QS-ED-Lang
Bezugsnormal P 00708+P00720+P00706				
Prüfdatum 18.04.16	Nächster Prüftermin 18.04.17	Status im Einsatz	Zustand einsetzbar	Freigabe

AG	M.Nr.	Merkmalbez.	Nennmaß	Einheit	OT	UT	Arbeitsmittel	Messwert	Ergebnis
20	2010	Reinheit / Cistota					visuell	i.O.	i.O.
20	2030	Beschädigung / Poskozeni					visuell	i.O.	i.O.
20	2040	Kennzeichnung / Oznaceni					visuell	i.O.	i.O.
20	2050	Temperatur / Teplota	22,0	C°	+2,0	-2,0	Thermometer	22.00	i.O.
30	3010	Dig. Anzeige / Dig. ukazatel					visuell	i.O.	i.O.
30	3020	Gängigkeit / Chod pri posunu						i.O.	i.O.
40	4010	0 Einslellung	0	mm	0	0		i.O.	i.O.
40	4020	Hinten rechts/ V zadu vpravo	1,00	mm	+0,02	-0,02	Parallelendmaß	1.00	i.O.
40	4021	Hinten mitte / Vzadu na středu	1,00	mm	+0,02	-0,02	Parallelendmaß	1.00	i.O.
40	4022	Hinten links / Vzadu vlevo	1,00	mm	+0,02	-0,02	Parallelendmaß	1.00	i.O.
40	4030	Hinten rechts/ V zadu vpravo	10,00	mm	+0,02	-0,02	Parallelendmaß	10.01	i.O.
40	4031	Hinten mitte / Vzadu na středu	10,00	mm	+0,02	-0,02	Parallelendmaß	10.01	i.O.
40	4032	Hinten links / Vzadu vlevo	10,00	mm	+0,02	-0,02	Parallelendmaß	10.01	i.O.
40	4040	Hinten rechts/ V zadu vpravo	60,00	mm	+0,02	-0,02	Parallelendmaß	60.01	i.O.
40	4041	Hinten mitte / Vzadu na středu	60,00	mm	+0,02	-0,02	Parallelendmaß	60.02	i.O.
40	4042	Hinten links / Vzadu vlevo	60,00	mm	+0,02	-0,02	Parallelendmaß	60.02	i.O.
40	4050	Vorne / Vpředu	1,00	mm	+0,02	-0,02	Parallelendmaß	1.01	i.O.
40	4051	Vorne / Vpředu	10,00	mm	+0,02	-0,02	Parallelendmaß	10.01	i.O.
40	4052	Vorne / Vpředu	60,00	mm	+0,02	-0,02	Parallelendmaß	60.00	i.O.
70	7010	Prüfplakette / Kalibrační etiketa					Prüfplakette	i.O.	i.O.

[Zdroj 2]

#### 4.1.5 Měřící prostředek – MSA

Jako měřící prostředek bude použito posuvné měřidlo se speciálním nástavcem, který má rozšířenou plochu umožňující uložení dvou závitů pružiny, a tím zajištění vysoké přesnosti měření vnějšího průměru.

*Obrázek VII. – Způsob měření vnějšího závitu tlačné pružiny*



[Zdroj: fotografie autora]

Hlavním rozdílem mezi nejistotou a MSA je to, že MSA je zaměřeno na porozumění procesu měření, přičemž stanovuje velikost chyby v daném procesu a posuzuje adekvátnost systému měření pro kontrolu a řízení produktu a procesu. MSA napomáhá porozumění a zlepšení (zmenšení) variability. Nejistota je rozsah hodnot měření, definovaná konfidenčním intervalem, souvisejícím s výsledkem měření a u něhož se očekává, že zahrnuje pravou hodnotu měření.

[Zdroj 12]

U většiny procesů měření se celková variabilita měření obvykle popisuje jako normální rozdělení. Normální rozdělení pravděpodobnosti je předpoklad standardních metod analýzy systémů měření. Ve skutečnosti existují systémy měření, které nejsou normálně rozděleny. Nastane-li tato situace a normalita se předpokládá, může metoda MSA nadhodnotit chybu systému měření. Pracovník provádějící analýzu měření musí rozpoznat a opravit hodnocení pro nenormální systémy měření. [Zdroj 12]

Před vlastním měřením provede autor práce na zvoleném měřidle test variability zařízení, čímž je běžně nazývána opakovatelnost. Je to variabilita výsledků měření získaných jedním měřicím přístrojem, který byl použit několikrát jedním operátorem při měření identické charakteristiky na stejném dílu.

Druhým testem bude variabilita „mezi operátory“ označovaná jako reprodukovatelnost. Reprodukovatelnost je běžně definována jako variabilita průměru měření prováděných různými operátory za použití stejného měřicího přístroje při měření identické charakteristiky stejného dílu. To často platí pro ruční přístroje ovlivněné odborností obsluhy. V našem případě bude měření provádět autor práce a pracovník oddělení kontroly kvality s dlouholetými zkušenostmi.

Obrázek IX. – schopnost měřidla část 2

Schopnost měřidla při měření část 2

Ověřit opakovatelnost a posouzení způsobilosti měření

Měřicí prostředek:	Posuvné měřidlo	Měř. prostředek č.:		Odhylka měření:	0,02
Zákazník:	Brose	Druh výrobku:	Tlačná pružina	Číslo dílu:	C35071-xxx
				Rozměr vzorku dle certifikátu: ( $X_M$ ) =	26,6500
Zkouška pro:	Vnější průměr	Zkoušeč:	Bleha	Tolerance (T) =	0,50

Nr.	Wert	Nr.	Wert	Nr.	Wert	Nr.	Wert	Nr.	Wert
1	26,650	11	26,650	21	26,650	31	26,650	41	26,650
2	26,650	12	26,650	22	26,650	32	26,660	42	26,660
3	26,650	13	26,660	23	26,660	33	26,660	43	26,650
4	26,650	14	26,650	24	26,650	34	26,650	44	26,660
5	26,660	15	26,650	25	26,660	35	26,650	45	26,650
6	26,650	16	26,650	26	26,650	36	26,650	46	26,650
7	26,650	17	26,650	27	26,650	37	26,650	47	26,650
8	26,650	18	26,650	28	26,650	38	26,650	48	26,660
9	26,650	19	26,640	29	26,650	39	26,650	49	26,650
10	26,650	20	26,650	30	26,650	40	26,650	50	26,650

Výsledek:

Střední hodnota měřidla: 26,6516

Standardní odchylka měřidla: 0,0042

$$c_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s}$$

$$c_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - (\bar{X} - X_M)}{3 \cdot s} \quad (\text{bei } \bar{X} \geq X_M)$$

cg = 3,99

$$c_{pk} = \frac{0,1 \cdot T - (X_M - \bar{X})}{3 \cdot s} \quad (\text{bei } \bar{X} \leq X_M)$$

cgk = 3,86

Celkové posouzení:			
Schopnostní faktory (cg a cgk)	cg a cgk > 1.0	cg > 1.0 a cgk < 1.0	cg a cgk < 1.0
Rozhodnutí:	Měřidlo je pro tuto hodnotu velmi vhodné	Měřidlo je schopné, musí být ale (jestli je to možné) přizpůsobeno	Měřidlo není schopné použít pro tuto hodnotu
Beurteilung der Linearität:	Linearität gegeben:	Ano <input checked="" type="checkbox"/>	Ne <input type="checkbox"/>
Datum: 18.1.2017	Podpis: BLEHA		

[Zdroj 2]

Obrázek X. – schopnost měřidla část 3

Schopnost měřidla při měření část 3

Ověřit Opakovatelnost a Posloupnost způsobu měření					
Měřicí prostředek:	Posuvné měřidlo	Měřicí prostředek č.	P00193	Odchylka měření	0,02
Zákazník:	Brose	Druh výrobku	Tlačná pružina	Číslo dílu	C35971-xxx
Zkouška pro:	Vnější průměr	Středová hodnota	26,85	Tolerance	0,500
Rozměry: ( 2 Zkoušející ,2 měření pokusy, 10 dílů, nejméně 2 auditori, dva pokusy na měření)					

Díl	A: Bleha Stanislav			B: Lipert Stanislav		
	1. Pokus	2. Pokus	Rozdíl	1. Pokus	2. Pokus	Rozdíl
1	26,890	26,890	0,000	26,880	26,890	0,010
2	26,890	26,880	0,010	26,880	26,880	0,000
3	26,890	26,880	0,010	26,880	26,870	0,010
4	26,890	26,890	0,000	26,890	26,890	0,000
5	26,870	26,880	0,010	26,870	26,870	0,000
6	26,860	26,860	0,000	26,860	26,860	0,000
7	26,890	26,880	0,010	26,880	26,880	0,000
8	26,870	26,880	0,010	26,870	26,870	0,000
9	26,890	26,880	0,010	26,880	26,880	0,000
10	26,880	26,880	0,000	26,880	26,880	0,000

Výsledky:	Zkoušející A: 26,881	Zkoušející B: 26,877
	Zkoušející A: 0,006	Zkoušející B: 0,002
Průměr rozdílů: $R_{(quer)} = (R_{(quer)A} + R_{(quer)B}) / 2$	0,00400	
max. rozdíl Geissonovo křivky $X_{(quer)A}, X_{(quer)B}$ :	$X_{(quer)Dir} = 0,004$	
horní limit pro $R_{(quer)A}, R_{(quer)B}$ :	OEG <sub>R</sub> = D4 s D4= 3,27 (2 Měření) s D3= 2,58 (3 Měření)	
	OEG <sub>R</sub> = 0,013	
Je R(quer)A nebo R(quer)B nebo R(quer)C > OEG <sub>R</sub> Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/> !    Když ano, musí se měření opakovat!		

Výpočet měřicích faktorů:

- Opakovatelnost:  $W(\%) = K1 \cdot R \cdot 100\% =$  TB       $W(\%) = 4,2680$  s K1=5,32 (2 Měření)  
s K2=3,54 (3 měření)
- Posloupnost:  $N(\%) = K2 \cdot X_{(quer)} \cdot 100\% =$  TB       $N(\%) = 3,4240$  s K2=4,28 (2 zkoušky)  
s K2=3,14 (3 zkoušky)
- Celková odchylka:  $G(\%) = (W^2_{(W)} + N^2_{(N)})^{1/2} =$        $G_{(W)} = 5,4624$

Gesamtbeurteilung:			
Celková odchylka $G_{(W)}$	0 - 10% <input checked="" type="checkbox"/>	11 - 20% <input type="checkbox"/>	> 20% <input type="checkbox"/>
Vyhodnocení:	Velmi dobře	Ještě akceptovaný	Nepřipustný
Datum:	18.1.2017	Podpis:	BLEHA

[Zdroj: 2]

#### 4.1.6 Naměřené hodnoty

V rámci samotného měření bylo měřeno autorem práce 30 kusů po sobě navinutých pružin od každého stroje. Oba stroje byly seřizeny tak, aby středová hodnota vnějšího průměru dosahovala rozměru 26,65 mm. Před měřením byly pružiny uloženy do měřicí místnosti, která je klimatizována na teplotu 21°C +/-2°C, čímž se předejde případným odchylkám způsobeným teplotou. U každé pružiny byl měřen vnější průměr ve čtyřech bodech, které byly u všech pružin stejné. Tyto body zvolil autor práce náhodně.

**TABULKA IV. – Porovnání navijecích automatů Wafios a HTC**

Porovnání navijecích automatů WAFIOS vs HTC			
Identifikační číslo	218136	Navijecí stroje	Wafios, HTC 60
Materiál	Pengg	Popouštění	350°C, 30min
Číslo cívky	87559004007	d [mm]	3,1
Počet pružin	30 (pro každý druh)	Da [mm]	26,65

Diagram illustrating the measurement points on a spring. The spring is shown with four vertical lines indicating measurement points labeled ①, ②, ③, and ④. An arrow points to point ①. The distances between the points are: ① 140mm, ② 300mm, ③ 650mm, and ④ 890mm.

[Zdroj: autorova práce]



**TABULKA V. – Výsledky naměřených hodnot**

WAFIOS									
Naměřené hodnoty / odchylka					Naměřené hodnoty / průměr				
	①	②	③	④		①	②	③	④
min	-0,08	-0,08	-0,07	-0,07	min	26,57	26,57	26,58	26,58
max	0,03	0,03	0,02	0,01	max	26,68	26,68	26,67	26,66

<b>Střední hodnota (Dm):</b>	<b>26,62</b>	∅	26,63	26,61	26,62	26,63
<b>Standardní odchylka:</b>	<b>0,024</b>	s	0,024	0,023	0,023	0,019
<b>Středová odchylka:</b>	<b>0,020</b>	-	0,018	0,017	0,018	0,014

HTC 60									
Naměřené hodnoty / odchylka					Naměřené hodnoty / průměr				
	①	②	③	④		①	②	③	④
min	0,01	0,00	-0,03	-0,01	min	26,66	26,65	26,62	26,64
max	0,09	0,10	0,06	0,06	max	26,74	26,74	26,71	26,71

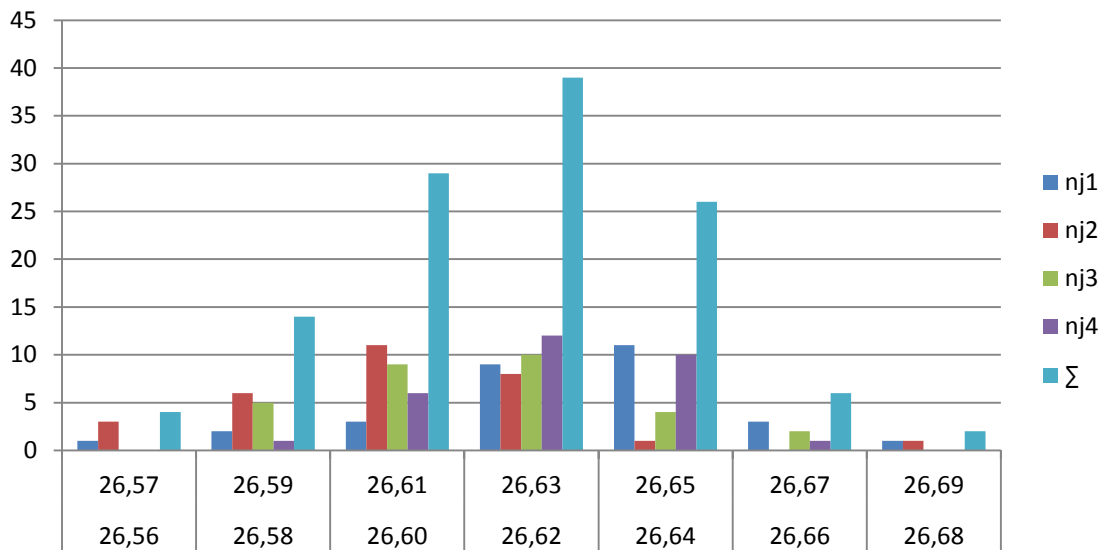
<b>Střední hodnota (Dm):</b>	<b>26,68</b>	∅	26,70	26,68	26,66	26,67
<b>Standardní odchylka:</b>	<b>0,023</b>	s	0,016	0,023	0,020	0,016
<b>Středová odchylka:</b>	<b>0,018</b>	-	0,012	0,019	0,016	0,014

[Zdroj: autorova práce]

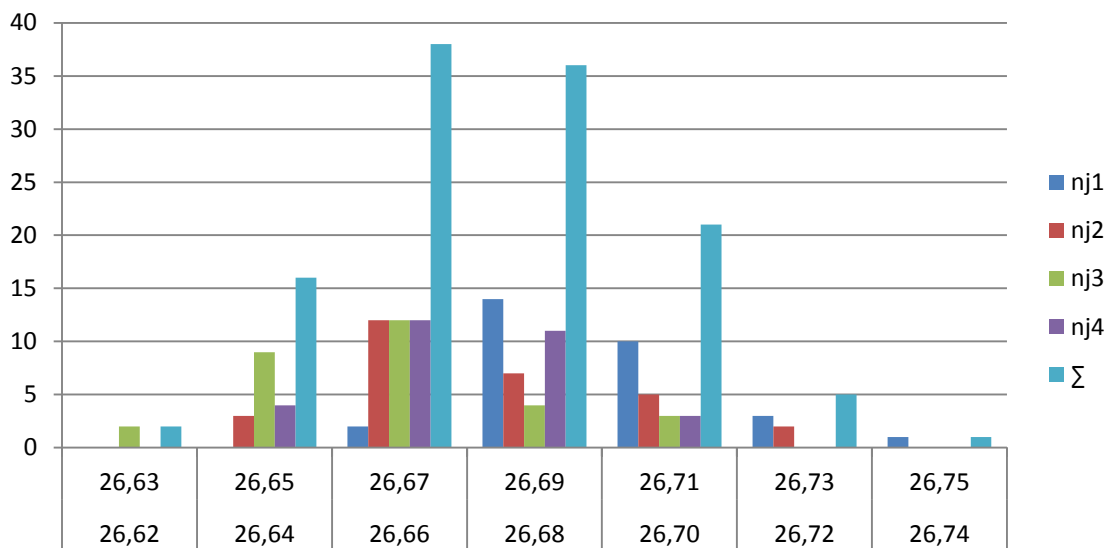
Výsledky všech měření byly autorem práce zaneseny do tabulek, které jsou přílohami 3a a 3b této práce. Z naměřených hodnot byl vytvořen pro každý stroj histogram, což je grafické zobrazení (sloupcový diagram) četnosti seskupených dat, které umožňuje vizuální hodnocení rozdělení dat. Poslední (modrý) sloupec v grafu znázorňuje součet výskytu daných rozměrů ve všech měřených bodech.

Obrázek XI. – Výsledky naměřených hodnot v histogramech

### Histogram WAFIOS



### Histogram HTC 60



[Zdroj: autorova práce]



### **4.1.7 Vyhodnocení měření**

Na základě provedeného měření bylo zjištěno, že investice do navíjecího automatu Wafios pro tlačné pružiny se firmě Technické pružiny Scherdel nevyplatí. Odchylky naměřených hodnot mají mezi sebou téměř stejný rozdíl, při porovnání rozpětí je automat HTC nepatrně lepší. Z toho důvodu si autor práce vybírá pro další testování stroj HTC 60. Vedení firmy bude doporučeno zakoupení dvou strojů HTC 60, kdy by se cena v případě možného rabatu mohla přiblížit ceně jednoho automatu od firmy Wafios.

## **4.2 Výběr dodavatele pružinového drátu**

Cílem druhé zkoušky bude vybrat nejvhodnější pružinový drát. Firma odebírá v současné době materiál od tří velkých dodavatelů. K testu bude použit materiál o průměru 3,1mm, opět s vyšší pevností v tahu. Od firmy Pengg bude testována další cívka od šarže, která byla použita při první zkoušce. Od stejného dodavatele bude i druhý materiál, jedná se ale o novinku, která má pevnost v tahu o 60 MPA vyšší. Výhodou tohoto materiálu ve srovnání s ostatními, by měla být menší ztráta síly po tepelném usazení. Zbylé dva materiály jsou od dodavatelů DWK Köln a SDW Röslau.

### **4.2.1 Hodnoty testovaných materiálů**

Pro testování vybral autor práce cívky s dráty, u kterých se průměr materiálu pohybuje co nejbližší k nominální hodnotě. Parametry první cívky jsou uvedeny v bodě 4.1.3., hodnoty dalších materiálů jsou v následujících tabulkách.

**TABULKA VI. – Hodnoty testovaných pružinových drátů Röslau Wire, DWK a Pengg super**

### **Materiál Röslau Wire**

	Kvalita materiálu: FD SiCrV H	Šarže materiálu: 2609	Vstupní datum: 02. 09. 2016
	Průměr materiálu d = 3,10mm +/- 0,03mm	Pevnost v tahu Rm [MPa]	Tažnost Z [%]
<b>Spodní hranice</b>	3,070	2240	40,0
<b>Horní hranice</b>	3,130	2340	
<b>Naměřená hodnota</b>	3,09 – 3,10	2258 - 2265	49,0 – 50,0

### **Chemické složení**

<b>Chemický prvek</b>	Uhlík % C	Křemík % Si	Mangan % Mn	Fosfor % P	Síra % S	Chrom % Cr	Měď % Cu	Vanad % V	Hliník % Al
<b>Minimální hodnota</b>	0,55	1,35	0,40			0,50		0,05	
<b>Maximální hodnota</b>	0,70	1,60	0,80	0,025	0,020	0,80	0,08	0,25	0,04
<b>Naměřená hodnota</b>	0,62	1,43	0,54	0,010	0,008	0,64	0,012	0,109	0,001

### **Materiál DWK Köln**

	Kvalita materiálu: FD SiCrV H	Šarže materiálu: H504219	Vstupní datum: 07. 09. 2016
	Průměr materiálu d = 3,10mm +/- 0,03mm	Pevnost v tahu Rm [MPa]	Tažnost Z [%]
<b>Spodní hranice</b>	3,070	2240	40,0
<b>Horní hranice</b>	3,130	2340	
<b>Naměřená hodnota</b>	3,09 - 3,10	2242 - 2246	50,4

### Chemické složení

Chemický prvek	Uhlík % C	Křemík % Si	Mangan % Mn	Fosfor % P	Síra % S	Chrom % Cr	Měď % Cu	Vanad % V	Hliník % Al
<b>Minimální hodnota</b>	0,55	1,35	0,40			0,50		0,05	
<b>Maximální hodnota</b>	0,70	1,60	0,80	0,025	0,020	0,80	0,08	0,25	0,04
<b>Naměřená hodnota</b>	0,64	1,52	0,47	0,007	0,007	0,56	0,02	0,11	0,001

### Materiál Pengg (super pevnost)

	Kvalita materiálu: FD SiCrV H	Šarže materiálu: 381323	Vstupní datum: 09. 03.2016
	Průměr materiálu d = 3,10mm +/- 0,03mm	Pevnost v tahu Rm [MPa]	Tažnost Z [%]
<b>Spodní hranice</b>	3,070	2300	40,0
<b>Horní hranice</b>	3,130	2400	
<b>Naměřená hodnota</b>	3,09 - 3,10	2348 - 2391	53,2 – 53,7

### Chemické složení

Chemický prvek	Uhlík % C	Křemík % Si	Mangan % Mn	Fosfor % P	Síra % S	Chrom % Cr	Měď % Cu	Vanad % V	Hliník % Al
<b>Minimální hodnota</b>	0,55	1,35	0,40			0,50		0,05	
<b>Maximální hodnota</b>	0,70	1,60	0,80	0,025	0,020	0,80	0,08	0,25	0,04
<b>Naměřená hodnota</b>	0,61	1,41	0,55	0,011	0,006	0,63	0,007	0,10	0,001

[Zdroj: autorova práce]

## 4.2.2 Popis průběhu testování

Navíjecí automat bude nastaven podle seřizovacích parametrů pro sériovou výrobu. Na toto nastavení budou postupně navíjeny pružiny ze všech čtyř cívek materiálu. Po navíjení budou pružiny popuštěny, dále budou obroušeny konce pružin, což se provádí z důvodu lepšího usazení koncových závitů v systému, dále kuličkovány, čímž odstraníme z pružiny ostré hrany, pnutí a zvýšíme odolnost proti opakovanému zatížení. Další procesem je povrchová úprava, kterou ale vzhledem k tomu, že je prováděna externě na pobočce v Německu, autor práce vynechal.

Povrchová úprava zajišťuje ochranu proti korozi, na funkční vlastnosti pružiny vliv nemá. Díly budou tedy bez povrchové úpravy tepelně usazeny. Jedná se o proces, na kterém firma SCHERDEL staví, je alfou a omegou celé výroby. Z tohoto důvodu jej má firma jako vlastní „know how“, zákazníkům není tento proces na základě rozhodnutí vedení firmy ukazován a ani autor práce nesmí k tomu procesu uvádět žádné podrobnosti. Tento proces zajišťuje u pružin dosažení požadovaných sil. K jejich zjištění používá firma SCHERDEL měřicí stroje od firmy Zwick. Zákazník při měření vyžaduje postup, který simuluje pohyb pružiny po namontování do systému. Pružina je shora zatížena na první požadovanou délku L1, dále se posune příčnick na délku L2, potom sjede 3 milimetry pod tuto pozici a vrací se zpět. Tím dosáhneme změření síly i při odlehčení jak pro délku L2, tak i pro délku L1. Síly F1 a F2 jsou středy mezi naměřenými hodnotami při zatížení a odlehčení. Údaje potřebné k nastavení stroje Zwick, včetně požadovaných výsledků, jsou uvedeny ve výkresové dokumentaci, která je součástí přílohy této práce. Poslední porovnání se bude týkat tepelných ztrát pružin ze zvolených materiálů, po upnutí na stanovenou délku a zahřátí na 80°C po dobu 96 hodin.

## 4.2.3 Postup při měření

Na vybraném automatu HTC 60 byly nastaveny parametry pro navíjení. Ze seřizovaných hodnot nás nejvíce zajímají délka pružiny v nenapnutém stavu  $L_0=970 \pm 5\text{mm}$  a vnější průměr pružiny  $D_a=25,15 \pm 0,2\text{mm}$ , které mají největší vliv na dosažení požadovaných hodnot na konci procesu. Všechny pružiny byly po navinutí popuštěny při teplotě 350°C pod dobu 30 minut. V této fázi naměřil autor na 20 kusech od každého druhu materiálu celkovou délku a vnější

průměr pružin. Poté následovalo obroušení konců, kuličkování a tepelné usazení pružin. Po tepelném usazení bylo znovu u stejných 20ks změřena síla pružina na stroji od firmy Zwick.

*Obrázek XII. – Stroj pro měření síly pružin od firmy Zwick*



[Zdroj: fotografie autora]

Všechny naměřené výsledky byly zaneseny do tabulek, které jsou přílohami 4a a 4b této práce. Při vyhodnocení testu nás zajímají výsledky měření v následující tabulce, kde je uvedena středová hodnota, směrodatná odchylka, rozptyl, variační rozpětí, minimální a maximální hodnota měřené veličiny. Středová hodnota je aritmetický průměr hodnot ve sloupci, směrodatná odchylka vyjadřuje, jak se tyto hodnoty liší od středové hodnoty, dále rozptyl, který udává, jak jsou data rozptýleny od středové hodnoty a poslední je variační rozpětí udávající rozdíl mezi největší a nejmenší hodnotou.

**TABULKA VII. – Výsledky měření testovaných materiálů**

	① Pengg super						② Pengg					
$\bar{x}$	969,40	793,85	431,26	619,41	25,03	25,05	971,60	783,60	431,11	624,47	25,04	25,09
s	0,86	4,70	7,65	6,77	0,01	0,02	1,28	3,80	7,42	6,17	0,01	0,02
$\sigma^2$	0,74	22,13	58,45	45,89	0,00	0,00	1,64	14,44	55,04	38,06	0,00	0,00
R	3,00	15,00	26,25	20,63	0,04	0,06	4,00	14,00	25,10	17,92	0,04	0,07
min	968,00	784,00	416,77	606,43	25,01	25,02	970,00	777,00	418,64	614,99	25,01	25,05
max	971,00	799,00	443,02	627,06	25,05	25,08	974,00	791,00	443,74	632,91	25,05	25,12
	③ SDW Röslau						④ DWK Köln					
$\bar{x}$	968,10	792,40	440,47	631,43	25,04	25,08	972,90	772,70	413,77	605,91	25,03	25,08
s	1,45	4,48	8,99	6,82	0,01	0,02	1,51	4,53	7,07	6,34	0,01	0,02
$\sigma^2$	2,09	20,04	80,78	46,46	0,00	0,00	2,29	20,51	49,94	40,22	0,00	0,00
R	5,00	16,00	29,43	23,81	0,06	0,07	6,00	17,00	27,04	24,81	0,04	0,06
min	966,00	782,00	426,38	618,82	25,01	25,05	969,00	763,00	400,25	591,29	25,01	25,04
max	971,00	798,00	455,81	642,63	25,07	25,12	975,00	780,00	427,29	616,10	25,05	25,10

[Zdroj: autorova práce]

Při prvním pohledu na tabulky je patrné, že rozdíly u vnějších průměrů mezi dráty jak na začátku, tak i na konci procesu jsou minimální. U délek pružin dle středových hodnot je vidět, že materiál DWK Köln se po usazení zkrátil více než materiály ostatní, což není úplně rozhodující, může to ale znamenat, že tento materiál bude mít největší ztrátovost, což už by problém byl. Rozhodující pro porovnání jsou tedy síly, většina zákazníků se zaměřuje na sílu F1. Na základě těchto parametrů řadí autor na poslední místo materiál od firmy SDW Röslau, kde jsou hodnoty sledovaných charakteristik suverénně nejvyšší, na třetí příčce končí materiál od firmy Pengg se super pevností v tahu, který oproti zbylým dvěma materiálům má charakteristiky o něco vyšší. U posledních dvou materiálů jsou si hodnoty dost podobné, nevýhodou materiálu DWK Köln je již zmíněná větší ztrátovost síly během procesu, vítěz mezi těmito dvěma bude určen na základě tepelného testu, který se provádí dle těchto parametrů:

***TABULKA VIII. – parametry tepelného testu***

<b>Čas testu</b>	<b>96 hodin</b>
<b>Teplota při testu</b>	<b>80°C</b>
<b>Usazovací délka L2</b>	<b>247,3mm</b>

[Zdroj: autorova práce]

V rámci tohoto testu je u 5 označených pružin změřena síla F1, dále jsou pružiny upnuty na délku  $L_2=247,3\text{mm}$  a vloženy do pece s teplotou 80°C na dobu 96 hodin. Po této době jsou pružiny znovu přeměřeny na sílu F1, která se nesmí dostat pod povolenou mez. Kvůli vyrovnanosti byly z materiálu DWK Köln vybrány pro testování pružiny s nejvyšší silou.

**TABULKA IX. – tepelný test ztráty pružiny**

Test tepelné ztráty pružiny								
	② Pengg				④ DWK Köln			
Pružina číslo	Síla F1 před tepelným testem	Síla F1 po tepelném testu	Rozdíl mezi silami F1 před a po tepelném testu		Síla F1 před tepelným testem	Síla F1 po tepelném testu	Rozdíl mezi silami F1 před a po tepelném testu	
	N	N	N	%	N	N	N	%
1	430,83	413,37	17,46	4,05%	418,03	392,62	25,41	6,08%
2	438,83	420,64	18,19	4,15%	421,45	395,78	25,67	6,09%
3	425,39	407,82	17,57	4,13%	427,29	400,22	27,07	6,34%
4	434,96	417,49	17,47	4,02%	422,32	396,75	25,57	6,05%
5	438,13	420,77	17,36	3,96%	418,88	390,80	28,08	6,70%
$\bar{x}$	433,63	416,02	17,61	4,06%	421,59	395,23	26,36	6,25%
min	425,39	407,82	17,36	3,96%	418,03	390,80	25,41	6,05%
max	438,83	420,77	18,19	4,15%	427,29	400,22	28,08	6,70%

[Zdroj: autorova práce]

Test tepelné ztráty nám potvrdil podezření na větší ztrátovost u materiálu DKW Köln. Z toho důvodu dává autor práce tento materiál na druhé místo. Na základě provedení testování bude autorem práce doporučen jako nejvhodnější dodavatel pružinového drátu firma Pengg, s pevností v tahu 2240 – 2340 MPA.

Byla pouze náhoda, že stejný materiál byl použit i v prvním testu pro výběr automatu.



## 5. Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce byla optimalizace procesu výroby tlačných pružin využitím metody Six Sigma. V rámci této metody se autor práce snažil vybrat lepší navíjecí automat a nejvhodnější pružinový drát pro výrobu tlačných pružin, čímž dojde k zajištění snížení zmetkovitosti a zlepšení funkčních vlastností pružin.

Většina porovnávaných hodnot byla naměřena samotným autorem práce. Na pružinách byly měřeny parametry, které mají největší vliv na jejich funkci v systému. Jsou jimi délka, průměr, síla a u vybraných dvou materiálů ještě tepelná ztráta pružiny, která je často označována ve výkresech zákazníků jako hodnota kritická. To znamená, že v případě jejího nedodržení by celý systém z důvodu nedostatečné síly tlačné pružiny přestal fungovat.

Testováním navíjecích automatů bylo zjištěno, že vyšší cena výrobního automatu nemusí vždy znamenat kvalitnější výrobek. To se ukázalo v případě navíjecího automatu od firmy Wafios. Zde je ale nutno přiznat, že automat má širokou škálu jiných možností navíjení, pro účely firmy SCHERDEL by ale byl zbytečným přepychem.

Tím, že firma Technické pružiny SCHERDEL, spol. s r.o. během výrobního procesu dohlíží nejen na požadované množství, ale zejména na kvalitu výrobku, je schopna naplňovat a uspokojovat požadavky svých zákazníků. Cílem je dosáhnout co největšího množství výrobků v požadované kvalitě, v co nejkratším čase a za minimální náklady.

K dosažení těchto cílů je zapotřebí používat k výrobě nejen kvalitní automaty, ale také co nejlepší vstupní materiál, v našem případě to znamená hlavně pružinový drát. Z tohoto důvodu byly ve druhé části testování vybrány dráty pro výrobu tlačných pružin od tří největších dodavatelů. Nutno dodat, že při jejich porovnávání se autor práce mohl soustředit pouze na kvalitu materiálu, protože rozdíly v ceně jsou takřka zanedbatelné.

V testování nejlépe obstál materiál od firmy Pengg se standardní pevností v tahu. V porovnání vnějších průměrů byl stejný jako materiály ostatní, avšak u síly F1, která je u testované pružiny brána jako funkční hodnota, se jeho středová hodnota nejvíce přiblížila požadované síle dle výkresové dokumentace, která je přílohou 2 této práce. Rozptylem sice lehce zaostal za konkurenčním materiálem z firmy DWK Köln, rozhodujícím faktorem, který tomuto materiálu zajistil vítězství, byla o více než 30% nižší tepelná ztráta.

Aplikací metody Six Sigma byl vybrán lepší navíjecí automat a nejvhodnější pružinový drát pro výrobu tlačných pružin, čímž firma dosáhne optimalizace procesu, snížení počtu vadných dílů a tím i nákladů za ztráty, což bylo hlavním cílem této diplomové práce.

Pro plynulost výroby je potřeba zajištění alternativního dodavatele, kterého by firma využila v případě nedostatečného pokrytí požadavků materiálu od dodavatele, který je uvolněn na základě vzorkování dle VDA jako hlavní. V tomto případě bude doporučen materiál DWK Köln.

Vzhledem k tomu, že každý dodavatel se průběžně snaží své produkty zkvalitňovat, doporučuje autor práce provést porovnání dodávaných materiálů minimálně jednou za rok a výsledky zanést do přehledu hodnocení dodavatelů.

## **Použitá literatura:**

- [ 1 ] NENADÁL, Jaroslav, et al. *Moderní management jakosti*. 1. vydání. Praha: Management Press, 2011. ISBN 978-80-7261-186-7.
- [ 2 ] Interní informační systém firmy SCHERDEL, <http://intra.scherdel.de/>
- [ 3 ] NĚMEČEK., Pavel. *Nejistoty měření*, 1. vydání. Praha, ČSJ, 2008, 98 s. ISBN: 978-80—02-02089-9
- [ 4 ] STAMATIS, D. H. *Six Sigma Fundamentals: A Complete Guide to the System, Methods and Tools*. 1st ed. New York: Productivity Press, 2004. ISBN 156327292X.
- [ 5 ] VÍTEK, Václav. *Svět produktivity*. 2012, online. [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: <http://www.svetproduktivity.cz/slovník/DMAIC-Model-rizeni-Six-Sigma-projektu.htm>
- [ 6 ] KOŽÍŠEK, Jan, STIEBEROVÁ, Barbora. *Management jakosti I*. 3. přepracované vydání. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2010. ISBN 978-80-01-04568-8.
- [ 7 ] PLURA, Jiří. *Plánování a neustálé zlepšování jakosti: Principy, postupy a metody*. 1. vydání. Praha: Management Press, 2008. 377 s. ISBN 978-80-7261-186-7.
- [ 8 ] Management Mania. *MSA*. 2011-2013, online. [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/measurement-system-analysis>
- [ 9 ] TŘEŠŤÍK, J.. *Vyšetřování způsobilosti měřidla “Metoda R&R“*, 2011, online. [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: <http://trestik.cz/msa-rar>
- [ 10 ] FABIAN, F., et al. *Statistické metody řízení jakosti*. 1. vydání. Praha: Česká společnost pro jakost, 2007. 390 s. ISBN 978-80-02-01897-1.
- [ 11 ] CHALOUPKA, J. *Indexy způsobilosti stroje*. 2008-2010, online. [cit. 2017-01-18] Dostupné z: <http://www.chaloupka-kvalita.cz/indexy-zpusobilosti-stroje>
- [ 12 ] Česká společnost pro jakost – *Analýza systému měření (MSA)*. 4. vydání. Praha, ČSJ, 2011. 231 s. ISBN: 978-80-02-02323-5

## **Seznam příloh**

- 1 – Seznam zkratk
- 2 – Výkresová dokumentace tlačné pružiny
- 3a – Tabulka – Hodnoty všech měření – navíjecí automat WAFIOS
- 3b – Tabulka – Hodnoty všech měření – navíjecí automat HTC60
- 4a – Tabulka – Výsledky měření materiálů od firmy Pengg
- 4b – Tabulka – Výsledky měření materiálů od firmy SDW Röslau a DWK Köln

## **1 – Seznam zkratk**

MSA – Measurement system analysis (Analýza systému měření)

DMAIC - Define, Measure, Analyze, Improve and Control (Cyklus zlepšování)

PDCA - Plan-do-check-act (Naplánuj-proved' - ověř-jednej)

USL – Upper specification limit (Horní toleranční mez)

LSL – Low specification limit (Dolní toleranční mez)

MPa – Megapascal (Jednotka tlaku)

DWK – Drahtwerk (Výrobna drátu)

SDW – Stahl-und Drahtwerk (Výrobna oceli a drátu)

VDA – Verband der Automobilindustrie (Sdružení automobilového průmyslu)

## 2 – Výkresová dokumentace tlačné pružiny

SB402902A1

Intended for internal and supplier use		The print-out is not subject to the modification service		
		<p> <math>d = 3,1 \pm 0,03</math> mm →max. 3,53 incl. coating  <math>D_e = 25,1 \pm 0,25</math> mm →max. 25,75 incl. coating  <math>D_i = 18,9</math> mm  <math>D = 22,0</math> mm  <math>D_d \leq 18,7</math> mm  <math>D_h \geq 25,8</math> mm  <math>L_0 = 711,5</math> mm  <math>L_1 = 393</math> mm  <math>L_2 = 247,3</math> mm  <math>L_n = -</math> mm  <math>L_c = 207,0</math> mm →max. 233 incl. coating  <math>S_h = 145,7</math> mm  <math>e_1 \leq -</math> mm  <math>e_2 \leq -</math> mm  <math>F_1 = 4,30 \pm 14,8</math> N (<math>\tau_{k1} = 967</math> N/mm<sup>2</sup>)  <math>F_2 = 626,7 \pm 16,7</math> N (<math>\tau_{k2} = 1410</math> N/mm<sup>2</sup>)  <math>F_n = -</math> N (<math>\tau_n = -</math> N/mm<sup>2</sup>)  <math>(F_{c,th} = 682</math> N) (<math>\tau_c = 1283</math> N/mm<sup>2</sup>)                      stroke shearing stress <math>\tau_{sh} = 443</math> N/mm<sup>2</sup>                      spring rate <math>R = 1,35</math> N/mm                 </p>		
		<p> <input type="radio"/> spring ends closed  <input checked="" type="radio"/> spring ends closed and ground  <input type="radio"/> spring ends closed, ground and 1-2mm retracted                 </p>		
C	1	number of active coils	$n = 63,84$	
		total number of coils	$n_t = 65,84$	
	2	coiling direction	right <input checked="" type="radio"/> left <input type="radio"/>	
	3	deburr spring ends	no <input type="radio"/> inside <input type="radio"/> free from burrs <input checked="" type="radio"/> outside <input type="radio"/>	
	4	working stroke	$S_h = 145,7$	
EN	5	frequency of stress	$f = -$	
		number of stress cycles	$z = -$	
		number of test stress cycles:	60.000 LW <input checked="" type="radio"/>	
		permissible number of stress cycles:	45.000 LW <input checked="" type="radio"/>	
B	6	operating temperature range from	$-30^\circ\text{C}$ up to $+80^\circ\text{C}$	
	7	wire or bar surface	drawn <input type="radio"/> rolled <input type="radio"/> centreless grinding <input type="radio"/> spring peened <input checked="" type="radio"/>	
A	8	surface protection: 1) 2x Delta Protect; corrosion resistance DIN EN ISO 9227-NSS; 240 h without red rust, colour: silver 2) flocking complete PES 3.3 DETEX 0,7 mm (schwarz)		
	9	material: spring steel wire FDSiCr V high strength		
	13	additional details: load stabilization $F_1, F_2$ (96h-test at $80^\circ\text{C}$ on $l_1$ ); measuring of the spring forces acc. to STAB-Spec. 10009856; test mandrel $\varnothing 18$ mm Minimum force $F_1' = 394$ N		
10	permissible variations acc. to DIN 2095			
	Quality grade			
		1	2	3
	$D_e, D_i$	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	$L_0$	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
$F_1$ bis $F_n$	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
$e_1, e_2$	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
wire or bar diameter $\varnothing = 3,1$	depending on semi-finished product acc. to ... <input type="radio"/> acc. to DIN EN 10270-2 <input checked="" type="radio"/>			
11	Quantities specified		by	
	a) a given spring force and corresponding length of stressed spring	$L_0$	<input type="radio"/>	
	b) a given spring force corresponding length of stressed spring and $L_0$	$n, d$	<input type="radio"/>	
		$n, D_e, D_i$	<input type="radio"/>	
	c) two given spring forces and corresponding lengths of stressed spring	$L_0, n, d$	<input checked="" type="radio"/>	
		$L_0, n, D_e, D_i$	<input type="radio"/>	
12	preset to length $L_s = L_c$ mm			
	test springs	preset <input checked="" type="radio"/> not preset <input type="radio"/>		
	other springs	preset <input checked="" type="radio"/> not preset <input type="radio"/>	deliver <input type="radio"/>	
		warm strained <input checked="" type="radio"/>		

[Zdroj: autorova práce – výstřížek ze zákaznického výkresu]

### 3a – TABULKA – Hodnoty všech měření - navíjecí automat WAFIOS

WAFIOS									
Naměřené hodnoty / odchylka					Naměřené hodnoty / průměr				
	①	②	③	④		①	②	③	④
1.	-0,04	-0,06	-0,04	-0,03	1.	26,61	26,59	26,61	26,62
2.	-0,01	-0,06	-0,07	-0,05	2.	26,64	26,59	26,58	26,60
3.	-0,02	-0,02	-0,03	-0,04	3.	26,63	26,63	26,62	26,61
4.	-0,03	-0,06	-0,06	-0,04	4.	26,62	26,59	26,59	26,61
5.	-0,07	-0,08	-0,07	-0,07	5.	26,58	26,57	26,58	26,58
6.	-0,04	-0,08	-0,05	-0,02	6.	26,61	26,57	26,60	26,63
7.	-0,03	-0,05	-0,06	-0,04	7.	26,62	26,60	26,59	26,61
8.	-0,08	-0,06	-0,06	-0,02	8.	26,57	26,59	26,59	26,63
9.	-0,01	-0,04	-0,02	-0,01	9.	26,64	26,61	26,63	26,64
10.	0,00	0,03	0,02	0,00	10.	26,65	26,68	26,67	26,65
11.	-0,01	-0,04	-0,02	0,00	11.	26,64	26,61	26,63	26,65
12.	-0,01	-0,02	0,00	0,00	12.	26,64	26,63	26,65	26,65
13.	-0,01	-0,05	-0,03	-0,02	13.	26,64	26,60	26,62	26,63
14.	0,01	-0,02	-0,04	0,00	14.	26,66	26,63	26,61	26,65
15.	0,00	-0,02	-0,01	0,00	15.	26,65	26,63	26,64	26,65
16.	0,01	-0,04	0,00	0,00	16.	26,66	26,61	26,65	26,65
17.	-0,04	-0,05	-0,03	-0,02	17.	26,61	26,60	26,62	26,63
18.	0,03	-0,03	0,01	0,00	18.	26,68	26,62	26,66	26,65
19.	0,01	-0,05	0,00	-0,02	19.	26,66	26,60	26,65	26,63
20.	-0,07	-0,08	-0,05	-0,04	20.	26,58	26,57	26,60	26,61
21.	-0,01	-0,03	-0,04	0,00	21.	26,64	26,62	26,61	26,65
22.	-0,02	-0,04	-0,02	-0,01	22.	26,63	26,61	26,63	26,64
23.	-0,03	-0,06	-0,03	-0,02	23.	26,62	26,59	26,62	26,63
24.	-0,01	-0,04	-0,05	-0,05	24.	26,64	26,61	26,60	26,60
25.	-0,03	-0,05	-0,03	-0,03	25.	26,62	26,60	26,62	26,62
26.	0,00	-0,03	-0,04	0,01	26.	26,65	26,62	26,61	26,66
27.	-0,02	-0,04	-0,02	-0,02	27.	26,63	26,61	26,63	26,63
28.	-0,02	-0,06	-0,03	-0,02	28.	26,63	26,59	26,62	26,63
29.	-0,01	0,00	-0,05	-0,02	29.	26,64	26,65	26,60	26,63
30.	-0,02	-0,03	-0,05	-0,03	30.	26,63	26,62	26,60	26,62
<b>min</b>	<b>-0,08</b>	<b>-0,08</b>	<b>-0,07</b>	<b>-0,07</b>	<b>min</b>	<b>26,57</b>	<b>26,57</b>	<b>26,58</b>	<b>26,58</b>
<b>max</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>max</b>	<b>26,68</b>	<b>26,68</b>	<b>26,67</b>	<b>26,66</b>

[Zdroj: autorova práce]

### 3b – TABULKA – Hodnoty všech měření - navíjecí automat HTC 60

HTC 60									
Naměřené hodnoty / odchylka					Naměřené hodnoty / průměr				
	①	②	③	④		①	②	③	④
1.	0,04	0,06	0,02	0,02	1.	26,69	26,71	26,67	26,67
2.	0,07	0,04	0,00	0,01	2.	26,72	26,69	26,65	26,66
3.	0,05	0,00	0,00	0,01	3.	26,70	26,65	26,65	26,66
4.	0,05	0,03	0,01	0,03	4.	26,70	26,68	26,66	26,68
5.	0,03	0,01	0,00	0,03	5.	26,68	26,66	26,65	26,68
6.	0,04	0,03	-0,02	0,04	6.	26,69	26,68	26,63	26,69
7.	0,03	0,02	0,02	0,04	7.	26,68	26,67	26,67	26,69
8.	0,05	0,01	-0,01	0,03	8.	26,70	26,66	26,64	26,68
9.	0,05	0,07	0,02	0,03	9.	26,70	26,72	26,67	26,68
10.	0,06	0,00	-0,01	0,05	10.	26,71	26,65	26,64	26,70
11.	0,05	0,02	0,01	0,02	11.	26,70	26,67	26,66	26,67
12.	0,05	0,06	0,04	0,04	12.	26,70	26,71	26,69	26,69
13.	0,08	0,02	0,00	0,00	13.	26,73	26,67	26,65	26,65
14.	0,04	0,06	0,01	0,02	14.	26,69	26,71	26,66	26,67
15.	0,04	0,03	0,02	0,00	15.	26,69	26,68	26,67	26,65
16.	0,04	0,00	0,02	0,01	16.	26,69	26,65	26,67	26,66
17.	0,04	0,05	0,01	0,03	17.	26,69	26,70	26,66	26,68
18.	0,06	0,02	0,01	0,01	18.	26,71	26,67	26,66	26,66
19.	0,02	0,02	-0,01	0,00	19.	26,67	26,67	26,64	26,65
20.	0,06	0,07	0,06	0,03	20.	26,71	26,72	26,71	26,68
21.	0,09	0,10	0,05	0,02	21.	26,74	26,74	26,70	26,67
22.	0,07	0,04	0,05	0,06	22.	26,72	26,69	26,70	26,71
23.	0,04	0,01	0,02	0,05	23.	26,69	26,66	26,67	26,70
24.	0,05	0,02	0,03	0,02	24.	26,70	26,67	26,68	26,67
25.	0,04	0,02	0,03	0,04	25.	26,69	26,67	26,68	26,69
26.	0,03	0,01	0,00	0,01	26.	26,68	26,66	26,65	26,66
27.	0,04	0,03	0,03	0,04	27.	26,69	26,68	26,68	26,69
28.	0,04	0,04	0,00	0,02	28.	26,69	26,69	26,65	26,67
29.	0,01	0,05	0,01	0,02	29.	26,66	26,70	26,66	26,67
30.	0,04	0,02	-0,03	-0,01	30.	26,69	26,67	26,62	26,64
<b>min</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>-0,03</b>	<b>-0,01</b>	<b>min</b>	<b>26,66</b>	<b>26,65</b>	<b>26,62</b>	<b>26,64</b>
<b>max</b>	<b>0,09</b>	<b>0,10</b>	<b>0,06</b>	<b>0,06</b>	<b>max</b>	<b>26,74</b>	<b>26,74</b>	<b>26,71</b>	<b>26,71</b>

[Zdroj: autorova práce]



#### 4a – TABULKA – Výsledky měření materiálů od firmy Pengg

Pružina č.	① Pengg super						② Pengg					
	Délka od stroje	Délka po usazení	Síla F1	Síla F2	Vnější průměr od stroje	Vnější průměr po usazení	Délka od stroje	Délka po usazení	Síla F1	Síla F2	Vnější průměr od stroje	Vnější průměr po usazení
-	mm	mm	N	N	mm	mm	mm	mm	N	N	mm	mm
1	969	798	438,17	627,06	25,02	25,07	971	784	430,83	624,20	25,04	25,07
2	971	797	439,38	626,50	25,03	25,02	971	787	438,83	632,91	25,05	25,08
3	970	795	437,00	624,78	25,01	25,07	971	780	425,39	617,68	25,04	25,05
4	968	795	434,37	622,42	25,03	25,06	970	786	434,96	630,65	25,04	25,08
5	969	798	437,95	625,67	25,02	25,06	972	787	438,13	631,36	25,05	25,06
6	970	789	418,78	612,04	25,03	25,07	972	788	436,32	631,35	25,03	25,10
7	971	795	425,63	617,06	25,01	25,08	973	778	418,64	614,99	25,05	25,12
8	969	799	431,90	623,70	25,04	25,08	972	778	420,41	615,10	25,01	25,10
9	969	797	443,02	625,16	25,03	25,02	972	784	430,44	625,52	25,03	25,10
10	970	794	432,10	612,06	25,03	25,04	973	777	418,86	615,35	25,04	25,10
11	969	795	440,54	626,15	25,05	25,03	972	786	430,76	623,99	25,03	25,09
12	969	798	435,81	626,35	25,02	25,06	970	784	428,12	621,55	25,03	25,09
13	969	798	434,69	622,16	25,01	25,06	974	782	428,10	620,74	25,04	25,10
14	970	796	428,12	619,12	25,02	25,04	974	785	429,04	623,17	25,04	25,10
15	968	788	416,86	609,58	25,03	25,06	973	778	420,88	616,93	25,02	25,12
16	970	784	416,77	606,43	25,04	25,05	970	783	431,82	626,52	25,05	25,06
17	969	795	429,54	620,96	25,03	25,05	970	787	443,74	632,71	25,05	25,11
18	968	796	433,95	621,75	25,03	25,06	971	781	436,16	622,46	25,02	25,10
19	970	785	428,01	609,30	25,02	25,05	971	791	437,81	632,37	25,04	25,10
20	970	785	422,62	609,91	25,01	25,04	970	786	442,91	629,86	25,03	25,12
Měřidlo	Pásový metr (8.1.2017)	Pásový metr (10.1.2017)	Váha Zwick (12.1.2017)	Váha Zwick (12.1.2017)	Posuvka spec. (8.1.2017)	Posuvka spec. (12.1.2017)	Pásový metr (8.1.2017)	Pásový metr (10.1.2017)	Váha Zwick (12.1.2017)	Váha Zwick (12.1.2017)	Posuvka spec. (8.1.2017)	Posuvka spec. (12.1.2017)

[Zdroj: autorova práce]

#### 4b – TABULKA – Výsledky měření materiálů firmy SDW Röslau a DWK Köln

Pružina č.	③ SDW Röslau						④ DWK Köln					
	Délka od stroje	Délka po usazení	Síla F1	Síla F2	Vnější průměr od stroje	Vnější průměr po usazení	Délka od stroje	Délka po usazení	Síla F1	Síla F2	Vnější průměr od stroje	Vnější průměr po usazení
-	mm	mm	N	N	mm	mm	mm	mm	N	N	mm	mm
1	968	794	442,47	633,74	25,04	25,08	974	773	414,81	607,56	25,02	25,07
2	968	790	430,86	622,85	25,02	25,07	973	774	418,03	609,92	25,03	25,09
3	966	796	439,05	634,58	25,03	25,08	973	765	400,49	592,92	25,03	25,10
4	968	796	443,46	636,59	25,07	25,06	974	777	421,45	613,02	25,03	25,05
5	970	795	444,72	637,18	25,03	25,05	974	776	417,64	610,27	25,04	25,04
6	971	795	455,69	639,22	25,04	25,06	973	771	406,80	599,60	25,02	25,07
7	968	796	455,11	638,06	25,01	25,07	974	769	413,95	603,30	25,03	25,05
8	968	789	436,58	628,51	25,03	25,08	973	777	416,81	609,26	25,02	25,08
9	968	789	444,53	630,42	25,06	25,12	972	776	412,63	606,37	25,01	25,05
10	970	784	426,38	618,82	25,02	25,07	969	777	414,28	609,63	25,05	25,08
11	966	790	430,40	622,38	25,04	25,09	974	775	412,22	607,02	25,02	25,06
12	967	787	432,14	626,87	25,03	25,08	971	773	416,15	609,58	25,02	25,08
13	969	782	427,24	621,03	25,04	25,09	974	763	400,25	594,79	25,03	25,08
14	967	796	441,75	635,65	25,04	25,09	971	780	427,29	616,10	25,04	25,09
15	970	796	441,62	634,49	25,05	25,08	974	775	422,32	607,63	25,05	25,10
16	968	797	444,25	636,93	25,03	25,09	970	775	415,97	605,79	25,03	25,09
17	967	798	455,81	642,63	25,04	25,08	975	767	408,47	608,25	25,02	25,08
18	967	793	450,19	634,47	25,02	25,08	973	773	415,80	606,88	25,01	25,09
19	970	789	429,96	621,30	25,04	25,08	973	773	418,88	609,08	25,02	25,08
20	966	796	437,18	632,80	25,03	25,11	974	765	401,12	591,29	25,02	25,08
<b>Měřidlo</b>	Pásový metr (8.1.2017)	Pásový metr (10.1.2017)	Váha Zwick (12.1.2017)	Váha Zwick (12.1.2017)	Posuvka spec. (8.1.2017)	Messschieber (12.1.2017)	Pásový metr (8.1.2017)	Pásový metr (10.1.2017)	Váha Zwick (12.1.2017)	Váha Zwick (12.1.2017)	Posuvka spec. (8.1.2017)	Posuvka spec. (12.1.2017)

[Zdroj: autorova práce]